نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره۴، سال ۱۳۹۷، صفحات ۶۶۵ تا ۶۷۲
DOI: 10.22060/ceej.2017.12536.5225

تأثیر شرایط اتصال میراگرهای فلزی-تسلیمی U شکل بر رفتار چرخه‌ای آن‌ها

جمال روشنی، سامان باقری*

دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده: میراگرهای فلزی از پرکاربردترین ابزارهای اتلاف انرژی هستند که در انواع سازه‌های ساختمانی و غیر ساختمانی نظیر پل‌ها استفاده می‌شوند. تسمه‌های فلزی U شکل یکی از این نوع میراگرهاست که از اتصال معمولاً پیچی ورق فولادی خمیده‌شده به شکل U به صفحات اتصال بالا و پایین شکل می‌گیرد. از ویژگی‌های این میراگر، تغییرمکان و شکل‌پذیری قابل‌ملاحظه اعضای آن تحت بارهای رفت و برگشتی است. این ابزار می‌تواند تحت بارگذاری رفت و برگشتی تک‌محوری در راستای تسمه قرار گیرد و یا تحت بارگذاری‌های چند محوره در راستاهای دلخواه و ازجمله عمود بر راستای تسمه قرار داشته باشد. در این پژوهش تأثیر تعداد و آرایش پیچ‌های اتصال و برخی پارامترهای ابعادی میراگر U شکل در رفتار چرخه‌ای آن موردبررسی قرارگرفته و قابلیت استهلاک انرژی آن در بارگذاری‌های رفت و برگشتی نظیر زلزله ارزیابی می‌شود. برای این منظور از شبیه‌سازی رفتار غیرخطی این ابزار در نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس استفاده می‌شود. طبق نتایج عددی حاصل، وجود پیچ و تعداد و آرایش آن در بارگذاری عمود بر راستای تسمه U شکل می‌تواند اثرات چشم‌گیری بر رفتار حاصل داشته باشد؛ درحالی‌که در بارگذاری هم‌راستای تسمه در نظر گرفتن جزئیات پیچ و مهره در مدل‌سازی عددی و تعداد و آرایش آن تأثیر ناچیزی بر نتایج حاصل دارد. درنهایت نشان داده می‌شود که اگر شرایط و تعداد اتصالات پیچی به درستی مدل شود، می‌توان چیدمان دایره‌ای این میراگر را که برای بارگذاری‌های دوجهته استفاده می‌شود، از مجموع چند حالت ساده‌تر نتیجه گرفت.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۲۴ بهمن ۱۳۹۵
بازنگری: ۲۳ فروردین ۱۳۹۶
پذیرش: ۲۱ مرداد ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۲۳ خرداد ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:
میراگر U شکل
روش اجزای محدود
تحلیل غیرخطی
اتصال
رفتار چرخه‌ای

۱- مقدمه

ابزار فولادی شکل‌پذیر از مؤثرترین ادوات اتلاف انرژی در سازه‌ها هستند که تغییرشکل غیرارتجاعی آن‌ها حین وقوع زلزله سبب اتلاف انرژی ورودی می‌شود. ایده استفاده از میراگرهای تسلیمی فلزی به‌صورت جداگانه در یک سازه برای جذب انرژی لرزه‌ای با کارهای مفهومی و آزمایشگاهی کلی[1] و همکاران در سال ۱۹۷۲ [۱] و اسکینر[2] و همکاران در سال ۱۹۷۵ [۲] شروع شد. آن‌ها چند نوع ابزار فولادی ساده را به‌عنوان وسایل مستهلک‌کننده انرژی معرفی و مورد آزمایش قرار دادند. یکی از این ابزارها، ورق‌های فولادی U شکل یا به‌اختصار میراگر U شکل بود. نتایج آزمایشگاهی حاصل از بارگذاری چرخه‌ای میراگر U شکل نشان داد که این میراگر قادر به تحمل جابجایی‌های بزرگی بوده و از طریق تغییر شکل پلاستیک فولاد نرمه باعث اتلاف انرژی می‌شود. سایر ابزارهای معرفی‌شده توسط آن‌ها به‌عنوان میراگر فلزی تسلیم‌شونده، تیر پیچشی و تیر خمشی بود. در سال‌های بعد اشکال دیگری از این نوع ابزار به‌عنوان میراگرهای فلزی معرفی شدند که یکی از معروف‌ترین آن‌ها اجزای افزاینده میرایی و سختی است که به شکل X یا مثلثی ساخته می‌شود [۳].

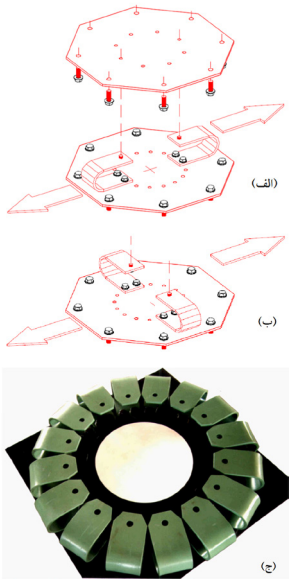
در سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۹۲ ویژگی‌های جذب و اتلاف انرژی تسمه‌های U شکل فلزی توسط آقوئیر[3] و سانچز[4] مورد ارزیابی قرار گرفت که به نتایج مناسبی تحت بارگذاری چرخه‌ای منجر شد [۴ و ۵]. مطالعات کاربردی دیگری توسط دولچه[5] و همکاران در سال ۱۹۹۶ بر روی میراگر U شکل انجام شد که در آن، این ابزار در حالت بارگذاری تک‌محوره شکل ۱-الف و ب و دومحوره با چیدمان دایره‌ای شکل ۱-ج به‌صورت آزمایشگاهی و تحلیل عددی مورد بررسی قرار گرفت [۶]. در شبیه‌سازی عددی انجام‌شده دولچه و همکاران از جزئیاتی همانند اثر وجود پیچ و مهره و تنش‌های پسماند حاصل از نورد سرد تسمه‌های U شکل صرف‌نظر گردید. آن‌ها همچنین پیشنهاداتی به‌منظور کاربرد این ابزار به‌صورت جداگر لرزه‌ای روی پایه‌های پل بیان نموده، گزارشی از کاربرد این ابزار در سال ۱۹۹۵ در حالت تک‌محوره بر روی یک پل در کشور ایتالیا ارائه نمودند. این ابزار فولادی U شکل اخیراً نیز به‌صورت یک محصول تجاری برای جداسازی لرزه‌ای ارائه شده‌است [۷].

کاتو[6] و همکاران در سال ۲۰۰۵ نوع دیگری از ادوات فلزی با مکانیسمی شبیه به ابزار U شکل ولی در شکل J را پیشنهاد دادند که در فضای بین شالوده و اسکلت سازه هم‌زمان با میراگر اصطکاکی کار گذاشته می‌شود

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: s_bagheri@tabrizu.ac.ir

1 Kelly
2 Skinner
3 Aguirre
4 - Sanchez
5 Dolce
6 Kato

[۸]. آن‌ها از شبیه‌سازی عددی و کارهای آزمایشگاهی برای ارزیابی رفتار ابزار پیشنهادی استفاده نمودند. در ادامه این پژوهش، کاتو و کیم در سال ۲۰۰۶ نسبت به انجام مطالعات پارامتریک بر روی خصوصیات مکانیکی ابزار فولادی J شکل اقدام نمودند [۹]. از سایر ابزارهای مستهلک‌کننده انرژی بر اساس رفتار پلاستیک ورق‌های فولادی خمیده‌شکل، می‌توان به میراگر لوله‌ای شکل که اخیراً توسط ملکی و باقری پیشنهاد، آزمایش و شبیه‌سازی شده‌است، اشاره کرد [۱۰ و ۱۱].



شکل ۱: میراگر فلزی- تسلیمی U شکل؛ الف) حالت بارگذاری تک محوره هم‌راستای تسمه‌ها، ب) حالت بارگذاری تکمحوره عمود بر راستای تسمه‌ها، ج) چیدمان دایره‌ای برای بارگذاری دو محوره [۶]

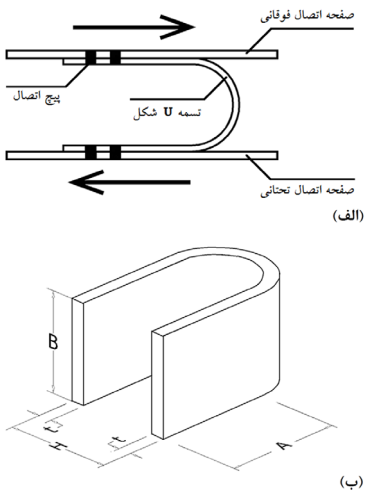
Fig. 1. U-shaped metallic-yielding damper; a) uniaxial loading parallel to the elements, b) uniaxial loading normal to the elements, c) circular arrangement for the biaxial loading

دِنگ[1] و همکاران در سال ۲۰۱۳ نوع خاصی از میراگر فلزی U شکل را برای استفاده در پل‌ها تحت آزمایش‌های چرخه‌ای و شبیه‌سازی اجزای محدود قرار دادند [۱۲]. در ادامه این پژوهش دِنگ و همکاران در سال ۲۰۱۵ رفتار تسمه‌های U شکل را تحت بارگذاری چرخه‌ای در امتداد ۴۵ درجه با راستای تسمه‌ها مورد تحلیل قرار داده و شکل بهینه‌ای برای عملکرد مناسب‌تر تحت بارگذاری دو جهته ارائه نمودند [۱۳]. در هر دو مطالعه اخیر باز هم از جزئیاتی همانند شبیه‌سازی اثر پیچ و مهره در تحلیل اجزای محدود صرف‌نظر شده است.

در این پژوهش، ابتدا یک شبیه‌سازی اجزای محدود با استفاده از نرم‌افزار آباکوس بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی پژوهش دِنگ و همکاران [۱۲] انجام می‌شود تا صحت مدل‌سازی اجزای محدود تأیید گردد. سپس بر مبنای همین شبیه‌سازی، به بررسی تأثیر تعداد و آرایش پیچ‌های اتصال و برخی پارامترهای ابعادی میراگر U شکل در رفتار چرخه‌ای آن پرداخته و قابلیت استهلاک انرژی آن در بارگذاری‌های رفت و برگشتی نظیر زلزله ارزیابی می‌شود. درنهایت نیز چیدمان دایره‌ای این میراگر که برای بارگذاری‌های چندجهته استفاده می‌شود، شبیه‌سازی و ارزیابی می‌شود.

۲- شبیه‌سازی اجزای محدود و صحت‌سنجی

شکل ۲ ضمن نمایش مشخصات هندسی تسمه فلزی U شکل، تصویری شماتیک از بارگذاری چرخه‌ای این ابزار را در راستای تسمه‌ها نشان می‌دهد. در پژوهش آزمایشگاهی دِنگ و همکاران [۱۲]، مشخصات هندسی نمونه‌های آزمایشگاهی مطابق جدول ۱ می‌باشد. آن‌ها در هر آزمایش از دو عدد تسمه فلزی U شکل در مقابل هم و متصل به صفحات بالایی و پایینی استفاده نمودند که به دلیل تقارن و مطابق شکل ۲- الف فقط یک تسمه در مدل‌سازی استفاده خواهد شد.

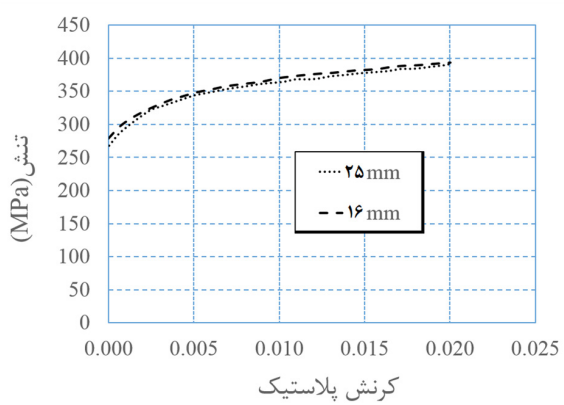


شکل ۲: میراگر U شکل متشکل از تسمه‌های فلزی خمیده؛ الف) تصویر شماتیک بارگذاری چرخه‌ای برشی، ب) پارامترهای هندسی

Fig. 2. U-shaped damper consisting of curved metal strips; a) cyclic shear loading, b) geometrical parameters

تسمه‌های U شکل موردنظر در این آزمایش‌ها از جنس فولاد Q235 هستند و اطلاعات ارائه شده از خصوصیات مکانیکی آن‌ها در مرجع [۱۲] عبارت است از: مقاومت تسلیم برابر ۲۸۰ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته برابر ۲۰۶ گیگاپاسکال و نسبت پواسون برابر ۰/۳؛ همچنین نمودار تنش اسمی- کرنش پلاستیک حاصل از آزمایش کشش مستقیم ورق ۲۵ و ۱۶ میلی‌متری برداشتی از نمونه‌ها در شکل ۳ ارائه شده است که بر این اساس خصوصیت سخت‌شوندگی ترکیبی در مرجع مذکور پیشنهادشده است. در مطالعه حاضر، چه در صحت سنجی و چه در بخش‌های بعدی از همین خصوصیات مکانیکی استفاده می‌شود.

1 Deng



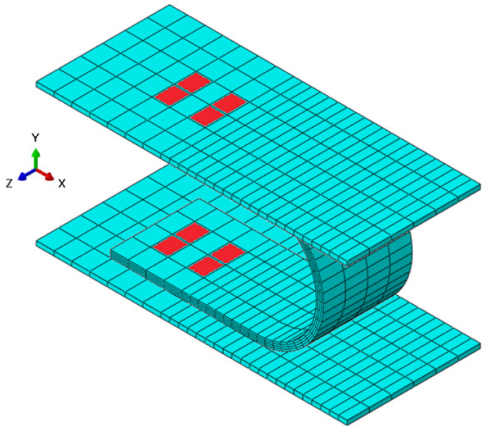
شکل ۳: نتایج آزمایش کشش ورق‌های فلزی به‌کاررفته در تسمه‌های U در مرجع ۱۲

Fig. 3. Coupon test results of the steel materials used for U-shaped strips according to Ref. 12

جدول ۱: مشخصات هندسی نمونه‌های آزمایشگاهی تسمه‌های U شکل در مرجع ۱۲

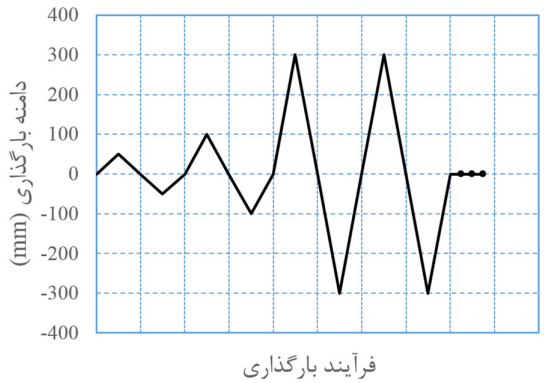
Table 1. Geometrical properties of the U-shaped specimens according to Ref. 12

اسم نمونه	H (mm)	t (mm)	B (mm)	A (mm)	توضیحات
S1	۳۰۰	۱۶	۲۰۰	۳۳۰	نمونه استاندارد
S2	۳۰۰	۲۵	۲۰۰	۳۳۰	اثر ضخامت
S3	۴۰۰	۱۶	۲۰۰	۳۳۰	اثر ارتفاع



شکل ۴: مدل اجزای محدود میراگر U شکل در نرم‌افزار آباکوس

Fig. 4. Finite element model of the U-shaped damper in ABAQUS

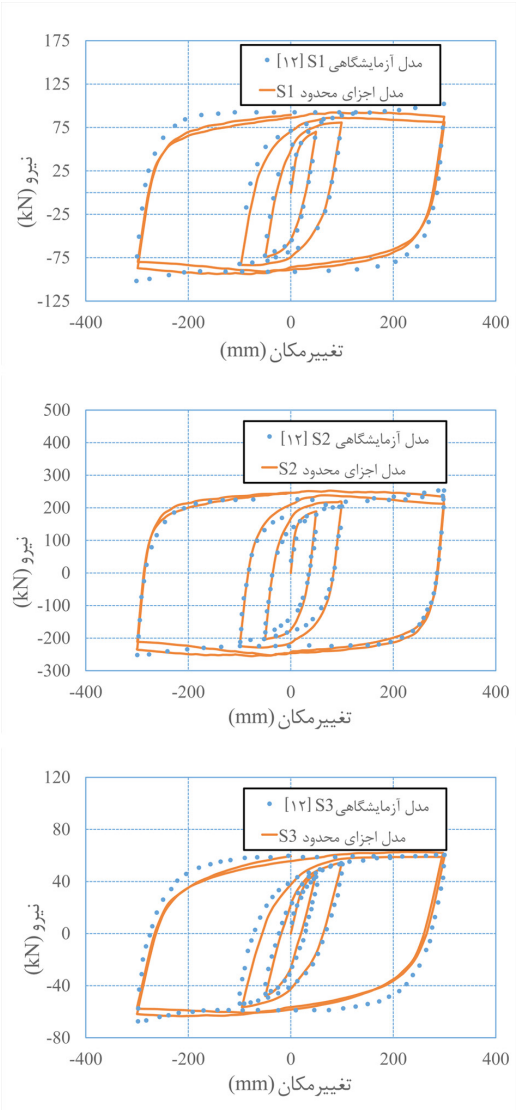


شکل ۵: الگوی بارگذاری چرخه‌ای وارد بر نمونه‌ها مطابق مرجع ۱۲

Fig. 5. Sketch of the cyclic loading scheme according to Ref. 12

مدل اجزای محدود نمونه‌های معرفی شده که با استفاده از نرم‌افزار آباکوس ایجادشده، در شکل ۴ نشان داده شده است. در این مرحله برای ساده‌سازی از واردکردن پیچ‌های اتصال در مدل صرفنظر شده است ولی مکان آن‌ها در نمونه‌های آزمایشگاهی در شکل ۴ پررنگ‌تر نمایش داده شده است. در این حالت تمامی درجات آزادی مربوط به گره‌های محل پیچ‌ها در تسمه U شکل به درجات آزادی مربوط به گره‌های محل پیچ‌ها در ورق‌های اتصال فوقانی و تحتانی بسته می‌شوند. ورق‌های اتصال فوقانی و تحتانی که بارگذاری و شرایط تکیه‌گاهی از طریق آن‌ها اعمال می‌گردد، صلب در نظر گرفته می‌شوند. تمامی درجات آزادی در ورق اتصال تحتانی و همچنین تمام درجات آزادی در ورق اتصال فوقانی به‌جز جهت X بسته می‌شود و پروفایل تغییرمکان مطابق الگوی بارگذاری شبه‌استاتیکی چرخه‌ای مرجع [۱۲] که در شکل ۵ نشان داده شده، برای بارگذاری هم‌راستای تسمه‌ها از طریق کلیه گره‌های ورق اتصال فوقانی اعمال می‌شود. مش‌بندی با استفاده از المان مکعبی هشت گرهی C3D8R انجام گردیده است. علاوه بر تماس فشاری بین تسمه U شکل و ورق‌های اتصال، تماس لغزشی نیز با ضریب اصطکاک ۰/۳ بین آنها اعمال شده است.

به این ترتیب تحلیل اجزای محدود انجام شده و منحنی‌های هیسترزیس برای نمونه‌های معرفی‌شده ترسیم شده و با نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی در شکل ۶ مقایسه شده است. علیرغم ساده‌سازی مدل و چشم‌پوشی از مدل‌سازی پیچ و مهره‌ها ملاحظه می‌شود نتایج حاصل در بارگذاری هم‌راستا با تسمه‌ها با نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی دارد. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که شبیه‌سازی انجام‌شده با نرم‌افزار آباکوس صحیح بوده و می‌توان به بررسی بعضی از پارامترهای مهم میراگر U شکل در ادامه این مقاله پرداخت. همچنین ملاحظه می‌شود که با افزایش ضخامت تسمه‌ها، سختی و مقاومت ابزار موردنظر افزوده شده ولی با افزایش ارتفاع نمونه‌ها، سختی و مقاومت آن کاسته می‌شود.

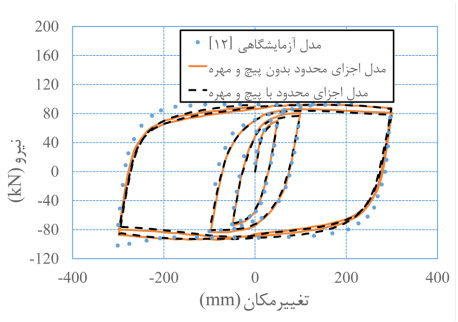


شکل ۶: مقایسه منحنی‌های هیسترزیس حاصل از نمونه‌های آزمایشگاهی مرجع ۱۲و شبیه‌سازی‌های عددی با نرم‌افزار آباکوس

Fig. 6. Comparison between simulated and experimental hysteresis loops

۳- بررسی اثر مدل‌سازی پیچ و مهره در بارگذاری هم‌راستای تسمه‌های U شکل

مدل اولیه مربوط به بخش قبل با اضافه کردن پیچ و مهره و در نظر گرفتن خصوصیات تماس بین پیچ‌ها و تسمه‌های U شکل تغییر داده شد. قطر پیچ و مهره‌های پرمقاومت اتکایی استفاده شده در این مدل ۲۰ میلیمتر است. پیچ و مهره‌ها به‌صورت سه‌بعدی با استفاده از المان مکعبی هشت گرهی C3D8R مش‌بندی و صلب در نظر گرفته شده‌اند. اثرات متقابل پیچ‌های اتصال و تسمه‌ها به صورت تماس فشاری مستقیم و مماسی اصطکاکی بین سطوح داخلی سوراخ‌های ایجاد شده و سطح خارجی پیچ‌ها اعمال شده است. نمودار حاصل از این مدل‌سازی در بارگذاری هم‌راستای تسمه‌ها در شکل ۷ با مدل‌سازی ساده‌تر قبلی و نتایج آزمایشگاهی برای نمونه S1 مقایسه شده است. ملاحظه می‌شود که حذف پیچ و مهره در بارگذاری هم‌راستای تسمه‌ها، تأثیر بسیار ناچیزی بر روی نتایج حاصل از مدل‌سازی اجزای محدود دارد، لذا در این نوع بارگذاری می‌توان با دقت بسیار مناسبی از مدل ساده‌شده بدون پیچ و مهره استفاده کرد.



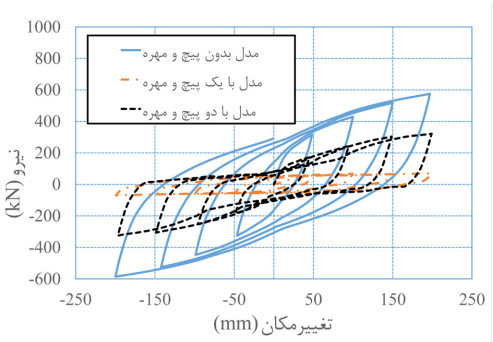
شکل ۷: رفتار هیسترزیس مدل با و بدون مدل‌سازی پیچ و مهره در بارگذاری هم‌راستای تسمه U شکل

Fig. 7. Hysteresis loops with and without simulation of connecting bolts resulted from loading parallel to the U strip

۴- بررسی اثر مدل‌سازی پیچ و مهره در بارگذاری عمود بر راستای تسمه‌های U شکل

برخلاف بارگذاری موازی راستای تسمه‌های U شکل، در بارگذاری عمود بر راستای تسمه‌های U شکل با توجه به نوع تغییر شکل سیستم، به نظر می‌رسد مدل‌سازی پیچ و مهره، تعداد و آرایش آن‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر نتایج داشته باشد. برای آزمودن این فرضیه مدل اولیه مربوط به بخش‌های قبلی را با اضافه کردن پیچ و مهره و در نظر گرفتن خصوصیات تماس بین پیچ‌ها و تسمه U شکل تحت همان پروتکل بارگذاری ولی در جهت عمود بر تسمه U شکل یعنی جهت z قرار می‌دهیم. در فک ثابت دو عدد پیچ و مهره به قطر ۲۰ میلی‌متر و در فک بارگذاری (فوقانی) یک‌بار یک پیچ و مهره و بار دیگر دو پیچ و مهره همانند فک ثابت در نظر گرفته شد. نتایج حاصل در شکل ۸ ارائه و با حالت بدون پیچ و مهره مقایسه شده است.

ملاحظه می‌شود که با وجود دو پیچ و مهره در فک بارگذاری سختی مؤثر و نیروی مقاوم حاصل از سیستم نسبت به حالت وجود یک پیچ و مهره بسیار افزایش می‌یابد. ثانیاً بدون مدل‌سازی پیچ و مهره و بستن کامل گره‌های محل پیچ در مدل، سختی مؤثر و نیروی مقاوم حاصل بازهم افزایش می‌یابد. دلیل این رفتار را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که در حالت مدل‌سازی پیچ و مهره، با توجه به این‌که پیچ با محیط سوراخ در تماس فشاری و مماسی است و امکان دوران نسبی بین این دو فراهم است، وجود پیچ و مهره باعث نرم شدن سیستم می‌شود. همچنین وجود یک پیچ و مهره در مقایسه با دو پیچ و مهره به دلیل فراهم نمودن امکان بیشتر دوران نسبی باعث نرم‌تر شدن بیشتر مجموعه در بارگذاری عرضی می‌شود.

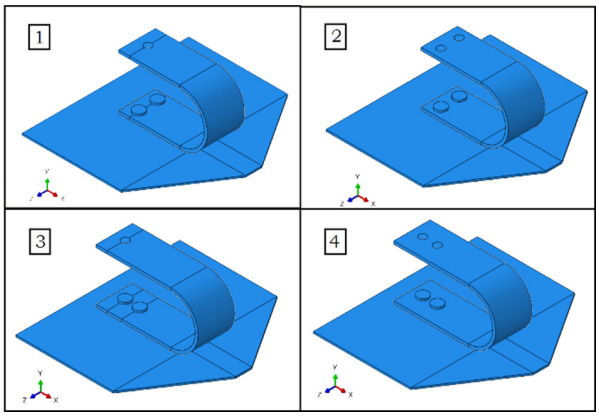


شکل ۸: رفتار هیسترزیس مدل با و بدون مدل‌سازی پیچ و مهره در بارگذاری عمود بر تسمه U شکل

Fig. 8. Hysteresis loops with and without simulation of connecting bolts resulted from loading normal to the U strip

۵- بررسی تأثیر تعداد پیچ و مهره و نحوه آرایش آن‌ها در بارگذاری عمود بر راستای تسمه U شکل

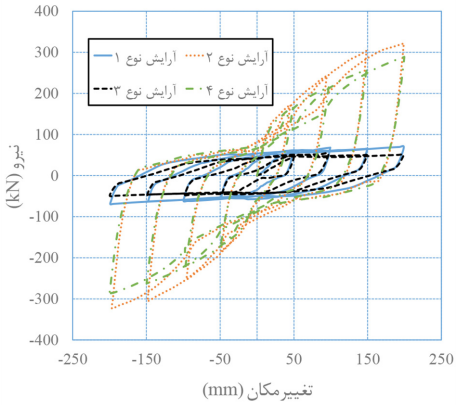
با توجه به نتیجه حاصل از نمودار شکل ۸، به نظر می‌رسد که تعداد پیچ و مهره و همچنین آرایش آن‌ها می‌تواند تأثیر بسیار زیادی بر روی نتایج مدل‌سازی‌های اجزای محدود سیستم در بارگذاری عمود بر راستای تسمه U شکل داشته باشد. بنابراین در این بخش به بررسی اثر تعداد پیچ و مهره و همچنین آرایش آن‌ها پرداخته می‌شود. برای این منظور، چهار نوع چیدمان پیچ و مهره مطابق شکل ۹ در نظر گرفته و تحلیل این چهار مدل انجام می‌شود. شایان‌ذکر است که چیدمان ۱ و ۲ همان‌هایی هستند که در بخش قبلی در نظر گرفته‌شده بودند.



شکل ۹: چهار نوع آرایش پیچ و مهره

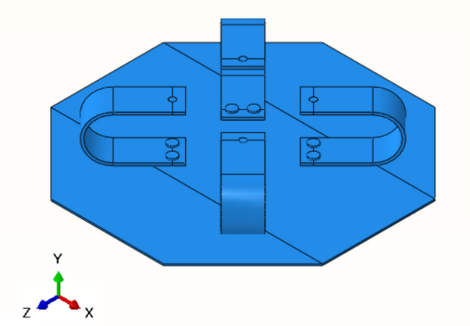
Fig. 9. Four arrangements of the connecting bolts

نتایج حاصل در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به نمودارهای هیسترزیس شکل ۱۰ در دو نوع آرایش شماره ۱ و ۳ نسبت به آرایش‌های ۲ و ۴ آزادی دورانی تسمه U شکل در فک بارگذاری حول پیچ اتصال بیش‌تر بوده و درنتیجه سختی و نیروی مقاوم کمتری نتیجه می‌دهد. لذا توجیه انجام‌شده در بخش قبلی در مدل‌سازی‌های این بخش نیز تصدیق می‌شود.



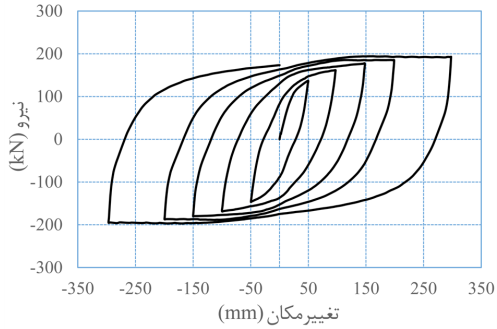
شکل ۱۰: نمودارهای هیسترزیس مدل‌سازی‌های اجزای محدود برای بررسی تأثیر تعداد و آرایش پیچ و مهره‌ها

Fig. 10. Hysteresis loops of the FE models for different arrangements of connecting bolts



شکل ۱۱: مدل چیدمان ۴ تایی میراگر U شکل

Fig. 11. Model of 4-element arrangement of the U-shaped damper



شکل ۱۲: رفتار هیسترزیس میراگر U شکل با چیدمان ۴ تایی

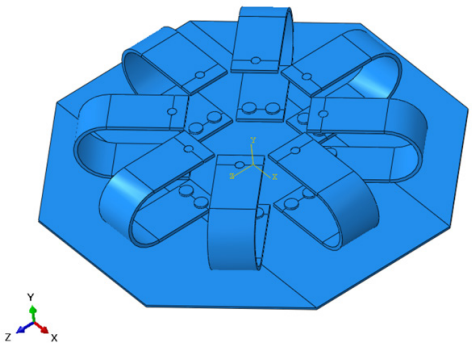
Fig. 12. Hysteresis behavior of the U-shaped damper in the 4-element arrangement

۶- بررسی رفتار چرخه‌ای میراگر U شکل با چیدمان ۴تایی و ۸تایی

برای کاربرد میراگر U شکل در بارگذاری‌های غیر تک‌محوره می‌توان از آرایش ۴ تایی یا ۸ تایی آن استفاده کرد. در هر صورت، هر تسمه U شکل می‌تواند همزمان در بارگذاری هم‌راستا با تسمه‌ها و عمود بر راستای تسمه‌ها باشد.

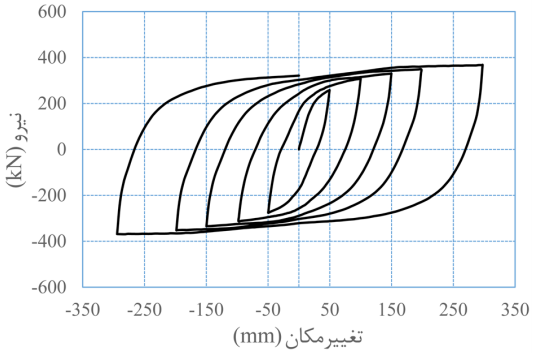
برای تحلیل رفتار سیستم در این حالت‌ها ابتدا یک مدل اجزای محدود از میراگر U شکل با چیدمان ۴ تایی مطابق شکل ۱۱ با آزادکردن درجات آزادی مربوط به صفحه بارگذاری و همچنین با در نظر گرفتن پیچ و مهره در مدل‌سازی ایجاد شد. این مدل تحت بارگذاری چرخه‌ای با زاویه ۴۵ درجه نسبت به راستای تسمه‌های U شکل قرار می‌گیرد. نتیجه حاصل از تحلیل مدل مطابق شکل ۱۲ است.

در نهایت یک مدل اجزای محدود از میراگر U شکل با چیدمان ۸ تایی مطابق شکل ۱۳ در نظر گرفته شد. جهت بارگذاری در راستای هرکدام از تسمه‌ها باشد، نتیجه یکسان خواهد بود. نتیجه حاصل از این مدل‌سازی تحت بارگذاری چرخه‌ای مطابق شکل ۱۴ است. شکل ۱۵ نمودارهای حاصل از مدل‌سازی اجزای محدود نمونه با چیدمان ۲ تایی تحت بارگذاری موازی و عمود بر راستای تسمه‌های U شکل، نمونه با چیدمان ۴ تایی با بارگذاری ۴۵ درجه نسبت به راستای تسمه‌های U شکل و همچنین جمع آثار حاصل از این سه حالت را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود با مدل‌سازی صحیح اثرات وجود پیچ و مهره، همچنان‌که از نظر فیزیکی قابل تصور است، جمع آثار این سه حالت منجر به نتیجه‌ای مشابه با رفتار چیدمان ۸ تایی می‌شود.



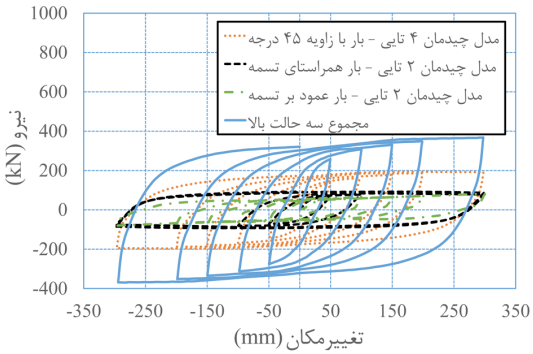
شکل ۱۳: مدل چیدمان ۸ تایی میراگر U شکل

Fig. 13. Model of 8-element arrangement of the U-shaped damper



شکل ۱۴: رفتار هیسترزیس میراگر U شکل با چیدمان ۸ تایی

Fig. 14. Hysteresis behavior of the U-shaped damper in the 8-element arrangement



شکل ۱۵: نمودارهای هیسترزیس حاصل از جمع آثار مدل‌های مختلف برای رسیدن به چیدمان ۸ تایی

Fig. 15. Hysteresis loops of the 8-element arrangement achieved by combining the results of previous simple models

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله تأثیر خصوصیات تکیه‌گاهی، راستای بارگذاری و برخی پارامترهای هندسی در رفتار چرخه‌ای میراگرهای U شکل با مدل‌سازی اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا صحت مدل‌سازی اجزای محدود با مقایسه با نتایج آزمایشگاهی موجود تأیید شد. همانند نتایج آزمایشگاهی موجود، ملاحظه گردید که افزایش ضخامت تسمه، سختی و مقاومت میراگر U شکل را افزایش می‌دهد و افزایش ارتفاع، سختی و مقاومت آن را کاهش می‌دهد.

در مدل‌سازی اجزای محدود، حذف مدل مکانیکی پیچ و مهره جهت ساده‌سازی مدل و کاهش مدت زمان تحلیل مورد تصور است که در بارگذاری هم‌راستای تسمه‌های U شکل تأثیر بسیار ناچیزی بر نتیجه تحلیل

می‌گذارد؛ اما در بارگذاری عمود بر راستای تسمه‌های U شکل تأثیر بسزایی برجای گذاشته و نتایج غیر صحیحی به دست می‌دهد. در واقع، با مدلسازی مستقیم پیچ و مهره و اعمال تماس فشاری و مماسی در سطوح خارجی پیچ با سوراخ، امکان دوران نسبی پیچ در محل سوراخ تا حدودی فراهم می‌شود که این حرکت نسبی در بارگذاری هم‌راستا تحریک نشده ولی در بارگذاری عمود بر راستای تسمه‌ها تحریک می‌شود. در نتیجه، در بارگذاری اخیر، مدل‌سازی مستقیم پیچ و مهره باعث نرم شدن سیستم نسبت به حالتی می‌شود که بطور ساده اثرات پیچ‌های اتصال با مقید کردن کامل درجات آزادی تسمه و ورق‌های اتصال در محل پیچ‌ها صورت پذیرد. بر این اساس، تأثیر تعداد و آرایش پیچ‌های اتصال در چهار حالت فرضی در بارگذاری عمود بر راستای تسمه‌ها آزموده شد. نتیجه‌کلی اینکه در این نوع بارگذاری، افزایش تعداد پیچ‌های اتصال در فک بارگذاری سختی مؤثر و مقامت میراگر U شکل را به نحو چشمگیری افزایش می‌دهد؛ بنابراین در چیدمان دایره‌ای که برای بارگذاری‌های دوجهته استفاده می‌شود، باید شرایط و تعداد اتصالات پیچی در شبیه‌سازی اجزای محدود به درستی مدل‌سازی شود.

مراجع

[1] J.M. Kelly, R.I. Skinner, A.J. Heine, Mechanism of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures, Bulletin of N.Z. Society for Earthquake Engineering, 5(3) (1972) 63-68.

[2] R.I. Skinner, G.H. McVerry, Base isolation for increased earthquake resistance of buildings, Bulletin of N.Z. Society for Earthquake Engineering, 8(2) (1975) 93-101.

[3] D.M. Bergman, S.C. Goel, Evaluation of cyclic testing of steel-plate devices for added damping and stiffness, Report No. UMCE 87-10, University of Michigan, USA, (1987).

[4] M. Aguirre, Device for control of building settlement and for seismic protection, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117(12) (1991) 1848-1459.

[5] M. Aguirre, A.R. Sanchez, Structural seismic damper, Journal of Structural Engineering, ASCE, 118(5) (1992) 1158-1171.

[6] M. Dolce, B. Filardi, R. Marnetto, D. Nigro, Experimental tests and applications of a new biaxial elasto-plastic device for the passive control of structures, In Forth world congress on joint sealants and bearing systems for concrete structures, ACI SP-164, Sacramento, California, (1996).

[7] K. Suzuki, A. Watanabe, E. Saeki, Development of U-shaped steel damper for seismic isolation system, Nippon Steel Technical Report, No. 92, (2005).

[8] S. Kato, Y.B. Kim, S. Nakazawa, T. Ohya, Simulation of the cyclic behavior of J-shaped steel hysteresis devices and study on the efficiency for reducing earthquake responses of space structures, Journal of Constructional Steel Research, 61 (2005) 1457-1473.

[9] S. Kato, Y.B. Kim, A finite element parametric study on the mechanical properties of J-shaped steel hysteresis devices, Journal of Constructional Steel Research, 62 (2006) 802-811.

[10] S. Maleki, S. Bagheri, Pipe damper, Part I: Experimental and analytical study, Journal of Constructional Steel Research, 66 (2010) 1088-1095.

[11] S. Maleki, S. Bagheri, Pipe damper, Part II: Application to bridges, Journal of Constructional Steel Research, 66 (2010) 1096-1106.

[12] K. Deng, P. Pan, C. Wang, Development of crawler steel damper for bridges, Journal of Constructional Steel Research, 85 (2013) 140-150.

[13] K. Deng, P. Pan, Y. Su, Y. Xue, Shape optimization of U-shaped damper for improving its bi-directional performance under cyclic loading, Engineering Structures, 93 (2015) 27-35.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

J. Roshani, S. Bagheri, The Effect of Connection Conditions on the Cyclic Behavior of U-shaped Metallic-yielding Dampers , *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(4) (2018) 665-672.

DOI: 10.22060/ceej.2017.12536.5225