بررسی نوارهای میراگرشکافدار و معرفی میراگردوگانه تی شکل شکافدار در عملکرد لرزه‌ای اتصال تیر به ستون

خدیجه بیات[1*]، بهزاد شکسته بند[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه

۲- دانشیار، مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه

* ارومیه، صندوق پستی ۵۷۱۵۵-۴۱۹، khadije.bayat@civil.uut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶)

چکیده

برای جلوگیری از شکست ترد در اتصالات و نیز کاهش خسارت‌های پس از زلزله، استفاده از میراگرهای شکافدار توصیه می‌شود. این میراگرها دارای شکاف‌هایی درجان خود هستند که نوارهای ایجاد شده جاذب انرژی و مستهلک کننده آن بوده و مانع از تخریب اعضای اصلی سازه می‌شوند. با توجه به مطالعات انجام شده در رابطه با تاثیر نوارها بر روی استهلاک انرژی، نحوه قرارگیری نوارها به صورت زاویه‌دار با زاویه ۴۵ درجه و به صورت ترکیبی (افقی و عمودی) مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با توجه به اینکه این میراگر در اتصال نیمه صلب جانمایی شده، یک میراگر دوگانه تی شکل به صورت تیر کوتاه برای اتصال صلب پیشنهاد شده است. تمامی مدل‌ها در نرم افزار ABAQUS تحت اثر بارگذاری چرخه‌ای مورد تحلیل قرار گرفتند. در نتایج نمودار هیسترزیس، لنگر ماکزیمم میراگر با نوار زاویه‌دار حدود ۲ برابر و نوار ترکیبی حدود ۱/۳ برابر نسبت به لنگر ماکزیمم مدل پیشنهادی Oh و همکارانش (۲۰۰۹) افزایش پیدا کرده و استهلاک انرژی بیشتری در حدود دو برابر حاصل شد. در مورد دمپر پیشنهادی اتصال صلب نیز، استهلاک انرژی بسیار خوبی بدست آمد.

واژگان کلیدی

اتصال صلب، میراگر شکافدار، نوار زاویه‌دار، نوار ترکیبی، میراگر دوگانه تی شکل

Investigation on the Influence of Strips of Slit Dampers on the Seismic Performance of Beam-to-Column Connections and Introducing Dual T-Shaped Slit Dampers

Kh. Bayat, B. Shekastehband

Abstract

It is proposed to use slit dampers to prevent brittle fracture in the connections and to reduce the post-earthquake damage. These dampers have a limited number of strips which dissipate seismic energy by plastic deformation and preserve the main structural members from damage. In order to study the effect of strips on energy dissipation capacity of slit dampers, two cases involving an orientation at a 45° angle and combination of vertical and horizontal orientations were cosidered. In addition, the seismic performance of rigid beam-to-column connections with a double t-shaped slit damper has been evaluated. All the models have been analysed using nonlinear finite element software package ABAQUS under cyclic loading. Based on the obtained results, the moment capacity of the dampers with oblique strips and combined ones under repeated cyclic action is 2 times and 1.3 times, respectively, higher than that of the damper proposed by oh et al.The slit dampers with oblique strips can attain high energy dissipation capacity up to 2 times of those with vertical strips. The proposed dual t-shaped slit damper shows good energy dissipation capacity.

Keywords

Slit dampers, Oblique strips, Combined, Dual T-shaped dampre

[Downloaded from journalisss.ir on 2025-08-28]

[DOR: 20.1001.1.1735515.1398.1398.25.6.0]

۱- مقدمه

اتصالات یکی از مهم‌ترین اعضای سازه می‌باشند و چون بخش زیادی از نیروهای جانبی توسط اتصالات تحمل می‌شود، اهمیت اتصالات دو چندان می‌گردد. اتصالات نقش اساسی در ایمنی و آسیب‌پذیری سازه‌ها دارند. مقاومت و شکل پذیری اتصالات از پارامترهایی هستند که در این رابطه، نقش اساسی ایفا می‌کنند. رفتار سازه‌های فلزی چند طبقه براساس نوع اتصالاتشان در زلزله نورثریج ۱۹۹٤ و کوبه ۱۹۹۵ به وضوح نشان داد که اتصالات دارای سختی زیاد و مقاومت بالا، همیشه برای سازه‌های بلند، تنها راه حل ممکن نمی‌باشد. استفاده از اتصالات نیمه‌صلب به عنوان یک توزیع‌کننده انرژی در سازه و به منظور کنترل رفتار کلی سازه هنگامی که سازه تحت اثر بار تناوبی یا دینامیکی قرار دارد، می‌تواند یک گزینه مناسب و اقتصادی باشد.

قاب‌های خمشی با اتصالات متداول با بال جوش شده و جان‌های پیچ شده در سال‌های بین ۱۹٦۰ تا ۱۹۹۰ به عنوان قاب‌های شکل‌پذیر در نظر گرفته شده بودند؛ اما بعد از زلزله نورثریج ۱۹۹٤، به علت ضعف‌های ایجاد شده در این اتصالات، محبوبیت خود را از دست دادند. در بیش از ۱۵۰ ساختمان، شکست‌های ترد در اتصالات تیر به ستون رخ داد، در حالی که در بسیاری از موارد، مفصل پلاستیک در تیر تشکیل نشده بود و دیگر اعضا به صورت الاستیک باقی مانده بودند. بعد از این زلزله، مطالعات زیادی به منظور بهبود عملکرد اتصال تیر به ستون انجام گرفت. سه پارامتری که در این مطالعات مورد بررسی قرار گرفتند، عبارت بودند از: مقاومت، سختی و شکل پذیری. اتصالات قبل از زلزله نورثریج دارای سختی کافی بودند و نیازی به بهبود سختی اتصال وجود نداشت. بنابراین، عمده تلاش‌های تحقیقاتی برای افزایش مقاومت و شکل‌پذیری این نوع اتصالات متمرکز شد. به منظور بهبود عملکرد اتصالات، دو مفهوم کلی پیشنهاد شد: ۱- روش‌های تقویت حد فاصل مفصل پلاستیک تا بر ستون یا تفکر قوی‌تر کردن ناحیه اتصال و ۲- روش‌های تضعیف مقطع تیر در ناحیهٔ مفصل پلاستیک یا تفکر ضعیف‌تر کردن مقطع تیر. اتصالاتی که با استفاده از مفهوم اول طراحی می‌گردند، همواره مسلح کردن اتصال را مد نظر قرار می‌دهند. در این اتصالات، به علت تقویت بر اتصال، نسبت تقاضا به ظرفیت در بر اتصال، کمتر از همین نسبت در محل مفصل پلاستیک است. بنابراین اتصال به صورت الاستیک باقی مانده و در محل اتصال تیر به ستون شکست ترد رخ نخواهد داد. به علت اینکه در این اتصالات، ترکیبی از اصلاح در روند جوشکاری به همراه مسلح کردن اتصال استفاده شده است، هزینه‌های اجرایی و نیروی انسانی در این نوع از اتصال، افزایش می‌یابد. در اتصالات مسلح، تشکیل مفاصل پلاستیک در نواحی دور از اتصال صورت می‌پذیرد، شرایطی که برای اتصالات مربوط به قبل از زلزله نورثریج انتظار می‌رفت. تقاضاهای بالای تنش-کرنشی در محل تقاطع تیر به ستون، که باعث مشارکت مدهای شکست ترد در زلزله نورثریج شده بود، به طور قابل ملاحظه ای کاهش می‌یابد. در مفهوم دوم، برای کاهش نسبت تقاضا به ظرفیت در بر اتصال نسبت به محل مفصل پلاستیک، برخلاف مفهوم اول از کاهش مقطع تیر استفاده می‌شود. در این مفهوم، مقطع تیر با فاصله از بر ستون، تضعیف می‌گردد تا امکان تشکیل مفصل پلاستیک در این ناحیه وجود داشته باشد. متداول‌ترین نوع اتصال که با استفاده از مفهوم دوم طراحی می‌گردد، اتصال تیر با مقطع کاهش یافته می‌باشد.

با توجه به ضعف‌های مفهوم اول، همچنین روش‌های نوین کنترل ارتعاشات سازه ضمن اقتصادی بودن، درمورد ساختمان‌های موجود این امکان را فراهم می‌کند که بدون نیاز به خرابی‌های عمده هنگام اجرا، ساختمان به سرویس‌دهی خود ادامه دهد. اعضای جدیدی در سازه که عامل اتلاف انرژی لرزه‌ای وارده به ساختمان هستند و با به کار بستن آن‌ها در ساختمان می‌توان یک ساختمان با عملکرد بهینه داشت. که در مقابل انواع بارهای دینامیکی ناشی از زلزله و باد، رفتار مناسب و مطلوبی از خود ارائه می‌دهند.

درسال ۲۰۰۸، Albermani و Chan [۱] با مطالعه بر روی میراگر شکافدار در اتصال بادبند شورون دریافتند دستگاه‌هایی که شکاف‌های بلندتری دارند، رفتار انعطاف‌پذیری ازخود نشان می‌دهند و دستگاه‌هایی با شکاف‌های کوتاه‌تر، انرژی بیشتری را مستهلک می‌کنند، اما با مقاومت این کار را انجام می‌دهند و زودتر گسیخته می‌شوند و بیشترین کرنش پلاستیک در انتهای شکاف‌ها که منجر به گسیختگی می‌شود اتفاق می‌افتد. Oh و همکارانش (۲۰۰۹) [۲] در این مطالعه، عملکرد لرزه‌ای میراگرهای شکافدار به صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی، یک سیستم ساختاری جدید با ویژگی‌های ظرفیت بالای شکل‌پذیری و سهولت تعمیر پس از زلزله پیشنهاد شده است. اتصال پیشنهادی، یک اتصال تیر به ستون مجهز به میراگر شکافدار است که تیر با کمک یک سپری در بالای بال و یک میراگر شکافدار که در زیر بال تحتانی قرار می‌گیرد، با پیچ‌های پر مقاومت به بال ستون متصل

[Downloaded from journalisss.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1398.1398.25.6.0]

می‌شوند. در این سیستم پیشنهادی با وجود میراگر شکافدار، مفصل پلاستیک در تیر رخ نداده و تمام تغییرشکل در میراگر اتفاق می‌افتد. که حدود ۹۶ درصد جذب انرژی توسط میراگر انجام می‌شود و با حضور دال بتنی نیز سختی و ماکزیمم مقاومت افزایش می‌یابد.

Karavasilis و همکارانش (۲۰۱۱) [۳] این مطالعه، یک رویکرد طراحی لرزه‌ای برای سازه‌های فولادی را ارزیابی می‌کند که با هدف اتلاف انرژی با جایگزینی آسان توسط میراگرها و محافظت از اعضای اصلی سازه را ارائه می‌نماید. قاب مورد مطالعه مجهز به میراگرهای فولادی شکافدار و میراگرهای ویسکوز تحت تحلیل دینامیکی صریح، بررسی می‌شود. نتایج تحلیل لرزه‌ای نشان دادند که ساختمان‌های فولادی با میراگر شکافدار و میراگرهای غیرخطی ویسکوز قادر به عملکرد سریع تحت زلزله طرح و همچنین شدیدترین زلزله هستند و با اجتناب از رسیدن اعضای اصلی سازه به تسلیم و نیز دستیابی به حداقل خسارت در ماکزیمم جابه‌جایی پسماند عمل می‌کنند و با بهبود عملکرد سازه، حداقل آسیب را تعریف می‌کنند.

Saffari وهمکارانش (۲۰۱۳) [٤] با هدف استفاده از میراگرهای شکافدار برای افزایش قابلیت انعطاف‌پذیری اتصالات تازه طراحی شده و موجود، این تحقیق را انجام دادند. در این مطالعه برای اصلاح اتصال نورثریج چهار مدل میراگر در اتصال تیر به ستون بررسی می‌شوند. و یک اتصال اصلاح شده با کارایی بالا که در آن میراگر به صورت ورق از کنار به بال بالا و پایین تیر متصل می‌گردد؛ پیشنهاد می‌شود. نتایج عناصر محدود نشان داد که این نوع اتصال دارای ظرفیت جذب انرژی بالا است و منبع اصلی اتلاف انرژی، میراگرهای شکافدار هستند.

Lee و همکارانش (۲۰۱۵) [۵] چهار نوع از انواع میراگرهای شکافدار را بررسی کردند و مشاهده شد میراگرها قادر به جذب مقدار قابل توجهی از انرژی حتی پس از شکست هستند. علاوه بر این تمام میراگرهای مورد مطالعه، کارایی ساختاری بسیار عالی هم از نظر جذب انرژی و هم انعطاف‌پذیری دارند.

Lee و همکارانش (۲۰۱٦) [٦] ارزیابی رفتار چند مرحله‌ای میراگر جدید هیبریدی که ترکیبی از میراگر اصطکاکی و میراگر شکافدار فولادی است را تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند نمونه‌ها رفتار هیسترزیس پایداری را تا لحظه گسیختگی از خود نشان می‌دهند علاوه بر این استهلاک انرژی در نمونه‌های هیبریدی بیش از دو برابر نسبت به حالتی که از میراگر غیرترکیبی استفاده می‌شود؛ افزایش یافته است. Lee و همکارانش (۲۰۱۷) [۷] با پیشنهاد میراگرهای لانه زنبوری در اتصال بادبندی تحت بار لرزه‌ای، مشاهده کردند که نشان داد میراگر لانه‌زنبوری به طور قابل توجهی موجب افزایش سختی و استهلاک انرژی سازه می‌شود. تحلیل‌های غیرخطی نشان دادند که پس از نصب، ماکزیمم جابه‌جایی به شدت کاهش می‌یابد همچنین مشاهده شد که این میراگر مقدار زیادی از انرژی را مستهلک می‌کند و در نتیجه آسیب کمتری به اعضای سازه وارد می‌شود. Lee و Kim (۲۰۱۷) [۸] در این مطالعه، یک میراگر فولادی با چهار ورق شکافدار فولادی به شکل جعبه پیشنهاد شده است که به عنوان بادبند زانویی جانمایی می‌شود و برای ارزیابی اتلاف انرژی، تحت بارگذاری چرخه‌ای انجام شده است. توانایی میراگر در استهلاک انرژی، کاملاً مشهود است. همچنین میراگر مانع از جابه‌جایی زیاد طبقات می‌شود.

Amiri و همکارانش (۲۰۱۸) [۹] نوع جدیدی از میراگر فلزی به نام میراگر شکافدار بلوکی را پیشنهاد دادند که منحنی‌های هیسترزیس نمونه‌های آزمایش شده به علت ظرفیت‌های تخریب انرژی بالا، پایدار و دارای قدرت بالا بودند و اتلاف انرژی با کمانش کردن در شکاف‌ها به خوبی توسعه پیدا می‌کند.

با توجه به مطالعات انجام شده، اهمیت نوارها در افزایش استهلاک انرژی و انعطاف‌پذیری به خوبی مشهود است و به منظور بهبود عملکرد اتصال، میراگر شکافدار با نوارهای زاویه‌دار و ترکیبی مورد بررسی قرار گرفته است همچنین میراگر دوگانه تی شکل نیز برای اتصال صلب پیشنهاد شده است.

۲- بررسی صحت سنجی

۲-۱- روابط

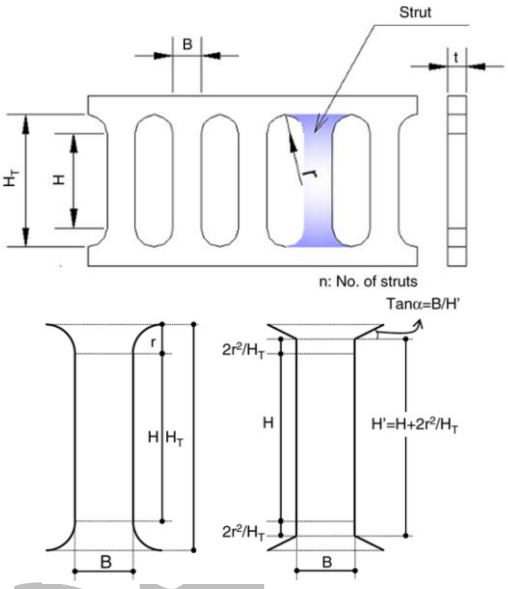
برای طراحی و ساخت میراگر شکافدار می‌توان از روابط ارایه شده توسط Oh و همکارانش [۲] استفاده نمود مقاومت تسلیم و مقاومت نهایی مطابق با فرمول‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$P_y = min\left\{n\frac{\sigma_y tB^2}{2H'}, n\frac{2\sigma_y tB}{3\sqrt{3}}\right\} \quad (۱)$$

$$P_u = min\left\{n\frac{\sigma_u tB^2}{2H'}, n\frac{2\sigma_u tB}{3\sqrt{3}}\right\} \quad (۲)$$

که در روابط (۱) و (۲)، P_y مقاومت تسلیم و P_u مقاومت نهایی میراگر شکافدار، σ_y تنش تسلیم و σ_u تنش نهایی، t ضخامت نوار، B عرض نوار، $H' = H + \frac{2r^2}{H_T}$ ارتفاع نوار است که در آن H ارتفاع قسمت بدون انحنا نوار، H_T ارتفاع کل نوار، r شعاع انحنای بالا وپایین نوار، H' ارتفاع معادل نوار است شکل (۱).

[Downloaded from journalisss.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1398.1398.25.6.0]



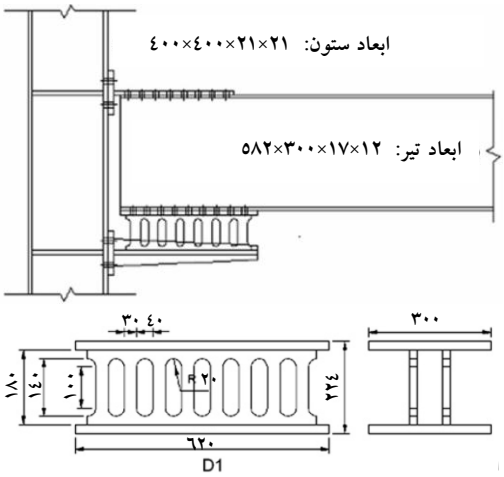
شکل ۱- جزییات نوار میراگر شکافدار [۲]

همچنین جابه‌جایی تسلیم δ_y از رابطه (۳) محاسبه می‌شود که در آن E_t معرف مدول الاستیسیته است.

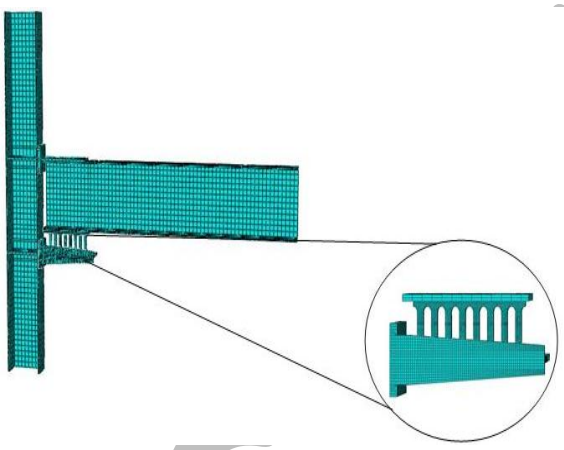
$$\delta_y = \frac{1.5P_yH_T}{nE_tB}\left[\left(\frac{H'}{B}\right)^2 + 2.6\right] \qquad (۳)$$

۲-۲- مدل‌سازی درنرم افزار ABAQUS

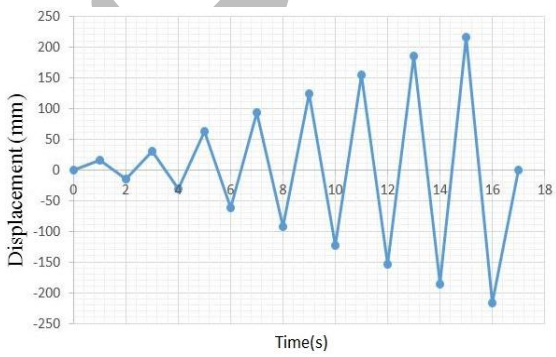
برای دستیابی به درستی عملکرد میراگرهای شکافدار، یک نمونه آزمایشگاهی از این میراگر با نرم افزار عناصر محدود آباکوس مدل‌سازی گردید. نمونهٔ مورد بررسی، نمونه D1 کار پژوهشی- آزمایشی Oh (۲۰۰۹) انتخاب شده است شکل (۲). این نمونه یک اتصال تیر به ستون است که با میراگر شکافدار ادغام شده و به نمودارهای هیسترزیس با استهلاک انرژی بالا دست یافته‌اند. در این اتصال، تیر توسط یک سپری که در بالای بال فوقانی تیر قرار دارد و توسط یک میراگر شکافدار، که در پایین بال تحتانی تیر روی یک سپری قرار می‌گیرد؛ به ستون متصل می‌شود. تیر، ستون، سپری، میراگر شکافدار با عناصر سه بعدی (C3D8R) مدل‌سازی شده‌اند شکل (۳). اندازه شبکه عناصر محدود برای تیر و ستون، ۵۰ میلیمتر و برای میراگر و سپری پایین، ٤ میلیمتر و برای سپری بالایی، ۵۰ میلیمتر است به طور کلی، اندازه شبکه عناصر محدود به صورت بهینه برای پارت‌ها و با توجه به اهمیت آنها در نظر گرفته شده است. همچنین پیچ‌ها و فضای بین پیچ‌ها و تمامی تماس‌ها در این اتصال با تای[۱] مدل‌سازی شده است. لازم به ذکر است که به دلیل متقارن بودن، نصف اتصال تحت بارچرخه‌ای مطابق با پروتکل بارگذاری شکل (٤) مدل‌سازی و بررسی شده است. رفتار عناصر به صورت غیرخطی بر مبنای مشخصات مکانیکی مندرج در جدول (۱) مدل‌سازی شده است. لازم به ذکراست تمامی مقاطع از رده فولاد (اِس اِم-٤۹۰[۲]) و فقط بال و جان تیر از رده فولاد (اِس اِس-٤۰۰[۳]) هستند.



شکل ۲- جزییات اتصال D1 [۲]



شکل ۳- شبکه عناصر محدود مدل D1 [۲]



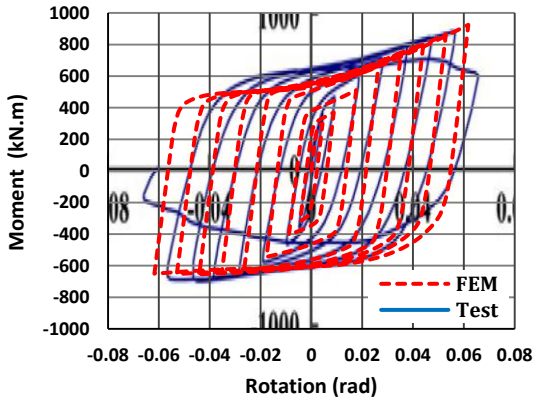
شکل ٤- پروتکل بارگذاری Oh و همکارانش (۲۰۰۹) [۲]

[Downloaded from journalisss.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1398.1398.25.6.0]

جدول ۱- مشخصات مکانیکی فولاد [۲]

مقطع	ضخامت (mm)	مقاومت تسلیم (MPa)	مقاومت نهایی (MPa)	مقدار کشیدگی (٪)
جان تیر	۱۲	۳۳۹	٤٨٨	۲۷
بال تیر	۱۷	۳۱۸	٤٨٠	۳۰
جان ستون	۲۰	۳۹٥	٥٥٤	۲۷
بال ستون	۲۰	۳۷۸	٥٥١	۲٤
بال ورق اتصال تی شکل	۲۲	۳۸۸	٥۷۷	۲٥
جان ورق اتصال تی شکل	۳٥	۳۸٦	٥۷۳	۲٤
میراگر	۱۹	۲۸۸	٤٦٤	۳۰

مطابق با نمونهٔ آزمایشگاهی، بارگذاری در انتهای تیر وارد می‌شود و همچنین شرایط مرزی اتصال مفصلی در دو انتهای ستون اعمال می‌شود. در شکل (٥)، منحنی هیسترزیس نمونه مدل‌سازی شده در نرم افزار ABAQUS و نمونه آزمایشگاهی Oh و همکارانش (۲۰۰۹) ارائه شده است که مطابقت بسیار خوبی دارند.



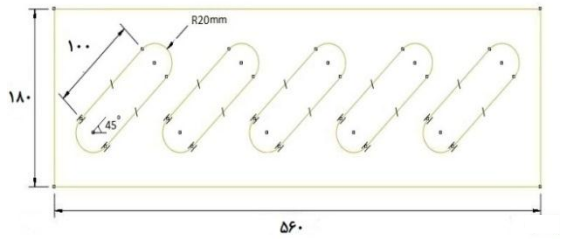
شکل ٥- صحت سنجی منحنی هیسترزیس مدلسازی نمونه D1 به روش المان محدود با نتایج آزمایشگاهی [۲]

۳- مدل‌سازی میراگرهای پیشنهادی

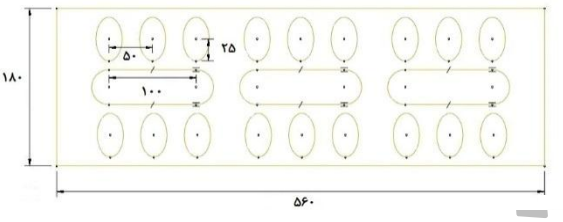
۳-۱- میراگر شکافدار با نوار زاویه‌دار و ترکیبی

به منظور بهبود عملکرد اتصال تیر به ستون، میراگرهای شکافدار با نوار زاویه‌دار (با زاویه ٤٥ درجه) و ترکیبی (نوار افقی وعمودی) مطابق شکل (٦) در نرم افزار ABAQUS مدل‌سازی شده‌اند.

میراگر شکافدار ترکیبی در واقع ترکیب دو نمونه، نوار افقی پیشنهاد شده توسط Chan و Albermani (۲۰۰۸) و شکاف‌های میراگر لانه‌زنبوری پیشنهادی Lee و همکارانش (۲۰۱۷)، می‌باشد که در اینجا به شکل بیضی هستند در یک میراگر مورد بررسی قرار می‌گیرند.



(الف) میراگر با نوار زاویه‌دار



(ب) میراگر با نوار ترکیبی

شکل ٦- جزییات میراگرهای مورد بررسی

۳-۲- میراگر دوگانه تی شکل در اتصال صلب

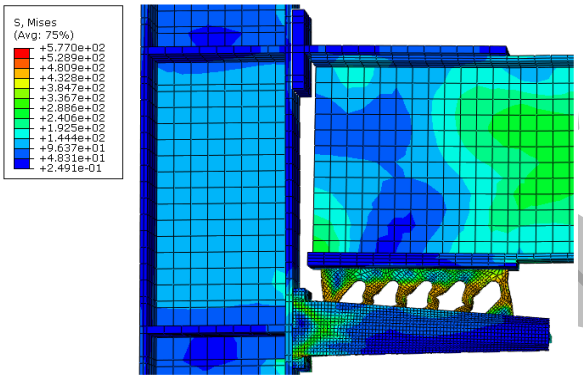
میراگر پیشنهادی به شکل تیرکوتاه تی شکل است که در بالا و پایین تیر قرار می‌گیرد و در وسط جان این تیر کوتاه به هم متصل می‌شود و به صورت آی شکل در می‌آید شکل (۷). این میراگر در پشت ورق انتهایی قرار می‌گیرد که جزییات اتصال آن مطابق شکل (۸) می‌باشد. در مورد ابعاد پیشنهادی برای میراگر، این نکته در نظر گرفته شده است که با لنگری که در اثر این بارگذاری اتفاق می‌افتد، اگر بازوی لنگر کوچک‌تر باشد، در نتیجه نیرو افزایش پیدا کرده و نمودار هیسترزیس با لنگر و استهلاک انرژی بیشتری را خواهیم داشت.

در این اتصال، ابعاد تیر و ستون همانند مدل صحت سنجی می‌باشد و ورق انتهایی با طول ۳۰۰ میلی متر، عرض ۱۷٥ میلی‌متر و ضخامت ۲۱ میلی‌متر درنظر گرفته شده است. همچنین ورق مثلثی شکل (لچکی) با ضخامت ۱۲ میلیمتر قرار داده شده است. در این اتصال، تنش و کرنش میراگر مانند میراگر پیشنهادی Oh و همکارانش (۲۰۰۹) ولی به صورت تی شکل، در نظر گرفته شده است. مشخصات مکانیکی ورق انتهایی مانند جان ستون و مشخصات مکانیکی ورق مثلثی شکل مانند جان تیر مطابق با جدول (۱) وارد شده است.

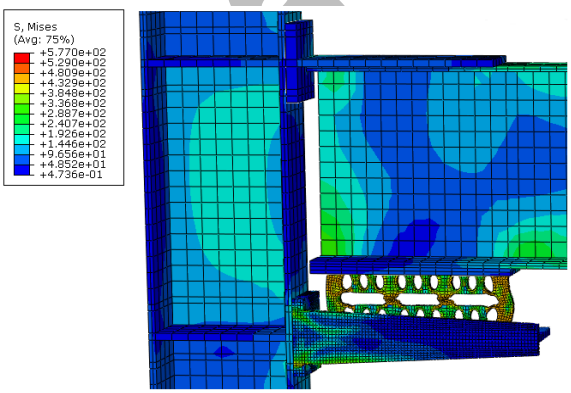
[Downloaded from journalisss.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1398.1398.25.6.0]

٤- تفسیر نتایج

با استفاده از کانتور تنش فون میسز که در شکل (۹) نشان داده شده است، مشاهده می‌شود تمرکز تنش که در نوارهای میراگر رخ می‌دهد در انتهای نوارها نیست بلکه بیشترین تنش‌ها در طول نوارها دیده می‌شوند و در میراگر با نوار ترکیبی نیز تمرکز تنش در دو انتهای میراگر دیده می‌شود و همچنین به علت تنش فشاری، کمانش در نوارهای افقی به وجود می‌آید که در واقع کمی قبل از تسلیم رخ می‌دهد و به جای تسلیم‌شدگی در تیر به صورت کمانش در میراگر اتفاق می‌افتد و به طور کلی می‌توان گفت استهلاک انرژی و کمانش صرفاً توسط میراگر صورت می‌گیرد و مطابق شکل (۱۰) عناصرهای اصلی سازه (تیر و ستون) تا جابه‌جایی ٤ درصد الاستیک باقی می‌مانند.

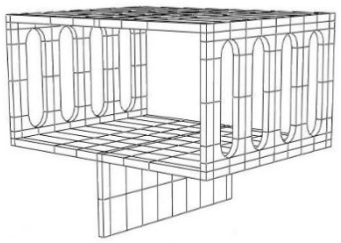


(الف) میراگر با نوار زاویه‌دار

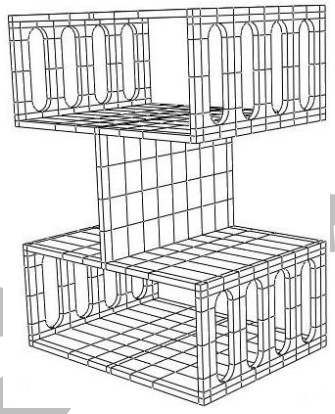


(ب) میراگر با نوار ترکیبی

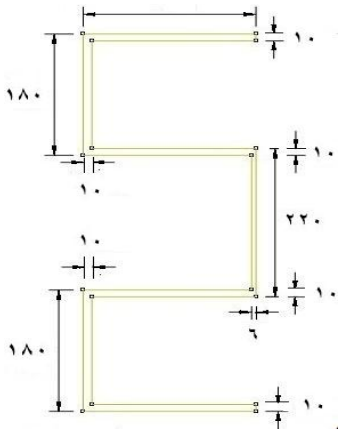
شکل ۹- کانتور تنش فون میسز در اتصال تیر به ستون مجهز به میراگر



(الف) تی شکل

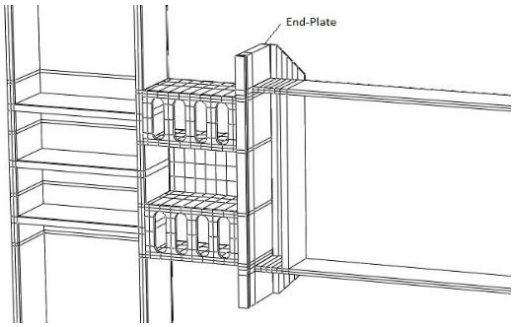


(ب) دوگانه تی شکل



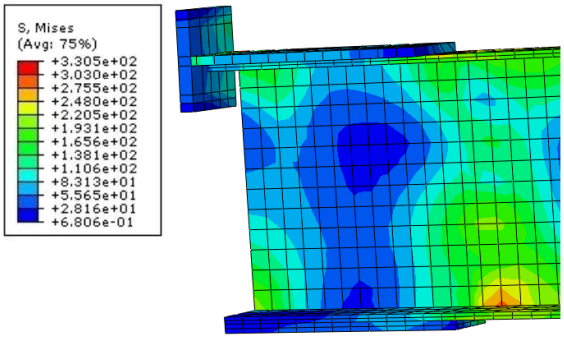
(ج) ابعاد نصف میراگر دوگانه تی شکل

شکل ۷- جزییات میراگرها

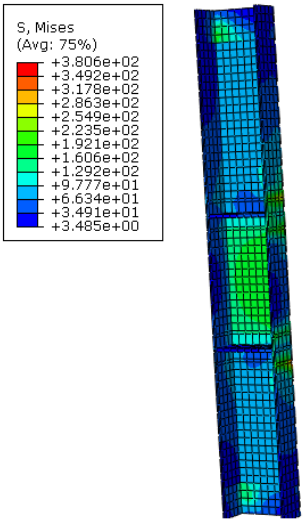


شکل ۸- مونتاژ اتصال صلب

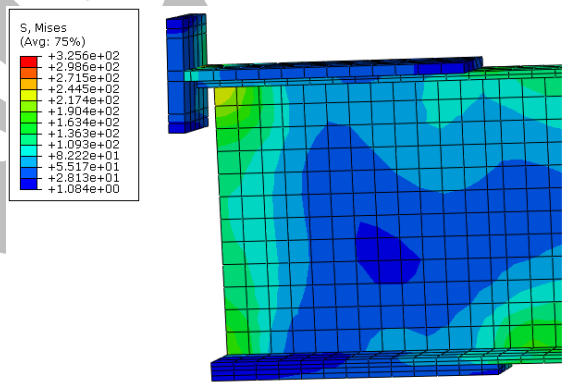
[Downloaded from journalisss.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1398.1398.25.6.0]



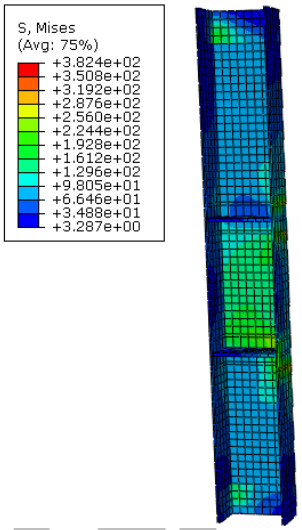
(الف) تیر و سپری در اتصال مجهز به میراگر با نوار زاویه‌دار



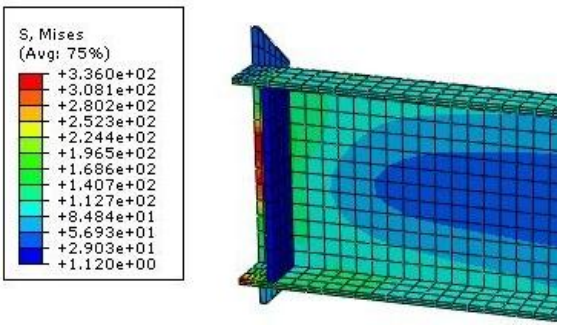
(ب) ستون در اتصال مجهز به میراگر با نوار زاویه‌دار



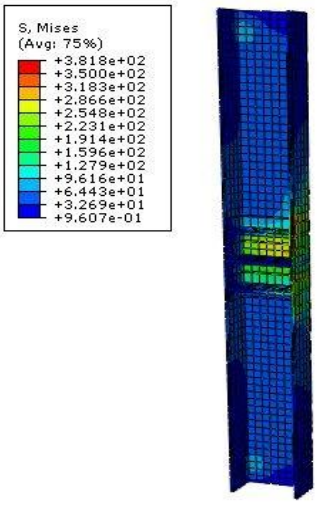
(ج) تیر و سپری در اتصال مجهز به میراگر با نوار ترکیبی



(د) ستون در اتصال مجهز به میراگر با نوار ترکیبی



(ه) تیر در اتصال صلب مجهز به میراگر دوگانه تی شکل



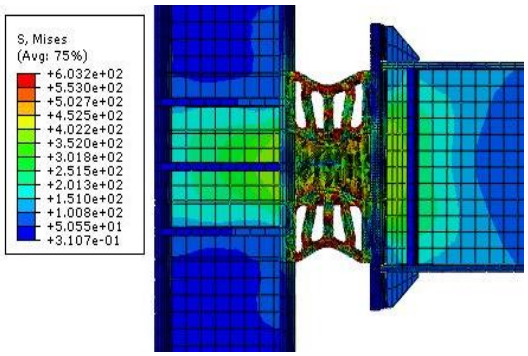
(و) ستون در اتصال صلب مجهز به میراگر دوگانه تی شکل

شکل ۱۰- بررسی کانتور تنش فون میسز اعضای اصلی (تیر و ستون) در جابه‌جایی ٤ درصد

[Downloaded from journalisss.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1398.1398.25.6.0]

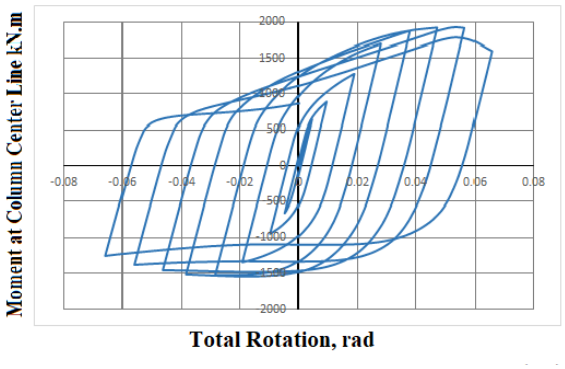
در اتصال صلب مجهز به میراگر شکافدار دوگانه تی شکل نیز تنش‌ها در دو انتهای نوارهای میراگر متمرکز می‌شود و همچنین به دلیل اینکه تحت کشش و فشار قرار می‌گیرند، ورق‌های بالایی و پایینی کمی قبل از تسلیم دچار کمانش می‌شوند ولی اعضای اصلی سازه سالم باقی می‌ماند شکل (۱۱).

همچنین با بدست آوردن منحنی هیسترزیس اتصالات مطابق شکل (۱۲)، مشاهده می‌شود که میراگر با نوار زاویه‌دار با کاهش تعداد نوارها و با حفظ ضخامت نوار و عرض نوار و تنها با زاویه‌دار کردن نوارها، لنگر ماکزیمم تا جابه‌جایی ٦ درصد افزایش و در انتها بعد از آن کاهش می‌یابد این میزان افزایش لنگر ماکزیمم در حدود ۲ برابر لنگر ماکزیمم مدل پیشنهادی Oh و همکارانش (۲۰۰۹) می‌باشد. همچنین در میراگر با نوار ترکیبی نیز تا جابه جایی ٦ درصد ادامه می‌یابد و بعد از آن هم به طور منظم روند افزایشی را طی می‌کند. که این میزان افزایش لنگر ماکزیمم حدود ۱/۳ برابر بدست می‌آید و اگر بخواهیم تا جابه‌جایی ٤ درصد که اعضای اصلی (تیر وستون) رفتاری الاستیک از خود نشان می‌دهند با مقاله ذکر شده مقایسه کنیم باز هم این افزایش با همین نسبت‌ها برقرار است.

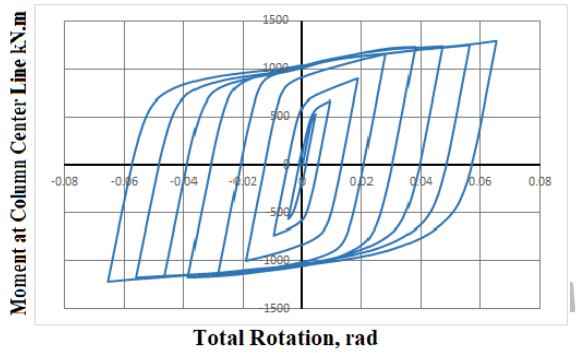


شکل ۱۱- کانتور تنش فون میسز در اتصال صلب مجهز به میراگر دوگانه تی شکل

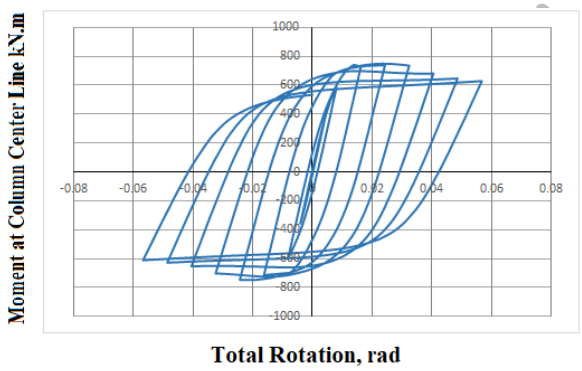
با توجه به اینکه مساحت داخل منحنی هیسترزیس نشان دهنده انرژی مستهلک شده می‌باشد و هرچه این منحنی‌ها پهن‌تر باشند استهلاک انرژی بیشتری خواهیم داشت، در دو میراگر پیشنهادی این افزایش استهلاک انرژی به خوبی مشهود است. در اتصال صلب مجهز به میراگر دوگانه تی شکل نیز لنگر ماکزیمم درحدود ٦٥٦ کیلونیوتن در متر با استهلاک انرژی بسیار خوبی بدست آمد. برای مقایسه بهتر، میزان استهلاک انرژی نسبی مطابق جدول (۲) ارائه شده است.



(الف) نوار زاویه دار



(ب) نوار ترکیبی



(ج) دوگانه تی شکل

شکل ۱۲- منحنی هیسترزیس اتصال مجهز به میراگر

جدول ۲- مقایسه میزان استهلاک انرژی نسبی

اتصال مجهز به میراگر	استهلاک انرژی (kJ)	مقایسه استهلاک انرژی با مدل پیشنهادی مرجع [۲]
پیشنهاد مرجع [۲]	٤٨٣٢٩٨	۱/۰۰
با نوار زاویه‌دار	۹۹٥۳۳۲	۲/۰٥
با نوار ترکیبی	۸٥۷۸۸۸	۱/۷۰
دوگانه تی شکل	۳٥٤۲٤۰	---

[Downloaded from journalisss.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1398.1398.25.6.0]

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش دو نوع اتصال تیر به ستون مجهز به میراگر شکافدار به روش عناصر محدود بررسی شد: اتصال اول یک اتصال نیمه صلب بود که به پیشنهاد Oh و همکارانش (۲۰۰۹) به یک میراگر در پایین بال تیر مجهز شده بود که با بررسی نحوه قرارگیری نوارها در همان میراگر، با نوار زاویه‌دار و ترکیبی استهلاک انرژی بیشتری بدست آمد. در اتصال دوم یک اتصال صلب بررسی شد که به یک میراگر جدید به نام میراگر دوگانه تی شکل مجهز شده بود و به شکل مطلوبی لنگر ماکزیمم ٦٥٦ کیلونیوتن در متر بدست آمد. در ادامه به نتایج کلی زیر می‌توان اشاره کرد:

- با توجه به تاثیر نوارهای شکافدار، با قرار دادن نوار زاویه‌دار لنگر ماکزیمم و همچنین استهلاک انرژی به میزان قابل توجهی افزایش یافت و تمرکز تنش در طول نوار رخ داد.
- تاکنون این میراگر در اتصال صلب جانمایی نشده بود که با پیشنهاد میراگر دوگانه تی شکل شکافدار به این مهم با مقاومت بالا و استهلاک انرژی جالب توجهی دست یافته شد.
- با بررسی ادغام نوارهای افقی و همچنین شکاف‌های مانند شکاف لانه‌زنبوری، به صورت ترکیبی (افقی و عمودی) تمرکز تنش در دو انحنا نوارها بیشتر است و استهلاک انرژی افزایش می‌یابد.
- به طور کلی و با توجه به نمودارهای هیسترزیس و نتایج کانتور تنش فون میسز، این میراگرها تا جابه‌جایی ٤ درصد هم استهلاک انرژی بالایی از خود نشان می‌دهند و باعث می‌شوند تیر و ستون در حالت الاستیک باقی بمانند.
- در هر سه میراگر پیشنهادی به افزایش استهلاک انرژی و مقاومت بالا توسط میراگرها دست یافته شد.

به طور کلی، به منظور طراحی اقتصادی قاب‌های ساختمانی و فراهم کردن امنیت جانی برای ساکنان، آیین‌نامه‌های طراحی از مفهوم شکل‌پذیری سازه استفاده می‌کنند و اجازه می‌دهند که ساختمان‌ها برای بخشی از نیروی جانبی الاستیک مورد انتظار طراحی گردند. این مفاصل پلاستیک به عنوان یک فیوز شکل‌پذیر عمل می‌کنند و انرژی تحمیل شده در طول یک زلزله بر روی سازه توسط رفتار هیسترزیس این مفاصل تلف می‌گردد. به منظور اطمینان از عملکرد صحیح این نوع مفاصل و پایداری سازه، اتصالات تیر به ستون می‌بایست قادر به تحمل تغییرشکل‌های بزرگ بدون شکست ترد و کاهش در مقاومت باشند؛ و در طول این فرایند دیگر اعضای سازه‌ای می‌بایست به صورت الاستیک باقی بمانند. در واقع وقوع مفصل پلاستیک امری اجتناب‌ناپذیر و حتمی است. مطالعات انجام گرفته بر روی زیان‌های وارده در این سازه‌ها حاکی از شکست ترد در اتصالات در سطوح پایین تقاضای غیرالاستیک بر روی اتصالات بود؛ در حالی که در بسیاری از موارد سازه به صورت الاستیک باقی ماند. در نتیجه با وقوع شکست‌های ترد در اتصالات، سازه‌های موجود نمی‌توانستند نیازهای آیین‌نامه‌ای را به درستی برآورده کنند. به همین دلیل با روی آوردن به میراگرها می‌توان ضعف‌ها و کاستی‌های طراحی سازه‌ها را به خوبی پوشش داد و در واقع این میراگرها هستند که به عنوان یک فیوز عمل می‌کنند و از رخ دادن هرگونه آسیبی به اعضای اصلی سازه جلوگیری می‌کنند.

٦- مراجع

[1] Chan, R.W. and Albermani, F. (2008), "Experimental Study of Steel Slit Damper for Passive Energy Dissipation", Journal of Engineering Structures, Vol. 30, pp. 1058–1066.

[2] Oh, S.H., Kim, Y.J. and Ryu, H.S. (2009), "Seismic Performance of Steel Structurees with Slit Damper", Journal of Engineering Structures, Vol. 31, pp. 1998–2008.

[3] Karavasilis, T.L., Kerawala, S. and Hale, E. (2011), "Hysteretic Model for Steel Energy Dissipation Devices and Evaluation of a Minimal-Damage Seismic Design Approach for Steel Buildingsmine", Journal of Construction Steel Research, Vol. 70, pp. 358–367.

[4] Saffari, H. and Hedayat, A.A. (2013), "Poorsadeghi Nejad M. Post-Northridge Connections with Slit Dampers to Enhance Strength and Ductility", Journal of Construction Steel Research, Vol. 80, pp. 138–152.

[5] Lee, C.H., Ju, Y.K., Min, J.K., Lho, S.H. and Kim, S.D. (2015), "Non-Uniform Steel Strip Dampers subjected to Cyclic Loadings", Engineering Structures, Vol. 99, pp. 192–204.

[6] Lee, C.H., Kim, J., Kim, D.H., Ryu, J. and Ju, Y.K. (2016), "Numerical and Experimental Analysis of Combined Behavior of Sheartype Friction Damper and Non-Uniform Strip Damper for Multi-Level Seismic Protection", Engineering Structures, Vol. 114, pp. 75–92.

[7] Lee, M., Lee, J. and Kim, J. (2017), "Seismic Retrofit of Structures Using Steel Honeycomb Dampers", International Journal of Steel Structures, Vol. 17, pp. 215–229.

[8] Lee, J. and Kim, J. (2017), "Development of Box-Shaped Steel Slit Dampers for Seismic Retrofit of Building Structures", Engineering Structures, Vol. 150, pp. 934–946.

[9] Amiri, A.H., Pournamazian Najafabadi, E. and Estekanchi, H.E. (2018), "Experimental and Analytical Study of Block Slit Damper", Journal of Steel Structures, Vol. 141, pp. 167–178.

پی نوشت

[1] Tie

[2] SM490

[3] SS400

[Downloaded from journalisss.ir on 2025-08-28]

[DOR: 20.1001.1.1735515.1398.1398.25.6.0]