

Decrease of stress concentration in bending connections with developed tubular web in semi-deep beam

Amir Nadi¹, Aboozar Saleh² and Amir Ayazi^{*3}

1- Department of Civil Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Department of Civil Engineering, Professor Hesabi Branch, Islamic Azad University, Tafresh, Iran
3- Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

In this study, the experimental properties of a new type of reduced-beam section (RBS) connection, called TW-RBS is investigated in recent years. In the TW-RBS connection, a steel tube is placed instead of beam flat web. In this paper, the proposed connection is named as (SW-RBS). In the SW-RBS connection, two semilunar parts are placed instead of the flat web in empty area of the web of beam. Semilunar parts are made of steel tube that are cut. The beams that used for the specimens are semi-deep. The results of cyclic behavior of specimens show that in the SW-RBS in comparison with TW-RBS, the connection is able to increase the relative displacement of the story (drift) by 7%, which is higher than the value specified by the current seismic code. According to results of proposed connection, increase the plastic hinge area of the beam caused by decrease stress concentration at the connection of the tube and beam and no fracture and cracking occurred at this area. The demand of the column face in comparison with other area dropped by more than 35%.

ARTICLE INFO

Receive Date: 12 March 2020
Revise Date: 28 November 2021
Accept Date: 23 September 2021

Keywords:

Plastic hinge
Stress concentration
Reduced beam section
Semi-deep beam
Cyclic loading

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.223222.2105>

*Corresponding author: Amir Ayazi
Email address: a.ayazi@qodsiau.ac.ir

کاهش تمرکز تنش در اتصالات خمشی با جان لوله ای توسعه یافته در تیرهای نیمه

عمیق

امیر نادى^۱، ابوذر صالح^۲، امیر ایازی^{۳*}

۱- دانشجوی دکتری عمران-سازه، گروه مهندسی عمران، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تفرش، دانشگاه آزاد اسلامی، تفرش، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی نوع جدیدی از اتصال با مقطع کاهش یافته *RBS* که در سال های اخیر با نام *TW-RBS* نامگذاری شده اند، خواهیم پرداخت. در اتصال *TW-RBS*، از یک لوله فولادی به جای جان صاف در تیر استفاده می شود. در این مقاله اتصال پیشنهادی با نام *SW-RBS* نام گذاری می شود. در اتصال *SW-RBS* از دو قطعه کمّانی شکل به جای جان صاف در ناحیه خالی جان تیر استفاده شده است. قطعات کمّانی بخشی از یک لوله فولادی می باشند که برش داده شده اند. تیرهای مورد استفاده در ساخت نمونه ها به صورت نیمه عمیق می باشد. بررسی نتایج رفتار چرخه ای نمونه ها، نشان می دهد که در تیر *SW-RBS* نسبت به تیر *TW-RBS* اتصال قادر به افزایش تغییرمکان نسبی طبقه (دریفت) به میزان ۷ درصد می باشد که از مقدار مشخص شده توسط آیین نامه های لرزه ای موجود، بیشتر می باشد. بر اساس نتایج نمونه پیشنهادی، با توجه به افزایش طول ناحیه پلاستیک، تمرکز تنش در محل جان آکاردئونی، کاهش یافته است و هیچگونه شکستگی در محل اتصال بال به جان آکاردئونی مشاهده نشده است. میزان تقاضا در بر ستون نسبت به سایر نقاط حدود بیش از ۳۵ درصد کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: مفصل پلاستیک، تمرکز تنش، مقطع کاهش یافته، تیر نیمه عمیق، بارگذاری چرخه ای

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.223222.2105	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2020.223222.2105	۱۴۰۰/۰۷/۳۰	۱۳۹۹/۰۷/۰۲	۱۳۹۹/۰۷/۰۲	۱۴۰۰/۰۹/۰۷	۱۳۹۸/۱۲/۲۲
			امیر ایازی		*نویسنده مسئول:	
			a.ayazi@qodsiau.ac.ir		پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

پس از زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج آیین نامه های لرزه ای نسبت به قبل برای جابجایی مفصل پلاستیک به فاصله دورتری از ستون، شرایط سختگیرانه تری ارائه نمودند. یکی از روش های نوینی که می تواند مفصل پلاستیک را به محل دلخواه در نزدیکی اتصال تیر به ستون، انتقال دهد استفاده از اتصال خمشی مقطع تیر کاهش یافته RBS (Reduced beam section) می باشد. عملکرد اتصال RBS می تواند تقاضا را از بخش هایی از اتصال از جمله چشمه اتصال، ورق های پیوستگی و جوش های مرتبط به آن ها کمتر کند. کمیته SAC [1] بین سال های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸ با بررسی نتایج ۴۵ تست بر روی اتصالات RBS، نشان داد که اتصال با برش دایره ای بال، دارای رفتار بهتری نسبت به سایر روش های بریدن بال می باشد. همچنین بررسی نتایج این آزمایش ها نشان دهنده وابستگی رفتار اتصال به عمق تیر می باشد. به علت کاهش عرض بال تیر در مقطع اتصال RBS، دارای سختی خارج از صفحه کمتری نسبت به حالت عادی خود می باشد. نعیم [2] نشان داد که کاهش عرض بال در اتصال RBS می تواند در ابتدا موجب کمناش موضعی جان و پس از آن کمناش پیچشی جانبی و در نهایت کمناش موضعی بال تیر شود. رودر [3]، رایکل و همکاران [4]، لی و همکاران [5] تاثیر رفتار چشمه اتصال را بر روی رفتار اتصال بررسی کردند. پاچومیس و همکاران [6] نشان دادند برای اینکه بتوان ایده استفاده از اتصال RBS را در مقاطع اروپایی به کار برد، باید تغییراتی در پارامترهای هندسی این گونه اتصالات داده شود. ایده کاهش ممان پلاستیک تیر در محل دلخواه برای ایجاد اتصال RBS به روش های مختلفی صورت می پذیرد از جمله این روش ها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- بریدن بخشی از بال:

یکی از تاثیر گذارترین روشها می باشد که با کاهش سطح مقطع قسمت حذف شده مفصل پلاستیک به محل دلخواه جابه جا می شود [1].

۲- اتصال با کاهش جان

کاهش در مصالح جان یکی دیگر از انواع اتصال RBS می باشد در FEMA [7] نوع جدیدی از اتصال کاهش یافته ارائه شده است که در آن با یک سوراخ دایره ای در نزدیکی اتصال تیر به ستون می توان تقاضا را در نزدیکی ستون کاهش داد. رفتار اتصال RBS با سوراخ دایره ای توسط یانگ و همکارش [8] بررسی شد. تیر با برش جان به صورت مستطیل توسط رائو و کومار [9] مورد بررسی قرار گرفته است که به مقطع توخالی (RHS) معروف می باشد. رفتار تیر با جان توخالی توسط تساودریدیس و دملو [10] بررسی شد. آن ها رفتار تیر با بازو بیضی را بررسی کردند و نتایج را به صورت تکنیکی - ساختمانی ارائه دادند.

۳- کاهش ارتفاع جان

از جمله افرادی که بر روی این گونه اتصال کار کرده است می توان به ویکسون [11] اشاره کرد در این روش ارتفاع جان در نزدیکی تیر به ستون کاهش داده می شود و به این شکل مفصل پلاستیک در فاصله دلخواه از ستون قرار می گیرد. نتایج آزمایش نشان داد که ظرفیت چرخش پلاستیک می تواند تا بیشتر از ۵ درصد افزایش یابد.

۴- حرارت موضعی

در این روش بال تیر در محل مشخصی که قرار است مفصل پلاستیک شود، تحت حرارت بالایی قرار می گیرد و سپس به آرامی سرد می شود این روش توسط موریسون [12] مورد بررسی قرار گرفت. اتصال HBS، سختی الاستیک یا مقاومت کمناشی را نمی تواند ارضا کند. آنها به بررسی دو عدد تست با مقیاس بزرگ پرداختند و در این دو تست مفصل الاستیک و پلاستیک را مورد بررسی قرار دادند و با تکنیک حرارت موضعی توانستند به دریافت درون طبقه ای ۶ درصد دست یابند.

۵- ترکیب اتصالات RBS

عطالهی و همکاران [13] رفتار چرخه ای یک اتصال سخت شده توسط T-stub به همراه تصنیف مقطع توسط اتصال RBS را بررسی کردند. نتایج نشان داد که ظرفیت ممان و پخش انرژی در اتصال جدید برابر اتصال T-stub می باشد واز اتصال RBS به تنهایی بیشتر می باشد.

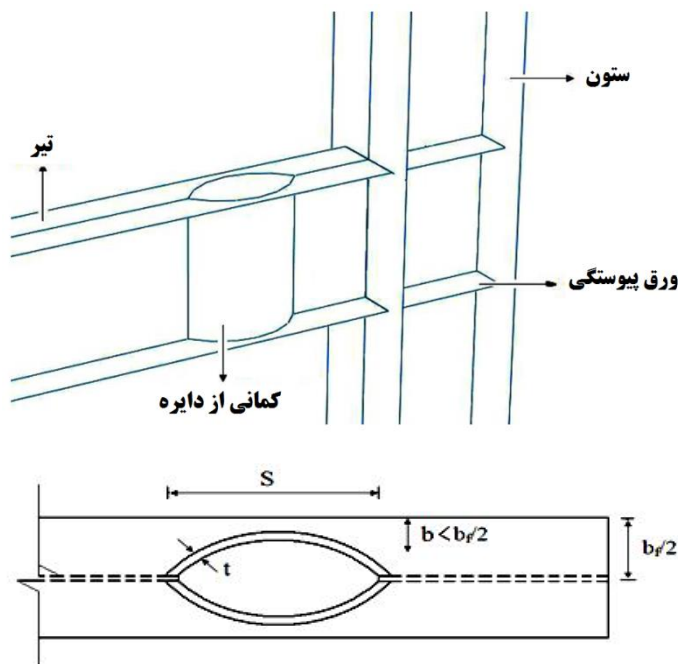
۶- اتصال با جان آکاردئون

ایده جان آکاردئونی با استفاده از جایگزینی نبشی با جان صاف ابتدا توسط میرقادری و همکاران [14] مطرح شد. آنها در فاصله معینی از لبه ستون دو عدد نبشی به صورت متقارن و چسبیده به هم قرار دادند تا در آن محل مفصل پلاستیک ایجاد گردد و آسیبی به ستون وارد نگردد. به علت عرض به ضخامت کمتر در محل قرار گیری نبشی ها کمانش پیچش-جانبی در اتصال رخ نداد. جایگزینی لوله به جای نبشی در تیرهای کوتاه ابتدا توسط زهرایی و همکاران [15] مطرح گردید. صالح و همکاران [16] قرارگیری لوله به عنوان جان آکاردئونی در تیرهای عمیق را پیشنهاد دادند. در این روش به علت حذف گوشه های تیز در نبشی ها و قرار دادن لوله به جای آن شاهد رفتار بهتر اتصال در خستگی های کم چرخه بوده اند. نتایج پژوهش آن ها نشان داد که استفاده از TW-RBS هم مانند AW-RBS می تواند موجب کاهش لنگر پلاستیک در مقطع در ناحیه قرار گرفتن لوله شود و مفصل پلاستیک به آن ناحیه هدایت می شود و در سایر مناطق هیچ گونه شکستی مشاهده نشد. طبق نتایج بدست آمده TW-RBS ضمن ارضا توصیه های آیین نامه های FEMA [7] و AISC [17] در خصوص اتصالات صلب، توانست دریفت طبقه را تا ۶ درصد افزایش دهد. زهرایی و همکاران [18] در کار جدید خود ایده افزایش طول مفصل پلاستیک را مطرح نمودند. طول مفصل پلاستیک با قرار دادن دو لوله کنار هم افزایش یافت. تقاضا در اتصال تیر-ستون در دریفت طبقات یکسان در این روش حدود بیش از ۳۰ درصد کاهش یافت. اتصال آن ها علاوه بر ارضای توصیه های آیین نامه های AISC [17] و FEMA [7] در خصوص اتصالات صلب، توانست دریفت طبقه را تا ۶ درصد افزایش دهد. نتایج تحقیق در مقایسه با تحلیل های عددی صالح و همکاران بسیار رضایت بخش می باشد [19]. ایمان پور و همکاران [20] دو عدد نبشی را به جای جان صاف در تیر قرار دادند. با این کار محل مفصل پلاستیک را به نقطه دلخواه انتقال دادند همچنین مقایسه ای بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج عددی ارائه دادند. نتایج نشان دادند که اتصال مذکور بدون هیچگونه ناپایداری و افت مقاومتی می تواند شرایط آیین نامه FEMA [7] و AISC [17] را در خصوص اتصالات صلب خمشی ارضا نماید.

این مقاله به بررسی کاهش تمرکز تنش در جان آکاردئونی در تیرهای نیمه عمیق می پردازد. جان آکاردئونی در اتصال پیشنهادی از طریق جایگزینی دو کمان دایره ای در دو طرف جان تیر به جای جان صاف، ایجاد می شود. این اتصال ضمن بهبود اتلاف انرژی می تواند تقاضا را در اتصال تیر به ستون کاهش دهد. برای راحتی، اتصال مذکور با نام SW-RBS نامگذاری شده است که S مخفف Semilunar به معنای قسمتی از دایره می باشد.

۲- اتصال پیشنهادی (SW-RBS)

ساختار اتصال پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است دو کمان به جای قسمت بریده شده جان، قرار داده شده است. کمان ها بر روی جان قرار داده شده اند. کمان ها به جوش گوشه با جان تیر و با جوش نفوذی کامل به بال تیر متصل شده اند. تیر برای انتقال کامل ظرفیت اتصال صلب با جوش نفوذی کامل (CJP) به ستون متصل شده است. به علت سختی طولی کم ناحیه قرار دادن کمان ها در جان تیر به علت خاصیت آکاردئونی آن ها، می توان مقدار سختی آن ها را در لنگر خمشی مقاوم کل تیر ناچیز فرض کرد. با توجه به این موضوع می توان کاهش مقطع بوجود آمده را پذیرفت و جان موج دار را می توان برای فراهم کردن ظرفیت برشی طراحی کرد. کمان ها، وترهایی بریده شده از لوله به قطر ۲۷۹٫۳ میلی متر (لوله ۱۱ اینچ) می باشند و طول عمود بر سطح افق کمان ها که در شکل (۱) با پارامتر S نشان داده شده است حدود ۲۰ cm می باشد که در مقایسه با قطر لوله در اتصال TW-RBS که حدود ۱۰ cm است، طول بزرگتری است و به این شیوه طول ناحیه پلاستیک افزایش داده شده است و پایداری و اتلاف انرژی و همچنین شکل پذیری افزایش می یابد.



شکل ۱: اتصال پیشنهادی و نمای بال در محل جان آکاردئونی.

اتصال RBS که در این تحقیق پیشنهاد گردیده است به نام Semilunar-Web RBS Connection نامگذاری شده است که به صورت مخفف SW-RBS می باشد. وجود ناحیه کمانی در جان تیر باعث افزایش سختی خارج از صفحه جان آکاردئونی می شود با توجه به اینکه طول ناحیه مفصل پلاستیک با استفاده از یک فیوز افزایش یافته است نسبت به کار زهرایی و همکاران [18] دارای عملکرد بهتری می باشد و عملاً تمام ناحیه آکاردئونی وارد عمل می شود و در طول بیشتری از تیر نسبت عرض به ضخامت کمتر شده است که این خود سبب افزایش پایداری بال تیر در ناحیه موج دار می شود با توجه به اینکه لبه کمان های تشکیل دهنده قسمت موجدار جان به جان تیر جوش شده اند عملاً بحث خستگی کم چرخه که در اتصال AW-RBS [14] وجود دارد. از بین رفته و لبه های قسمت موجدار جزئی از جان شده است و دارای عملکرد هماهنگی با جان اطراف خود هستند از طرف دیگر جان موج دار در تیر نیمه عمیق مورد بررسی قرار می گیرد. طبقه بندی تیر نیمه عمیق به این صورت است که با توجه به هندسه و بارگذاری سازه و نسبت دهانه به ارتفاع مرز بین اینکه تیر در خمش و یا در برش عمل کند، میتواند به عنوان تیر نیمه عمیق محسوب شود یعنی چنانچه ارتفاع تیر بیشتر شود در خمش عمل می کند و اگر ارتفاع تیر کاهش یابد تیر در برش عمل می کند و مقدار ارتفاع مابین این دو حالت که همان مرز عملکرد به صورت برش و خمش است اصطلاحاً تیر نیمه عمیق می نامند.

۳- برنامه آزمایش

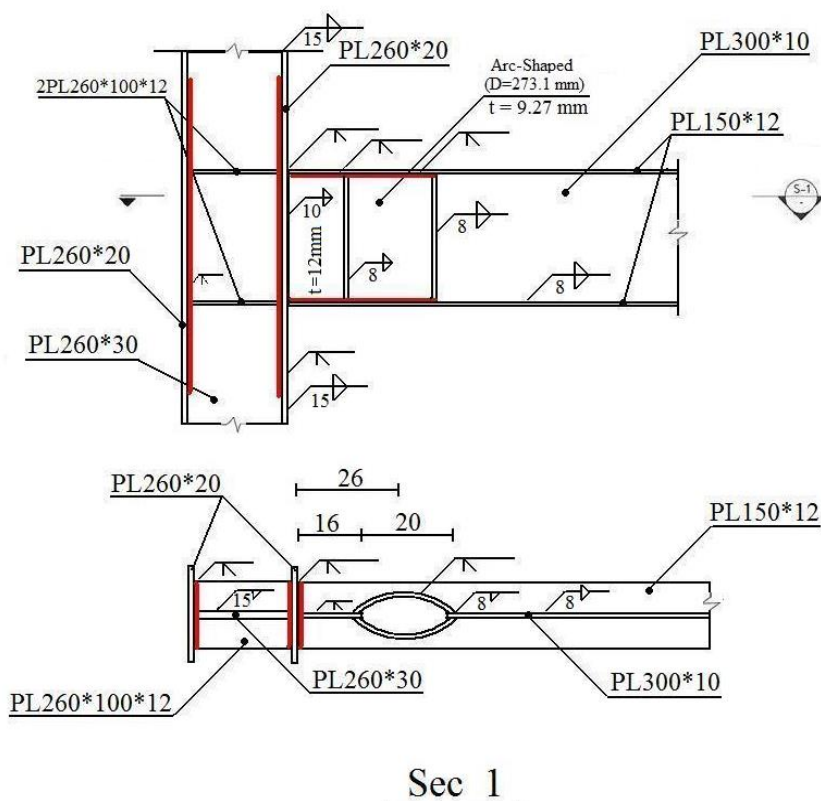
برای بررسی رفتار چرخه ای اتصال پیشنهادی تست آزمایشگاهی صورت گرفته است تا تاثیر جان آکاردئونی کمانی شکل در تیر، بر روی کاهش تمرکز تنش مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۱- نمونه تست

در این تحقیق نمونه ها با مقیاس دو سوم شامل اتصال HTW-RBS و TW-RBS طراحی شده است. نمونه شامل اتصال خارجی با یک تیر متصل به یک ستون می باشد در این اتصال نصف ستون از بالا و پایین و نصف تیر انتخاب شده است. ستون در اتصال به صورت عمودی قرار گرفته و تیر به صورت افقی می باشد. در اتصال مذکور معیار تیر ضعیف - ستون قوی برای اطمینان از تشکیل مکانیزم پلاستیک در تیر رعایت شده است. در این تحقیق نمونه از ستون H شکل با ورق ۳۰*۲۶۰ برای جان و دو عدد ورق ۲۰*۲۶۰ برای بال ها

ساخته شده است. تیر نیز از ورق ۱۰*۳۰۰ برای جان و دو عدد ورق ۱۲*۱۵۰ برای بالاها ساخته شده است ورق جان حدفاصل ابتدای جان تا روی ستون از ورق ۱۲ میلی متر استفاده شده است. دلیل این موضوع اینست که مقاومت پلاستیک اسمی در بر ستون افزایش یافته و نسبت ماکزیمم لنگر مورد نیاز در بر ستون به مقاومت پلاستیک اسمی مشابه مقدار مطرح شده برای این پارامتر در طراحی تیرهای کاهش یافته معمولی به ۰,۹ کاهش یافته است قسمت آکاردئونی جان تیر با برش جان و جوش کردن دو کمان از دایره با جای آن ایجاد شده است. کمان ها وترهایی بریده شده از لوله به قطر ۲۷۹.۳ میلی متر (لوله ۱۱ اینچ) می باشند. ضخامت کمان های مورد استفاده ۹,۲۷ میلی متر می باشد. در ادامه جزییات اجرایی کمان ها و شکل آن ها نشان داده خواهد شد. طول ستون و تیر هر دو ۲۰۰۰ میلی متر می باشند. مقطع تیر و ستون هر دو فشرده لرزه ای محسوب می شوند.

در شکل (۲) جزییات اتصال ساخته شده در کارخانه را نشان می دهد همچنین جزییات تشکیل دهنده جان آکاردئونی هم نشان داده شده است. بال های تیر با اعمال جوش شیاری با نفوذ کامل از پیش تایید شده بدون هیچ گونه پشت بندی با پاس ریشه و ماهیچه تقویتی به ستون متصل شده است. ورق های پیوستگی ستون هم با جوش های شیاری با نفوذ کامل به بال های ستون متصل شده اند. کمان ها و جان تیر در حد فاصل بین ستون تا ابتدای کمان نیز توسط جوش شیاری با نفوذ کامل به بال تیر متصل شده اند. اتصال جان ستون به بال ها در چشمه اتصال و در حد فاصل ۳۰ سانت بالاتر و ۳۰ سانت پایین تر از تیر نیز توسط جوش شیاری با نفوذ کامل انجام می گیرد. سایر اتصالات از جمله جان تیر به روی ستون، کمان ها به جان تیر با استفاده از جوش گوشه متصل شده اند. تمام جوش های شیاری به صورت اولتراسونیک و جوش های شیاری توسط بازرسی ذی صلاح تست شده اند.



Sec 1

شکل ۲: جزییات نمونه تست SW-RBS.

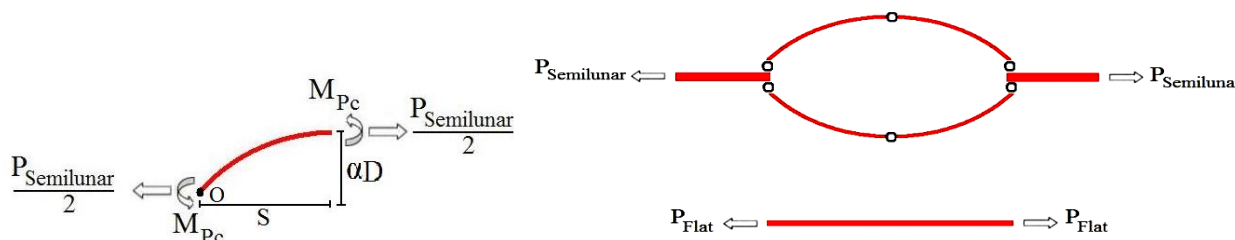
تیر، ستون، ورق های پیوستگی و ورق های کمانی شکل از فولاد A36 با تنش تسلیم اسمی ۲۴۰MPa هستند. خواص مکانیکی کوپن فولاد مربوط به نمونه مطابق استاندارد ASTM A370 برای تست کششی فولاد در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: خواص مکانیکی کوپن فولادی تهیه شده از اجزای مختلف زیرمجموعه آزمایش.

Member	Coupon	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation %
Beam	Web	288	446	40.5
Beam	Flange	268	384	40
Column	Web	260	419	45.5
Column	Flange	253	424	45
Pipe	-	295	447	38

۲-۳- طریقه طراحی اتصال SW-RBS

مراحل طراحی SW-RBS مشابه TW-RBS صالح و همکاران [16] می باشد. نکته قابل توجه اینست که قسمت موجدار که کمانی از دایره می باشد با استفاده از کار الدیب [21] طراحی می شود. برای ارزیابی مقاومت محوری جان لوله ای در ناحیه کاهش کاهش یافته و مقایسه آن با مقاومت محوری جان صاف معادل، یک نوار استوانه ای با عمق واحد در نظر گرفته می شود. مطابق شکل (۳) شرایط نهایی نوار استوانه ای تحت اثر نیروی P ، تشکیل چهار مفصل در نقاط انتهائی و نقاط وسطی مقطع دایره ای می باشد. با توجه به برقراری تقارن می توان یک چهارم آن را در نظر گرفت و دیاگرام آزاد نیروها را رسم نمود. بر این اساس و با نوشتن معادله تعادل لنگر حول یکی از مفاصل پلاستیک، می توان نیروی $P_{Semilunar}$ که همان نیروی ورق های کمانی شکل است را به طریق زیر بدست آورد.



شکل ۳: دیاگرام آزاد برای نوار استوانه ای و نوار صاف به عمق واحد.

$$\sum M_o = 0 \Rightarrow P_{Semilunar} = \frac{2M_{Pc}}{\alpha D} = \frac{4M_{Pc}}{\alpha D} = \frac{4ZF_y}{\alpha D} \quad (1)$$

همچنین در اینجا به دلیل انتخاب نواری واحد از ورق کمانی شکل، داریم:

$$I_{Semilunar} = \frac{t_{Semilunar}^3}{12} \quad (2)$$

$$Z_{Semilunar} = \frac{t_{Semilunar}^2}{4} \quad (3)$$

با جایگذاری رابطه (۳) در (۱) داریم:

$$P_{Semilunar} = \frac{t_{Semilunar}^2 \times F_y}{\alpha D} \quad (4)$$

پارامترهای $t_{Semilunar}$ و D به ترتیب برابر ضخامت و قطر ورق کمانی شکل جان تیر می باشند همچنین پارامتر $P_{Semilunar}$ برابر نیروی ورق کمانی شکل می باشد. نیروی ورق صاف نیز طبق فرضیات فوق به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{Flat} = A_{Flat} F_y \quad (5)$$

در رابطه فوق با توجه به اینکه نواری به عرض واحد در نظر گرفته شده است داریم:

$$P_{Flat} = t_{Flat} F_y \quad (6)$$

برای ارزیابی تاثیر خاصیت آکاردئونی جان لوله ای بر روی مقاومت و مقایسه مقاومت جان لوله ای به جان صاف، ضریب کاهش مقاومت (SDF) Strength Degradation Factor را می توان به ترتیب زیر محاسبه نمود:

$$SDF = 1 - \frac{P_{Semilunar}}{P_{Flat}} \quad (7)$$

با جایگذاری روابط (۶) و (۷) در رابطه (۷) داریم:

$$SDF = 1 - \frac{t_{Semilunar}^2}{\alpha D t_{Flat}} \quad (8)$$

رابطه (۸) را می توان به صورت کاربردی تر به شکل زیر نوشت:

$$SDF = 1 - \frac{\left(\frac{t_{Semilunar}}{t_{Flat}}\right)^2}{\left(\frac{\alpha D}{t_{Flat}}\right)} \quad (9)$$

مقدار α می تواند بین 0 و 0.25 (1/4) متغیر باشد. مقدار بهینه α برای اتصال پیشنهاد شده برابر 0.16 می باشد. در صورتی که کمتر از این مقدار در نظر گرفته شود ورق های کمانی شکل به صورت ورق صاف در می آید و خاصیت آکاردئونی خود را از دست می دهند و در صورتی که مقدار α از 0.16 بیشتر شود یعنی به سمت دایره ای شدن پیش می رود و برای این سایز از تیر امکان جوشکاری بال تیر در مقادیر نزدیک به 0.25 عملا از بین می رود و احتمال شکست در لبه های ورق های کمانی و کمانش در آن ها و شکستگی جوش های کناری وجود خواهد داشت.

با توجه به روابط گفته شده برای ضریب کاهش مقاومت SDF می توان مقدار مدول اساس مقطع پلاستیک را برای ناحیه کمانی اتصال SW-RBS از رابطه (۱۰) تعیین نمود:

$$Z_{SW-RBS} = Z_{flange} + \left(1 - \frac{\left(\frac{t_{Semilunar}}{t_{Flat}}\right)^2}{\left(\frac{\alpha D}{t_{Flat}}\right)}\right) Z_{web}^{flat} \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)، Z_{web}^{flat} و Z_{flange} به ترتیب سهم جان و بال از کل مدول پلاستیک تیر می باشند. مقدار لنگر طبق معیار لرزه ای M_{SW-RBS} طبق رابطه (۱۱) تعریف می شود:

$$M_{(SW-RBS)} = 1.1 R_y Z_{SW-RBS} F_y \quad (11)$$

برای تعیین نسبت ماکزیمم لنگر تقاضا در بر ستون به مقاومت اسمی پلاستیک که با α نشان داده شده است، از رابطه (۱۲) استفاده می کنیم:

$$\alpha = \frac{M_f}{Z_b R_y F_y} \quad (12)$$

که در رابطه فوق Z_b ، مدول پلاستیک مقطع کاهش نیافته در بر ستون می باشد و M_f مقدار ماکزیمم لنگر تولید شده در بر ستون می باشد که می توان از ماکزیمم لنگر مورد انتظار بدست آمده در مرکز ناحیه کاهش یافته می باشد که طبق رابطه (۱۳) بدست می آید:

$$M_f = M_{SW-RBS} \frac{(L+e)}{L} \quad (13)$$

که در آن پارامتر L فاصله بین محور مرکزی (centerline) مقطع کاهش یافته تیر تا وسط دهانه می باشد و پارامتر e مقدار فاصله محور مرکزی مقطع کاهش یافته تیر تا بر ستون می باشد.

لنگر مورد انتظار در محل مفصل پلاستیک در اتصال SW-RBS، مطابق روابط فوق در جدول (۲) نشان داده شده است و همانطور که ملاحظه می شود قاعده تیر ضعیف - ستون قوی به خوبی رعایت شده است تنش تسلیم مورد انتظار (F_{ye}) بر اساس تنش تسلیم اسمی 240MPa محاسبه شده است و طبق AISC [17] برای تیرورق مقدار ضریب R_y ۱٫۳ در نظر گرفته شده است. ضریب ایمنی کافی برای تقاضای بر ستون برابر ۰٫۹۴ منظور شده است.

جدول ۲: کنترل طراحی تیر در بر ستون.

Z_{SW-RBS} ($m^3 \times 10^{-6}$)	M_{SW-RBS} (kN-m)	L ($m \times 10^{-2}$)	e ($m \times 10^{-2}$)	M_f (kN-m)	$Z_b F_{ye}$ (kN-m)	α	$e+dc/2$ ($m \times 10^{-2}$)	$\sum M_{Pb}$ (kN-m)	$\sum M_{Pc}$ (kN-m)	$\sum M_{Pc} / \sum M_{Pb}$
606.6	208.2	154	16	229.8	245.8	0.94	31	244.6	457.4	1.87

Expected moment in plastic hinge location: M_{SW-RBS} .

Plastic modulus in unreduced beam and column sections: Z_b and Z_c .

Moment ratio at the column face: $\alpha = M_f / Z_b F_{ye}$; Column depth: d_c .

Beam moment in center of column: $\sum M_{pb} = M_f$; Column plastic moment: $\sum M_{pc} = \sum Z_c F_{ye}$.

با توجه به اینکه در اتصال پیشنهادی مقاومت برشی و پایداری جان در ناحیه موجدار تغییر پیدا کرده اند، روابط آیین نامه AISC [17] دیگر قابل کاربرد نیستند و همانطور که در کارهای قبلی صالح و همکاران [16] گفته شده است در ورق موجدار کمانش برشی توسط اندرکنش مود کمانش بدست آمده از اندرکنش مدهای کمانش موضعی و جزئی کنترل می شود. معادله اندرکنش مقاومت کمانش برشی برای ورق های موجدار از جمله کمان ها توسط ال دیب پیشنهاد گردید که به صورت زیر می باشد:

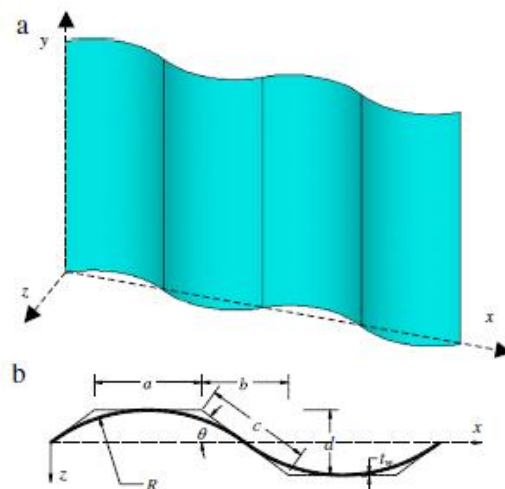
$$\left(\frac{1}{\tau_{cr,l}^e} \right)^n = \left(\frac{1}{\tau_{cr,G}^e} \right)^n + \left(\frac{1}{\tau_y} \right)^n \quad (14)$$

که داریم $\tau_{cr,G}^e$ و $\tau_{cr,l}^e$ به ترتیب مقدار مینیمم مقاومت کمانش موضعی و کلیرا نشان می دهد. مقدار n برای کمانش موضعی برابر 1.5 و برای کمانش کلی برابر 4 می باشد.

کمانش موضعی الاستیک تحت تنش برشی طبق رابطه (۱۵) [22] محاسبه می شود.

$$\tau_{cr,l}^e = k_l \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{w} \right) \quad (15)$$

که در آن E مدول الاستیک؛ ν نسبت پواسون می باشد. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، ω ماکزیمم مقدار پهنای افقی (a) و پهنای قائم (c) و ضخامت ورق موجدار می باشد.



شکل ۴: هندسه ورق جان موجدار کمانی شکل [21].

ضریب کمانش موضعی برشی (k_t) طبق رابطه (۱۵) محاسبه می شود [22].

$$k_t = 5.34 + 4 \left(\frac{\omega}{h_w} \right)^2 \quad (16)$$

با توجه به اینکه دوزنقه محاط بر روی ورق موجدار دارای زاویه ۴۵ درجه می باشد مقدار a و c بدست می آیند.

مقدار کمانش کلی ورق موجدار با توجه به معادله زیر تعیین می شود [22].

$$\tau_{cr,G}^e = k_G \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{w} \right) \quad (17)$$

ضریب کمانش کلی برشی k_G به صورت زیر تعریف می شود [22]:

$$k_G = \frac{36\beta}{\pi^2 \sqrt{\eta}} \left[2 \left(\left(\frac{d}{t_w} \right) + 1 \right) (1-\nu^2) \right]^{3/4} \quad (18)$$

در رابطه فوق مقدار β برای لبه ساده اتصال برابر 1 و برای لبه صلب برابر 1.9 می باشد. پارامتر d ارتفاع ورق موجدار می باشد و مقدار نسبت پواسون برابر 0.3 فرض می شود. فاکتور کاهش طول که با η نشان داده می شود با استفاده از رابطه (۱۹) محاسبه می شود:

$$\eta = \frac{a+b}{a+c} \quad (19)$$

پارامترهای a و c در قسمت های قبلی معرفی شده اند. پارامتر c فاصله مورب بین خط مماس بر نقاط اکسترموم ورق موجدار می باشد که در شکل (۴) نشان داده شده است.

مقاومت کمانش موضعی و کلی کمان ها در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: کمناش موضعی و کلی جان کمناش شکل.

d (m×10 ⁻²)	a (m×10 ⁻²)	b (m×10 ⁻²)	c (m×10 ⁻²)	w (m×10 ⁻²)	t _w (m×10 ⁻²)	h _w (m×10 ⁻²)	η	k _l	τ ^c _{cr,l} (MPa)	k _G	τ ^c _{cr,G} (MPa)
11	10	10	14.1	14.1	0.93	30	0.83	6.22	5038	806	144212

Depth, thickness and height of Semilunar: d, t_w and h_w

مقادیر موجود در جدول بر اساس تنش تسلیم مورد انتظار می باشند.

برای ورق های کمناش شکل در اتصال پیشنهادی، از روابط ادلیب [21] جهت محاسبه اندرکنش مقاومت کمناش برشی می توان استفاده کرد. مقادیر محاسبه شده برای کنترل برشی با استفاده از تنش تسلیم مصالح در جدول (۴) آورده شده است. همچنین $\Phi_v = 0.9$ و تنش برشی تسلیم $\tau_y = 0.577F_y = 138.5 \text{ MPa}$ در نظر گرفته شده است. مقدار τ_{cr} با قرار دادن حد تسلیم برشی نهایی در رابطه (۱۴)، طبق روابط زیر قابل محاسبه می باشد:

$$\left(\frac{1}{\tau_{cr}}\right)^{1.5} = +\left(\frac{1}{\tau_y}\right)^{1.5} + \left(\frac{1}{\tau_y}\right)^{1.5} \quad (20)$$

$$\tau_{cr} = \frac{\tau_y}{\sqrt[3]{2^2}} = 87.2 \text{ MPa} \quad (21)$$

جدول ۴: کنترل برشی جان صاف و کمناش شکل.

τ _{cr} (MPa)	t _w (m×10 ⁻²)	h _w (m×10 ⁻²)	V _{nt} (kN)	t _{wf} (m×10 ⁻²)	d _b (m×10 ⁻²)	V _{nf} (kN)	V _g (m×10 ⁻²)	V _u (kN)	V _f (kN)	V _{u/Φ_vV_{nt}}	V _{u/Φ_vV_{nf}}
87.2	0.93	30	486.6	1	30	432	0.0	143	158.9	0.33	0.41

Shear capacity of pipe: $V_{nt} = 2\tau_{cr} t_w h_w$; Flat web thickness and depth of beam: t_{wf} and d_b

Shear capacity of flat web: $V_{nf} = 0.6F_y t_w d_b$; Shear in plastic hinge: $V_u = M_{TW-RBS}/L$; Gravity shear: V_g

با توجه به تقاضا در بر ستون و مقایسه با ظرفیت آن، برای طراحی حداقل ضخامت ورق چشمه اتصال می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$t_z \geq \frac{w_z + d_z}{90} \quad (22)$$

در رابطه (۲۲)، w_z و d_z به ترتیب عرض و عمق چشمه اتصال می باشند که در اتصال پیشنهاد شده به ترتیب برابر ۲۶۰ و ۳۰۰ می باشند. با جایگذاری در رابطه (۲۲)، حداقل ضخامت ورق چشمه اتصال برابر ۶.۲۲ میلی متری باشد. با توجه به اینکه ورق جان ستون دارای ضخامت ۳۰ میلی متر می باشد به راحتی می تواند دوام آورد. با توجه به ابعاد ورق بال تیر و ورق بال ستون از ورق ۱۲*۱۱۵*۲۶۰ برای ورق پیوستگی استفاده می شود. این ورق ها می توانند نیروی کششی و فشاری وارد شده از طرف تیر را تحمل کنند و این نیروهای محوری را به نیروی برشی تبدیل کنند.

۳-۳- چینهش آزمایش و وسایل

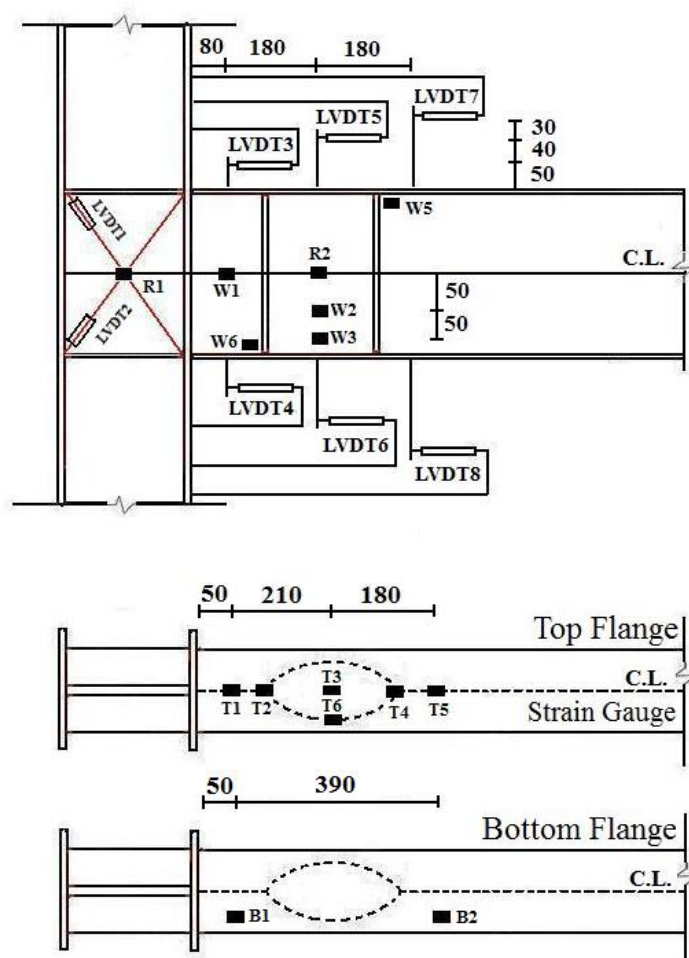
برای این تحقیق، تست در آزمایشگاه سازه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران انجام شده است. چینهش تست برای فراهم کردن شرایط مرزی مورد انتظار برای سرهمبندی، طراحی شده است. پایه ستون با یک اتصال مفصلی به یک کف سخت متصل شده است. انتهای تیر هم توسط یک تکیه گاه جانبی که توانایی حرکت جانبی دارد، مهار شده است تا بتواند شرایط مرزی غلتکی را برای انتهای تیر فراهم کند. جک هیدرولیکی با ظرفیت ۵۰۰KN و جابجایی ۲۵۰ mm برای اعمال تغییر مکان افقی به بالای ستون به کار گرفته شده است.

برای تکیه گاه جانبی تیر از دو قاب خارجی استفاده شده است و برای تکیه گاه جانبی ستون در نزدیکی انتهای آن که نزدیک محل بارگذاری می باشد تکیه گاه جانبی تعبیه شده است. تکیه گاه های جانبی برای جلوگیری از حرکت خارج از صفحه نمونه، کمانش پیچشی جانبی و ناپایداری موضعی در نقطه بارگذاری مورد استفاده قرار گرفته اند. ساختار چینش تست و ابعاد کلی نمونه در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵: ساختار برقراری تست و ابعاد کلی نمونه.

در این تحقیق نمونه تحت بارگذاری شبه استاتیکی قرار گرفته است. سیکل های تغییرمکان مشابه آیین نامه لرزه ای AISC [17] می باشد. زاویه دررفت کل طبقه با تقسیم تغییرمکان بر ارتفاع ستون محاسبه شده است. سیکل های بارگذاری به این صورت است که چرخش 0.375، 0.5 و 0.75 درصد، هر کدام شش سیکل و برای 1 درصد چهار سیکل و 1.5 درصد هم دو سیکل و برای مابقی درصد ها نیز دو سیکل به ازای هر چرخش در نظر گرفته شده است. نمونه دارای ۶ عدد LVDTs می باشد که چرخش مفصل پلاستیک را اندازه می گیرند. همچنین ۲ عدد LVDTs هم به صورت قطری در چشمه اتصال قرار داده شده است که تغییرمکان برشی را اندازه گیری می کنند. چندین کرنش سنج در نقاط مختلف اتصال از جمله روی بال تیر، جان تیر، کمان ها قرار داده شده است که تاریخچه کرنش نمونه را اندازه گیری می کنند. نمای کلی وسایل در شکل (۶) نشان داده شده است. تغییرمکان افقی جک بوسیله LVDT خارجی اندازه گیری می شود. بار اعمال شده توسط لودسل که پشت جک می باشد اندازه گرفته می شود. اطلاعاتی که توسط کرنش سنج ها و LVDTs ها فرستاده می شوند توسط دستگاه دیجیتالی دیتا لاگر ثبت می شوند.



شکل ۶: محل به کارگیری کرنش سنج ها و LVDTs نصب شده بر روی نمونه (تمامی ابعاد به میلی متر هستند).

۴- نتایج آزمایشگاهی SW-RBS

رفتار چرخه ای نمونه توسط مشاهدات تست و آنالیز اطلاعات دستگاه مورد بررسی قرار می گیرد.

۴-۱- مشاهدات تست

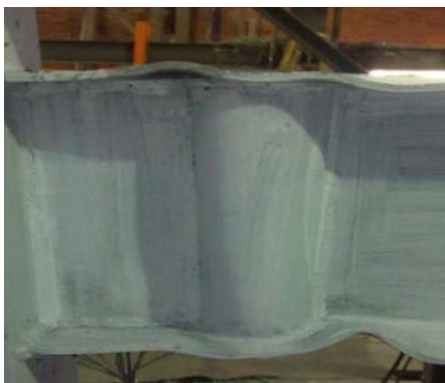
۴-۱-۱- مشاهدات تست نمونه اول

در نمونه اول مشابه کارهای آزمایشگاهی گذشته از جمله زهرایی و همکاران [15] در دریافت طبقه یک درصد مقداری از آهک در ناحیه کاهش یافته، ریخته شده و طبق نتایج کرنش سنج ها اولین مرحله از تسلیم آغاز می گردد. نتایج کرنش سنج ها و ریزش آهک به عنوان معیاری از تسلیم شدگی در دریافت طبقه دو درصد در تمام ناحیه کاهش یافته، ادامه می یابد. در دریافت طبقه ۳ درصد تسلیم شدگی به خارج از ناحیه کاهش یافته ادامه می یابد. با ادامه بارگذاری سازه، در دریافت ۴ درصد کماتش در داخل و خارج ناحیه کماتش یافته و در هر دو بال تیر مشاهده می شود. در سیکل اول دریافت ۵ درصد میزان کماتش خیلی بیشتر می شود. در سیکل نهایی دریافت ۵ درصد پاره شدگی (Fracture) در محل اتصال جان لوله ای به بال تیر رخ داد (شکل 7a). همانطور که در شکل 7b دیده می شود، در سیکل

۶ درصد میزان پاره شدگی افزایش می یابد و عملا افت مقاومت اتفاق می افتد و بارگذاری اتصال به علت پارگی و عدم تحمل نیروی بیشتر متوقف می شود.

۴-۱-۱- مشاهدات تست نمونه دوم

اولین تسلیم شدگی نمونه با پوسته شدن (خط انداختن) آهک در بال بالایی نمونه و در وسط ناحیه کاهش کاهش یافته و در سیکل پایانی دررفت ۱ درصد رخ داد. با شروع دررفت 1.5 درصد کم کم میزان تسلیم شدگی افزایش یافت. در سیکل ۲ درصد میزان خط انداختن آهک رو به افزایش بود. در سیکل ۳ درصد آهک ناحیه کاهش یافته تکیده شده و تا پایان دررفت ۳ درصد هیچگونه پیشرفت تسلیم شدگی به خارج از ناحیه کاهش یافته نداشتیم. در دررفت ۴ درصد تسلیم شدگی به قبل و بعد از لوله ادامه یافت. در دررفت ۵ درصد کمناش در بال بالایی تیر در محل کاهش یافته شروع شد (شکل 7a). در دررفت ۶ درصد کمناش در بال پایینی هم مشاهده شد و در این دررفت همانطور که در شکل (7b) مشاهده می شود. آهک ناحیه کمان ها کاملا ریخته شده ولی هنوز در جلو و عقب ناحیه کاهش یافته کمناشی صورت نگرفته است. در سیکل ۷ درصد شاهد گسترش کمناش به جلو و عقب ناحیه کاهش یافته تیر، می باشیم. نمونه بدون افت قابل ملاحظه ای سیکل های مربوط به دررفت ۷ درصد را طی نمود همانطور که در شکل (7c) مشاهده می شود در این دررفت شاهد کمناش و فرورفتگی کامل بال تیر ناحیه کاهش یافته می باشیم با اینکه کمان های دایره در جان تیر در این دررفت، همانند دررفت های قبلی وارد عمل شده بودند ولی در این دررفت آهک جوش های اتصال کمان به جان صاف ریخته شده است اما هیچگونه شکستگی در این جوش ها رخ نداده است. با شروع دررفت ۸ درصد و در نیرویی بالاتر از دررفت ۷ درصد (حدود 18750) نمونه در محل اتصال تیر به ستون در بال پایینی دچار باریک شدگی گردید و فولاد در آن ناحیه پاره شد. (شکل 7d) بارگذاری نمونه جهت سیکل برگشت دررفت ۸ درصد ادامه یافت که شاهد افزایش مقاومت خمشی اتصال هستیم. ادامه بارگذاری به صورت رفت و برگشت به علت شکست جوش در ناحیه بال پایینی عملا امکان پذیر نبود ولی با ادامه سیکل بارگذاری برگشت به صورت مونوتونیک در نمونه شاهد افزایش مقاومت خمشی اتصال بودیم. بارگذاری نمونه تا دررفت ۱۰ درصد به صورت مونوتونیک ادامه یافت و بارگذاری اتصال بدون هیچ شکستی در بال بالایی تیر ادامه یافت. در دررفت ۱۱ درصد به علت باریک شدگی بال پایینی تیر و افت مقاومت خمشی نمونه، بارگذاری متوقف گردید.



(a) 5% story drift in TW-RBS specimen



(b) 6% story drift in TW-RBS specimen



(c) 5% story drift in SW-RBS specimen



(d) 6% story drift in SW-RBS specimen



7% story drift in SW-RBS specimen



8% story drift in SW-RBS specimen

شکل ۷: نمونه های آزمایشگاهی و محل تشکیل مفصل پلاستیک تحت بار چرخه ای.

۴-۲- بررسی کلی رفتار

منحنی هیستریسیس (بار نوک ستون در مقابل دررفت کلی طبقه) نمونه SW-RBS در شکل (۸) نشان داده شده است. دررفت کلی طبقه از تقسیم تغییر مکان نوک ستون به ارتفاع ستون بدست می آید. ارتفاع ستون از محل بارگذاری که خط مرکزی جک است تا پایه ستون می باشد. طبق آیین نامه لرزه ای AISC [17] معیار پذیرش برای لنگر پلاستیک اتصال در بر ستون نباید کمتر از ۸۰ درصد لنگر پلاستیک تیر در دررفت طبقه ۸۰ درصد باشد. در اتصال پیشنهادی تا دررفت ۷ درصد اتصال بدون افت کمتر از ۸۰ درصد دوام آورده است. بر اساس معیار FEMA [7] نیز مقاومت خمشی اتصال در دررفت طبقه ۴ درصد نباید بیشتر از ۲۰ درصد افت داشته باشد. با مقایسه نتایج با معیار آیین نامه می توان دریافت که اتصال توانسته است بدون افت قابل ملاحظه بیشتر از ۲۰ درصد، بارگذاری را تحمل نماید. معمولاً در اتصال به دلیل کمانش یا ترک خوردگی افت مقاومت پیدا می شود.

(a) load - rotation

(b) moment - rotation

شکل ۸: (a): منحنی بار در برابر دررفت طبقه، (b): منحنی ممان در برابر دررفت طبقه.

نمونه پیشنهادی (SW-RBS) در دررفت طبقه ۸ درصد دچار باریک شدگی در بال تحتانی و در نهایت پارگی در این بال شده است و نمونه دچار افت مقاومت خمشی شده است. اما با ادامه اعمال بار به صورت برگشت، نمونه می تواند تا دررفت ۱۰ درصد هم بدون افت مقاومت خمشی به صورت مونوتونیک تحمل نماید.

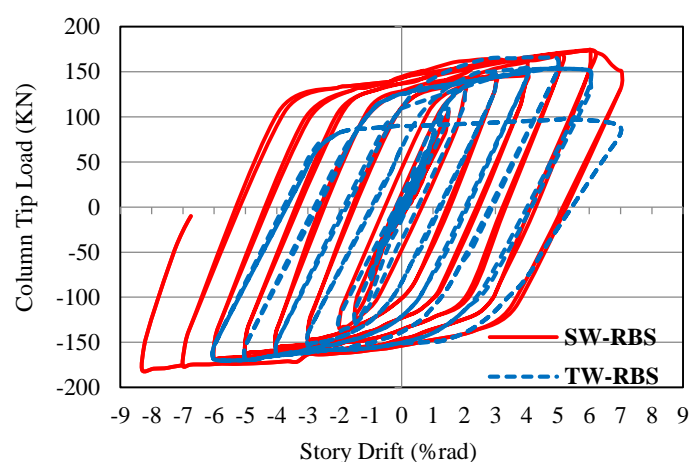
همانطور که در شکل (7a,7b) مشاهده می شود نمونه TW-RBS در سیکل های دررفت ۵ درصد و ۶ درصد، در محل اتصال بال فوقانی تیر به لوله دچار شکستگی شده است و علت آن تمرکز تنش ایجاد شده در این ناحیه می باشد. در نمونه پیشنهادی با حذف نقاط دارای تمرکز تنش علاوه بر اینکه سازه دررفت طبقه بالاتری را تجربه نموده، توانسته است تمرکز تنش را نیز کاهش دهد و از شکستگی و ترک در محل اتصال بال و جان به لوله فولادی جلوگیری نماید. در واقع وجود قطعات کمانی شکل برای تشکیل محل آکاردئونی در جان تیر تمرکز تنش در محل اتصال بال به جان را در ناحیه آکاردئونی کاهش داده است. یکی از دلایل کاهش تمرکز تنش وجود ناحیه کمانی در اتصال پیشنهادی می باشد به طوری که نسبت به اتصال با جان لوله ای علاوه بر اینکه دارای ناحیه خمیده تری است، دارای طول بیشتری نیز می باشد و این افزایش شعاع انحنا موجب کمتر شدن تمرکز تنش در ناحیه آکاردئونی می شود. به عبارت دیگر نتایج حاصل از آزمایش را می توان به این صورت تفسیر کرد که در شرایط مشابه همواره قطعات کمانی شکل نسبت به قطعات دایره ای شکل دارای تمرکز تنش کمتری هستند و می توانند تنش را در طول بیشتری اعمال کنند.

برای درک صحیحی از رفتار سازه در برابر بار اعمالی، نمودار خمش در بر ستون در مقابل چرخش نشان داده شده است. چرخش از تقسیم اختلاف بین LVDT9 و LVDT10 بر فاصله قائم آن ها به دست می آید. این چرخش مربوط به چرخش پلاستیک تیر شامل چرخش الاستیک بر ستون و همچنین قبل از ناحیه پلاستیک می باشد.

۵- صحت سنجی تست و مقایسه نتایج

برای انجام مقایسه نمونه TW-RBS به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شده است و اتصال پیشنهادی (HTW-RBS) با آن مقایسه شده است.

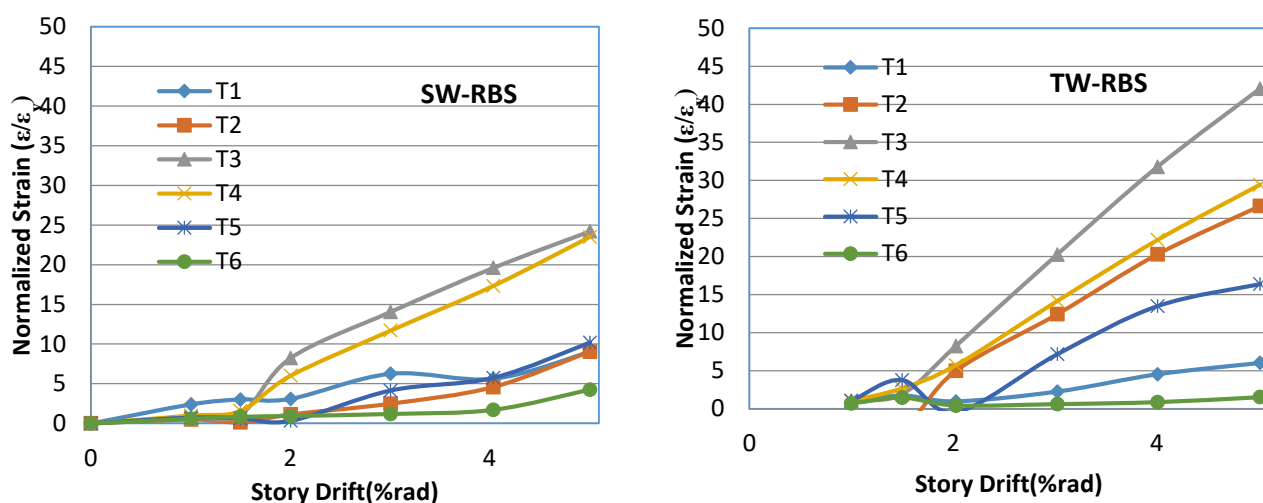
در شکل (۹) نمودار بار نوک ستون در مقابل دررفت طبقه برای نمونه SW-RBS و TW-RBS نشان داده شده است.



شکل ۹: مقایسه پاسخ چرخه ای نمونه SW-RBS و TW-RBS.

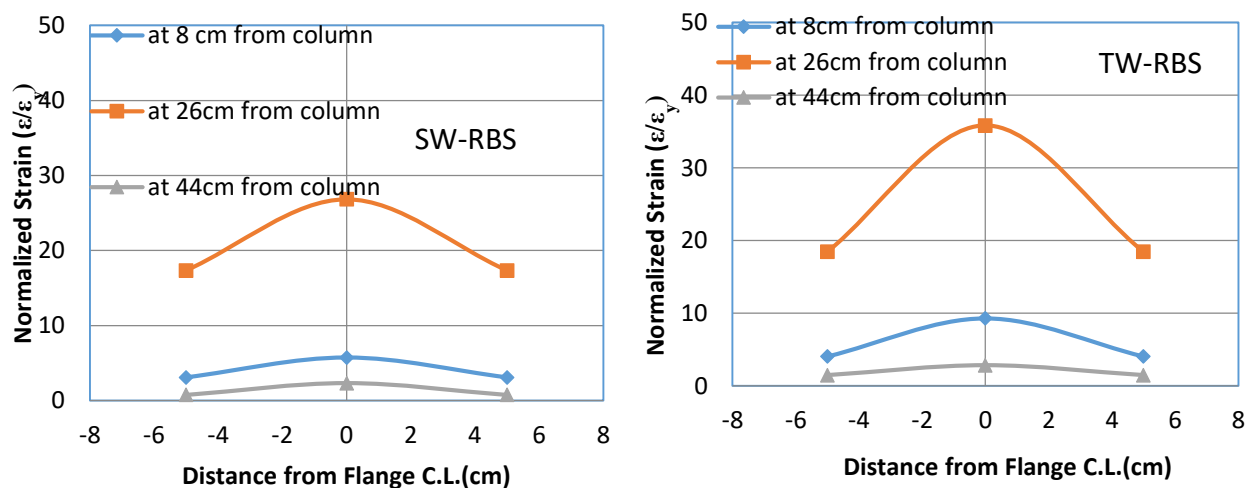
بر اساس شکل (۹) می توان دریافت که شکل پذیری SW-RBS بیشتر از TW-RBS می باشد. زیرا هم نمودار بزرگتری دارد و هم تا دررفت طبقه ۷ درصد بدون افت لنگر خمشی بیشتر از ۲۰ درصد دوام آورده است. علت این موضوع را می توان به افزایش طول مفصل پلاستیک و در نتیجه افزایش چرخش غیرخطی تیر، نسبت داد.

در شکل (۱۱) کرنش همسان سازی شده (ϵ/ϵ_y) در دررفت طبقات مختلف برای هر دو نمونه TW-RBS و SW-RBS نشان داده شده است. در این نمودارها سه سطح کرنش را می توان برای نمونه SW-RBS مشاهده کرد. اولین دسته نشان دهنده کرنش بال تیر در مرکز ناحیه کاهش یافته می باشد که دارای سطح بالایی از کرنش می باشد. این قسمت تقریباً مشابه ناحیه مرکز لوله در اتصال TW-RBS می باشد اما از لحاظ مقداری، میزان کرنش در TW-RBS نسبت به SW-RBS بیشتر است. سطح دیگر کرنش مربوط به اطراف ناحیه کاهش یافته می باشد که نسبت به ناحیه اطراف لوله در اتصال TW-RBS دارای سطح کمتری می باشد. رفتار این قسمت نیز مشابه رفتار ناحیه اطراف لوله در اتصال TW-RBS می باشد. سطح سوم مربوط به نقاط روی لوله می باشد که دارای سطح پایین تر کرنش می باشد و این موضوع با توجه به رفتار آکاردئونی سطح ناحیه کاهش یافته جان قابل توجیه می باشد.



شکل ۱۰: منحنی کرنش نرمال شده در کرنش سنج های مختلف برای نمونه های SW-RBS و TW-RBS.

در شکل (۱۱) برای درک رفتار بال در ناحیه کاهش یافته و مقایسه آن با نقاط نزدیک تر و دورتر از بر ستون، نمودار همسان سازی شده کرنش (ϵ/ϵ_y) در فاصله ۵ سانتی متری (near column face)، ۲۶ سانتی متری (وسط مرکز ناحیه کاهش یافته کمانی شکل) و ۴۴ سانتی متری (بعد از ناحیه کاهش یافته کمانی شکل) برای دریافت طبقه ۴ درصد نشان داده شده است. برای مقایسه نمودار مذکور برای SW-RBS، نمودار همسان سازی شده کرنش (ϵ/ϵ_y) برای TW-RBS نیز نشان داده شده است. برای نمودار TW-RBS نمودار کرنش در فاصله ۷ سانتی متری (حد فاصل بر ستون تا لوله) و ۲۴ سانتی متری (وسط لوله)، رسم شده است. با مقایسه دو نمودار شکل (۱۱) می توان دریافت که مقدار کرنش در اتصال SW-RBS حدود بیش از ۳۵ درصد کمتر از اتصال TW-RBS می باشد.



شکل ۱۱: منحنی کرنش در عرض تیر در فواصل مختلف از بر ستون در دریافت ۴ درصد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله نوع جدیدی از اتصال RBS به نام SW-RBS پیشنهاد شده است. در این اتصال جان صاف تیر با دو قطعه کمانی شکل جایگزین شده است و به این طریق مفصل پلاستیک به مکان دلخواه که همان محل قرارگیری کمان ها هستند، انتقال داده می شود. با این کار مفصل پلاستیک از بر ستون به فاصله دورتری انتقال داده شده است. جهت بررسی این نوع اتصال مطالعات آزمایشگاهی و عددی صورت گرفته و نتایج حاصل با نتایج کارهای قبلی از جمله [] TW-RBS مقایسه شده است. در زیر برخی نتایج حاصل از کارهای آزمایشگاهی صورت گرفته، ارائه شده است:

۱- اتصال SW-RBS می تواند شکل پذیری بیشتر از ۷ درصد دریافت طبقه بدون افت مقاومت بیش از ۲۰ درصد را تجربه کند. بنابراین طبق آیین نامه FEMA [7] و AISC [17] در دسته اتصالات صلب قرار گرفته می شود.

۲- با توجه به اینکه جان آکاردئونی از کمان هایی از دایره تشکیل شده است میزان خستگی کم چرخه ناشی از تمرکز تنش نسبت به اتصال با جان آکاردئونی لوله ای و نبشی تا حدود زیادی در این اتصال کاهش یافته است و عملا در اتصال پیشنهادی هیچ گونه شکستگی و ترکی در محل اتصال لوله با بال تیر و جان تیر رخ نداده است.

۳- به لحاظ اجرای این اتصال با توجه به اینکه کمان ها بر روی جان صاف قرار می گیرند عملا امکان اجرای آن به راحتی و با سرعت بیشتری امکان پذیر می باشد و سختی قرار دادن لوله یا نبشی را در جان تیر ندارد.

۴- با توجه به افزایش طول مفصل پلاستیک در اتصال پیشنهادی SW-RBS، میزان تغییرمکان محوری نسبت به اتصال TW-RBS کاهش می یابد. بنابراین شرایط اتصال تیر به ستون وضعیت بهتری نسبت به اتصال TW-RBS خواهد داشت.

۵- با توجه به کاهش میزان تمرکز تنش در ناحیه جان آکاردئونی، میزان تقاضا در اتصال تیر به ستون نسبت به سایر نقاط حدود بیش از ۳۵ درصد کاهش یافته است که نشان دهنده رفتار لرزه ای بهتر اتصال پیشنهادی SW-RBS نسبت به اتصال TW-RBS می باشد.

مراجع

- [1] Federal Emergency Management Agency, 2000b FEMA-355D., *State of the art report on connection performance*. Washington, D.C., USA.
- [2] Naeim, F. (2001). *The Seismic Design Handbook*. 2nd Ed. Kluwer Academic Publishers.
- [3] Roeder, C.W. (2002). Connection performance for seismic design of steel moment frames. *Struct. Eng*, 128(4), 517-525.
- [4] Ricles, J.M. (2004). *Development of seismic guidelines for deep column steel moment connections*. ATLSS Report, No 04-13.
- [5] Lee, C.H. Jeon, S.W. Kim, J.H. Uang, Ricles C.M. (2005). Effect of panel zone strength and beam web connection on seismic performance of reduced beam section steel moment connection. *Struct. Eng*, 131(12), 1854-1865.
- [6] Pachoumis, D.T., Galoussis, E.G. and Kalfas, C.N. Efthimiou, I.Z. (2010). Cyclic performance of steel moment-resisting connections with reduced beam sections-experimental analysis and finite element model simulation. *Eng. Struct*, 32(9), 2683- 2692.
- [7] FEMA-350 (2000a). *Seismic design criteria for new moment resisting steel frame construction*. Washington.
- [8] Yang, Q. and Yang, N. (2009). Seismic behaviors of steel moment resisting frames with opening in beam web. *Constr. Steel Res*, 65(6), 1323-1336.
- [9] Rao, D.P. and Kumar, S.S. (2006). RHS beam-to-column connection with web opening-parametric study and design guidelines. *Constr. Steel Res*, 62(8), 747-756.
- [10] Tsavdaridis, K.D. and D'Mello, C. (2012). Optimisation of novel elliptically-based web opening shapes of perforated steel beams. *Constr. Steel Res*, 76, 39-53.
- [11] Wilkinson, S., Hurdman, G., Crouther, A. (2006). A moment resisting connection for earthquake resisting structure. *Constr. Steel Res*, 62, 295-302.
- [12] Morrison, M., Schweizer, D. and Hassan, T. (2015). An innovative seismic performance enhancement technique for steel building moment resisting connections. *Constr. Steel Res*, 109, 34-46.
- [13] Ataollahi, S., Banan, M.R. and Banan, M.R. (2016). Numerical cyclic behavior of T-RBS: A new steel moment connection. *Int. J. Steel. Compos. Struct*, 21(6), 1251-1264.

- [14] Mirghaderi, S.R., Torabian, S. and Imanpour, A. (2010). Seismic performance of the accordionweb RBS connection. *Constr. Steel Res*, 66 , 277–288.
- [15] Zahrai, S.M., Mirghaderi, S.R. and Saleh, A. (2017). Tubular Web Reduced Beam Section (TW-RBS) connection, a numerical and experimental study and result comparison. *Steel. Compos. Struct*, 23(5), 421-433.
- [16] Saleh, A. Zahrai, S.M. and Mirghaderi, S.R. (2016). Experimental study on innovative tubular web RBS connections in steel MRFs with typical shallow beams. *Struct. Eng. Mech*, 57(5), 785-808.
- [17] American Institute of Steel Construction (AISC) (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago.
- [18] Zahrai, S.M. Mirghaderi, S.R. and Saleh, A. (2017). Increasing plastic hinge length using two pipes in a proposed web reduced beam section, an experimental and numerical study. *Steel. Compos. Struct*, 23(4), 421-433.
- [19] Saleh, A. Mirghaderi, S.R. and Zahrai, S.M. (2016). Cyclic testing of tubular web RBS connections in deep beams, *Constr. Steel Res*, 117, 214-226.
- [20] Imanpour, A. Torabian, S. and Mirghaderi, S.R. (2019). Seismic design of the double-cell accordion-web reduced beam section connection. *Eng. Struct*, 191(1), 23–38.
- [21] Eldib, M.E. (2004). Buckling analysis of beams with corrugated webs. *Proceeding of 5th International Conference on Civil and Architecture Engineering (ICCAE Conf)*, Singapore.
- [22] Eldib, M.E. (2009). Shear buckling strength and design of curved corrugated steel webs for ridges. *Constr. Steel. Res*, 65, 2129–2139.