

رفتار اتصالات تیر دارای جان موجدار با مقطع کاهش یافته تحت بارگذاری چرخه‌ای

کامبیز قویمی^{۱*}، محمدجواد خسروی^۲

۱- دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی عمران- مهندسی سازه، مدرس دانشگاه تابناک لامرد، لامرد، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشدسازه، دانشکده عمران، موسسه آموزش عالی تابناک لامرد، لامرد، ایران

چکیده

روش‌ها و ایده‌های متفاوتی برای کاهش تقاضا در محل اتصال تیر به ستون ارائه گردید که یک راهبرد اساسی آن تضعیف عمدی مقطع تیر متصل به ستون می‌باشد که با این روش، مفصل پلاستیک در مقطع تضعیف شده تشکیل و این کاهش موضعی باعث می‌گردد که تقاضای وارده بر روی اجزاء اتصال شامل ناحیه چشمه اتصال، ورق‌های پیوستگی و همچنین جوش‌های اتصال تیر به ستون کاهش یافته و در پی آن احتمال آسیب پذیری اجزای اتصال و جوش‌های نفوذی نیز کاهش پیدا کند. در این پژوهش به ارزیابی عددی تأثیر مشخصات مقطع کاهش یافته بال تیر بر رفتار اتصالات با جان موجدار پرداخته شده است. برای شبیه‌سازی از نرم افزار المان محدود آباکوس استفاده شده است تحلیل سازه‌های این پژوهش، در حالت بارگذاری بر اساس بارگذاری چرخه‌ای AISC، انجام شده که تغییرمکان افقی به بالای ستون اعمال شده است. بار وارد بر سیستم بصورت بار فشاری در بالای ستون به میزان ۱۷ کیلونیوتن بر متر مربع اعمال شده است. در کلیه مدل‌ها ابعاد یکسان بوده است و تنها در مشخصات مفصل پلاستیک در اتصال RBS اختلاف دارند و عمق قسمت کاهش یافته برابر ۳ سانتیمتر بوده است. بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته مشخص شده است که در تمامی مدل‌ها، ارتفاع نمودار هیستریزس در سیکل‌های متوالی نشان دهنده کاهش مقاومت است. شیب نمودار در چرخه‌های متوالی کاهش داشته است که نشان می‌دهد کاهش سختی سازه رخ داده است. سطح نمودار کاهش یافته است که نشان می‌دهد که شکل پذیری سازه کاهش داشته است و سازه پتانسیل کمتری در مستهلک سازی انرژی وارده دارد. افزایش ضخامت جان تیر، موجب افزایش خرابی شده است.

کلیدواژه: مقطع کاهش یافته، بال تیر، جان موجدار.

مقدمه

تیرهای فولادی با جان موجدار در سازه‌های ساختمانی در ابتدا در ساخت و ساز پل در ژاپن و اروپا استفاده شده است، یکی از دلایل افزایش علاقه به استفاده از اعضای فولادی با جان موجدار بهبود پایداری در برابر بارهای نامتقارن است. دلیل دیگر این است که مقاومت کمانشی برشی تیر با جان موجدار در بارگذاری‌های درون صفحه‌ای و برون صفحه‌ای بسیار بیشتر از تیرهای I شکل معمولی است. علاوه بر این، ضخامت جان به طور قابل توجهی کمتر، و تعداد سخت کننده‌های مورد استفاده در شاه تیر با جان موجدار را می‌توان به شدت کمتر و یا کلا حذف نمود، بنابراین استفاده از آن مقرون به صرفه تر است. کاربرد تیرهای با جان موجدار در پل‌ها و شاه‌تیرها بسیار اقتصادی است که نیازی به استفاده از صفحات سخت کننده در آن‌ها احساس نمی‌شود. ضمن اینکه دوام خستگی در این تیرها نسبت به تیرهای با جان مسطح بیشتر است (Elgaaly, 1997). تیرهای با سطح مقطع کاهش یافته می‌توانند تنش‌های متمرکزی را در قسمت‌های تو رفته تیر با سطح مقطع کاهش یافته ایجاد کنند (Tsai, et al., 1995). برای کاهش تنش‌های متمرکز، انگلهارت و همکاران تیر با سطح مقطع کاهش یافته شعاعی را پیشنهاد کردند که دارای عملکرد لرزه‌ای مناسبی می‌باشد. امکان کاهش سختی یک قاب خمشی فولادی با توجه به برش بال در ابتدا یک نگرانی بود (Hueste, et al., 2007). بال تیر با برش باریک شونده رفتار انعطاف پذیر رضایت بخشی را با تشکیل یک مفصل پلاستیک در بخشی از تیر به دور از بر ستون به دست می‌آورد. هدایت و همکاران در سال ۲۰۱۱ در پژوهشی به رفتار اتصالات تیر فلزی دارای حفره پرداختند. طی تحقیقاتشان نتیجه گرفتند که وجود منفذ سینوسی در جان به انتقال مفصل پلاستیک در طول تیر و افزایش شکل پذیری اتصال می‌شود (Hedayat, et al., 2011). نقی پور و ابراهیم زاده سپاسگزار در سال ۲۰۱۳ در پژوهشی به ارزیابی رفتار لرزه ای RBS و اتصالات مقاوم خمشی AW-RBS با دو تیر I پرداختند. این تحقیق رفتار لرزه ای اتصال RBS با کاهش سطح فلنج و AW-RBS جدید با بخش کاهش یافته از جان در تیرهای دوبل را بررسی کرده است. در بین اتصالات مورد مطالعه، AW-RBS با کمترین مقاومت و کاهش سختی، ۸٪ دریافت چرخشی را داشته است. (Naghypour, et al., 2013). گنو و همکاران در سال ۲۰۱۴ در تحقیقی مقاومت برشی تیرها با جان موجدار فولادی را با موج‌های دوزنقه‌ای شامل چین‌های طولی که موازی با محور طولی شاه‌تیرها و چین‌های مایل نسبت به محور طولی شاه‌تیر هستند را تحت اثر دو کمانش برشی موضعی و کلی مورد مطالعه قرار دادند (Guo & Sause, 2014). هه و همکاران در سال ۲۰۱۴ رفتار تیرها را تحت بارگذاری‌های درون صفحه بررسی نموده‌اند و همچنین فرض انجام مطالعات را تحمل کردن خمش تنها توسط بال‌ها و تحمل برش تنها توسط جان تیرها در نظر گرفته شده است (He et al., 2014). لیو و همکاران در سال ۲۰۱۵ برای پیش بینی تغییر شکل برشی جان موجدار، روش سختی مؤثر را پیشنهاد کرده است. همچنین وی بر اساس تئوری تیر ابتدایی و با فرض غیرخطی بودن مصالح روشی را برای پیش بینی تغییر شکل تیر کامپوزیت با جان فولادی موجدار پیشنهاد داد که توزیع نیروی برشی بین بال بتنی و جان موجدار تیر مشخص نشده است (Liu et al., 2015).

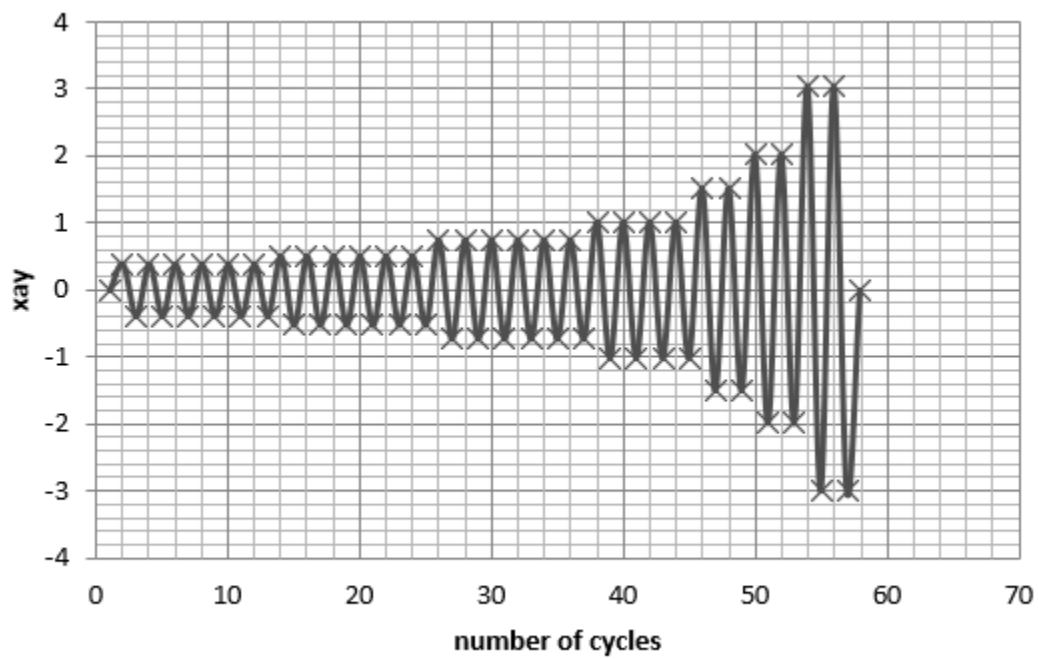
صالح و همکاران در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی به مطالعه تجربی اتصالات RBS در MRF های فولادی تیرهای کم عمق پرداختند. نتایج بدست آمده حاکی از آن بوده است که TW-RBS باعث کاهش سهم تیر از مقاومت خمشی می‌شود (Saleh, et al., 2015). سیندهی و همکاران در سال ۲۰۱۵ در تحقیقی به بررسی رفتار قاب‌های خمشی با تیرهای با مقطع کاهش یافته پرداختند. نتایج نشان داده است که RBS در یک تیر معمولی باعث کاهش وزن ساختمان می‌شود و کاهش کلی وزن به عنوان مزیت اقتصادی استفاده از RBS قلمداد می‌شود. همچنین با بکارگیری RBS، زمان تناوب ساختمان، برش پایه جابجایی و دریافت طبقات تغییر می‌کند (Sindhi, et al., 2015). بصیرالعلومی و همکاران در سال ۲۰۱۶ در تحقیقی با موضوع رفتار اتصالات با مقطع کاهش یافته تحت رکوردهای حوزه‌های نزدیک و دور عنوان نمودند که استفاده از مقطع کاهش یافته منجر به انتقال محل تشکیل مفصل پلاستیک از محل اتصال تیر به ستون شده است و مفصل پلاستیک با فاصله‌ای نسبت به ستون تشکیل گردد (Basirololoomi, et al., 2016). اردستانی و واحدی در سال ۲۰۱۷ در پژوهشی به مقاومت لرزه ای و اتصالات RBS پرداختند و بیان داشتند که در این اتصالات به منظور تأمین مقاومت و ظرفیت انعطاف

پذیری، لازم است که از شکنندگی جلوگیری شود. (Ardestani & Vahedi, 2017). زهرایی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در پژوهشی به بررسی اتصال Tubular Web RBS به منظور بهبود رفتار لرزه ای قاب های فولادی مقاوم پرداختند. نوع جدیدی از اتصال بخش کاهش یافته پرتو (RBS) با نام TW-RBS در این تحقیق پیشنهاد شده است. نتایج نشان داده است که استفاده از TW-RBS ظرفیت رانش را نیز تا ۹٪ افزایش می دهد. (Zahrai, et al., 2017) وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ در پژوهشی به مقاومت مقاومت در برابر خستگی شبکه های موجدار دوزنقه ای جوشکاری شده در کمربندهای دارای فلنج پرداختند. مشخص شده است که ترک های خستگی ناشی از برش، بسیار سریعتر ترک در تیر پخش می شوند. براساس نتایج آزمون، یک نمایش ریاضی جدید بر اساس مفهوم عرض مؤثر برای بارهای نهایی بدست آمده است (Wang, et al., 2019). لیو و همکاران در سال ۲۰۱۹ در پژوهشی به مقاومت برشی شبکه های فولادی موجدار دوزنقه ای برای پل های خمیده افقی پرداختند. نتایج تحلیلی و عددی نشان داده است که تفاوت تنش کمانش برشی CSW بین کمربندهای خمیده و تسمه ها اندک است، بنابراین فرمول های طراحی برشی برای تسمه های مستقیم می تواند برای تسمه های خمیده استفاده شود (Liu, et al., 2019). مالی در سال ۲۰۱۹ در پژوهشی به پیش بینی تجربی و عددی رفتار پیچشی تیر فولادی با شبکه سینوسی پرداخت. (Maali, 2019). و لیبوبا و همکاران در سال ۲۰۱۹ در پژوهشی به مقاومت برشی شبکه های فلزی موجدار دوزنقه ای پرداختند. (Leblouba, et al., 2019).

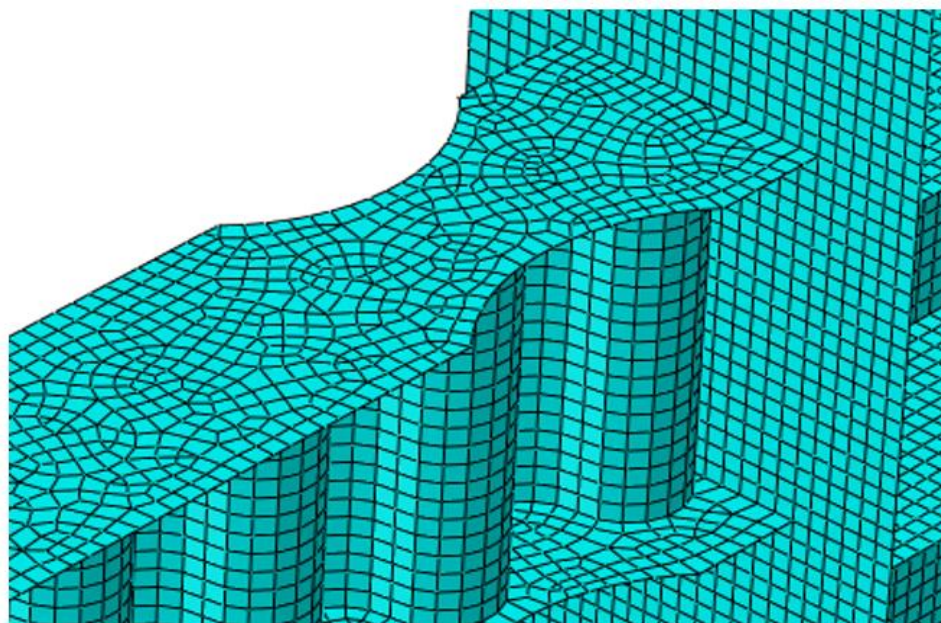
بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه ارزیابی رفتار لرزه ای اتصالات با تیرهای با مقطع کاهش یافته نشان داده است که تا کنون اثر پارامترهای شکل هندسی قسمت کاهش یافته تیر و فاصله آن از ستون، در اتصالات با جان موج دار با انجام تحلیل المان محدود مورد مطالعه قرار نگرفته که این مورد به عنوان کمبود تحقیقات در این زمینه وجود دارد. بررسی اثر پارامترهای شکل هندسی قسمت کاهش یافته تیر و فاصله آن از ستون، در اتصالات با جان موج دار، وجه متمایز کننده این پژوهش از سایر پژوهش های پیشین می باشد. در این مقاله به بررسی پارامترهایی همچون شکل هندسی تیر با مقطع کاهش یافته، فاصله قسمت کاهش یافته در تیر با مقطع کاهش یافته و طول قسمت کاهش یافته در تیر با مقطع کاهش یافته و تاثیر این پارامترها بر رفتار اتصال تیر به ستون پرداخته شده است.

مدلسازی

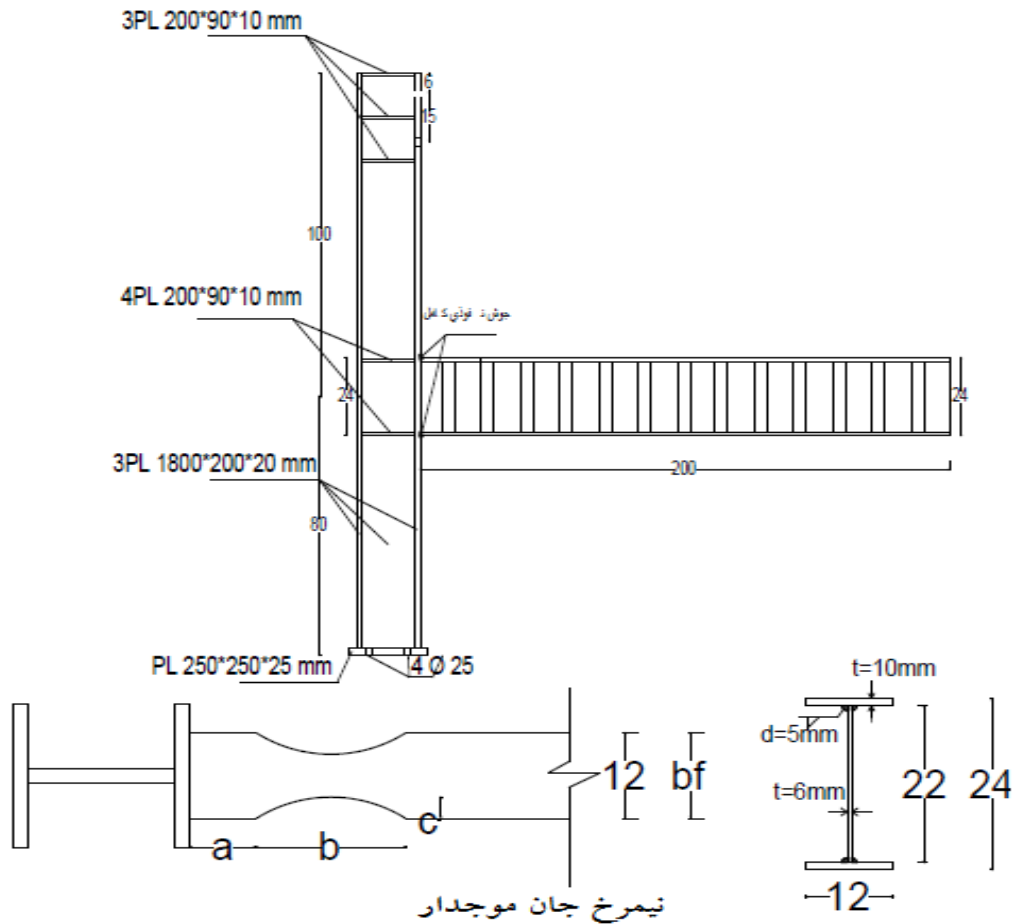
به منظور مدلسازی و تحلیل نتایج، مطابق (شکل ۱)، از نرم افزار اجزای محدود آباکوس استفاده شده است برای مش بندی مدل در نرم افزار آباکوس، از مش بندی چهاروجهی (Quad) بصورت آزاد به ابعاد ۱ سانتیمتر استفاده شده است. در تحلیل ها بار وارد بر سیستم بصورت بار فشاری در بالای ستون به میزان ۱۷ کیلونیوتن بر متر مربع اعمال شده است. و به منظور ترسیم نمودار هیستریزس، سازه های این پژوهش، تاریخچه بارگذاری طبق الگوی استاندارد پیشنهاد شده توسط آیین نامه AISC انتخاب شده و مطابق (شکل ۲)، انجام شده است و تغییر مکان افقی به بالای ستون اعمال شده است.



شکل ۱. بارگذاری انجام شده در مدل



شکل ۲. مدل در نرم افزار اجزای محدود آباکوس



نیمرخ جان موجدار

شکل ۳. مشخصات نمونه ساخته شده

در جدول ۱، مدل‌های تحلیلی ارائه شده است. ستون فولادی به ابعاد بال و جان ۲۰ سانتیمتر و ضخامت ۲ سانتیمتر و تیر فولادی به ارتفاع جان ۲۰ سانتیمتر به ضخامت ۰٫۶ سانتیمتر و ارتفاع بال ۱۲ سانتیمتر با ضخامت ۱ سانتیمتر مدل شده است. در کلیه مدل‌ها ابعاد یکسان بوده است و تنها در مشخصات مفصل پلاستیک در اتصال RBS اختلاف دارند. در تمامی مدل‌ها عمق قسمت کاهش یافته (c) برابر ۳ سانتیمتر بوده است. در شکل ۳ مشخصات نمونه ساخته شده نشان داده شده است.

جدول ۱. تعریف مدل‌های پژوهش

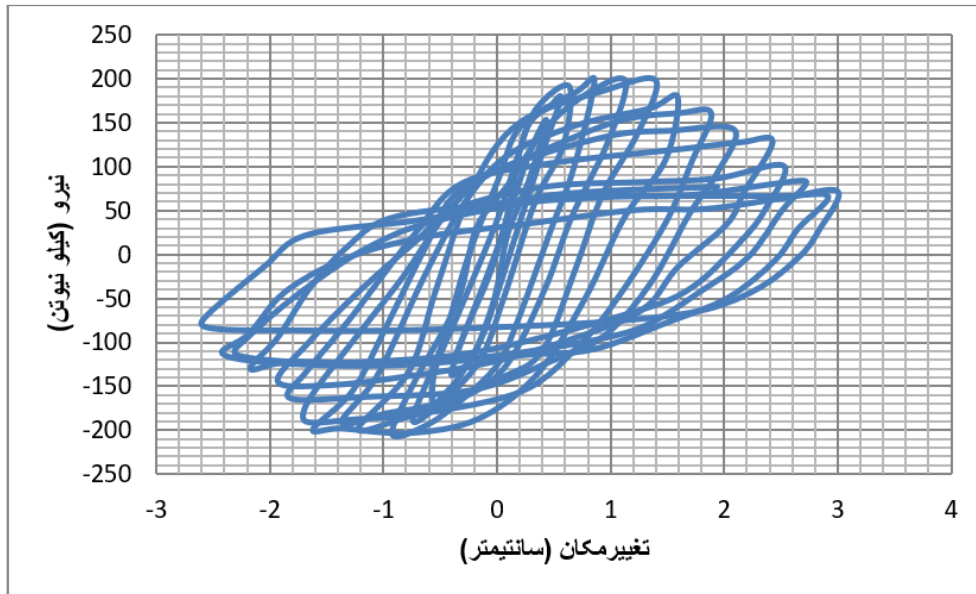
شماره مدل	کد مدل	جان تیر	طول قسمت کاهش یافته (b) (سانتیمتر)	فاصله قسمت کاهش یافته از بر ستون (a) (سانتیمتر)
۱	SB19A6	ساده	۱۹	۶
۲	SB19A9	ساده	۱۹	۹
۳	WB19A6	موجدار	۱۹	۶
۴	WB19A9	موجدار	۱۹	۹

نتایج تحلیل

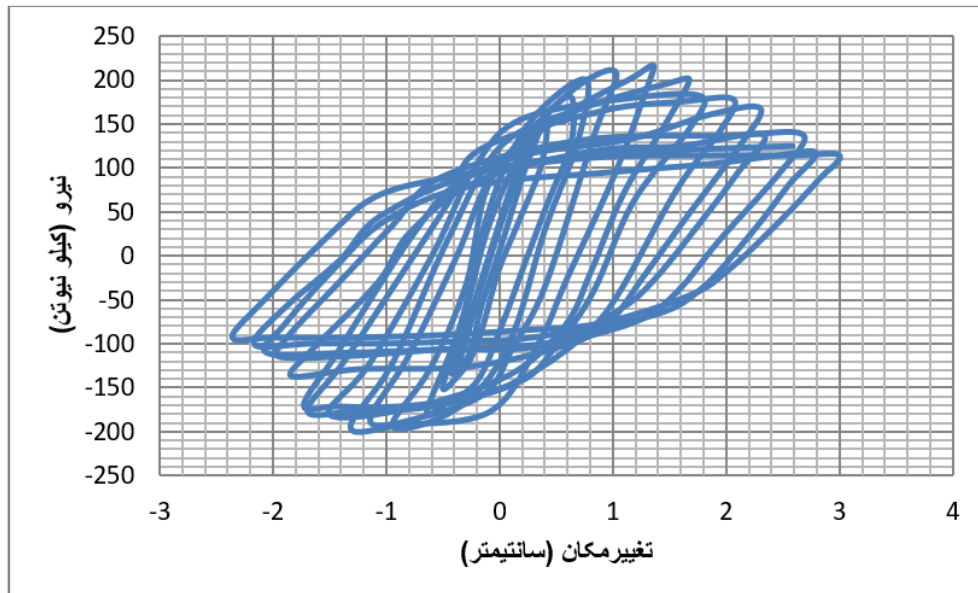
از نمودار هیستریزیس برای تحلیل خروجی‌ها استفاده شده است. برای ترسیم یک نمودار هیستریزیس احتیاج به نمودار نیرو-زمان و نمودار تغییرمکان-زمان می‌باشد. با ترکیب این دو نمودار و حذف محور واسطه زمان از این دو نمودار می‌توان نمودار نیرو-تغییرمکان یا نمودار هیستریزیس را ترسیم نمود. نمودارهای هیستریزیس از نرم افزار آباکوس استخراج شده است و بر

اساس کد مدل ها ارائه گردیده است. نمودارهای هیستریزیس از نرم افزار آباکوس استخراج شده است و بر اساس کد مدل ها ارائه گردیده است.

در شکل ۴، نمودار هیستریزیس مدل SB19A6 مشاهده می شود بیشینه نیرو برابر ۲۰۹ کیلونیوتن بوده است. ارتفاع نمودار در سیکل های متوالی کاهش یافته که نشان دهنده کاهش مقاومت است. شیب نمودار در چرخه های متوالی کاهش داشته است که نشان می دهد کاهش سختی سازه رخ داده است. سطح نمودار کاهش یافته است که نشان می دهد که شکل پذیری سازه کاهش داشته است و سازه پتانسیل کمتری در مستهلک سازی انرژی دارد. میزان تقارن نمودار نشان از رفتار تقریباً یکسان سازه در برابر بارهای چرخه ای دارد.

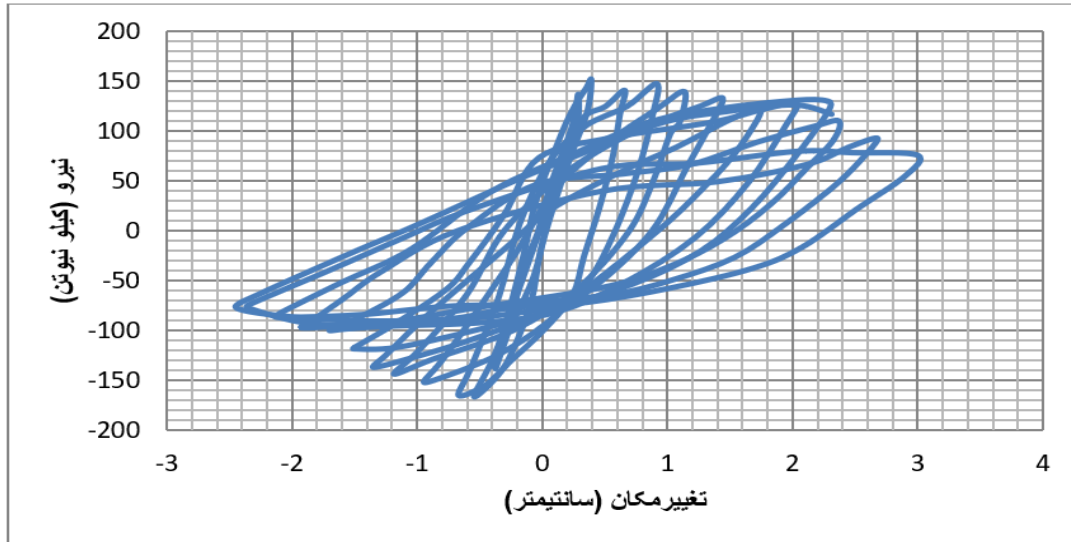


شکل ۴. نمودار هیستریزیس مدل SB19A6



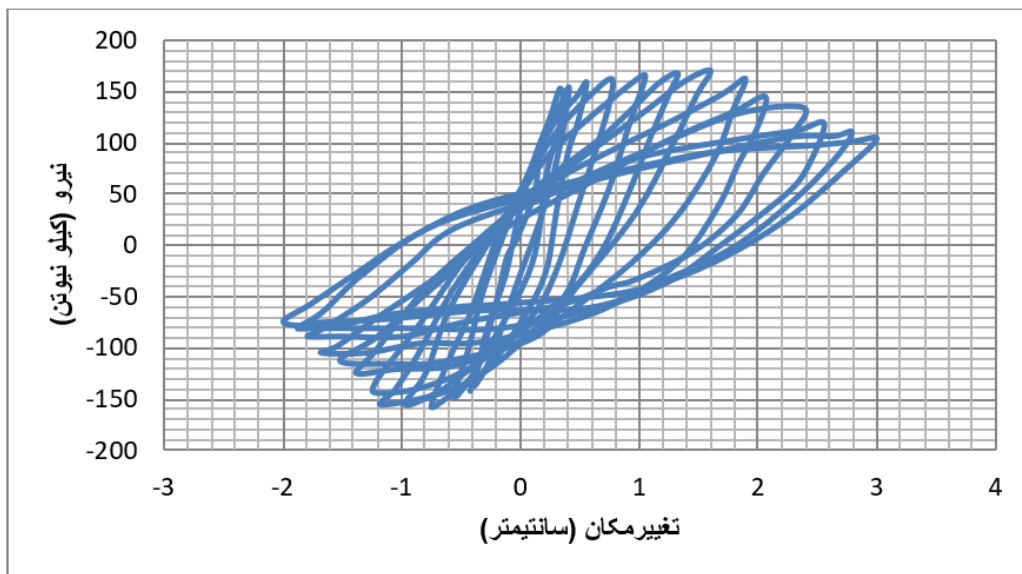
شکل ۵. نمودار هیستریزیس مدل SB19A9

در شکل ۵ نمودار هیستریزیس مدل SB19A9 مشاهده می‌شود بیشینه نیرو برابر ۲۱۹ کیلونیوتن بوده است و ارتفاع نمودار در سیکل های متوالی کاهش یافته که نشان دهنده کاهش مقاومت است. شیب نمودار در چرخه های متوالی کاهش داشته است که نشان می‌دهد کاهش سختی سازه رخ داده است. سطح نمودار کاهش یافته است که نشان می‌دهد که شکل پذیری سازه کاهش داشته است و سازه پتانسیل کمتری در مستهلک سازی انرژی دارد. عدم تقارن نمودار نشان از رفتار ناهمسان سازه در برابر بارهای چرخه‌ای دارد.



شکل ۶: نمودار هیستریزیس مدل WB19A6

در شکل ۶، نمودار هیستریزیس مدل WB19A6 مشاهده می‌شود بیشینه نیرو برابر ۱۶۹ کیلونیوتن بوده است و ارتفاع نمودار در سیکل های متوالی کاهش یافته که نشان دهنده کاهش مقاومت است. شیب نمودار در چرخه های متوالی کاهش داشته است که نشان می‌دهد کاهش سختی سازه رخ داده است. سطح نمودار کاهش یافته است که نشان می‌دهد که شکل پذیری سازه کاهش داشته است و سازه پتانسیل کمتری در مستهلک سازی انرژی دارد. عدم تقارن نمودار نشان از رفتار ناهمسان سازه در برابر بارهای چرخه‌ای دارد.



شکل ۷: نمودار هیستریزیس مدل WB19A9

در شکل ۷، نمودار هیستریزس مدل WB19A9 مشاهده می‌شود بیشینه نیرو برابر ۱۷۱ کیلو نیوتن بوده است و ارتفاع نمودار در سیکل‌های متوالی کاهش یافته که نشان دهنده کاهش مقاومت است. شیب نمودار در چرخه‌های متوالی کاهش داشته است که نشان می‌دهد کاهش سختی سازه رخ داده است. سطح نمودار کاهش یافته است که نشان می‌دهد که شکل پذیری سازه کاهش داشته است و سازه پتانسیل کمتری در مستهلک سازی انرژی وارده دارد. عدم تقارن نمودار نشان از رفتار ناهمسان سازه در برابر بارهای چرخه‌ای دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی عددی تاثیر مشخصات مقطع کاهش یافته بال تیر بر رفتار اتصالات با جان موجدار پرداخته شده است. در ادبیات تحقیق، از منابع کتابخانه‌ای و مقالات و پژوهش‌های معتبر استفاده شده و پس از بررسی‌های اولیه و مطالعه پیشینه تحقیقات، مبانی نظری و روش تحقیق ارائه شده است. برای شبیه سازی از نرم افزار elman حدود آباکوس استفاده شده است و جهت بررسی و مقایسه پاسخ سازه‌ها در حالات مختلف مدل‌سازی از نرم‌افزار excel استفاده گردیده است. تحلیل سازه‌های این پژوهش، در حالت بارگذاری بر اساس بارگذاری چرخه‌ای AISC، انجام شده است. بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته مشخص شده است که در مدل‌های دارای تیر با جان موجدار، میزان تنش کمتر از نمونه‌های مشابه با تیر دارای جان ساده بوده است. افزایش طول قسمت کاهش یافته موجب افزایش تنش شده است. در تمامی مدل‌ها، کاهش ارتفاع نمودار هیستریزس در سیکل‌های متوالی نشان دهنده کاهش مقاومت است. شیب نمودار در چرخه‌های متوالی کاهش داشته است که نشان می‌دهد کاهش سختی سازه رخ داده است. سطح نمودار کاهش یافته است که نشان می‌دهد که شکل‌پذیری سازه کاهش داشته است و سازه پتانسیل کمتری در مستهلک سازی انرژی وارده دارد. در تمامی مدل‌های دارای تیر با جان موجدار، عدم تقارن نمودار نشان از رفتار ناهمسان سازه در برابر بارهای چرخه‌ای دارد. بر اساس میزان تنش، مدل‌های دارای تیر با جان موجدار بهتر از مدل‌های تیر با جان ساده عمل کرده‌اند.

منابع

1. A. Hedayat, H. Saffari, and A. Eghbali, "Behaviour of steel reduced beam web (RBW) connections with drilled voids," in 5th SASTech, 2011.
2. Ardestani, Reza & Masood Vahedi, 2017, A Review on Seismic Resistance & RBS Connections, 5th International Congress on Civil, Architecture and Urban Development, Tehran, Permanent Secretariat of the Conference,
3. Basirolooloomi, M., Aziminejad, A., & Ranjbaran, F. (2016). Seismic behavior of RBS connections at near and far field earthquakes. Journal of Structural Engineering and Geo-Techniques, 6(1), 23-30.
4. Elgaaly, M., Seshadri, A., & Hamilton, R. W. (1997). Bending strength of steel beams with corrugated webs. Journal of Structural Engineering, 123(6), 772-782.
5. Guo, T., & Sause, R. (2014). Analysis of local elastic shear buckling of trapezoidal corrugated steel webs. Journal of Constructional Steel Research, 102, 59-71.
6. He, J., Liu, Y., Chen, A., Wang, D., & Yoda, T. (2014). Bending behavior of concrete-encased composite I-girder with corrugated steel web. ThinWalled Structures, 74, 70-84.
7. Hueste, M.B.D., Browning, J., Lepage, A., Wallace, J.W. (2007), "Seismic design criteria for slab-column connections". ACI Struc. J., Vol. 104, No. 4, pp. 448-458.
8. Liu, X. G., Fan, J. S., Nie, J. G., Bai, Y., Han, Y. X., & Wu, W. H. (2015). Experimental and analytical studies of prestressed concrete girders with corrugated steel webs. Materials and Structures, 48(8), 2505-2520.
9. Mahyar Maali, Experimental and Numerical Prediction of Torsional Behavior of Steel Beam with Sinusoidal Web, Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, Shiraz University, 2019

10. Moussa Leblouba, Samer Barakat, Mohamed Maalej, Salah Al-Toubat, Abdul Saboor Karzad, Normalized shear strength of trapezoidal corrugated steel webs: Improved modeling and uncertainty propagation, *Thin-Walled Structures* 137 (2019) 67–80
11. Morteza Naghipour, Saleh Mohammad Ebrahimzadeh Sepasgozar, Seismic Behavior Assessment of RBS and AW-RBS Moment Resistant Connections with Double I-Beam, *Iranica Journal of Energy & Environment* 4 {(3) Geo-hazards and Civil Engineering}: 186-198, 2013
12. S.M. Zahrai, S.R. Mirghaderi, A. Saleh, Tubular Web RBS connection to improve seismic behavior of moment-resisting steel frames, Sharif University of Technology, *Scientia Iranica A* (2017) 24(6), 2726-2740
13. Saleh Aboozar , Seyed Rasoul Mirghaderi, Seyed Mehdi Zahrai, Cyclic testing of tubular web RBS connections in deep beams, *Journal of Constructional Steel Research* 117 (2016) 214–226
14. Sindhi, N. R., Gadhiya, J. A., Dhameliya, H. K., & Pachchigar, K. S. (2015). Study of steel moment resisting frame with reduced beam section. *Development*, 2(12).
15. Tsai, K. C., Wu, S., & Popov, E. P. (1995). Experimental performance of seismic steel beam-column moment joints. *Journal of Structural Engineering*, 121(6), 925-931.
16. Zhi-Yu Wang, Fang Yuan, Yang Chen, Qingyuan Wang, Tao Chen, Xiafang Zhou, Zifeng Liu, Fatigue resistance of post-buckled slender trapezoidal corrugated webs in girders with stiff flanges, *Engineering Structures* 198 (2019) 109478