



بررسی آزمایشگاهی بهبود رفتار لرزه‌ای پیوندهای ساخته شده از مقطع لانه زنبوری در قاب با مهاربندی برون محور

علیرضا رضائیان^۱، امین جاهدی دلیوند^۲
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱)

چکیده

عدم وجود آیین‌نامه طرح لرزه‌ای سازه‌های فولادی در دهه هفتاد در ایران، منجر به کاربرد گسترده تیرهای لانه‌زنبوری در قاب‌های مهاربندی شده‌ی واگرا، به عنوان پیوند گردید. این موضوع، ضرورت بررسی رفتار لرزه‌ای این گونه قاب‌ها را برای بهسازی لرزه‌ای آنها ایجاب می‌نماید. تیر پیوند، به عنوان محل تشکیل مفصل پلاستیک در EBFها، نقش اصلی را در استهلاک انرژی ورودی زلزله و رفتار لرزه‌ای این قاب‌ها دارد. وجود سوراخ‌های جان در پیوندهای لانه‌زنبوری، ظرفیت استهلاک انرژی قاب مهاربندی شده‌ی واگرا را به دلیل عدم گسترش مفصل پلاستیک در جان و احتمال بروز مدهای شکست ترد، کاهش می‌دهد. در این مطالعه آزمایشگاهی، ۴ نمونه پیوند، شامل پیوند بدون سخت‌کننده، پیوند با سخت‌کننده پیشنهادی AISC2010 و دو نمونه پیوند با جزئیات پیشنهادی، با سخت‌کننده‌های طولی و مورب، تحت بارگذاری رفت و برگشتی شبه استاتیکی بررسی گردید. نتایج حاکی از رفتار غیرشکل‌پذیر و دارای زوال مقاومت و سختی پیوندهای معمول (دو نمونه اول) و ارتقاء پارامترهای لرزه‌ای جزئیات پیشنهادی بود.

کلمات کلیدی

تیر لانه زنبوری، مهاربند واگرا (EBF)، بارگذاری رفت و برگشتی

The experimental study of seismic behavior promotion of link beams constructed by castellated section in EBFs

A. REZAEIAN, A. JAHEDI

ABSTRACT

Lack of instruction and standards for seismic design of steel structures in 1370 (solar calendar) in IRAN, resulted to extensive use of castellated beams in eccentrically braced frames as a link. According to aforementioned issue the study of seismic behavior of such frames have been necessitated. Link beam, as the place for plastic hinge creation in EBFs, has the main role to damp the seismic energy and quality of seismic behavior of these frames. Due to web openings in castellated link beams, and to lack of extending plastic hinge in web and possibility of brittle fracture modes creation, the capacity of energy damping of EBFs decreases. In this experimental study, 4 link beam are built as samples, which one of them has no stiffener, another one has the recommended stiffener by AISC2010, and the last two samples have recommended details with longitudinal and diagonal stiffeners. Semi-statics cyclic loading apply to all the samples results have shown two ordinary link beams have non-ductile behavior, strength and rigidity reduction, and the two recommended details by authors have shown promoted seismic parameters

KEYWORDS

castellated section, Eccentrically braced frame, Cyclic loading

- ۱- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، alireza.rezaeian@kiauo.ac.ir
- ۲- مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد صفادشت، aminjahedi@yahoo.com (نویسنده مسئول)

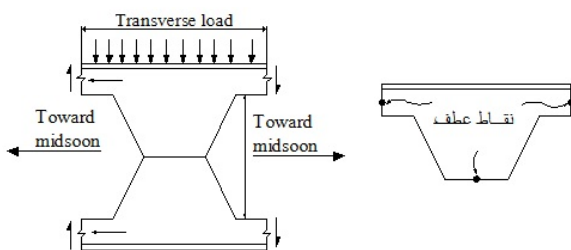




شکل (۱): استفاده از مقاطع لانه زنبوری در سازه های با مهاربندی برون محور ساخته شده و در حال ساخت [۹]

۲- مروری بر تحقیقات گذشته

در سال ۱۹۹۵ بالسامو محمودیان طی مطالعات خود اعلام کرد تحت بارگذاری های مختلف در مقطعی از تیر لانه زنبوری، نیروی برشی (V) و ممان خمشی (M) به وجود می آید. فرض می شود نیروی برشی در مقطع بازشوها به طور مساوی در مقطع T شکل بالا و پایین توزیع می گردد (شکل (۲)).



شکل (۲): توزیع نیروی برشی در مقطع بازشوها [۱۰]

وجود نیروی برشی معادل ($V/2$) در مقطع T شکل باعث بوجود آوردن تنش های ثانویه ای علاوه بر تنش های خمشی در اثر لنگر کلی مقطع (M)، در انتهای مقطع (T) می شود [۱۰].

نیروی برشی در محل تار خشی در مقطع T شکل موجب تنش های فشاری و کششی در دو سمت بازشو می شود. با بررسی مسئله پایداری مقطع T شکل به علت وجود نیروی فشاری و کششی احتمال وقوع کمانش جانبی-پیچشی مقطع وجود داشته که می تواند پایداری مقطع را بر هم زند [۱۰].

سیستم سازه ای با مهاربندی برون محور (EBF) در دهه هفتاد میلادی با ترکیب خصوصیات قاب های خمشی و مهاربندهای هم مرکز بوجود آمدند. مطالعات گسترده ای که توسط کاسایی و پوپوف، در مورد قاب های مهاربندی شده ای برون محور صورت گرفت، بیانگر آن است که این قاب ها، شکل پذیری و سختی قابل توجهی دارند [۱]. لازم به ذکر است تمام این مطالعات برای تیرهای I شکل با جان پر بوده است.

نکته قابل توجه در مهاربندهای واگرا طول پیوند می باشد، هرچه طول پیوند کوتاه تر باشد اثر نیروی برشی نسبت به لنگر خمشی بیشتر شده و اصطلاحاً بیان می گردد که رفتار قاب، برشی است و مفصل پلاستیک در جان تیرهای I شکل گسترش پیدا می کند در حقیقت جان در معرض کرنش های بزرگ قرار می گیرد. در طول بلند پیوند، اثر لنگر خمشی بیشتر شده و مفصل های پلاستیک در دو انتهای پیوند تشکیل می گردند و رفتار قاب، خمشی نامیده می شود [۲-۴].

از مزایای تیر لانه زنبوری می توان به ظاهر زیبا، امکان استفاده از فضای بازشوها موجود در جان و نیز صرفه جویی اقتصادی به لحاظ سبک بودن پروفیل اشاره کرد [۵]. وجود بازشو در جان پیوندهای با رفتار برشی، مانع از بوجود آمدن کرنش های بزرگ و یکنواخت شده، به علاوه در گوشه های بازشوها نیز وجود تمرکز تنش باعث افزایش احتمال گسیختگی می شود. این موضوع در بسیاری از آئین نامه های طرح لرزه ای مانند UBC97، AISC2010 مطرح شده است [۶-۸].

با این حال در سال های گذشته در ایران، استفاده از مقاطع لانه زنبوری به عنوان پیوند در این قاب ها بسیار مرسوم بوده است. در شکل (۱) نمونه ای از سازه های ساخته شده و در حال ساخت با پیوند لانه زنبوری مشاهده می گردد. در نتیجه، لزوم بررسی رفتار لرزه ای مقاطع لانه زنبوری به عنوان پیوند در قاب های مهاربندی شده واگرا و پیشنهاد جزئیاتی که سبب ارتقاء پارامترهای لرزه ای در این قاب ها شود، لازم می باشد.



کمانش جان یکی از حالات گوناگون حدی تیر لانه زنبوری می‌باشد که توسط Malek و همکارانش مشاهده شده است [۱۱].

در جان تیرهای با بازسوی بزرگ که نسبت برش به لنگر در آنها زیاد می‌باشد، مکانیسم ویرندلی مستعد رخ دادن می‌باشد. در واقع مکانیسم ویرندلی ناشی از تشکیل چهار مفصل پلاستیک در بالا و پایین مقطع T شکل که خود ناشی از ترکیب لنگر کلی و لنگر ویرندلی می‌باشد، است. لنگر ویرندلی یا لنگر ثانویه، ناشی از انتقال نیروهای برشی سرتاسر بازشو می‌باشد. در تیرهای لانه زنبوری با بازشویهای شش ضلعی مفصل پلاستیک در گوشه‌های شش ضلعی تشکیل می‌شوند.

در جان با ارتفاع میانی خیلی کوتاه نیز ناحیه جوش ممکن است وقتی تنش‌های برشی افقی بیشتر از تنش تسلیم شود دچار گسیختگی نا به هنگام شود [۱۲].

همچنین تنش‌های فشاری رخ داده در انتهای خمیده بازشو سبب ایجاد کمانش در اثر برش می‌شود. این نوع گسیختگی در بسیاری از تیرهای لانه زنبوری کامپوزیت و غیر کامپوزیت گزارش شده است [۱۳-۱۴].

بطور کلی وقتی بازشوها کوتاه هستند، طول بحرانی بازشوها محدود و کوتاه بوده و بنابراین ظرفیت ویرندلی بالا است [۱۵].

Malek و همکارانش رفتار قاب‌های مهاربندی شده متشکل از مهاربندی واگرا و تیر پیوند لانه زنبوری را مورد بررسی قرار دادند و اعلام داشتند با تقویت موضعی در محل اتصال اعضای مهاری و همچنین استفاده از ورق‌های پرکننده سوراخ‌های تیر لانه زنبوری برای تبدیل جان دارای سوراخ به جان تو پر با ورق‌های تقویت عرضی جان مطابق ملزومات طراحی پیوندهای برشی، می‌تواند ظرفیت باربری و شکل پذیری سیستم را در مقابل بارجانبی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد [۱۶]. که این روش با توجه به سختی اجرا و نیاز به دقت بالا در تهیه ورق‌های پرکننده بازشوها و طرح تقویتی غیر متعارف برای تکنسین‌های اجرایی چندان کاربردی به نظر نمی‌رسد.

ثنایی و همکارانش به بررسی راهکارهای مقاوم سازی سازه‌های فولادی با سیستم مهاربندی واگرا پرداختند. طبق نتایج بدست آمده یکی از بهترین گزینه‌ها برای بهبود رفتار لرزه‌ای سیستم‌های واگرا با پیوند لانه زنبوری، تعویض آنها با تیرهای مناسب با جان پر می‌باشد [۱۷]. این روش به لحاظ اجرایی پر هزینه بوده و می‌توان گفت عملی نمی‌باشد.

در همین راستا با توجه به نیروی برشی بسیار زیادی که در پیوندهای کوتاه ایجاد می‌شود و وجود تنش‌های ثانویه، به طور واضح استفاده از مقاطع لانه زنبوری را به عنوان پیوند مرود می‌نماید.

۳- هدف و شیوه تحقیق

پایه اصلی این تحقیق مطالعات آزمایشگاهی می‌باشد، اما برای تعیین پروتکل بارگذاری از تحلیل‌های عددی نیز استفاده شده است.

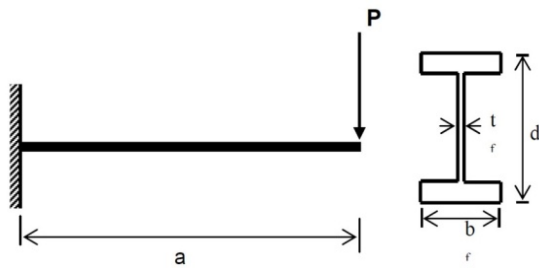
بر مبنای مطالعات انجام شده، جزئیاتی برای بهبود رفتار لرزه‌ای و افزایش سختی الاستیک پیشنهاد شده است. هدف اصلی این تحقیق در ارتباط با پیوندهای ساخته شده از مقاطع لانه زنبوری دست یابی به موارد زیر می‌باشند:

- توسعه و بهبود درک مکانیزم تسلیم و کنترل خرابی در پیوندهای افقی معمول و با جزئیات پیشنهاد شده.
- جمع آوری داده‌های آزمایشگاهی و مقاومت نهایی پیوندهای افقی معمول و با جزئیات پیشنهاد شده.
- بررسی اثر جزئیات پیشنهادی در مقاومت و شکل پذیری پیوند افقی.

۴- جزئیات پیشنهادی

در شکل (۳) جزئیات پیشنهادی در ارتباط با بهبود رفتار پیوندهای افقی به اشتباه ساخته شده از مقطع لانه زنبوری بصورت سخت کننده‌های طولی یکطرفه و سخت کننده‌های مورب دو طرفه نمایش داده شده است. در این جزئیات سخت کننده‌های بکار رفته که نقش تقویت برشی

جان و تغییر مکانیزم باربری پیوند را به عهده دارند، به جان پروفیل زنبوری جوش می‌شوند.

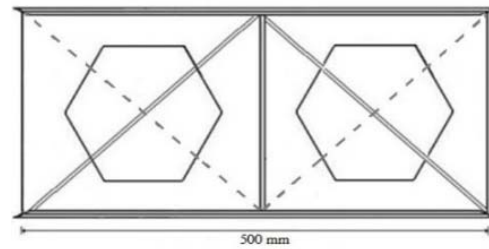


شکل (۵): تیر طره بارگذاری شده در انتها و سطح مقطع آن [۱۸]

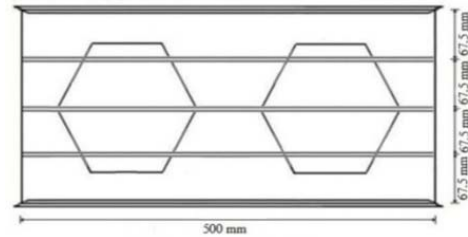
بنابراین با توجه به اینکه در قاب‌های مهاربندی شده واگرا با پیوند افقی، تمام برش طبقه توسط پیوند تحمل می‌گردد و دیگر اعضا باید در ناحیه خطی (ارتجاعی) باقی بمانند، در نتیجه رفتار غیر خطی این قاب‌ها به بررسی رفتار پیوند خلاصه می‌گردد. لازم به ذکر است در صورتی این فرض صحت کامل دارد که پایداری کل قاب تامین شده باشد، مطالعات عددی و آزمایشگاهی در موارد مشابه پایداری کلی قاب را به اثبات رسانده اند [۱۹]. به همین علت می‌توان در آزمایشگاه شرایط مرزی مشابه با شرایط پیوند افقی در قاب ایجاد و پیوندها، خارج از قاب مورد آزمایش قرار گیرند.

از سویی دیگر طراحی نمونه‌ها باید با توجه به محدودیت‌های موجود در آزمایشگاه و ساخت آنها انجام می‌گرفت. با توجه به آنکه پروفیل متداول در ایران از نوع CPE 180 می‌باشد از این پروفیل برای ساخت نمونه‌ها استفاده گردید، همچنین با توجه به اینکه پیوند مورد بررسی از نوع برشی می‌باشد طول پیوند برابر با ۵۰ میلی‌متر انتخاب شد. در نهایت پیکربندی در نظر گرفته شده برای آزمایشات همانند شکل (۶) در نظر گرفته شد.

به منظور جلوگیری از کمانش موضعی و انتقال نیرو از دو عدد ورق به ابعاد $۷۵۰ \times ۳۵۰ \times ۲۵$ میلی‌متر در بالا و پائین نمونه‌ها استفاده شد.



CL3-D.S



CL4-L.S

شکل (۳): جزئیات پیوندهای تقویت شده‌ی پیشنهادی

۵- پیکربندی آزمایش

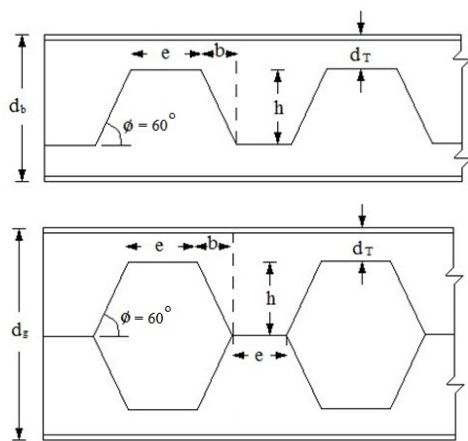
همانطور که عنوان شد، پیوندها با توجه به طولشان به دو دسته رفتاری خمشی و برشی تقسیم می‌شوند. پیوند برشی، به صورت تیر کوتاهی که تحت اثر نیروهای برشی یکنواخت در طول و با دو لنگر انتهایی که فرض می‌شود با هم مساوی هستند، می‌باشد. تغییر شکل ایجاد شده پس از تسلیم پیوند در برش، می‌تواند خمشی و یا ترکیبی از هر دوی آنها باشد (شکل (۴) [۱۸]).



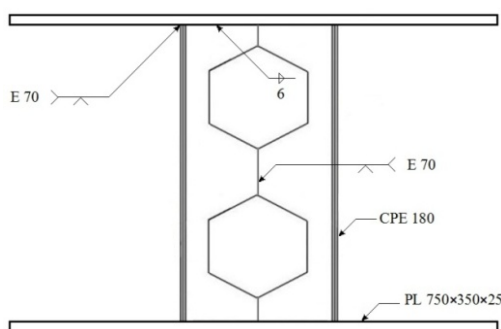
شکل (۴): نمایش نیروهای ایجاد شده در اجزاء پیوند [۱۸]

پیوند برشی در ساده‌ترین شکل خود، به عنوان تیر طره‌ای که در انتهای خود بارگذاری شده است شرح داده می‌شود. این عملکرد در شکل (۵) نشان داده شده است. رفتار پیوند در سیستم‌های EBF، در طول مکانیزم خود با همان مفهوم شرح داده می‌شود که در دهانه‌ی برشی ساده است.





شکل (۷): مسیر برش تیر لانه زنبوری از پروفیل IPE180



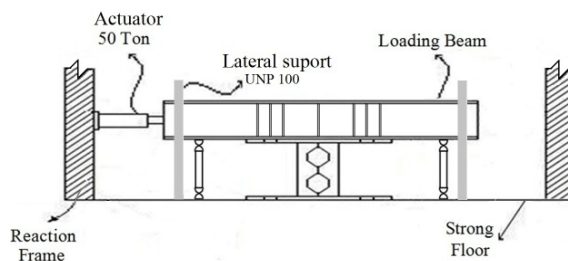
شکل (۸): مشخصات جوش بکار رفته در ساخت نمونه‌ها

۷- مشخصات مصالح

نتایج تست کشش مقاومت تسلیم جان و مقاومت تسلیم بال را به ترتیب ۴۶۸ مگاپاسکال برابر ۳۴۰ مگاپاسکال نشان داده است.

۸- ابزار بندی نمونه‌ها

برای ثبت اطلاعات حاصل از آزمایش‌ها نیروسنج، تغییر مکان سنج (LVDT) و کرنش سنج استفاده گردید. کرنش سنج‌های بکار رفته از نوع خطی که بر روی بال نمونه و غیر خطی (Roset) که بر روی جان پیوند نصب شده‌اند، می‌باشند. در شکل (۹) کرنش سنج‌های نصب شده بر روی نمونه شماره ۱ نمایش داده شده است. از چندین LVDT در مکان‌های مختلف برای ثبت تغییر مکان نمونه استفاده گردید، در شکل (۱۰) آرایش LVDTها و در جدول (۲) علت نصب آنها آمده است.



شکل (۶): پیکربندی نمونه‌ها جهت آزمایش

۶- نحوه ساخت و معرفی نمونه‌های آزمایش شده





تیر زنبوری ساخته شده از پروفیل IPE180 دارای الگوی برشی مشابه شکل (۷) می‌باشد. جوش‌های بکار رفته در ساخت نمونه‌ها در شکل (۸) نشان داده شده است. نمونه‌های آزمایشی در این تحقیق چهار دسته به شرح زیر می‌باشند:

۱- $CL1-N.S$: پیوند برشی ساخته شده از CPE180 به طول ۵۰۰ میلیمتر و بدون استفاده از هر گونه سخت کننده.
 ۲- $CL2-W.S$: پیوند برشی ساخته شده از CPE180 به طول ۵۰۰ میلیمتر و تقویت شده توسط سخت کننده‌های توصیه شده بر اساس معیارهای AISC2010 به ابعاد $254 \times 42 \times 8$ میلیمتر و به فواصل یکسان و برابر ۱۰۰ میلیمتر.

۳- $CL3-D.S$: پیوند برشی ساخته شده از CPE180 به طول ۵۰۰ میلیمتر و تقویت شده توسط سخت کننده‌های مورب در دو جهت مخالف در دو سمت جان به ابعاد $356 \times 42 \times 8$ میلیمتر به همراه سخت کننده عرضی در دو سمت وسط پیوند.

۴- $CL4-L.S$: پیوند برشی ساخته شده از CPE180 به طول ۵۰۰ میلیمتر و تقویت شده توسط سخت کننده‌های طولی در یک جهت جان به ابعاد $500 \times 42 \times 8$ میلیمتر. در جدول (۱) مشخصات نمونه‌ها آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی

ردیف	نوع مقطع	طول (mm)	نوع سخت کننده	شکل سخت کننده	نام مدل
۱	CPE180	۵۰۰	---		CL1-N.S
۲	CPE180	۵۰۰	عرضی		CL2-W.S
۳	CPE180	۵۰۰	مورب		CL3-D.S
۴	CPE180	۵۰۰	طولی		CL4-L.S

۹- پروتکل بارگذاری

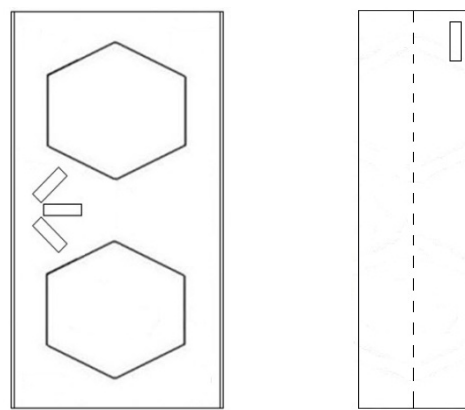
در این تحقیق از دستور العمل ATC24 برای تعیین تاریخچه بارگذاری استفاده شده است.

برای تعیین پروتکل بارگذاری امکان استفاده از AISC2010 نیز وجود داشت، اما این پروتکل برای اتصالات در EBFها ارائه شده است نه رفتار کلی قاب و از سوی EBFهای

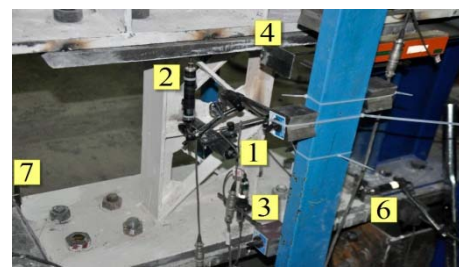
جدول (۲): دلیل قرارگیری محل تغییر مکان سنج‌ها

شماره تغییر مکان سنج	دلیل قرار گیری
۱ شماره LVDT	تغییر مکان وسط پانل برشی
۲ شماره LVDT	تعیین میزان بلند شدگی ورق صلب بالایی
۳ شماره LVDT	تعیین میزان بلند شدگی ورق صلب پائینی
۴ شماره LVDT	تعیین تغییر مکان افقی
۵ شماره LVDT	تعیین تغییر مکان افقی
۶ شماره LVDT	تعیین لغزش پای نمونه
۷ شماره LVDT	تعیین لغزش پای نمونه
۸ شماره LVDT	تعیین میزان بلند شدگی تیر ورق
۹ شماره LVDT	تعیین میزان بلند شدگی تیر ورق
۱۰ شماره LVDT	تعیین میزان حرکت خارج از صفحه تیر ورق

ساخته شده از مقاطع لانه زنبوری برخلاف ضوابط آیین نامه بوده و حالت کلی دارد، ضمن آنکه در توضیحات آیین نامه فوق الذکر استفاده از ATC24 مجاز دانسته شده است [۲۰-۲۲]. طبق دستور العمل ATC24 تا

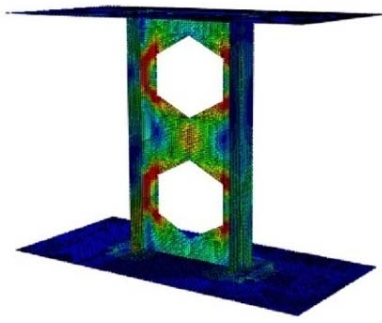


شکل (۹): نمایش محل کرنش سنج‌های نصب شده بر روی بال و جان



شکل (۱۰): نمایش برخی از تغییر مکان سنج‌های نصب شده بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی





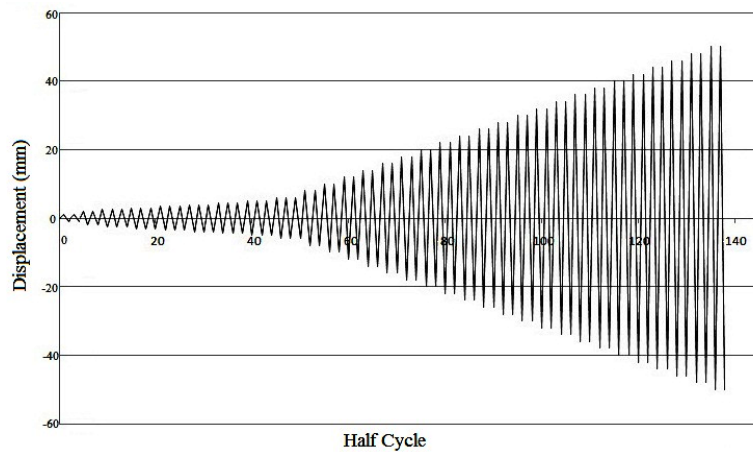
شکل (۱۱): مدل اجزاء محدود

در شکل شماره (۱۲) تابع بارگذاری استفاده شده برای تمام آزمایش‌ها به نمایش در آمده است.

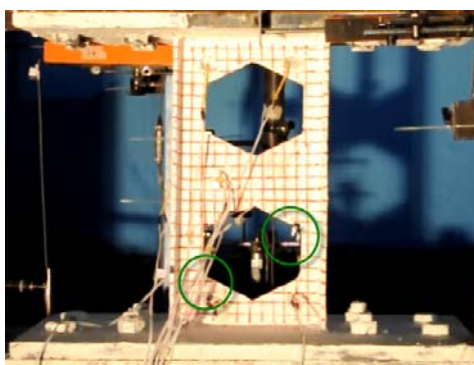
نقطه تسلیم نمونه، بارگذاری بوسیله‌ی کنترل نیرو و پس از آن به وسیله‌ی کنترل تغییر مکان انجام می‌گیرد.

برای تعیین نقطه تسلیم شدن نمونه‌ها از منحنی‌های ظرفیت که از یک آنالیز غیر خطی تحت بار یک طرفه افزایشی که توسط نرم افزار ABAQUS بدست آمده بود به عنوان راهنما و از اعداد قرائت شده از کرنش سنج‌های نصب شده بر روی جان پیوند در هنگام آزمایش برای تعیین میزان و نحوه بارگذاری استفاده گردید (شکل (۱۱)).

اولین آزمایش بر روی نمونه اول (CLI-N.S) انجام شد و بر اساس نتایج حاصله از آن پروتکل بارگذاری تعیین شد که به منظور کسب مقایسه‌ای بهتر از همین پروتکل در سایر نمونه‌ها نیز استفاده گردد.



شکل (۱۲): پروتکل بارگذاری بکار رفته در آزمایش



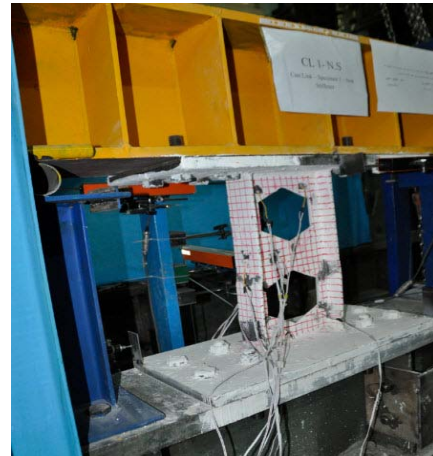
شکل (۱۳): محل شروع گسیختگی در اطراف حفره لانه زنبوری در سیکل هشتم

۱۰- مشاهدات آزمایش

CLI-N.S: همانطور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، در تغییر مکان ۱۰ میلیمتر تنش در اطراف حفره‌ی لانه زنبوری به بیشترین حد خود رسید و به دلیل تمرکز تنش در گوشه‌ها سبب گسیختگی و پارگی شد و سبب زوال و افت مقاومت و سختی گردید (شکل (۱۳) و (۱۴)).

پس از مشاهده نتایج مشخص شد در سیکل بیست و دوم تنش در امتداد گوشه‌های حفره لانه زنبوری در محل

اتصال بال به جان تنش به بیشترین حد خود رسید و سبب گسیختگی و جدا شدن بال از جان در این ناحیه (امتداد پارگی چهار گوشه حفره) گردید.

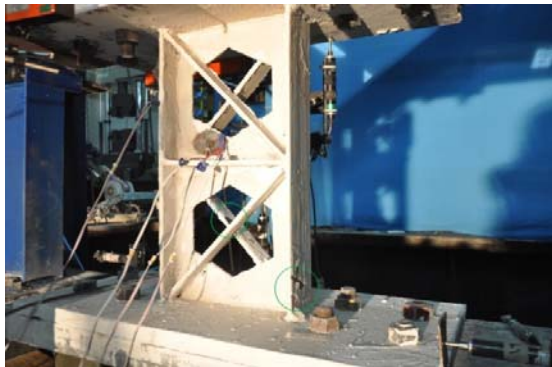


شکل (۱۴): نمایش گسیختگی نمونه شماره یک

بال در محل اتصال به صفحه صلب و وسط سخت کننده مورب شروع به تسلیم کرد.

در واقع سخت کننده‌های مورب سبب افزایش ظرفیت خمشی و توانایی پیوند برشی در برابر نیروهای جانبی را فراهم می‌نماید. کماتش در سخت کننده مورب پیش از فروپاشی نمونه ایجاد می‌شود.

در شکل (۱۶) اولین محل‌های شروع تسلیم در نمونه شماره ۳ به نمایش در آمده است.



شکل (۱۶): نمایش محل‌های شروع تسلیم در نمونه شماره ۳ (CL3-D.S)

همچنین بطور همزمان در بال مقابل نیز در همان ناحیه‌ی اتصال، تسلیم مشاهده شد.

همانطور که به آن اشاره شد در تغییر مکان ۲۰ میلیمتر تنش در اطراف حفره‌های زنبوری به حداکثر مقدار خود رسید، و پس از کماتش سخت کننده‌های مورب در گوشه‌های حفره لانه زنبوری گسیختگی و پارگی رخ داد (شکل (۱۷)).



شکل (۱۷): نمایش نحوه تغییر شکل نمونه شماره ۳ (CL3-D.S)

CL2-W.S: در نمونه‌ی شماره ۲ که توسط سخت کننده‌های عرضی تقویت شده بود نیز در تغییر مکان ۱/۷ میلیمتر اطراف بال در محل اتصال به صفحه صلب، تسلیم به صورت موضعی شروع شد، در شکل (۱۵) منطقه‌ای که اولین تسلیم (ریزش آهک) جان در آن رخ داد به نمایش در آمده است.



شکل (۱۵): نمایش اولین گسیختگی جان نمونه شماره دو (CL2-W.S)

سخت کننده‌های عرضی سبب توزیع یکنواخت‌تر تنش در جان نسبت به نمونه اول شده است.

CL3-D.S: در نمونه‌ی شماره ۳ که توسط سخت کننده‌های مورب تقویت شده بود نیز در تغییر مکان ۹ میلیمتر اطراف

۱۱- نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش بیانگر این مطلب می‌باشد که سخت کننده‌های پیشنهادی AISC تاثیر قابل توجهی در مقاومت برشی نداشتند.

تفاوت رفتاری نمونه CL1-N.S و CL2-W.S بسیار ناچیز بود و این دو نمونه شکل پذیری و مقاومت کمتری نسبت به دو نمونه دیگر داشتند. نتایج حاکی از رفتار غیرشکل‌پذیر و دارای زوال مقاومت و سختی پیوندهای معمول (دو نمونه اول) و ارتقاء پارامترهای لرزه‌ای جزئیات پیشنهادی بود.

بطور کلی در تیرهای لانه زنبوری سختی کاهش یافته، توزیع نامتناسب تنش و خصوصاً تمرکز تنش در کنج‌ها پیش از آنکه ظرفیت خمیری مقطع بسیج شود، زوال باربری و ناپایداری در رفتار غیر خطی را بوجود خواهند آورد. حتی در صورتی که با به کارگیری اجزاء سخت کننده از وقوع کماتش جلوگیری شود، در تیر پیوند کوتاه با تضعیف جان و گسیختگی در کنج‌ها امکان تشکیل مفصل برشی از میان می‌رود. از سویی دیگر با افزایش سختی تیر در ناحیه پیوند نیز با آسیب دیدگی بخش‌های کناری نمی‌توان به عملکرد شکل پذیری مناسب دست یافت. به علاوه رفتار پس تسلیم آنها طی تناوب رفت و برگشتی پایدار نخواهد ماند. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی، می‌توان گفت تقویت و یا گرد کردن کنج‌ها و از بین بردن تمرکز تنش در این نقاط و نیز استفاده از سخت کننده‌های جان، می‌تواند رفتار شکل‌پذیر را در این نوع پیوند تا حدودی بهبود ببخشد.

۵- مراجع

[1] Kasai, K. and Popov, E.P. (1986), "General Behavior of WF Steel Shear Links Beam", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 112, No. 2, pp. 362-382.

[2] Roeder, C.W. Popov, E.P. (1977), "Inelastic Behavior of Eccentrically Braced Steel Frames under Cyclic Loading", Report No. 77/18, Earthq Eng Res Center, University of California, Berkeley.

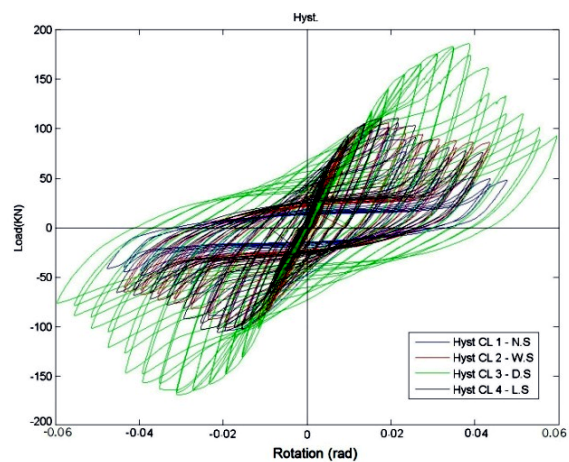
[3] Roeder, C.W. and Popov, E.P. (1978), "Eccentrically braced steel frames for earthquakes", Journal of the Structural Engineering Division, ASCE, Vol. 104, No. 3, pp. 391-412.

CL4-L.S: در نمونه‌ی شماره ۴ که توسط سخت کننده‌های طولی تقویت شده بود نیز در تغییر مکان ۸ میلیمتر اطراف بال و سخت کننده‌های طولی در نزدیک محل اتصال به صفحه صلب شروع به تسلیم کرد. در شکل (۱۸) محل‌های شروع تسلیم و گسیختگی در نمونه‌ی شماره چهار به نمایش در آمده است.



شکل (۱۸): نمایش توزیع تنش در گوشه‌های چشمه‌های لانه زنبوری در نمونه شماره ۴ (CL4-L.S)

در شکل (۱۹) مقایسه منحنی‌های هیستریزس نمونه‌های آزمایش شده به نمایش در آمده است.



شکل (۱۹): مقایسه‌ی نموداری نمونه‌های اول، دوم، سوم و چهارم

[۱۷] نیکنام، ا.، ثنایی، ا. و شیخ الاسلامی، م.ا. (۱۳۸۳)، "بررسی راهکارهای مقاوم سازی سازه‌های فولادی با سیستم بادبندی واگرا"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران.

[18] Yurisman, Budiono, B., Mustopo, M. and Suarjana, M. (2010), "Behavior of Shear Link of WF Section with Diagonal Web Stiffener of Eccentrically Braced Frame (EBF) of Steel Structure", ITB Journal of Engineering Science, Vol. 42, No. 2, pp. 103-128.

[19] Vetr, M.G. (1998), "Seismic Behavior, Analysis and Design of Eccentrically Braced Frames with Vertical Shear Links", Ph.D Thesis, University of Technology Darmstadt W. Germany

[20] Shayanfar, M.A., Barkhordari, M.A. and Rezaeian, A.R. (2011), "Experimental Study of Cyclic Behavior of Composite Vertical Shear Link in Eccentrically Braced Frames", Steel and Composite Structures, Vol. 12, No. 1, pp. 13-29.

[21] ATC. (1992), "Guidelines for Seismic Testing of Components of Steel Structures", Applied Technology Council, Report 24.

[۲۲] شایانفر، م.، برخورداری، م.ع.، وتر، م.ق. و رضائیان، ع. (۱۳۸۸)، "بررسی بهبود رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده واگرا با پیوند قائم مرکب"، نشریه علمی پژوهشی سازه و فولاد.

[4] Roeder, C.W. and Popov, E.P. (1978), "Cyclic Shear Yielding of Wide-Flange beams", Journal of the Engineering Mechanics, Vol. 104, No. 4, pp. 763-780.

[5] Amayreh, L. and Saka, M.P. (2005), "Failure Load Prediction of Castellated Beams using Artificial Neural Networks", Asian journal of Civil Engineering (Building and housing), Vol. 6, No. 1-2, pp. 35-54.

[6] Uniform Building Code (UBC). (1997), "Uniform Building Code", International Conference of Building officials, Whittier, Calif.

[7] AISC. (2010), "Seismic Provisions of Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction.

[۸] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران، (۱۳۸۸)، "طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی"، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، چاپ دوم.

[9] Vatani Oskouei, A. and Jahedi Delivand, A. (2012), "Analytical Investigation of Retrofitting for Eccentrically Braced Frames that Made by Castellated Beam", 14th International Conference on Computing in Civil Engineering, Moscow, ISBN 978-5-93093-881-4, PP. 27-29.

[۱۰] محمودیان، ب. (۱۳۷۴)، "کمانش جانبی-پیچشی جان در تیرهای لانه زنبوری"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

[11] Maalek, Sh. and Burdekin, F.M. (1991), "Weld Quality Requirements for Castellated Beams", The Structural Engineer, Vol. 69, No 13, PP. 243-254.

[12] Soltani, M.R., Bouchair, A. and Mimoune, M. (2011), "Nonlinear FE Analysis of the Ultimate Behavior of Steel Castellated Beams", Journal of Construction Steel Research, Vol. 70, pp. 101-114.

[13] Zaarour, W. and Redwood, R.G. (1996), "Web Buckling in Thin Webbed Castellated Beams", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 8, pp. 860-866.

[14] Redwood, R.G. and Demirdjian, S. (1998), "Castellated Beam Web Buckling in Shear", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 10, pp. 1202-1207.

[15] Tsavdaridis, K. and D'Mello, C. (2011), "Web Buckling Study of the Behavior and Strength of the Perforated Steel Beams with Different Novel Web Opening Shape", Journal of Construction Steel Research, Vol. 67, No. 10, pp. 1605-1620.

[۱۶] شاهرخ، م. و تفضلی، ن. (۱۳۹۱)، "بررسی قاب‌های مهاربندی شده واگرای متشکل از تیر پیوند لانه زنبوری"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال پنجم شماره ۲، تابستان دوم، تابستان.

