



http://journaliss.ir

ارزیابی عددی اتصال گیردار با نبشی‌های تعویض‌پذیر در قاب‌های خمشی درختی

محمدعلی کافی^{۱*}، فیروز ابراهیمی^۲

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

*smnan@semnan.ac.ir، ۱۹۱۱۱-۳۵۱۳۱ صندوق پستی

چکیده

یکی از سیستم‌های مقاوم در برابر بار جانبی قاب خمشی است. اتصالات قاب خمشی به صورت گیردار طراحی می‌شوند. در قاب‌های خمشی، هدف طراحی به صورتی است که مفصل پلاستیک از چشمه اتصال خارج شده و بر روی تیر قرار گیرد. برای این هدف و ایجاد مفصل پلاستیک در تیر از سیستم‌هایی مانند مقطع کاهش یافته استفاده می‌شود. ضعیف کردن تیر در ناحیه بحرانی، باعث خروج مفصل پلاستیک از چشمه اتصال بر روی تیر می‌گردد. در این مقاله با استفاده از روش مقطع کاهش یافته و سیستم وصله با ورق‌های روسری و زیرسری به یک اتصال تعویض‌پذیر دست یافته شده است. که بسیاری از مشکلات موجود در مقطع کاهش یافته حل شده و رفتار سیستم بهبود گردیده است. با استفاده از این سیستم تعویض‌پذیر ترمیم سازه بعد از زلزله با سرعت بالایی صورت گرفته است و همچنین هزینه آن بسیار پایین است. در این مقاله هشت مدل به صورت عددی با نرم‌افزار اجزا محدود آباکوس مورد ارزیابی قرار گرفته است. که با بررسی صورت گرفته بر روی نمودارهای چرخه‌ای و عملکردی به دست آمده از مدل‌ها به نتایج خوبی دست یافته شده است. علاوه بر این که مفصل پلاستیک از چشمه خارج شده و بر روی تیر قرار گرفته است امکان تعویض‌پذیر بودن نیز به مدل طراحی شده اضافه شده است که تا حدودی باعث بهبود مشکلات گردیده است.

واژگان کلیدی

مقطع کاهش یافته، اتصال گیردار قاب خمشی، اتصال تعویض‌پذیر، اتصال فیوز، نمودار چرخه‌ای

Numerical evaluation rigid connection with Replaceability corners in flexible tree frames

F. Ebrahimi, M.A. kafi

Abstract

One of the systems resistant from to lateral load is the flexible from. The joints of the flexible frame are designed as rigids in these flexible frames, the purpose of the design is so that the plastic joint is removed from the connection point and placed on the beam. For this purpose and create a plastic joint in the beam, systems such as Reduce section are used. by weakening the beam in the critical area, causes the plastic joint to come out of the connection point on the beam. In this article, a replaceable connection has been achieved by using the Reduced section method and the patch system with up and undershirt sheets. That many problems in the reduced section have been solved and the behavior of the system has been improved. By using replaceable system, the structure has been repaired at a high speed after the earthquake and also its cost is very low. In this article, eight models have been evaluated numerically with Abaqus finite element software. Good results have been achieved by examining the cyclical and functional diagrams obtained from the models. In addition to the fact that the plastic joint has been removed from the connection point and placed on the beam, the possibility of being replaceable has also been added to the designed model, which has improved the problems to some extent.

Keywords

Reduced Beam Section, Rigid Connection, Replaceability Connection, Fuse Connection, Cyclic Diagram



از دهه ۱۹۶۰ سیستم قاب خمشی فولادی به عنوان یک سیستم مناسب با شکل‌پذیری عالی مطرح گردیده است. به طوری که تصور بر این بود که این قاب به علت خصوصیات ذاتی خود عکس‌العمل خوبی در مقابل بارهای جانبی دارد. اما بعد از وقوع زلزله نورتریج^۱ و خرابی‌های ایجاد شده در چشمه اتصال و ایجاد مفصل پلاستیک دقیقاً در محل اتصال تیر به ستون، بسیاری از این تصورات به چالش کشیده شد.

بعد از اتفاق به وجود آمده، بیشتر مهندسين و محققين به این سمت سوق داده شدند که قاب خمشی را اصلاح و بهبود بخشند. به همین دلیل قاعده تیر ضعیف - ستون قوی مطرح گردید تا سازه از یک خرابی پیش‌رونده به یک خرابی موضعی تبدیل گردد. این امر باعث گردید تا تنها قسمتی از سازه در هنگام زلزله خراب گردد و بعد از زلزله قابل ترمیم باشد [۱].

بر همین امر، مهندسين و محققين به دو رویکرد روی آوردند. رویکرد اول ضعیف کردن تیر در فاصله‌ای مناسب از ستون و رویکرد دوم قوی‌تر کردن ستون در محل اتصال، این رویکردها باعث خروج مفصل پلاستیک از چشمه اتصال به روی تیر می‌گردد. رویکرد اول با روش‌های مختلف بر روی بال یا جان تیر ضعف‌هایی ایجاد می‌کند تا همین ضعف‌ها در هنگام زلزله باعث خرابی و ایجاد مفصل پلاستیک در همان ناحیه گردد. رویکرد دوم با استفاده از پلیت‌های سخت‌کننده در محل اتصال تیر به ستون باعث قوی‌تر شدن محل اتصال و ایجاد مفصل پلاستیک در ناحیه بحرانی تیر می‌گردد.

در همین راستا نعمتی و قبادی [۲] با استفاده از براكتهای پیش ساخته در اتصال گیردار باعث خروج مفصل پلاستیک از چشمه و ایجاد آن در انتهای براكتهای بر روی بال گشته‌اند.

خلیلی و ایزدی‌نیا [۳] با استفاده از مدل مقطع کاهش یافته با استفاده از صفحه انتهایی متصل شونده به ستون، بر روی اندازه‌های فاصله و برش بر روی تیر مدل‌های مختلفی ایجاد نمودند، نتایج آن‌ها نشان داد که با فاصله و برش‌های مختلف بر روی تیر، مقدار کرنش‌ها و محل مفصل پلاستیک عوض می‌گردد. در مطالعه گلابی و رافضی [۴] با کاهش مقطع در جان تیر

باعث خروج مفصل پلاستیک از ناحیه چشمه اتصال شده و منجر به ایجاد آن در ناحیه کاهش یافته در جان می‌گردد.

در مطالعه آتش‌زبان و همکاران [۵] با ایجاد سوراخ‌هایی بر روی بال تیر و مقایسه آن با مقطع کاهش یافته و مقطع اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی، به این نتیجه رسیدند که ایجاد سوراخ‌هایی با مته بر روی بال تیر باعث خروج مفصل پلاستیک از چشمه و ایجاد آن بر روی سوراخ‌ها گردید.

مطالعه احمدی و ناصری‌فر [۶] بر روی یک اتصال تیر پیوند خمشی با مقطع کاهش یافته به ستون صورت گرفته، که بعد از ایجاد مفصل پلاستیک در ناحیه مقطع کاهش یافته بر روی بال قابلیت جابجایی و تعویض‌پذیری تیر پیوند را دارد.

در مطالعه گروسی و همکاران [۷] با استفاده از یک مقطع کاهش یافته فلنجی که قابلیت تعویض‌پذیری را دارد، بعد از ایجاد مفصل پلاستیک در ناحیه کاهش یافته قسمت فلنجی ترمیم و تعویض می‌گردد.

در مطالعه هی^۲ و همکاران [۸] بر روی یک نبشی تعویض‌پذیر در قاب فولادی کامپوزیتی، آسیب ایجاد شده بر روی نبشی پایینی تعویض‌پذیر صورت گرفته است. که بعد از خرابی قابلیت ترمیم سریع را دارد.

مطالعه شین^۳ و همکاران [۹] بر روی اتصال‌های تعویضی است که با استفاده از پلیت‌های تعویض‌پذیر، تیر را به هم متصل نموده است. محل مفصل پلاستیک بر روی قطعه‌های تعویض‌پذیر ایجاد گردیده است. نتایج نشان داد استفاده از اتصالات قابل تعویض‌پذیر دارای شکل‌پذیری بهتری است. همچنین اتلاف انرژی بیشتری را دارد.

در مطالعه لن^۴ و همکاران [۱۰] بر روی قطعات پیش ساخته تعویض‌پذیر است که مفصل پلاستیک بر روی پلیت‌های تعویض‌پذیر ایجاد می‌شود که بعد از خرابی ایجاد شده به سرعت قابلیت تعویض دارد. در این مدل شکل‌پذیری بالا، مقاومت و سختی خوبی دارند.

مطالعه طریقی و همکاران [۱۱] بر روی عملکرد اتصال گیردار تعویض‌پذیر است که به ایجاد مفصل پلاستیک بر روی پلیت تعویض‌پذیر پرداخته است. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد با

³ Shen

⁴ Tao Lan

¹ Northridge

² He



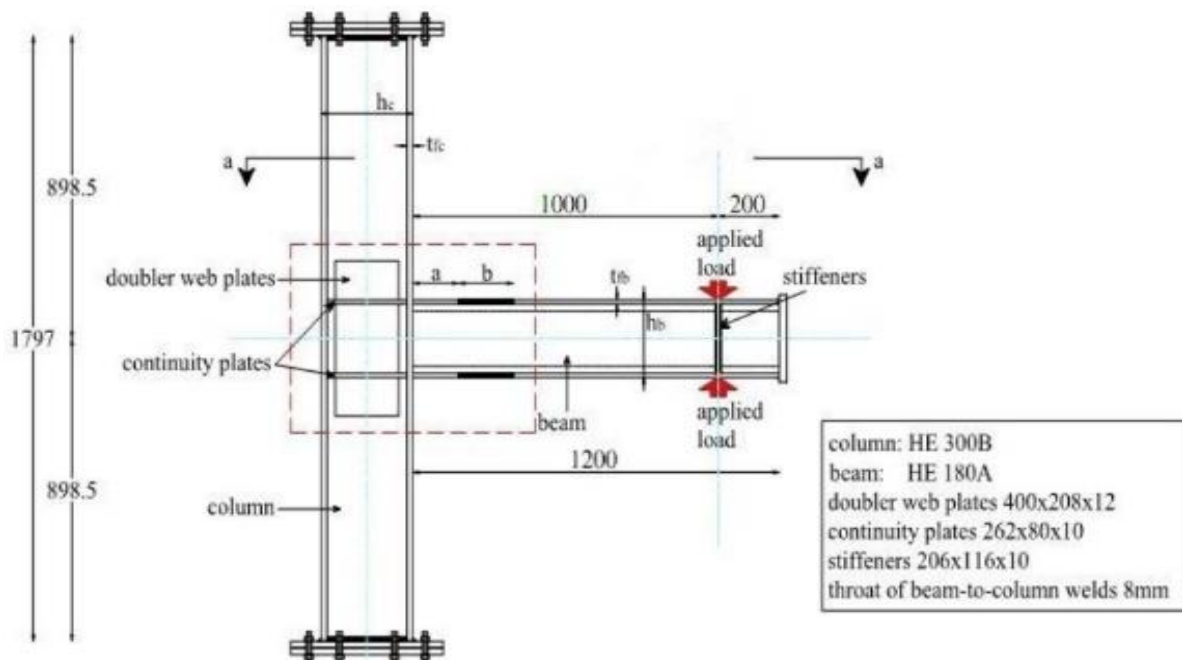
افزایش ظرفیت خمشی فیوز می توان جذب انرژی را بالا برد.

۲- صحت سنجی

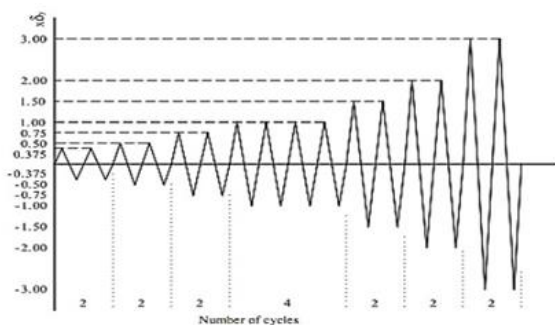
به منظور ایجاد اطمینان از مدل سازی های صورت گرفته در محیط تحلیل عددی آباکوس، مدلی به صورت آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. خروجی های به دست آمده از محیط آباکوس با

خروجی های به دست آمده از مدل آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته است.

در این مطالعه و مدل سازی آزمایشگاهی مدل سوفیاس^۱ و همکاران [۱۲] مطابق شکل (۱)، که شامل اتصال تیر با مقطع کاهش یافته به ستون است، مورد بررسی و مدل سازی قرار گرفته است.



شکل ۱- مدل آزمایشگاهی سوفیاس [۱۲]



شکل ۲- بار چرخه ای FEMA350 در نمونه صحت سنجی [۱۳]

مضاعف به ابعاد ۱۰*۲۰۸*۴۰۰ میلیمتر و چهار ورق سخت کننده در امتداد بال تیرها و ما بین بال ستون به ابعاد ۱۰*۸۰*۲۶۲ میلیمتر است.

این مدل، تیری با مقطع HE 180A به طول ۱۲۰۰ میلیمتر است که به ستونی با مقطع HE 300B به طول ۱۷۹۷ میلیمتر متصل شده است و در انتهای تیر بار چرخه ای FEMA350 [۱۳] به آن وارد می شود [۱۲]. دو انتهای ستون نیز دارای اتصال مفصلی است.

در شکل (۲) پروتکل بار چرخه ای وارد بر نمونه صحت سنجی قید شده است.

تیر با مقطع HE 180A در فاصله ای از ستون دارای برشی برای ایجاد مقطع کاهش یافته است. در فاصله ابتدایی به طول $a=144$ میلیمتر از بر ستون فاصله دارد و دایره ای به اندازه شعاع $r=75$ میلیمتر، برشی به طول $b=128/25$ میلیمتر و به عمق $c=36$ میلیمتر صورت گرفته است.

ستون با مقطع HE 300B است که دارای دو صفحه جان

¹ Sofias

در جداول (۱) و (۲) به ترتیب مشخصات مکانیکی و هندسی مقطع کاهش یافته ذکر شده است.

جدول ۱- مشخصات مکانیکی مقاطع کاهش یافته

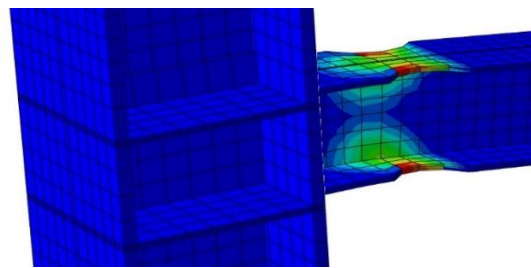
مقطع	تنش نهایی (MPa)	تنش جاری شدن (MPa)	نام عضو
HE 180A	۴۳۰	۳۱۰	تیر
HE 300B	۴۳۰	۳۱۰	ستون

جدول ۲- مشخصات هندسی مقطع کاهش یافته تیر

a	b	c
bf = 180 (mm)	75%db	40%bf
db = 171 (mm)	۱۲۵/۱۲۸	۳۶
۱۴۴		

بعد از طراحی، مدل **سوفیاس** [۱۲] در نرم افزار آباکوس با مشخصات موجود از مدل طراحی شده، مورد آنالیز قرار گرفته است و خروجی و شماتیک ارائه شده توسط نرم افزار در شکل (۳) ارائه گشته است.

محل کاهش یافته بر روی بال تیر از حالت الاستیک خارج شده و وارد حالت پلاستیک گردیده است. این در حالی است که دیگر اعضا، در حالت الاستیک و خطی قرار دارند.



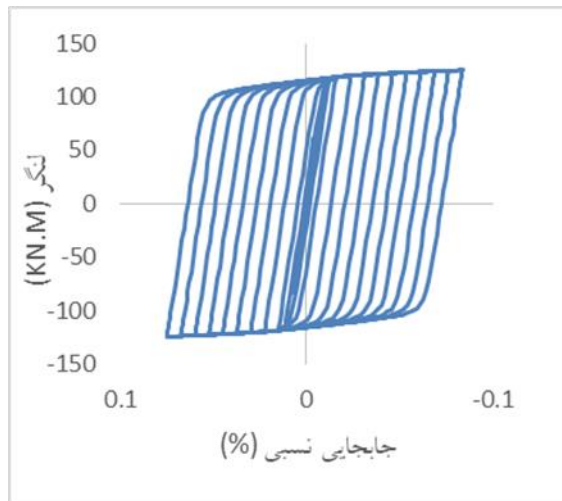
شکل ۳- مفصل پلاستیک مدل عددی سوفیاس [۱۲]

نمودار چرخه ای مدل صحت سنجی مطابق شکل (۴) دارای رفتار رفت و برگشتی خوبی است. این نمودار خروجی های خوبی از چگونگی عملکرد مقطع طراحی شده در هنگام آنالیز ارائه داده است.

نمودار چرخه ای به دست آمده از مدل **سوفیاس** [۱۲] از نرم افزار آباکوس نشانگر این است که این نمودار دارای تقارن

خوبی است. که باعث مستهلک کردن انرژی وارد شده به سیستم می گردد. در این نمودار المان ها در طول بارگذاری دچار افت سختی و مقاومت نمی گردند.

تعداد سیکل های زیاد چرخه ای رفت و برگشتی نشانگر اطمینان و پایداری به اعضا این مدل گردد.



شکل ۴- نمودار چرخه ای عددی مدل سوفیاس [۱۲]

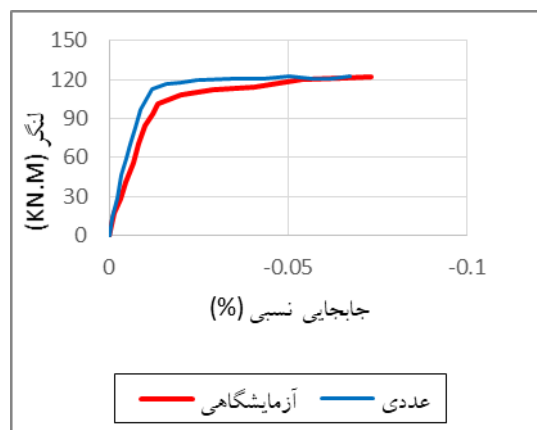
بعد از به دست آوردن نمودار چرخه ای، مدل در نرم افزار آباکوس بر روی مدل آزمایشگاهی **سوفیاس** [۱۲] قرار گرفته است و مورد قیاس و ارزیابی قرار می گیرد. مدل آزمایشگاهی و مدل عددی به دست آمده از نرم افزار دارای اختلاف هایی در جذب انرژی و شیب نمودار قسمت الاستیک است.

بعد از قرار دادن دو نمودار بر روی هم در بازه های ثابت و یکسان مشاهد گردید که رفتار هر دو نمودار خیلی به یک دیگر نزدیک گردیده است ولی دارای اختلاف است.

نمودار عملکردی هر دو نمودار نیز با توجه به شکل (۵) مورد قیاس قرار گرفته است. در شکل (۵) نمودار مدل عددی بر روی مدل آزمایشگاهی قرار گرفته است و اختلاف سطح آن ها قابل رویت است. علاوه بر این از روی شکل (۵) زیر می توان شکست نمودار عملکردی را مشاهده نمود. در این نمودار، نمودار عددی دارای رفتار بهتری نسبت به نمودار آزمایشگاهی است.

از مقایسه دو نمودار عملکردی آزمایشگاهی و عددی به دست آمده، می توان مقدار جذب انرژی و استهلاک انرژی بین دو نمودار را با یک دیگر مورد ارزیابی قرار داد. نمودار عددی دارای رفتار بهتر در جذب انرژی و مستهلک کردن انرژی وارد به سیستم

را دارد. نمودار عملکردی عددی سختی الاستیک اولیه بیشتری نسبت به نمودار آزمایشگاهی دارد.



شکل ۵- مقایسه نمودار عملکردی آزمایشگاهی و عددی
سوفیاس [۱۲]

۳- مدل‌های مورد ارزیابی

در این مقاله به بررسی هشت مدل پرداخته شده است که این مدل‌ها مطابق جدول (۳) نام گذاری گردیده است.

جدول ۳- نام مدل‌های طراحی شده

شماره	اسم مدل	مدل
۱	نبشی ۸۵ میلیمتری برش از بال بالا	RBSW
۲	نبشی ۸۵ میلیمتری برش از بال پایین	RBSF
۳	نبشی ۸۵ میلیمتری برش از هر دو بال	RBSW-F
۴	نبشی تقویتی با طول جوش ۹۰ میلیمتر	Weld9
۵	نبشی تقویتی با طول جوش ۱۱۰ میلیمتر	Weld11
۶	نبشی تقویتی با طول جوش ۱۲۰ میلیمتر	Weld12
۷	نبشی تقویتی با طول جوش ۱۳۰ میلیمتر	Weld13
۸	نبشی تقویتی با طول جوش چهار طرف	Weld-G

در جدول (۴) مقایسه نمودار عملکرد آزمایشگاهی و عددی نمایش داده شده است.

جدول ۴- مقایسه نمودار عملکرد آزمایشگاهی و عددی

اولین مفصل	استهلاک	سختی
پلاستیک از	انرژی	الاستیک اولیه
بر ستون		
(kN.m)	(N.m)	(N/m)
آزمایشگاهی	۷۴۴۸	۸۴۱۹/۲
۱۰۱/۰۳	۸۴۷۵	۹۰۴۱/۷
عددی	۱۰۸/۵	

۴- مصالح

در مدل مورد نظر آنچه که مورد استفاده قرار می‌گیرد نرم‌افزار عددی آباکوس است. در این نرم‌افزار ابتدا قطعات مورد نظر به وجود آمده و سپس در نرم‌افزار قطعات به صورت جداگانه طراحی شده و متریال به آن اختصاص داده می‌شود. این مدل که از یک نبشی ۸۰ میلیمتری به طول ۴۰۰ میلیمتر و ضخامت مختلف و یک پلیت به ارتفاع ۲۱۰ میلیمتر و طول ۴۰۰ میلیمتر و ضخامت ۱۰ میلیمتر که به وسیله پیچ‌ها به هم متصل شده‌اند ساخته شده است و مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل اولیه بعد از طراحی متریال قطعات از ST37 بوده. بعد از مراحل طراحی و سر هم کردن مدل و گرفتن خروجی‌های مورد نظر از سیستم محل مفصل پلاستیک معادل مشاهده گردیده است.

که در مدل تحقیقی ستون IPB240 با ارتفاع ۳۲۰۰ میلیمتر که دارای عرض بال ۲۴۰ میلیمتر و ضخامت بال ۱۷ میلیمتر و ارتفاع ۲۴۰ میلیمتر با ضخامت جان ۱۰ میلیمتر ساخته شده است. دو تیر نیز به اندازه های ۲۳۰ و ۲۱۵۰ میلیمتر که دارای بال با پهنای ۲۰۰ میلیمتر و ضخامت بال ۱۵ میلیمتر با ارتفاع ۲۷۰ میلیمتر و ضخامت جان ۱۰ میلیمتر هستند، طراحی شده‌اند. نبشی‌ها با طول ۴۰۰ میلیمتر و ضخامت ۱۰ میلیمتر طراحی شده و پیچ‌های ۱۶ و ۲۰ میلیمتر نیز از همین روش با طول‌های مختلف طراحی شده‌اند.

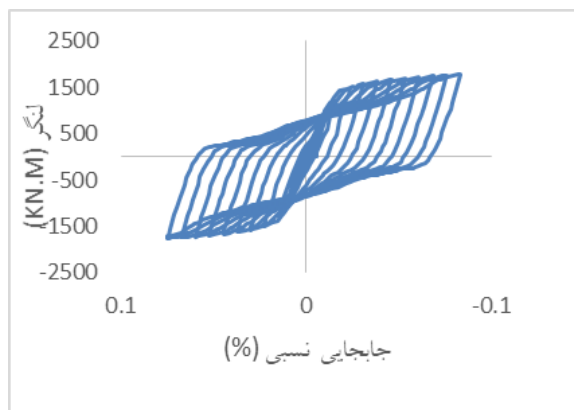
پلیت‌هایی نیز به عنوان سخت کننده برای داخل ستون‌ها و اتصال بین دو تیر طراحی گشته است.

در تمامی طراحی‌ها آیین‌نامه بارگذاری چرخه‌ای FEMA350 مطابق شکل (۶) مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳].

۴-۱- مدل شماره ۱

در مدل اول نبشی دقیقاً تا لبه بال تیر قرار دارد. بعد از محاسبات صورت گرفته، اساس مقطع پلاستیک و لنگر پلاستیک ضخامت

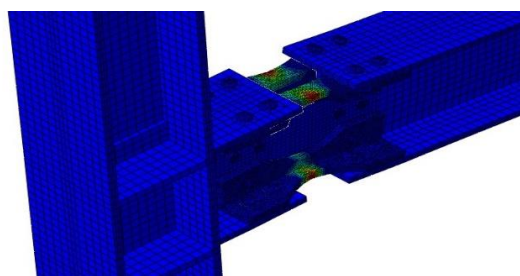
ایده آل است. در این نمودار المان در طول بارگذاری دچار کاهش سختی و زوال مقاومت نشده است.



شکل ۸- نمودار چرخه‌ای مدل RBSF

۳-۴- مدل شماره ۳

در مدل بعدی که مورد طراحی قرار گرفته است. هر دو بال نبشی ۸۵ میلیمتری مورد برش قرار گرفته است. طبق محاسبات انجام شده در پیوست ضخامت نبشی به ۱۸ میلیمتر افزایش یافت. همان طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود بعد از آنالیز صورت گرفته بر روی مدل مفصل پلاستیک معادل دقیقاً بر روی محل برش قرار گرفته است. طراحی صورت گرفته فوق العاده عالی و ایده آل است. علاوه بر این دیگر اجزا به صورت کلی در حالت الاستیک و خطی هستند.

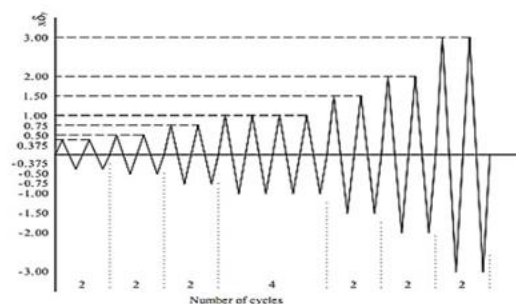


شکل ۹- مدل RBSW-F

همان طور که در نمودار چرخه‌ای مطابق شکل (۱۰) مشخص است این نمودار روایتگر آن است که منحنی چرخه‌ای ایده آل است. در شکل (۱۰) المان در طول بارگذاری دچار کاهش سختی نشده است و مقاومت آن ثابت مانده است. سطح زیر نمودار نشان دهنده این است که مقدار انرژی مستهلک شده توسط عضو نسبت به دو مدل قبلی خیلی بیشتر بوده است.

نبشی ۸۰ میلیمتری از ۱۰ میلیمتر، به نبشی ۸۵ میلیمتری با ضخامت ۱۱ میلیمتر تبدیل گردیده است.

محل مفصل پلاستیک معادل زیر پیچ بال پایینی و به سمت محل برش داده شده بر روی بال بالایی نبشی صورت گرفته است. این در حالی است که دیگر اعضای طراحی شده بعد از آنالیز صورت گرفته در حالت الاستیک و خطی قرار گرفته‌اند.

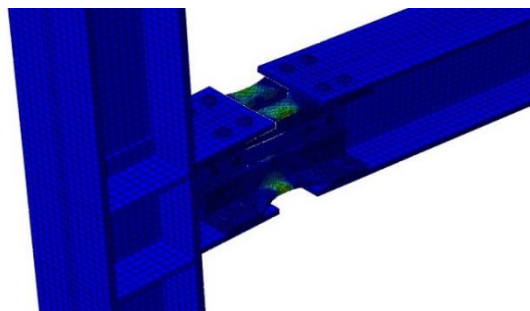


شکل ۶- بارگذاری چرخه‌ای FEMA350 [۱۳]

۲-۴- مدل شماره ۲

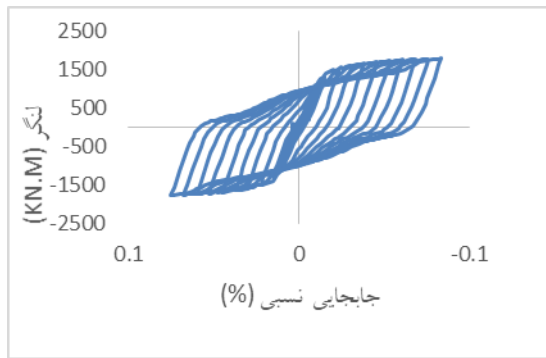
در مدل بعدی برش بر روی بال پایینی نبشی ۸۵ میلیمتری قرار گرفته است. ضخامت نبشی طبق محاسبات صورت گرفته از روابط موجود در پیوست از ۱۰ میلیمتر به ۱۴ میلیمتر تغییر یافته است.

طبق آن چه که در شکل (۷) مشخص است بعد از آنالیز صورت گرفته دقیقاً مفصل پلاستیک در محل برش قرار گرفته است. پلاستیک شدن بر روی نبشی تعویض پذیر است. این در حالی است که دیگر اعضای طراحی شده اتصال در حالت الاستیک و خطی هستند.



شکل ۷- مدل RBSF

نمودار چرخه‌ای آن مطابق شکل (۸) است. این نمودار روایتگر آن است که این منحنی چرخه‌ای اتصال طراحی شده



شکل ۱۲- نمودار چرخه‌ای مدل Weld9

در مدل بعدی طول جوش که ۹۰ میلیمتر بوده به ۱۱۰ میلیمتر افزایش داده شده است.

در این مدل رفتار سازه بسیار نسبت به مدل قبلی بهتر شده است و مفصل پلاستیک معادل از نزدیکی پیچ خارج شده و به سمت ما بین دو پلست تقویتی بر روی نبشی انتقال یافته است. علاوه بر این، علایمی از پلاستیک معادل شدن بر روی بال بالایی نبشی نیز مشاهده می‌شود.

۴-۶- مدل شماره ۶

در مدل بعدی طول جوش دوباره افزایش داده شده است و به ۱۲۰ میلیمتر رسیده است. با این طراحی، مدل رفتار بهتری را از خود نسبت به قرارگیری مفصل پلاستیک معادل نشان می‌دهد. مفصل پلاستیک به سمت ما بین دو پلست تقویتی بر روی نبشی جابه‌جا می‌شود. علاوه بر این بال بالایی نبشی نیز بیشتر در حالت پلاستیک قرار می‌گیرد این در حالی است که دیگر اعضای سازه در حالت الاستیک و خطی قرار دارند.

در این مدل نمودار چرخه‌ای آن نسبت به نمودار قبلی رفتار بهتری دارد. علاوه بر این که دارای سطح زیر نمودار بیشتری است، تقارن بهتری نسبت به نمودار قبلی دارد که نشانگر منحنی ایده‌آل‌تری است. با اعمال بار چرخه‌ای دچار کاهش سختی کمتری می‌شود.

نمودار چرخه‌ای آن نیز به صورت تقریبی شبیه نمودار قبلی است ولی با کمی بهبود در تقارن موجود در نمودار صورت گرفته است.

۴-۷- مدل شماره ۷

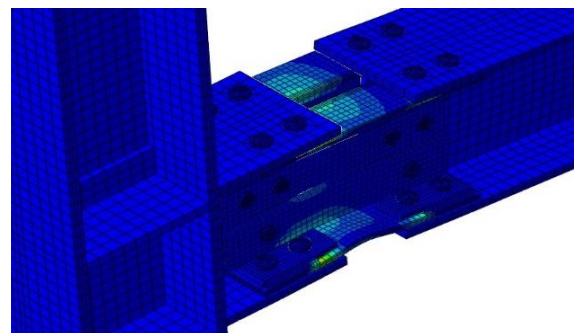
همان طور که در سه مدل طراحی شده مشاهده گردید. مدل‌های کاهش یافته در بال پایینی دارای خروجی بهتری نسبت به قرارگیری مفصل پلاستیک و سطح زیر نمودار چرخه‌ای برای مستهلک کردن انرژی می‌باشند. هر سه مدل بالا تا دریافت ۸٪ رفته و دارای نمودار چرخه‌ای خوبی می‌باشند.

اما آن چه که مورد نظر است ساخت مدلی با نبشی تقویت یافته با پلست و به صورت فیوزی و قابل تعویض‌پذیر بودن چند مدل قبلی که ارائه شد است. تا با مدل مقطع کاهش یافته‌ها مورد مقایسه قرار گیرد. برای رسیدن به این هدف به مدل‌های زیر پرداخته شده است.

۴-۴- مدل شماره ۴

در این مدل، نبشی ۸۰ میلیمتری، با پلست ۵۰٪*۱۳۰ میلیمتری تقویت گردیده است. در این مدل، پلست بر روی نبشی قرار گرفته و از سه طرف جوشکاری شده است. جوش از یک طرف پلست، ۵۰ میلیمتر و از دو طرف دیگر ۹۰ میلیمتر می‌باشد.

در شکل (۱۱) معلوم است که بعد از آنالیز صورت گرفته، محل مفصل پلاستیک معادل بر روی نبشی و در نزدیکی پیچ و انتهای جوش ۹۰ میلیمتری قرار گرفته است.



شکل ۱۱- مدل Weld9

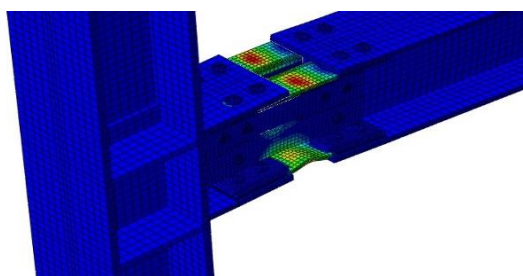
نمودار چرخه‌ای آن مطابق شکل (۱۲) است. این نمودار نشانگر آن است که سطح زیر نمودار خوب است و برای استهلاک انرژی می‌تواند ایده‌آل عمل کند. ولی نسبت به مدل کاهش یافته در بال پایینی دارای کمی بی‌نظمی و باریک شدگی در وسط نمودار است که می‌تواند نشانگر کم شدن مقاومت اعضا باشد.

۴-۵- مدل شماره ۵

بیشتری که در نمودار دیده می‌شود نشانگر این است که می‌توان به این مدل اطمینان بیشتری نسبت به مدل‌های قبلی داشت.

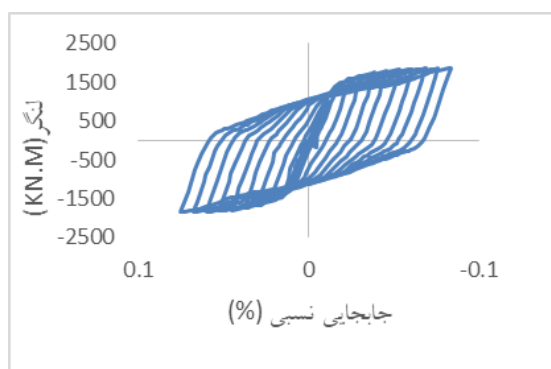
۴-۸- مدل شماره ۸

در مدل آخر که پلست تقویتی از چهار طرف جوشکاری شده است و مدل جوش بر روی آن انجام شده است. همان طور که در شکل (۱۵) این مدل مشاهده می‌شود. رفتار سازه بسیار عالی شده است محل مفصل پلاستیک مانند مدل قبلی ما بین دو پلست تقویتی قرار گرفته است.



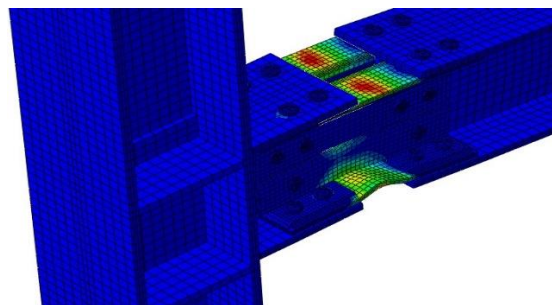
شکل ۱۵- مدل Weld-G

همان طور که مشاهده می‌شود، در مدل آخر نمودار چرخه‌ای آن مطابق شکل (۱۶) بسیار عالی بوده و دارای تقارن و سطح زیر نمودار ایده‌آل‌تری است. و همچنین دارای سطح زیر منحنی بیشتر، که نشانگر این است که دارای استهلاک انرژی بیشتری نسبت به چند مدل قبلی است. تقارن موجود در این نمودار نشانگر آن است که این طراحی دارای سختی و مقاومت خوبی است و علاوه بر این‌ها تعداد سیکل‌های بیشتری که در نمودار دیده می‌شود نشانگر این است که می‌توان به این مدل اطمینان بیشتری نسبت به مدل‌های قبلی داشت.



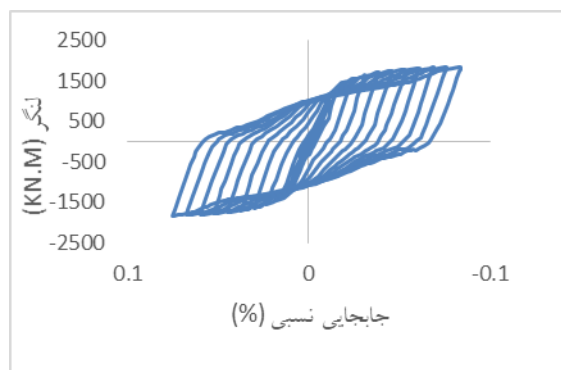
شکل ۱۶- نمودار چرخه‌ای مدل Weld-G

در مدل هفتم طول جوش از ۱۲۰ میلیمتر به ۱۳۰ میلیمتر افزایش یافته و هر سه طرف پلست تقویتی به طور کامل با جوش طراحی شده است. با افزایش طول جوش تا انتهای پلست تقویتی نبشی، رفتار نبشی تعویض‌پذیر بهتر گردیده است. مطابق شکل (۱۳) محل مفصل پلاستیک معادل کاملاً بین دو پلست تقویتی نبشی قرار گرفته است. علاوه بر این بال بالایی را بیشتر در برگرفته است. این در حالتی است که دیگر اعضا کاملاً الاستیک و خطی می‌باشند.



شکل ۱۳- مدل Weld13

زمانی که طول جوش افزایش یافته است. مفصل پلاستیک در محل مورد نظر ایجاد می‌شود. همچنین نمودار چرخه‌ای بهتری را از خود ارائه می‌دهد که مطابق شکل (۱۴) است.

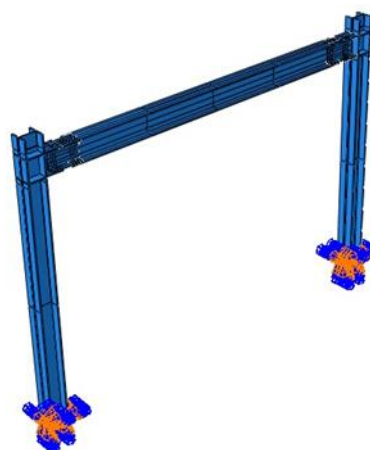


شکل ۱۴- نمودار چرخه‌ای مدل Weld13

این نمودار چرخه‌ای یک نمودار ایده‌آل‌تری است که دارای سطح زیر منحنی بیشتری است. که نشانگر این است که دارای استهلاک انرژی بیشتری نسبت به چند مدل قبلی است. تقارن موجود در این نمودار نشانگر آن است که این طراحی دارای سختی و مقاومت خوبی است و علاوه بر این‌ها تعداد سیکل‌های

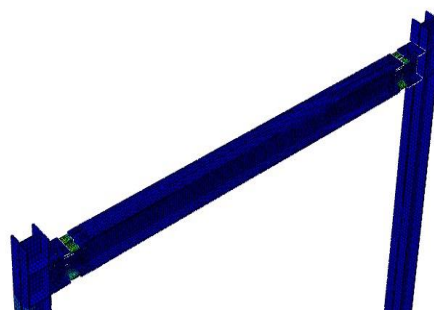
۵- مدل در قاب

مدل شماره هشت نبشی تقویتی تعویض‌پذیر با جوش چهار طرف به عنوان مدل مورد نظر در یک قاب یک طبقه دهانه قرار می‌گیرد. یک تیر کامل به فاصله دهانه ۵۰۰۰ میلیمتر بین دو ستون به ارتفاع ۳۲۰۰ میلیمتر قرار می‌گیرد. در هر دو انتهای تیر در ناحیه بحرانی از نبشی‌های تعویض‌پذیر استفاده شده است. نبشی‌ها دقیقاً قرینه در فاصله‌ای برابر از ستون‌ها در ناحیه بحرانی قرار گرفته است. پایه ستون‌ها به صورت کاملاً گیردار طراحی شده است. شماتیک مدل مطابق شکل (۱۷) است.



شکل ۱۷- قرارگیری مدل در قاب یک دهانه یک طبقه

بعد از بارگذاری‌های صورت گرفته بر روی مدل طراحی شده به صورت یک قاب یک دهانه یک طبقه، مدل به روش پوش‌آور مورد آنالیز و بررسی قرار گرفته است. آنچه از آنالیز به دست آمده و مشاهده گردیده است. محل مفاصل پلاستیک دقیقاً بر روی نبشی‌های تعویض‌پذیر به صورت کاملاً قرینه در دو انتهای تیر قرار گرفته است در شکل (۱۸) نیز نمایان است. این در حالی است که دیگر اعضا در حالت الاستیک و خطی می‌باشند.



شکل ۱۸- ایجاد مفصل پلاستیک بر روی نبشی تعویض‌پذیر در قاب

۶- نتیجه‌گیری‌ها

بعد از بررسی‌های صورت گرفته بر روی تحقیقات دیگر محققین و مطالعه نتایج به دست آمده از تحقیقات آن‌ها، مدل‌هایی برای بهبود رفتار و ایجاد ایده‌های جدید در آن‌ها مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. بعد از آن که تحقیقات بر روی مدل‌های جدید صورت گرفته، طراحی و تحلیل آن‌ها شامل خروجی‌های مختلفی بوده است. که گاهی این خروجی‌ها عالی و ایده‌آل بوده و گاهی خروجی‌ها نامطلوب بوده است. اما آنچه که از این خروجی‌ها به دست آمده شامل نتیجه‌گیری‌هایی بوده که این نتایج باعث به وجود آمدن پیشنهادهایی در یک طرح یا مدل گشته است.

مهم‌ترین نتیجه پلاستیک شدن نبشی تعویض‌پذیر است که بعد از خرابی صورت گرفته از بار لرزه‌ای قطعه فیوز تعویض‌پذیر با سرعت اجرا بالا ترمیم می‌شود. در حالی که دیگر اعضا در حالت الاستیک و خطی بوده‌اند.

بعد از بررسی‌های صورت گرفته بر روی هشت مدل طراحی شده و به دست آوردن نمودارهای چرخشی هر مدل و مطالعه بر روی نمودارهای چرخشی این هشت مدل، نمودار عملکردی به دست می‌آید.

طریقه به دست آوردن نمودار عملکردی به این صورت است که از ربع اول نمودار چرخشی، نمودار عملکردی به دست می‌آید. این نمودار بیانگر ویژگی‌های خاصی از نمودار چرخشی است. نمودار عملکردی سختی الاستیک و مقدار مقاومت در استهلاک انرژی با مساحت سطح زیر نمودار را نشان می‌دهد. هر چقدر مساحت زیر سطح نمودار بیشتر باشد، نشانگر این است که استهلاک انرژی در سیستم طراحی شده بیشتر است.

بعد از به دست آوردن نمودارهای عملکردی هر هشت مدل طراحی شده، آن‌ها را بر روی هم قرار داده تا مورد قیاس و ارزیابی قرار گیرد. در این نمودار پنج مدل برتر بر روی هم انداخته شده‌اند. همان‌طور که از شکل (۱۹) گویا است در مدل‌های برش داده شده به صورت سطح مقطع پلاستیک و مدل جوش داده شده تقویتی از چهار طرف دارای نمودار عملکردی بهتری نسبت به نمودارهای دیگر است.

با سطح زیر نمودارهای عملکردی می‌توان مقدار انرژی استهلاکی بین نمودارها را با هم مقایسه نمود. هر چه این سطح بزرگ‌تر باشد نمایانگر این است که نمودار مقدار بیشتری از انرژی وارد به سیستم را مستهلک می‌کند.

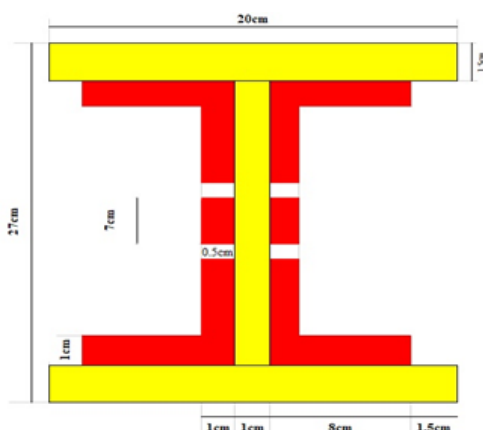
علاوه بر این دارای ضریب رفتار و سختی الاستیک اولیه بیشتری نسبت به مدل‌های دیگر است. (۳) از نتایج موجود در جدول (۴) می‌توان قیاس کرد که بین مدل برش داده شده مقطع کاهش یافته و مدل جوشی تقویت شده با پلیت، مقدار استهلاک انرژی سیستم در مدل جوشی بیشتر است. علاوه بر این ضریب رفتار و سختی الاستیک اولیه نیز بیشتر است.

جدول ۴- نتایج نمودار عملکردی

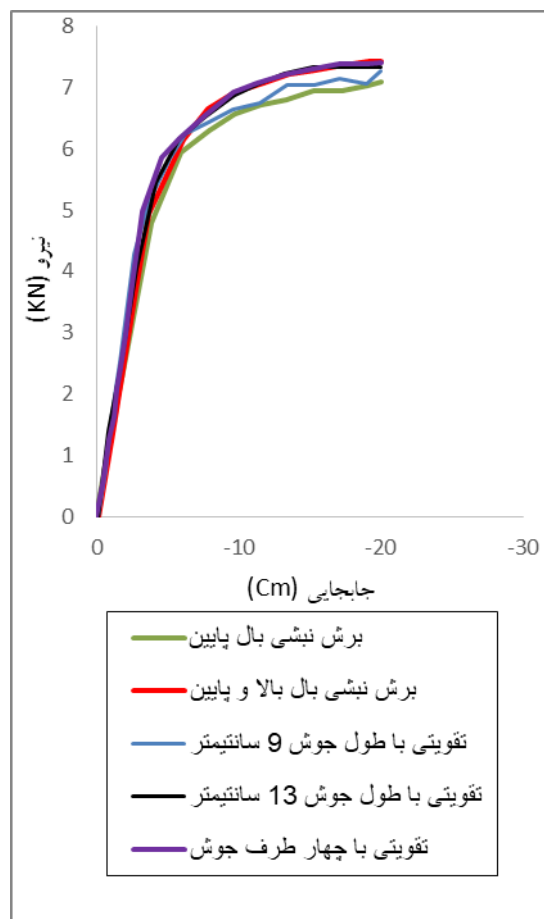
مساحت زیر نمودار (J)	ضریب شکل‌پذیری (kN)	سختی (N/m)
۱۱۱۰۰۲	۳/۴۵	۹۶۵/۵۲
۱۱۴۹۶۸	۳/۵۷	۱۰۷۱/۴۳
۱۲۰۵۴۰	۵/۲۶	۱۲۸۹/۴۷
۱۱۹۱۷۷	۵/۴۱	۱۲۷۹/۳۰
۱۱۸۵۲۵	۵	۱۴۰۰
۱۲۱۲۷۹	۵	۱۴۵۰
۱۲۲۶۰۱	۵/۸۸	۱۴۷۰/۵۹
۱۲۵۷۸۷	۶/۲۵	۱۵۶۳

۷- روابط و فرمول‌های ریاضی

شکل (۲۰) نمایشگر مقطع اولیه و رابط (۱) تا (۱۱) نمایشگر روابط طراحی مقطع اولیه هستند.



شکل ۲۰- طراحی مقطع اولیه



شکل ۱۹- نمودار عملکردی مدل برتر

نتیجه دیگری که از روی نمودار عملکردی به دست می‌آید، این است که این نمودار می‌تواند سختی الاستیک را از شیب قسمت الاستیک نمودار به دست آورده و با یکدیگر مورد قیاس قرار گیرد. علاوه بر این ضریب رفتار μ از تغییرات Δu به Δy به دست می‌آید.

(۱) در مدل‌هایی که برش بر روی بال نبشی اعمال شده، نتایج به دست آمده نشانگر این است که مقدار انرژی مستهلک شده در مدلی که برش بر بال پایینی و بالایی صورت گرفته بیشتر است و همچنین ضریب رفتار و سختی الاستیک این مدل نسبت به مدل‌های مقطع کاهش یافته بیشتر بوده است. (۲) در مدل‌های تقویت شده با نبشی هر چقدر طول جوش بیشتر شده است، نتایج به دست آمده از روی نمودار بهتر است. مدلی که هر چهار طرف آن جوش داده شده است، دارای سطح زیر نمودار بیشتری بوده و در نتیجه استهلاک انرژی بهتری نسبت به مدل‌های تقویت شده با پلیت را دارد.

انتهای"، دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در مهندسی، علوم و تکنولوژی، ۲ اسفند ۱۳۹۴.

[۴] گلایی، ص. و رافعی، ب. "بهبود عملکرد چشمه اتصال در قاب‌های خمشی فولادی با استفاده از تیرهای کاهش یافته در جان تیر"، کنفرانس بین‌المللی سبک سازی و زلزله دانشگاه کرمان، ۲ اردیبهشت ۱۳۸۹.

[۵] اتش زبان، الف.، ایزدی نیا، م.، احمدی جرنی ر. و حاجی رسولی‌ها، الف. "عملکرد لرزه‌ای اتصالات تیر به ستون با بال سوراخ شده برای قاب‌های فولادی شکل‌پذیر"، نشریه علمی پژوهشی سازه و فولاد، سال دوازدهم، شماره نوزدهم، بهار و تابستان ۱۳۹۵.

[۶] احمدی دانش آشتیانی، ف. و ناصری‌فر، ع. "بررسی عددی رفتار اتصالات تیر پیوند خمشی با مقطع کاهش یافته به ستون"، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال پانزدهم، شماره ۴۹، تابستان ۱۳۹۶.

[۷] مرادی گروسی، الف.، تحملی رودسری، م. و حسینی هاشمی ب. "ارزیابی آزمایشگاهی اتصال صلب فلنجی با مقطع کاهش یافته و فیوز قابل تعویض"، سال پانزدهم، شماره ۴۹، تابستان ۱۳۹۶.

[8] He, X., Chen, Y., Eatherton, M.R., ASCE, M. and Shao, T. (2018), "Experimental Evaluation of Replaceable Energy Dissipation Connection for Moment-Resisting Composite Steel Frames", Journal of Structural Engineering, V. 144, No. 6, pp. 04018042.

[9] Shen, Y., Christopoulos, C., ASCE, M., Mansour, N. and Treblay, R. (2011), "Seismic Design and Performance of Steel Moment-Resisting Frames with Nonlinear Replaceable Links", Journal of Structural Engineering, V. 137, No. 10, PP. 1107-1117.

[10] Lan, T., Li, R., Jiang, Z.Q., Zhang, H. and Wang, H.W. (2020), "Experimental study of earthquake-resilient prefabricated opening-web steel channel beam-column joint with double FCPs", Journal of constructional Steel research, V. 175, No. 28, PP. 106356.

[11] Tarighi, P., Kafi, M.A. and Vahdani, R. (2023), "Experimental and numerical investigation of the performance of replaceable-rigid connection", Journal of Structures, V. 53, No. 2, pp. 12-28.

[12] Sofias, C.E., Kalfas, C.N. and Pachoumis, D.T. (2014), "Experimental and FEM analysis of reduced beam section endplate connections under cyclic loading", Journal of Engineering Structures, V. 59, No. 1, pp. 320-329.

[13] FEMA-350 (2000), "Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Management Agency", Washington, DC.

$$Z_{IPE} = b_f t_f (d_{beam} - t_f) + 0.25 t_w (d_{beam} - 2t_f)^2 = (20 \times 1.5) \times (27 - 1.5) + 0.25 \times 1 \times (27 - 2 \times 1.5)^2 = 909 \text{ Cm}^3 \quad (1)$$

$$Z_{Model} = (A_1 \times X_{B1}) \times 4 + (B_2 \times X_{B2}) \times 4 \\ Z_{Model} = (8 \times 1) \times (11.5) \times 4 + (7 \times 1) \times (7.5) \times 4 = 578 \text{ Cm}^3 \quad (2)$$

$$Z_{Model} < Z_{IPE} \quad (3)$$

$$M_{pr} = C_{pr} \times R_y \times F_y \times Z \quad (4)$$

$$M_{pr} = 1.2 \times 1.2 \times 2400 \times 578 = 1997568 \text{ N.cm} \quad (5)$$

$$V_{pr} = 2 \times M_{pr} / L_h + V_{gravity} \quad (6)$$

$$V_{pr} = 2 \times 1997568 / 450 = 8878.08 \text{ N} \quad (7)$$

$$M_u = M_{pr} + V_{pr} \times S_h + W_u \times S_h^2 / 2 \quad (8)$$

$$M_u = 1997568 + 8878.08 \times 25 = 2219520 \text{ N.cm} \quad (9)$$

$$V_u = V_{pr} + W_u \times S_h \quad (10)$$

$$V_u = 8878.08 \text{ N} \quad (11)$$

۸- تقدیر و تشکر و پیوست‌ها

از تمامی دوستانی که مرا در این پژوهش علمی یاری نمودند مخصوصاً استاد بزرگوار جناب دکتر محمدعلی کافی و دکتر پیام طریقی، تقدیر و تشکر فراوان می‌نمایم.

۹- مراجع

[۱] کافی، م.ع. و طریقی، ب. "بررسی ضابطه ستون قوی - تیر ضعیف در اتصالات از پیش تایید شده جوشی در قاب‌های خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط"، نشریه علمی پژوهشی سازه و ساخت، دوره ۵، شماره ۴، ص ۱۹۵-۲۰۶.

[۲] نعمتی، ح. و قبادی، م.ح. "ارزیابی الزامات لرزه‌ای اتصال گیردار براکت پیش‌ساخته پیچ و مهره‌ای"، نشریه علمی پژوهشی سازه و فولاد، سال سیزدهم، شماره بیستم، پاییز و زمستان ۱۳۹۵.

[۳] خلیلی، الف. و ایزدی نیا، م. "بررسی تاثیر پارامترهای مقطع کاهش یافته بال تیر بر رفتار چرخه‌ای اتصالات گیردار فولادی با صفحه