



ارزیابی عملکرد چرخه ای سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکافدار

حسین بهشتی نژاد^{۱*}، فرزاد حاجی رضائی^۲، عباسعلی صادقی^۳

^{۱*} استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

(hbeheshti@iaubir.ac.ir)

^۲ کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

^۳ گروه مهندسی عمران، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰)

چکیده

میراگر فولادی شکافدار ابزاری قابل تعویض و تعمیر می‌باشد که از یک مقطع استاندارد با تعدادی شکاف در جان آن ساخته شده است. مکانیزم این نوع میراگر بدین صورت است که قبل از اینکه عضو مهاربندی کمانش نماید میراگر شکافدار تسلیم شده و ناپایداری کمانش مهاربند از قاب حذف می‌گردد. در این تحقیق، به بررسی عملکرد چرخه‌ای سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکافدار با شکاف ثابت و بیضوی در نرم‌افزار ABAQUS پرداخته شده است. مفهوم اساسی سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی، مکانیزم حرکت شبه خطی است که اعضای مهاربندی را قادر می‌سازد تا در طول ارتعاش در کشش باقی بمانند. در ادامه، بررسی و مقایسه سختی، مقاومت نهایی و میزان جذب انرژی نمونه‌ها انجام شده است. نتایج نشان داد که با کاهش فاصله بین شکاف‌های میراگر، موقعیت تنش حدکش در صفحه جان میراگر مابین شکاف‌ها و نزدیک به کناره‌ها و بخشی از آن نیز در نزدیک ورق‌های بال آن اتفاق می‌افتد. افزایش بیشتر انحنا سوراخ‌ها منجر به کاهش مقدار و محدوده تسلیم شدگی میراگر گردید بطوریکه محدوده ی جاری شدن متمایل به مرز جداره‌های شکاف می‌گردد. همچنین با افزایش ۴۰ درصدی ضخامت، نتیجه ای مشابه با حالت افزایش انحنا سوراخ‌ها حاصل گردید بطوری که کل فاصله بین شکاف‌های میراگر در کناره‌ها تسلیم شده است.

کلمات کلیدی

میراگر شکافدار، سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی، عملکرد چرخه‌ای، ارتعاش، نرم‌افزار ABAQUS.



Evaluation of Cyclic Performance of Seesaw Energy Dissipation System with Slit Damper

Hossein Beheshti Nezhad^{1*}, Farzad Hajirezaei², Abbasali Sadeghi³

^{1*} Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

(hbeheshti@iaubir.ac.ir)

² M.Sc., Department of Civil Engineering, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

³ Department of Civil Engineering, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

(Date of received: 03/02/2023, Date of accepted: 01/08/2023)

ABSTRACT

Steel slit damper is a replaceable and repairable tool that is made of a standard section with a number of slits in its core. The mechanism of this type of damper is such that before the bracing member buckles, the slit damper yields and the buckling instability of the brace is removed from the frame. In this study, the cyclic performance of the seesaw energy dissipation system with a slit damper with fixed and ellipse cavity in ABAQUS software has been investigated. The fundamental concept of the seesaw system is the quasi-linear motion mechanism, which enables the bracing members to remain in tension during vibration. In The following, the assessing and comparing the stiffness, the final strength and the amount of energy absorption of the samples are conducted. The results showed that by reducing the distance between the cavities of damper, the position of maximum stress occurs in the web plate of damper between slits and close to the sides and part of it near the flange plates. Further increase in the curvature of the holes reduced the amount and yield range of the damper so that the yielding range tended to the boundary of the slit walls. Also, by increasing the thickness by 40%, a similar result was obtained with the increase in the curvature of the holes, so that the entire distance is yielded between the cavities of damper on the sides.

Keywords:

Slit Damper, Seesaw Energy Dissipation System, Cyclic Performance, Vibration, ABAQUS Software.



مشاهده‌ی عملکرد سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله و همچنین مطالعات تحلیلی و کارهای آزمایشگاهی و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به زمین لرزه‌های چهار دهه‌ی اخیر، امکان ارائه روشی مدرن برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله را فراهم آورده است. امروزه، ساختمان‌های بلند با سرعت زیاد در کل دنیا در حال گسترش هستند و به همان سرعت سرمایه‌گذاری در این زمینه در حال رشد بوده و انسان‌های زیادی برای سکونت، تجارت و یا هرمنظور دیگری از این ساختمان‌ها استفاده می‌کنند. لذا امنیت جانی و مالی در این ساختمان‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین به منظور تامین امنیت مالی و جانی، این ساختمان‌ها باید بطور صحیح طراحی، اجرا و نگهداری شوند. در دهه‌های اخیر مطالعات فراوانی در زمینه کنترل پاسخ سازه‌ها در برابر زلزله صورت پذیرفته به طوری که برای مستهلک کردن انرژی و کنترل پاسخ سازه‌ها سه سیستم فعال، نیمه فعال و غیر فعال ابداع شده است. سیستم‌های کنترل فعال سیستم‌هایی هستند که در آن‌ها سازه به سیستم پردازشگر مجهز شده و در هر لحظه متناسب با بار جانبی وارد شده، به یک منبع نیرو برای کنترل سازه احتیاج است. سیستم‌های کنترل غیر فعال سیستم‌هایی هستند که در آن‌ها سازه به وسیله تجهیزات از پیش طراحی شده، مانند میراگر و جداگر و بدون احتیاج به منبع خارجی در مقابل بارهای جانبی مقاومت می‌کند. در این میان سیستم کنترل غیر فعال به عنوان یک روش موثر برای اتلاف انرژی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. میراگرها با سیستم کنترل غیر فعال در بخش‌های خاصی از سازه نصب می‌گردند و بخش نسبتاً زیادی از انرژی ورودی به سازه را تحت مکانیزم‌های مختلف جذب می‌نمایند. در نتیجه سازه دچار خرابی جدی نمی‌گردد. مهاربندها به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در مهاربندها منابع اتلاف انرژی تسلیم عضو کششی و کمانش عضو فشاری می‌باشند که اتلاف انرژی در عضو فشاری به علت کمانش به خوبی صورت نمی‌گیرد و سازه ناگهان دچار ناپایداری می‌گردد. ولی در سازه‌هایی که در آن‌ها از میراگر استفاده شده است، وجود میراگر سبب می‌شود که انرژی دریافتی سایر اعضای سازه کاهش یافته و تغییر شکل زیادی در آن‌ها ایجاد نشود، به عبارتی قبل از اینکه مهاربند کمانش کند، میراگر تسلیم شده و منجر به افزایش شکل پذیری سیستم می‌گردد. با توجه به وجود میراگرها در طرفین عضو مهاربندی کمانش در مهاربند رخ نداده، چون قبل از کمانش مهاربند، میراگر به عنوان فیوز عمل کرده و تسلیم می‌گردد [۱ و ۲]. در پی وقوع زلزله‌های نورتریج آمریکا (سال ۱۹۹۴ میلادی) و کوبه ژاپن (سال ۱۹۹۵ میلادی)، بسیاری از ساختمان‌ها دچار آسیب‌های جدی شدند بطوریکه در اجزای اصلی سازه شکست رخ داد. در سازه‌های فولادی، بیشتر خرابی‌های پدید آمده در محل اتصالات اتفاق افتاده بود. پس از وقوع این زمین لرزه‌ها، مطالعات آزمایشگاهی گسترده‌ای به منظور مقاوم سازی سازه‌ها و افزایش شکل پذیری و جذب انرژی بیشتر روی اتصالات انجام شد. در سال ۱۹۹۷، وادا و همکاران یک پژوهش آزمایشگاهی روی میراگر شکافدار فولادی انجام دادند. میراگر شکافدار در محل اتصال تیر به ستون قرار داده شد. نمونه تحت بارگذاری تناوبی قرار گرفت و نتیجه آزمایش نشان داد که میراگر شکافدار فولادی سبب منحنی چرخه ای پایدارتری شده است [۳]. در سال ۲۰۰۲، لی و همکاران^۱ به منظور بهبود عملکرد بادبندهای ضربداری و جذب انرژی بیشتر، از میراگر شکافدار فولادی در محل اتصال بادبندهای ضربداری استفاده کردند تا با جلوگیری از کمانش بادبندها سبب شکل‌پذیری و جذب انرژی بالاتر و ممانعت از آسیب اجزای اصلی سازه گردند [۴]. در سال ۲۰۰۷، چان و آلبرمانی^۲ میراگر شکافدار را در محل اتصال بادبند شورون استفاده کردند و به منظور دستیابی به بهترین مشخصات هندسی از جمله عرض شکاف و طول نوار، نمونه‌های مختلفی را تحت آزمایش تناوبی قرار دادند. میراگر شکافدار با حداقل نسبت عرض به طول نوار، کمترین نیرو و نمونه میراگر شکافدار با حداکثر نسبت عرض به طول نوار، بزرگترین نیرو را تحمل کرده است [۵]. در سال ۲۰۰۹، اه و همکاران^۳ به منظور رفع مشکل اتصالات قاب‌های خمشی فولادی در برابر بار جانبی، اتصالی با میراگر شکافدار را طراحی نمودند. نمونه تحت بارگذاری تناوبی قرار گرفت و منحنی چرخه‌ای پایدارتری از خود نشان داد. همچنین جذب انرژی بالاتر و شکل پذیری بهتری در اتصال با میراگر شکافدار مشاهده

¹ Lee et al.

² Chan & Albermani

³ Oh et al.



گردید [۶]. در سال ۲۰۱۱، کاراواسیلیس و همکاران^۴ بر اساس حداقل خرابی ساختمان‌های فولادی یک طرح لرزه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. سیستم‌های مجهز به میراگرها به علت ناتوانی در کاهش تغییر مکان نسبی و شتاب کل طبقات به طور همزمان قادر به جد کردن خرابی سازه‌ای و غیر سازه‌ای نیستند اما کاراواسیلیس و همکاران با ترکیب همزمان میراگرهای ویسکوز و میراگرهای شکافدار در قاب‌های خمشی فولادی این امکان را فراهم آوردند که تغییر مکان‌های نسبی و شتاب‌های کل سازه را به طور همزمان کاهش دهند [۷]. در سال ۲۰۱۲، کوکن و کروگلو^۵ پژوهشی روی سه نمونه اتصال متفاوت تیر به ستون در یک مقیاس واقعی انجام دادند. نمونه اول اتصال تیر به ستون معمولی، نمونه دوم اتصال تیر به ستون با میراگر لاستیکی و آخرین نمونه، اتصال تیر به ستون مجهز به میراگر شکافدار و لاستیکی به طور همزمان می‌باشد. مدل‌ها تحت بارگذاری تناوبی قرار گرفتند و نتایج نشان داد که اتصال ترکیب میراگر شکافدار فولادی و میراگر لاستیکی، جذب انرژی بالاتری نسبت به دیگر نمونه‌ها داشته و مانع از انتقال تغییر شکل‌های پلاستیک به تیر ستون شده است [۸]. در سال ۲۰۱۴، فراهی شهری و موسوی ضمن بررسی مطالعات پیشین نتیجه گرفتند که با توجه به تمرکز تنش ایجاد شده در قسمت‌های انتهایی نوارهای میراگر شکافدار استفاده شده در مقالات گذشته شکست اتصال در این نواحی اتفاق افتاده است. بنابراین به منظور بهبود عملکرد اتصال، میراگرهای شکافدار با عرض متغیر نوارها به گونه‌ای که قسمت‌های میانی نوارها، سطح جاذب انرژی کمتری داشته باشند پیشنهاد کردند [۹]. در سال ۲۰۱۶، تاگاوا و همکاران^۶ روی رفتار سیکلی اتلاف انرژی الاکلنگی توسط میراگرهای شکافدار تحقیقاتی انجام دادند و این میراگرها را در بادبندها به کار بردند. میراگرهای شکافدار زیر عضو الاکلنگی نصب شده‌اند یعنی از هر طرف یک میراگر شکافدار زیر عضو الاکلنگی قرار داده شد و هنگامی که نیرو باعث دوران عضو الاکلنگی می‌گردد بر روی یکی از میراگرها فشار و دیگری در کشش و عمل نموده است. این امر باعث تغییر شکل میراگرها شده و انرژی مستهلک گردیده و شکل پذیری و جذب انرژی نیز به خوبی صورت گرفته است [۱۰]. در سال ۲۰۱۶، چانگ هوآن و همکاران^۷ جهت بهبود میراگر شکافدار معمولی، یک میراگر شکافدار ساعت شنی شکل (HSD)^۸ را طراحی نمودند. این میراگر دارای شکاف‌هایی است که در ناحیه وسط ارتفاع شکاف دارای عرض بیشتر می‌باشد و نوارها باریک می‌گردد. برای یافتن قابلیت سازه‌ای، HSD در معرض بارهای یکنواخت و بارهای سیکلی مورد آزمایش قرار گرفت. پارامترهای بکار رفته و مورد مطالعه درصد بارگذاری، استحکام مواد و تعداد شکاف‌ها می‌باشد. نتایج، ظرفیت مقاومت بالا تحت بارگذاری یکنواخت و شکل پذیری و استهلاک انرژی بسیار خوبی را تحت بارگذاری سیکلی نشان داد. از این مدل توقع می‌رود که در کاربردهای اجرایی رفتار قابل قبولی از خود نشان دهد [۱۱]. در سال ۲۰۱۷، جون‌هو و همکاران^۹ تحقیقات خود را روی میراگر دو گانه اصطکاکی - شکافدار صفحه فولادی معطوف نمودند. در این مطالعه یک وسیله استهلاک انرژی دو گانه جدید ساخته شد با ادغام یک میراگر شکافدار با یک میراگر اصطکاکی دورانی جهت مقاوم سازی سازه‌ها بکار گرفته شد. در مقایسه با یک میراگر شکافدار معمولی، میراگر دوگانه مورد مطالعه دارای یک مزیت است و آن‌هم داشتن میراگر اصطکاکی می‌باشد که در زلزله‌های خفیف و بادهای قوی این قسمت از میراگر دوگانه وارد عمل می‌شود و در زلزله‌های قوی میراگر شکافدار به کمک میراگر اصطکاکی می‌آید و عمل می‌کند. آزمایشات بارگذاری تناوبی میراگر دوگانه برای ارزیابی ظرفیت استهلاک انرژی لرزه‌ای انجام شده است. آنالیز اجزای محدود روی نمونه‌های آزمایشی جهت مقایسه با نتایج آزمایشگاهی نیز انجام گردید که مطابقت خوبی با هم داشتند. آنالیزها و آزمایشات تاثیر قابل ملاحظه استفاده از این میراگر دوگانه را جهت جذب انرژی، استهلاک آن و کاهش خسارت به خوبی نشان دادند [۱۲]. در سال ۲۰۱۸، فراهی شهری و موسوی ضمن بررسی مطالعات پیشین نتیجه گرفتند که با توجه به تمرکز تنش ایجاد شده در قسمت‌های انتهایی نوارهای میراگر شکافدار استفاده شده، شکست اتصال در این نواحی اتفاق افتاده است. بنابراین به منظور بهبود عملکرد اتصال، میراگرهای شکافدار

⁴ Karavasilis et al.

⁵ Köken & Köroglu

⁶ Tagawa et al.

⁷ Chang-Hwan et al

⁸ Hourglass-shaped Strip Damper

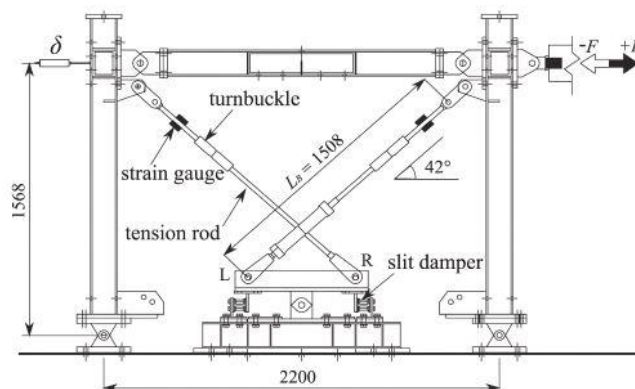
⁹ Joonho et al.



باعرض متغیر نوارها به گونه‌ای که قسمت های میانی نوارها، سطح جاذب انرژی کمتری داشته باشند پیشنهاد کردند [۱۳]. کهنه پوشی و سالم در سال ۲۰۲۰، به بررسی عملکرد میراگر شکافدار فولادی (SSD) در اتصالات تیر به ستون فولادی به روش المان محدود پرداخته‌اند. این میراگر از یک ورق فولادی که بر روی آن تعدادی شکاف با انتهای دایره‌ای شکل ایجاد شده، ساخته می‌شود. به منظور شناخت رفتار این میراگر، عملکرد آن در یک اتصال تیر به ستون فولادی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تاثیر اندازه شعاع شکافها بر روی اتصال، و اشکال دیگری از این نوع میراگر با شکافهای بیضی و لوزی شکل در اتصالات تیر به ستون فولادی بررسی شده است. پس از مدل سازی این دو نوع جدید از میراگر به روش المان محدود، منحنی هیستریزیک مدل‌ها و کرنش‌های پلاستیک با هم مقایسه شده است. بر پایه نتایج، میراگر شکافدار فولادی می تواند تعداد زیادی از چرخه بارگذاری را تحمل کند. حداکثر لنگر و نیروی وارده به اتصال، تغییر شکل و اعوجاج در میراگر با شکافهای مختلف مقایسه شده است. همچنین مقایسه برش پایه وارد شده به قاب فولادی تحت جابجایی جانبی و انرژی جذب شده توسط قاب دارای SSD و میراگر بیضی شکل انجام شده است. که نتایجی برای استفاده از اندازه یا اشکال بهینه این میراگرها را به دست می‌دهد [۱۴]. صابری و همکاران در سال ۲۰۲۰، جهت بررسی تاثیر میراگرهای با میرایی‌های مختلف در بهبود عملکرد مهاربندهای شورون، قاب‌هایی با تعداد طبقات ۵، ۱۰ و ۱۵ را در نرم‌افزار SeismoStruct مدل‌سازی و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی نمودند و میرایی به وسیله سیستم کنترلی میراگر ویسکوز به سازه‌ها، اعمال گردیده است. با بررسی نتایج مشاهده گردید که میرایی باعث کاهش مقدار پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها می‌گردد اما رابطه افزایش میرایی و کاهش پاسخ‌ها خطی نیست. اما در حالت کلی مقدار میرایی باعث کاهش مقدار جابجایی، دریافت، برش پایه و افزایش سطح عملکرد سازه‌ها می‌گردد. بیشترین مقدار کاهش نیروی داخلی برای میرایی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به ترتیب برابر ۳۵، ۳۹ و ۴۳ درصد بوده است. همچنین بیشترین مقدار کاهش نیروی داخلی برای میرایی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد برابر ۵۵، ۵۹ و ۶۴ درصد بوده است [۱۵]. در این تحقیق، به عنوان نوآوری به بررسی عملکرد چرخه‌ای سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکافدار با شکاف ثابت و بیضی در نرم‌افزار ABAQUS [۱۶] پرداخته شده است. بررسی و مقایسه سختی نمونه‌ها، مقاومت نهایی و میزان جذب انرژی نمونه‌ها نیز از جمله اهداف این تحقیق می‌باشد.

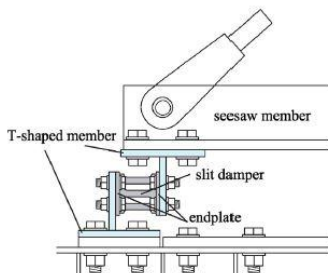
۲- صحت سنجی

در این تحقیق، برای بررسی صحت مدل‌سازی از نتایج مربوط به آزمایش تاگاوا و همکاران در سال ۲۰۱۵ استفاده شده است [۱۰]. شماتیک نمونه مورد آزمایش مطابق شکل ۱ قابل مشاهده است. جزئیات قرارگیری و اتصال میراگر در شکل ۲ ارائه شده است.



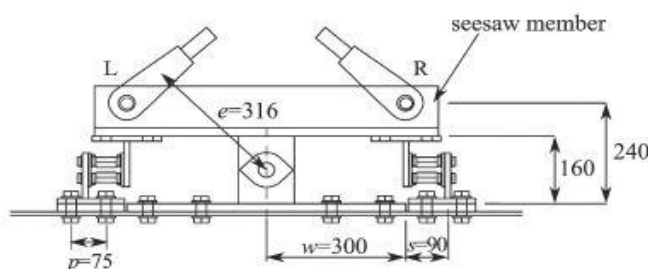
شکل ۱: نمونه‌ی سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی [۱۰].

¹⁰ Steel Slit Damper



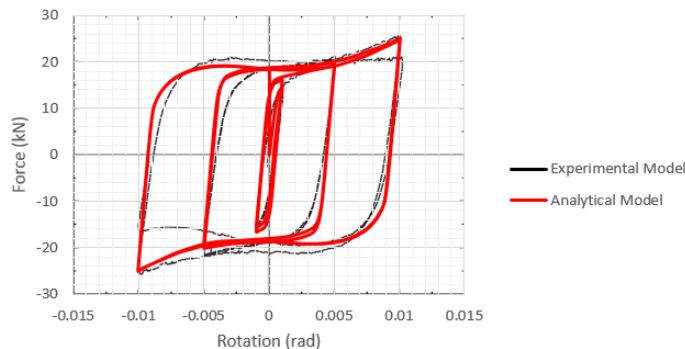
شکل ۲: جزئیات قرارگیری میراگر شکاف دار در سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی [۱۰].

نمونه مورد بررسی در این پژوهش جهت صحت سنجی مدل S-9.0 می باشد که در شکل ۳ جزئیات آن قابل مشاهده است. تنش تسلیم مصالح ۳۱۷ مگاپاسکال، تنش نهایی ۴۴۴ مگاپاسکال و ازدیاد طول نیز ۴۲ درصد می باشد.



شکل ۳: شماتیک نمونه S-9.0 [۱۰].

مقاطع تیر و ستون H-150*150*7*10 (steel grade:SN400B) می باشد که با اتصال مفصلی به یکدیگر متصل هستند. همچنین اتصال ستون ها به انتها نیز مفصلی می باشد. سختی جانبی و مقاومت نمونه های آزمایش تنها وابسته به سیستم میراگر شامل مهاربند می شود. حرکت خارج از صفحه قاب در بالای ستون ها جلوگیری می شود. اعضای مهاربندی میله هایی کششی با قطر ۲۵ میلی متر می باشند. ورق های فولادی با ضخامت ۱۹ میلی متر به عنوان اعضای سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی با سخت کننده هایی جهت جلوگیری از تغییر شکل آنها بکار می روند. از پیچ های مقاومت بالا برای اتصال استفاده می شود. پارامترهای آزمایش ضخامت ورق، طول شکاف و محل قرارگیری میراگر می باشد. بار جانبی در اتصال تیر و ستون در دو نوع دامنه نوسان افزایشی و ثابت اعمال می شود. برای شرایط دامنه نوسان افزایشی، بار جانبی بطور تدریجی افزایش داده می شود تا زاویه دوران های ۰/۰۱ و ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۱ و ۰/۰۱۵ و ۰/۰۲ بر حسب رادیان تعیین شود. تحت بارگذاری با دامنه نوسان ثابت ۰/۰۲ رادیان، سیکل بارگذاری تا زمان از بین رفتن مقاومت ادامه می یابد. پس از انجام مراحل که در بخش های پیشین به آن ها اشاره شد، نمونه شماره S-9.0 مورد تحلیل قرار گرفت. با تکمیل شدن فرآیند تحلیل برای دستیابی به نمودار نیرو-تغییر مکان برای هر نمونه، نیروی متناظر با هر مرحله جابجایی از نرم افزار استخراج شده و نمودار مربوط به آن ترسیم شده است. به منظور مقایسه نتیجه تحلیل با نتایج موجود در پژوهش تاگاووا و همکاران، منحنی چرخه ای هر دو نمونه بر روی یک نمودار ترسیم گردید. این نمودار در شکل ۴ مشاهده می شود. از طرفی نحوه کاهش سختی در دو نمودار، در طول بارگذاری کاملاً یکنواخت است. همچنین نحوه زوال مقاومت نیز در دو نمودار تقریباً مشابه یکدیگر بوده که که بیانگر درستی مدل سازی در نرم افزار است.



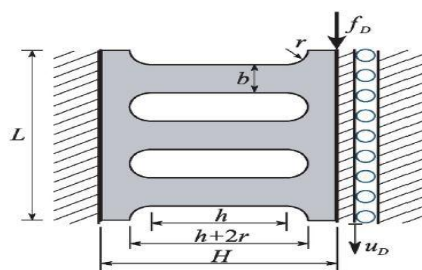
شکل ۴: مقایسه منحنی نیرو-دوران برای مدل آزمایشگاهی و مدل اجزا محدودی.

۳- روش تحقیق

در این تحقیق پس از صحت سنجی مدل سازی، به بررسی کاربرد میراگرهای شکاف دار فولادی با سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی را جهت افزایش سختی میراگر و بهبود خصوصیات استهلاک انرژی پرداخته شده است. در این تحقیق، موارد ذیل ارائه می شود: ۱- بررسی پارامتر توزیع تنش ۲- بررسی پارامتر تغییر شکل ۳- معرفی و بررسی منحنی های چرخه ای هیستریزس و خصوصیات آن ۴- بررسی معیارهای شکل پذیری در سازه ها و اتصالات و ضریب شکل پذیری ۵- بررسی پارامتر استهلاک انرژی هیستریزس. لازم به ذکر می باشد که کلیه فرضیات در نظر گرفته شده در تحقیق تاگاو و همکاران اعم از مشخصات مصالح، مشخصات مقاطع و بارگذاری نمونه ها، در این قسمت نیز مورد استفاده قرار گرفته است. مدل مورد استفاده در این بخش، نمونه شماره S-9.0 می باشد که با گسترش آن و لحاظ تغییرات افزایش طول میراگر (L)، ضخامت میراگر (t) و کاهش فاصله بین شکافها (b) (افزایش انحنای سوراخها) به میزان ۲۰ درصد و ۴۰ درصد (در مجموع ۷ مدل) پارامترهای ذکر شده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. شماتیک میراگر نمونه شماره S-9.0 مطابق شکل ۵ و ابعاد اولیه آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. ابعاد اولیه میراگر در نمونه شماره S-9.0 تاگاو بر حسب (mm).

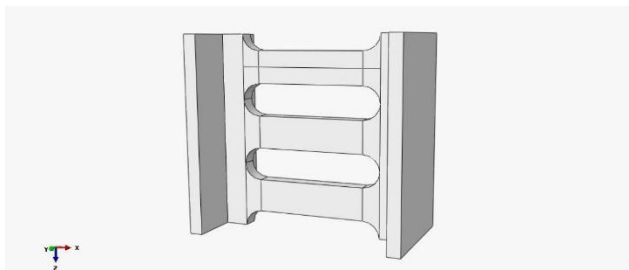
نمونه	L	b	T
S-9.0	۷۲	۱۲	۹



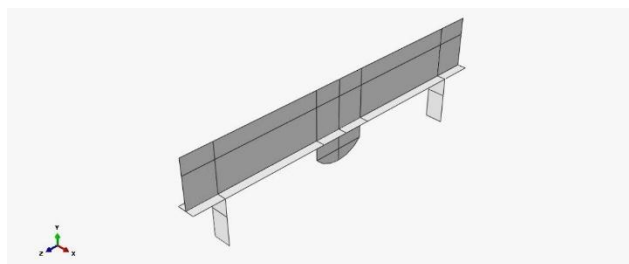
شکل ۵: شماتیک مشخصات میراگر نمونه شماره S-9.0 در تحقیق تاگاو و همکاران [۱۰].



مدل اجزا محدود میراگر و سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است.



شکل ۶: مدل اجزا محدود میراگر شکاف دار فولادی.

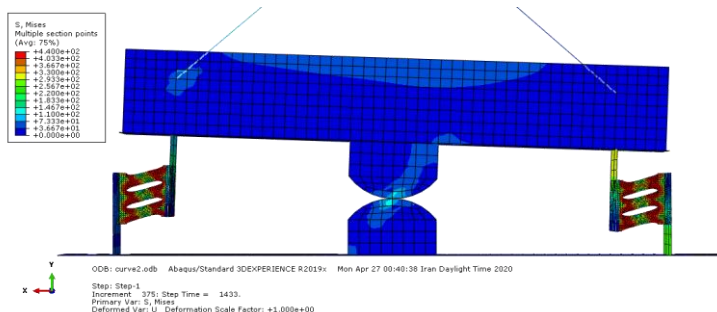


شکل ۷: مدل اجزا محدود سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی.

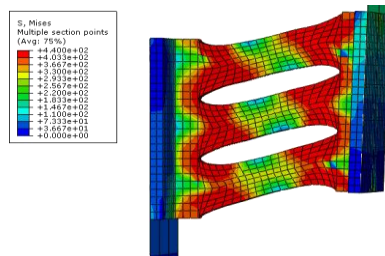
۴- ارائه نتایج تحلیل ها

۴-۱- توزیع تنش

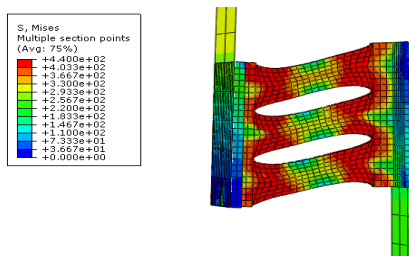
در شکل‌های ۸ تا ۱۰، نحوه توزیع و کانتور تنش‌های وارده بر میراگر شکاف دار فولادی در سمت چپ و راست و سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر را با تغییرات ۲۰ درصد و ۴۰ درصد در مقادیر طول و ضخامت میراگر و نیز فاصله بین شکاف‌ها ارائه شده است. در کلیه حالات، میراگر شکاف دار به حد جاری شدن خودش رسیده و تسلیم شده است که باعث استهلاک انرژی بسیار مناسبی در سیستم خواهد شد و ظرفیت شکل پذیری سیستم را بالا می‌برد و سایر اعضا نیروی کمتری را تحمل خواهند کرد. همانطور که در شکل‌های ۸ تا ۱۰ ملاحظه می‌شود مطابق کانتور تنش بدست آمده، با کاهش ۲۰ درصدی فاصله بین شکاف‌ها در میراگر، مقدار تنش حداکثر ۴۴۰ مگاپاسکال بدست آمده است. همچنین موقعیت تنش حدکثر در صفحه جان میراگر مابین شکاف‌ها و نزدیک به کناره‌ها و بخشی از آن نیز در نزدیک ورق‌های بال آن اتفاق افتاد.



شکل ۸: توزیع تنش سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با کاهش ۲۰ درصدی مقدار b.

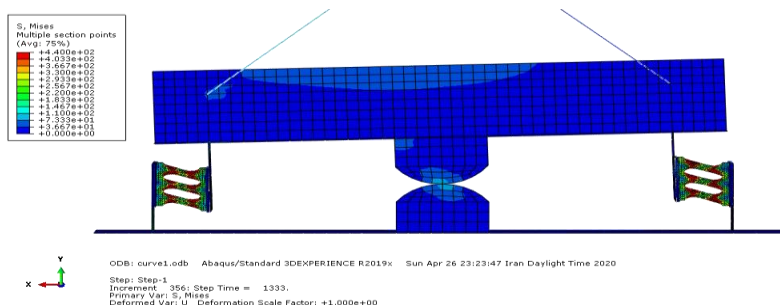


شکل ۹: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با کاهش ۲۰ درصدی مقدار b

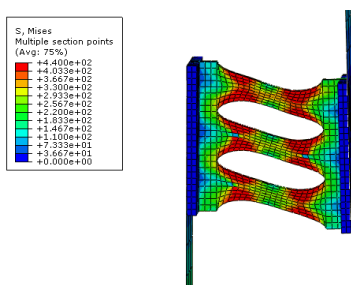


شکل ۱۰: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با کاهش ۲۰ درصدی مقدار b

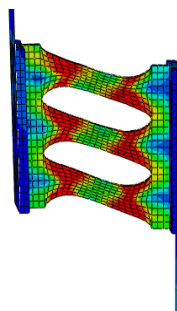
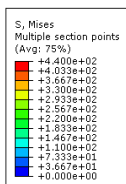
در شکل های ۱۱ تا ۱۳ ملاحظه می گردد که مقدار تنش حدکثر ۴۴۰ مگاپاسکال بدست آمده است. موقعیت تنش حداکثر در صفحه جان میراگر در فواصل مابین شکافها در نزدیکی کنارهها و برخلاف حالت قبل، محدوده و مقدار تسلیم شدگی کمتر و متمایل به مرز جداره های شکاف اتفاق افتاده است.



شکل ۱۱: توزیع تنش سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با کاهش ۴۰ درصدی مقدار b

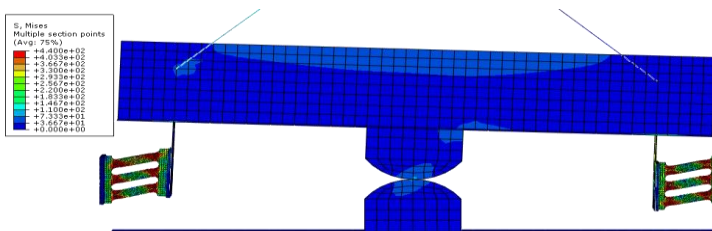


شکل ۱۲: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با کاهش ۴۰ درصدی مقدار b



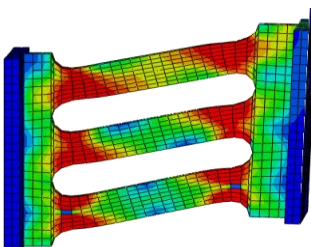
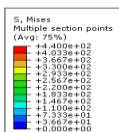
شکل ۱۳: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با کاهش ۴۰ درصدی مقدار b

در شکل های ۱۴ تا ۱۶ ملاحظه می گردد که مقدار تنش حدکثر ۴۴۰ مگاپاسکال بدست آمده است. موقعیت تنش حداکثر در صفحه جان میراگر در فواصل مابین شکافها و نزدیک به کنارهها اتفاق افتاده است. مقدار تسلیم شدگی در مقایسه با حالت کاهش فاصله بین شکافها کمتر شده است.

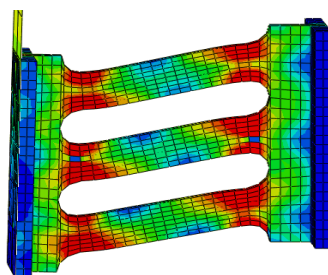
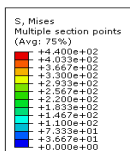


ODB: leanth1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2019x Tue Apr 20 00:32:07 Iran Daylight Time 2020
Step: Step-1
Increment: 350, Step Time = 1428.
Primary Var: S, Mises
Deformed Var: U, Deformation Scale Factor: +1.000e+00

شکل ۱۴: توزیع تنش سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۲۰ درصدی مقدار L .



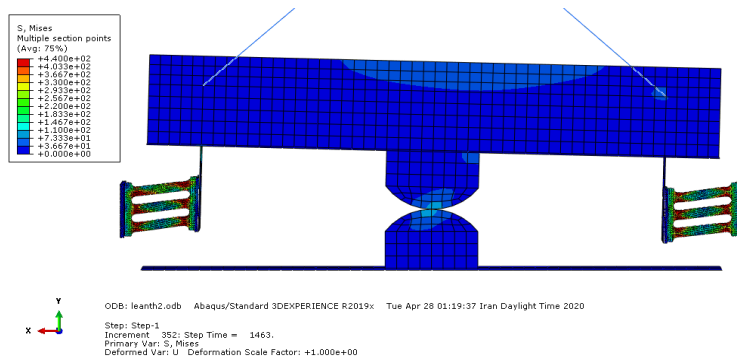
شکل ۱۵: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با افزایش ۲۰ درصدی مقدار L .



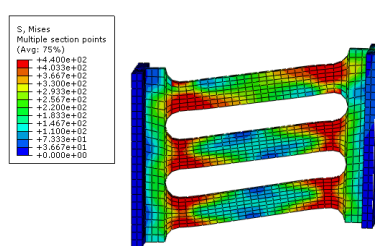
شکل ۱۶: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با افزایش ۲۰ درصدی مقدار L .



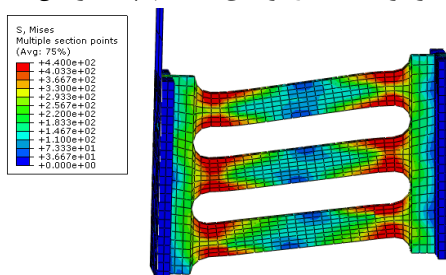
در شکل های ۱۷ تا ۱۹ مشخص می شود که مقدار تنش حدکثر ۴۴۰ مگاپاسکال بدست آمده است. موقعیت تنش حداکثر در صفحه جان میراگر در فواصل مابین شکافها و نزدیک به کنارهها و بیشتر در مرز جدارههای شکاف اتفاق افتاده است. همچنین محدوده تسلیم شدن میراگر با افزایش طول آن نسبت به حالت کاهش فاصله بین شکافها به مراتب کمتر شده است.



شکل ۱۷: توزیع تنش سیستم کلی استهلاک انرژی الاکنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۴۰ درصدی مقدار L.

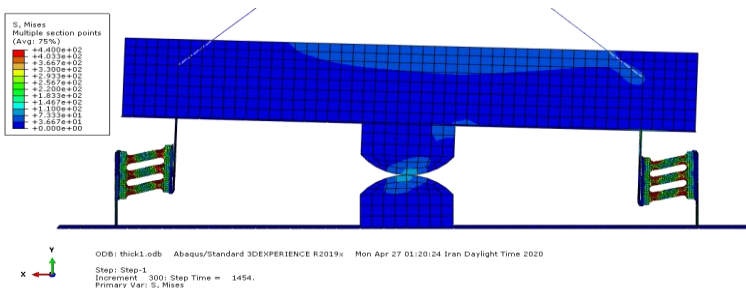


شکل ۱۸: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با افزایش ۴۰ درصدی مقدار L.

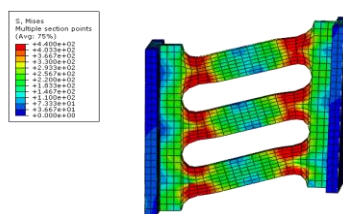


شکل ۱۹: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با افزایش ۴۰ درصدی مقدار L.

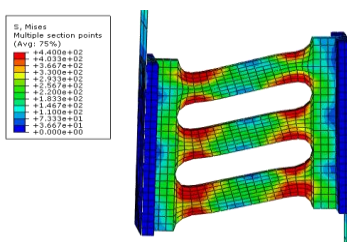
در شکل های ۲۰ تا ۲۲ ملاحظه می گردد که مقدار تنش حدکثر ۴۴۰ مگاپاسکال بدست آمده است. موقعیت تنش حداکثر با افزایش ۲۰ درصدی ضخامت میراگر در صفحه جان آن در فواصل مابین شکافها نزدیک به کنارهها اتفاق افتاده است. با این حال جاری شدن بیشتر در مرز جداره های شکافها و نه در کل فاصله بین آنها رخ داده است.



شکل ۲۰: توزیع تنش سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۲۰ درصدی مقدار t .

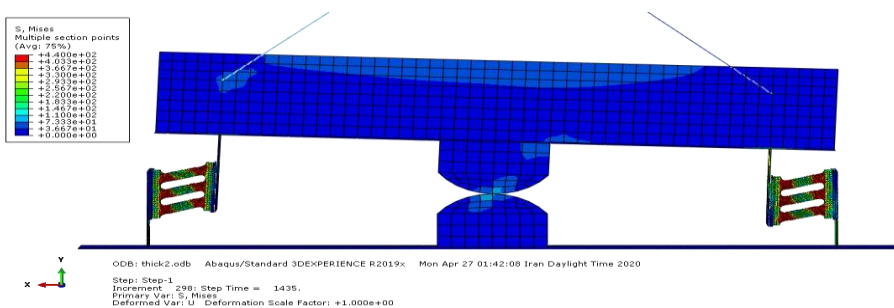


شکل ۲۱: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با افزایش ۲۰ درصدی مقدار t .

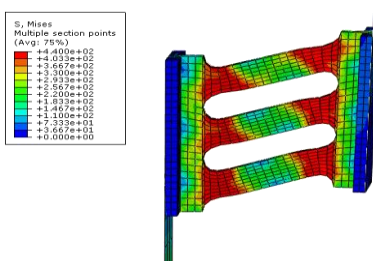


شکل ۲۲: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با افزایش ۲۰ درصدی مقدار t .

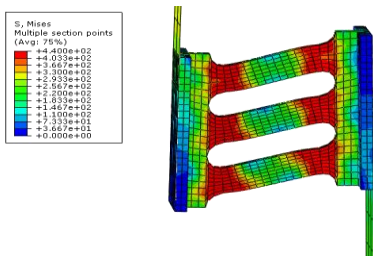
در شکل‌های ۲۳ تا ۲۵ ملاحظه می‌گردد که مقدار تنش حدکثر ۴۴۰ مگاپاسکال بدست آمده است. در این حالت با افزایش ۴۰ درصدی ضخامت موقعیت تنش حداکثر در صفحه جان میراگر در فواصل مابین شکاف‌ها و نزدیک به کناره‌ها اتفاق افتاده است، با این حال محدوده بیشتری از صفحه جان (کل فاصله بین شکاف‌ها) نسبت به حالت افزایش ۲۰ درصدی ضخامت تسلیم شد.



شکل ۲۳: توزیع تنش سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۴۰ درصدی مقدار t .



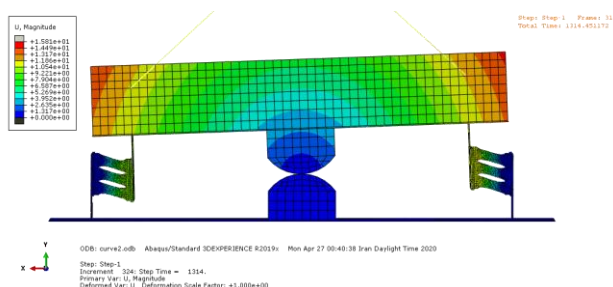
شکل ۲۴: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با افزایش ۴۰ درصدی مقدار t.



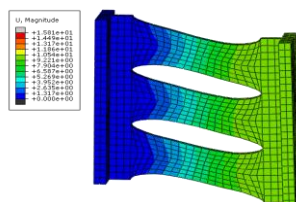
شکل ۲۵: توزیع تنش میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با افزایش ۴۰ درصدی مقدار t.

۴-۲- توزیع تغییر شکل

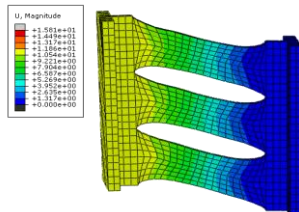
در شکل‌های ۲۶ تا ۲۸، نحوه توزیع و کانتور تغییر شکل‌های وارده میراگر شکاف‌دار فولادی در سمت چپ و راست و سیستم استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر را با تغییرات ۲۰ درصد و ۴۰ درصد در مقادیر طول و ضخامت میراگر و نیز فاصله بین شکاف‌ها ملاحظه می‌شود. همانطور که در شکل‌های ۲۶ تا ۲۸ قابل مشاهده است، با کاهش ۲۰ درصدی مقدار فاصله بین شکاف‌ها، مقدار حداکثر تغییر شکل در میراگرها و نیز سیستم کلی ۱۵/۸۱ میلی‌متر بدست آمده است. در سمت اتصال میراگر به عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مقدار تغییر شکل بیشتری نسبت سمت دیگر میراگر ملاحظه شد. مقادیر حداکثر تغییر شکل در گوشه‌های چپ و راست عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مشاهده شد.



شکل ۲۶: توزیع تغییر شکل سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با کاهش ۲۰ درصدی مقدار b.

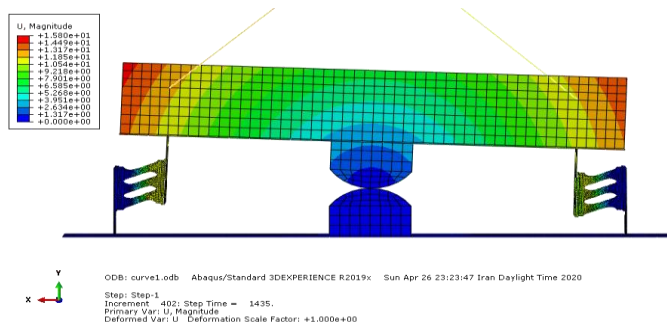


شکل ۲۷: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با کاهش ۲۰ درصدی مقدار b.

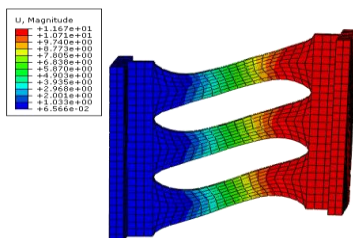


شکل ۲۸: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با کاهش ۲۰ درصدی مقدار b.

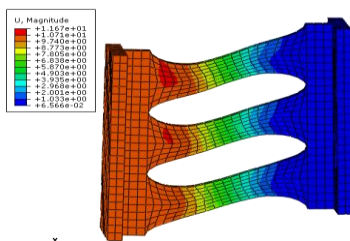
همانطور که در شکل‌های ۲۹ تا ۳۱ قابل مشاهده می‌باشد، با کاهش ۴۰ درصدی مقدار فاصله بین شکاف‌ها، مقدار حداکثر تغییر شکل در میراگرها ۱۱/۶۷ میلی‌متر و در سیستم کلی ۱۵/۸ میلی‌متر بدست آمده است که محدوده بیشتری از این تغییر شکل در سمت اتصال میراگر سمت چپی رخ داده است. بطور کلی در سمت اتصال میراگرها به عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مقدار تغییر شکل بیشتری نسبت دیگر ملاحظه شد. مقادیر حداکثر تغییر شکل در گوشه‌های چپ و راست عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مشاهده شد.



شکل ۲۹: توزیع تغییر شکل سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با کاهش ۴۰ درصدی مقدار b.



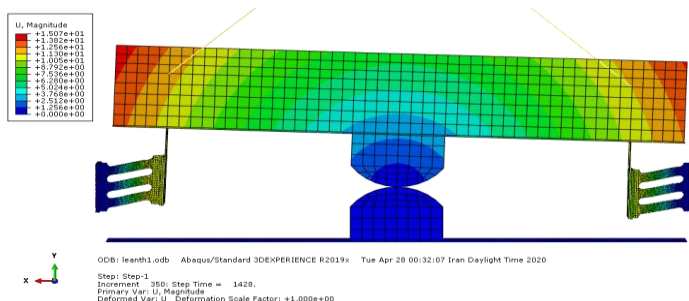
شکل ۳۰: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با کاهش ۴۰ درصدی مقدار b.



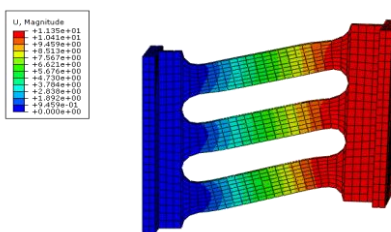
شکل ۳۱: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با کاهش ۴۰ درصدی مقدار b.



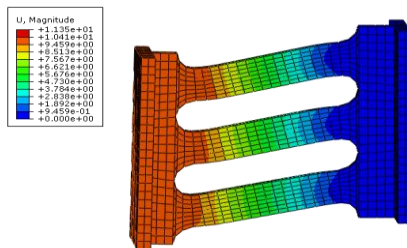
همانطور که در شکل‌های ۳۲ تا ۳۴ قابل مشاهده می‌باشد، با افزایش ۲۰ درصدی مقدار طول میراگرها، مقدار حداکثر تغییر شکل در میراگرها ۱۱/۳۵ میلی‌متر و در سیستم کلی ۱۵/۰۷ میلی‌متر بدست آمده است که محدوده بیشتری از این تغییر شکل در سمت اتصال میراگر سمت چپی رخ داده است. بطور کلی در سمت اتصال میراگرها به عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مقدار تغییر شکل بیشتری نسبت دیگر ملاحظه شد. مقادیر حداکثر تغییر شکل در گوشه‌های چپ و راست عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مشاهده شد.



شکل ۳۲: توزیع تغییر شکل سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۲۰ درصدی مقدار L.

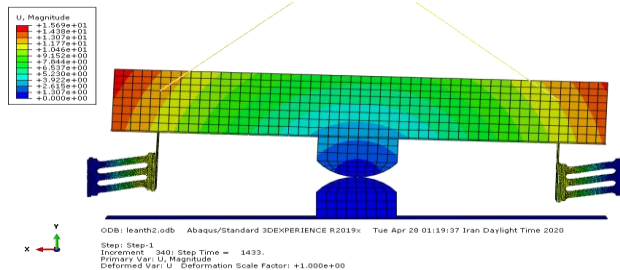


شکل ۳۳: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با افزایش ۲۰ درصدی مقدار L.

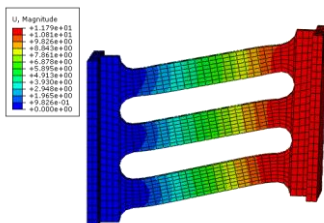


شکل ۳۴: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با افزایش ۲۰ درصدی مقدار L.

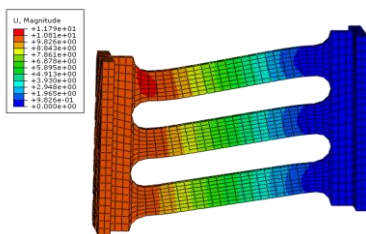
همانطور که در شکل‌های ۳۵ تا ۳۷ قابل مشاهده است، با افزایش ۴۰ درصدی مقدار طول میراگرها، مقدار حداکثر تغییر شکل در میراگرها ۱۱/۷۹ میلی‌متر و در سیستم کلی ۱۵/۶۹ میلی‌متر بدست آمده است که محدوده بیشتری از این تغییر شکل در سمت اتصال میراگر سمت چپی رخ داده است. بطور کلی در سمت اتصال میراگرها به عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مقدار تغییر شکل بیشتری نسبت دیگر ملاحظه شد. مقادیر حداکثر تغییر شکل در گوشه‌های چپ و راست عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مشاهده شد.



شکل ۳۵: توزیع تغییر شکل سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۴۰ درصدی مقدار L .

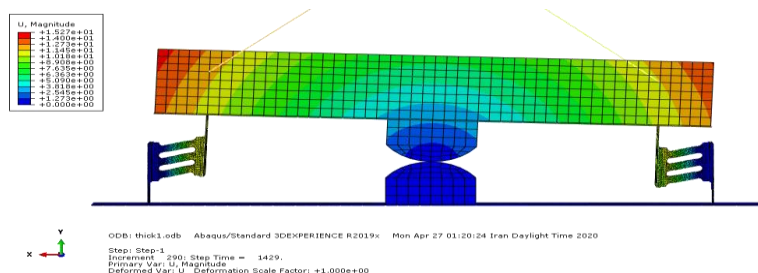


شکل ۳۶: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با افزایش ۴۰ درصدی مقدار L .

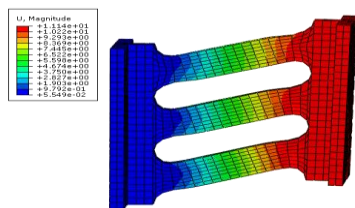


شکل ۳۷: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با افزایش ۴۰ درصدی مقدار L .

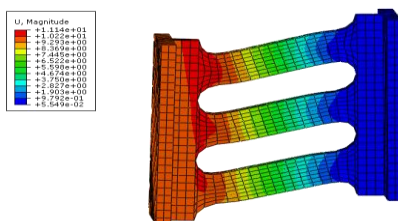
مطابق شکل‌های ۳۸ تا ۴۰، با افزایش ۲۰ درصدی مقدار ضخامت میراگرها، مقدار حداکثر تغییر شکل در میراگرها ۱۱/۱۴ میلی‌متر و در سیستم کلی ۱۵/۲۷ میلی‌متر بدست آمده است که محدوده بیشتری از این تغییر شکل در سمت اتصال میراگر سمت چپی رخ داده است. بطور کلی در سمت اتصال میراگرها به عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مقدار تغییر شکل بیشتری نسبت سمت دیگر ملاحظه شد. مقادیر حداکثر تغییر شکل در گوشه‌های چپ و راست عضو استهلاک انرژی الاکلنگی قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳۸: توزیع تغییر شکل سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۲۰ درصدی مقدار t .

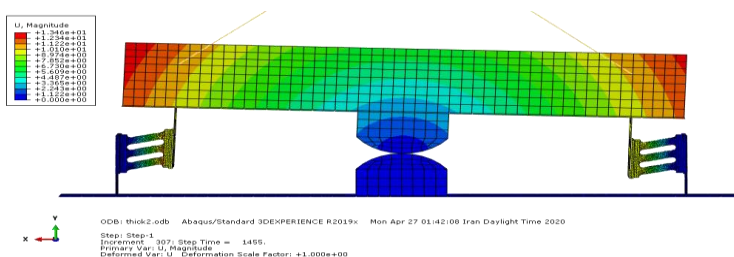


شکل ۳۹: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با افزایش ۲۰ درصدی مقدار t.

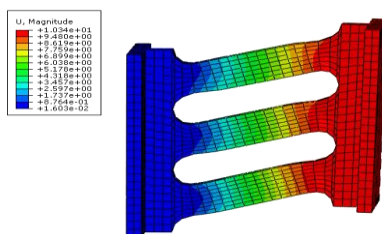


شکل ۴۰: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با افزایش ۲۰ درصدی مقدار t.

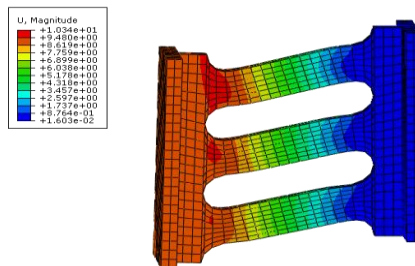
مطابق شکل‌های ۴۱ تا ۴۳، با افزایش ۴۰ درصدی مقدار ضخامت میراگرها، مقدار حداکثر تغییر شکل در میراگرها ۱۰/۳۴ میلی‌متر و در سیستم کلی ۱۳/۴۶ میلی‌متر بدست آمده است که محدوده بیشتری از این تغییر شکل در سمت اتصال میراگر سمت چپی رخ داده است. بطور کلی در سمت اتصال میراگرها به عضو استهلاک انرژی الاکنگی مقدار تغییر شکل بیشتری نسبت سمت دیگر ملاحظه شد. مقادیر حداکثر تغییر شکل در گوشه‌های چپ و راست عضو استهلاک انرژی الاکنگی مشاهده شده است.



شکل ۴۱: توزیع تغییر شکل سیستم کلی استهلاک انرژی الاکنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۴۰ درصدی مقدار t.



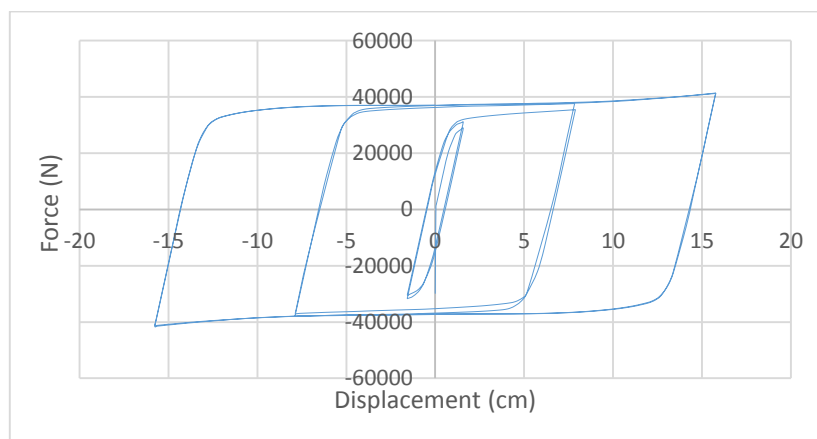
شکل ۴۲: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت چپ با افزایش ۴۰ درصدی مقدار t.



شکل ۴۳: توزیع تغییر شکل میراگر شکاف دار فولادی سمت راست با افزایش ۴۰ درصدی مقدار t.

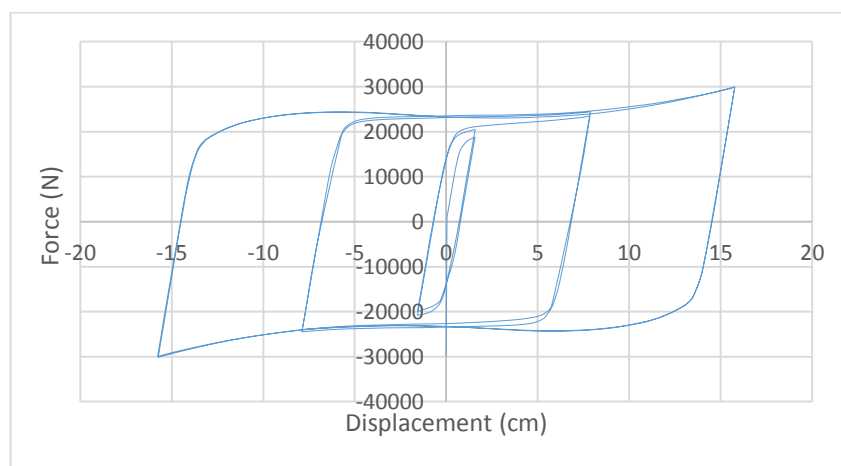
۳-۴- منحنی هیستریزیس

در ادامه در شکل‌های ۴۴ تا ۴۹، منحنی‌های هیستریزیس نیرو-تغییر مکان سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر را با تغییرات ۲۰ درصد و ۴۰ درصد در مقادیر طول و ضخامت میراگر و نیز فاصله بین شکاف‌ها ارائه شده است.



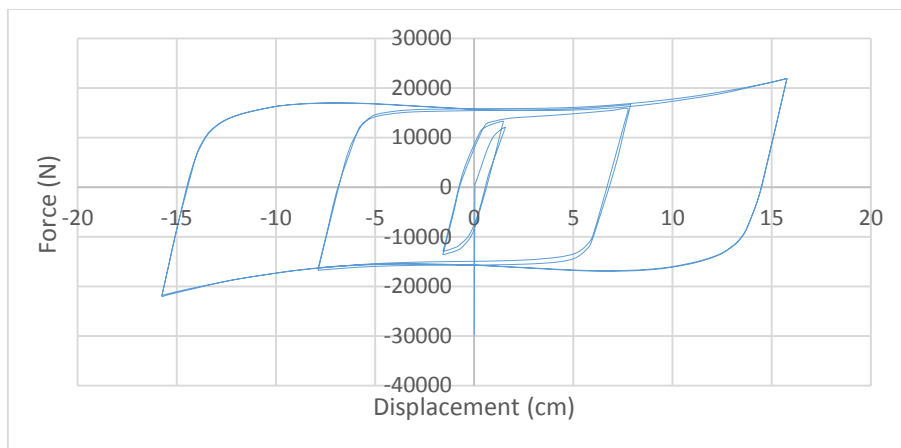
شکل ۴۴: منحنی چرخه‌ای نیرو-تغییر مکان سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با کاهش ۲۰ درصدی مقدار

b.



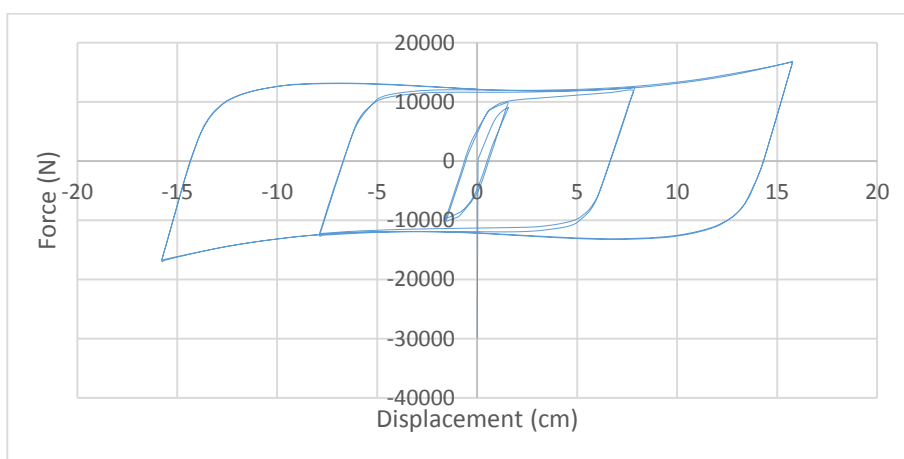
شکل ۴۵: منحنی چرخه‌ای نیرو-تغییر مکان سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با کاهش ۴۰ درصدی مقدار

b.



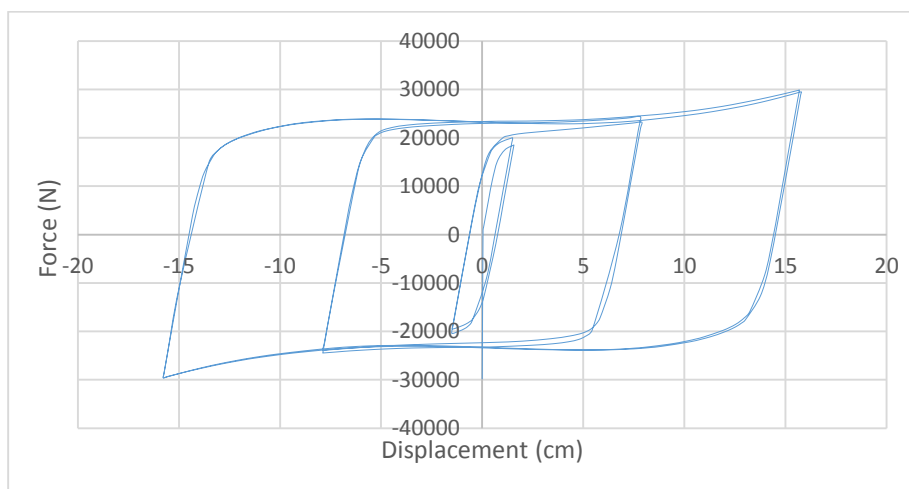
شکل ۴۶: منحنی چرخه‌ای نیرو-تغییر مکان سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۲۰ درصدی مقدار

L



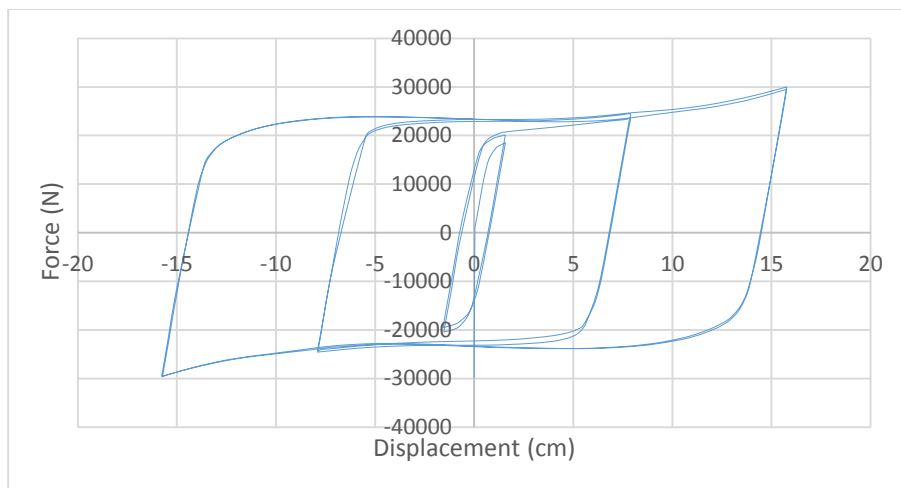
شکل ۴۷: منحنی چرخه‌ای نیرو-تغییر مکان سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۴۰ درصدی مقدار

L



شکل ۴۸: منحنی چرخه‌ای نیرو-تغییر مکان سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش

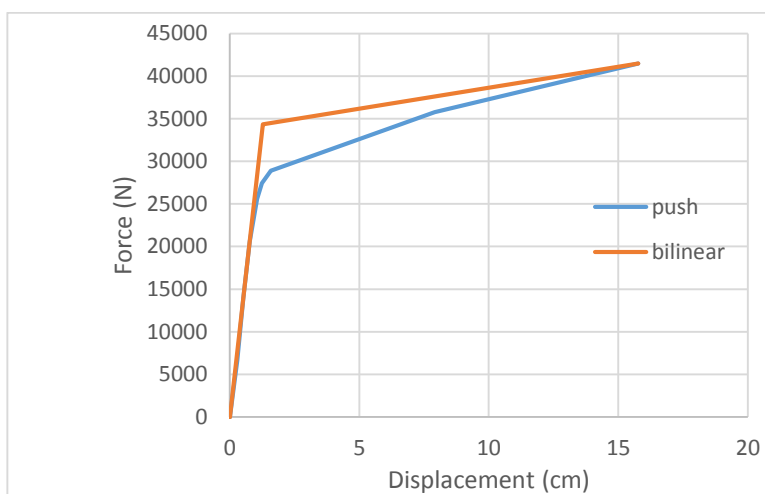
۲۰ درصدی مقدار t.



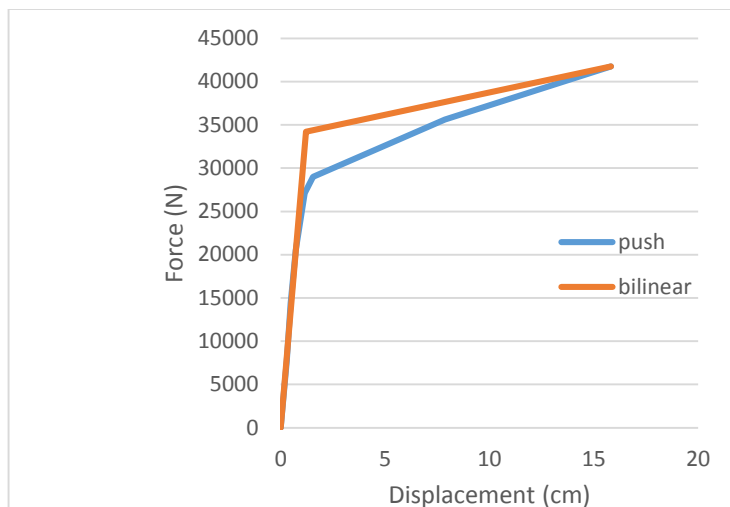
شکل ۴۹: منحنی چرخه‌ای نیرو-تغییر مکان سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۴۰ درصدی مقدار t .

۴-۴- شکل پذیری

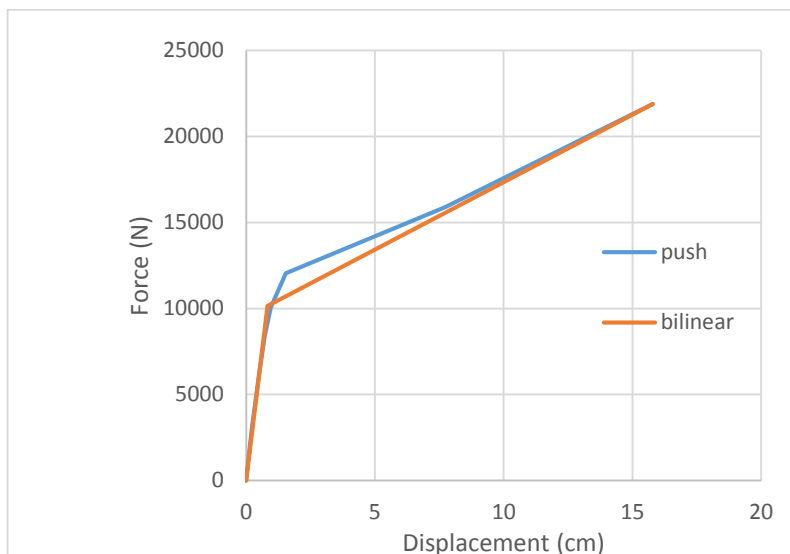
مطابق شکل‌های ۵۰ تا ۵۵، بیشترین مقدار ضریب شکل پذیری در حالت افزایش ۲۰ درصدی مقدار ضخامت میراگر و کمترین آن در حالت کاهش ۲۰ درصدی مقدار فاصله بین شکاف‌های میراگر بدست آمده است. بطور کلی با کاهش فاصله بین شکاف‌ها در میراگر، منجر به کاهش شکل پذیری سیستم الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی و با افزایش مقادیر ضخامت میراگر، باعث افزایش مقدار شکل پذیری می‌شود.



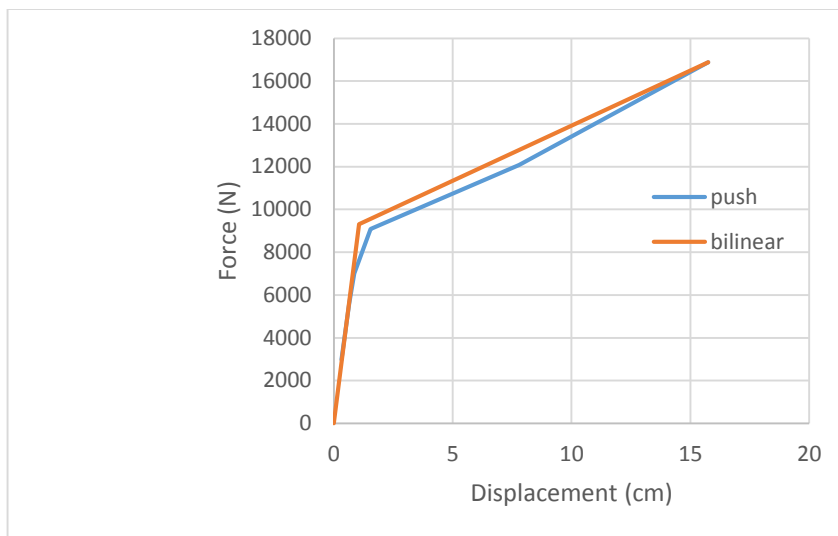
شکل ۵۰: پش منحنی هیستریزیس سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با کاهش ۲۰ درصدی مقدار b .



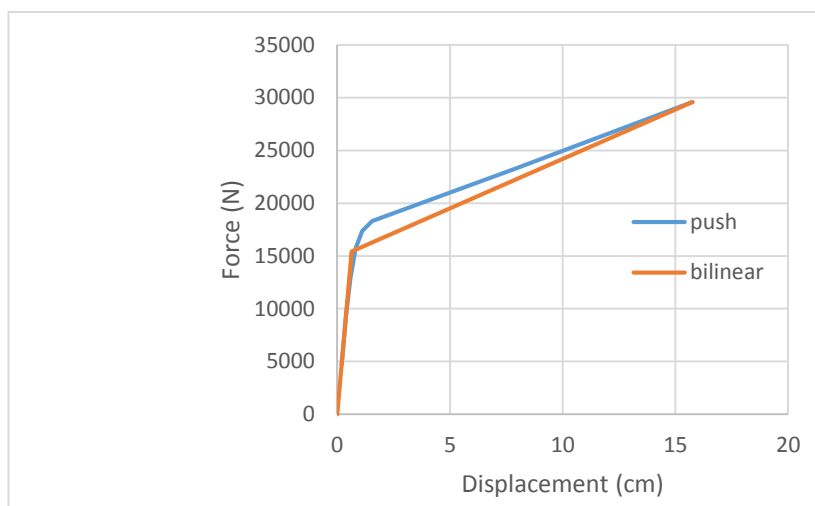
شکل ۵۱: پوش منحنی هیستریزیس سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با کاهش ۴۰ درصدی مقدار **b**.



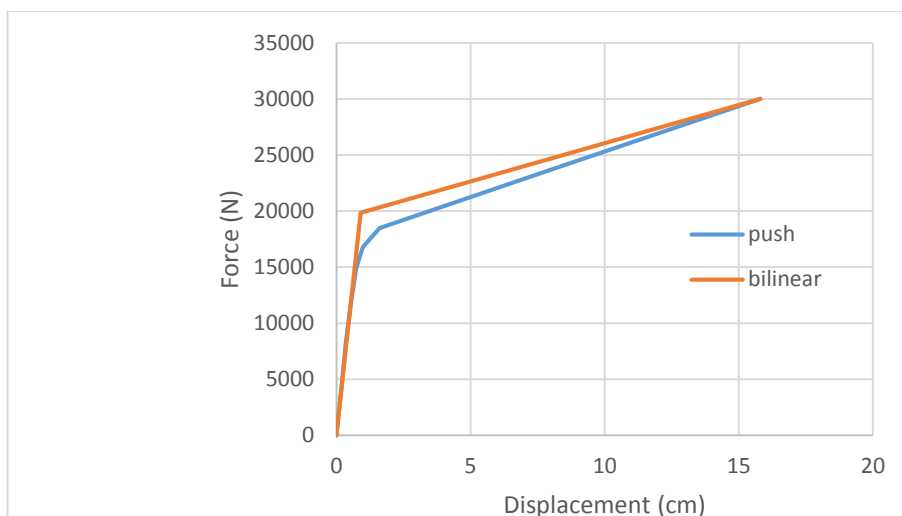
شکل ۵۲: پوش منحنی هیستریزیس سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۲۰ درصدی مقدار **L**.



شکل ۵۳: پوش منحنی هیستریزیس سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۴۰ درصدی مقدار t .



شکل ۵۴: پوش منحنی هیستریزیس سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۲۰ درصدی مقدار t .



شکل ۵۵: پوش منحنی هیستریزیس سیستم کلی استهلاک انرژی الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی با افزایش ۴۰ درصدی مقدار t .

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق، یک سیستم کنترل ارتعاش غیر فعال با میراگرهای شکاف دار فولادی ارائه گردید. کاربرد و بکارگیری میراگر شکاف دار با یک سیستم استهلاک انرژی استهلاک انرژی الاکلنگی پیشنهاد شد. نمونه شماره S-9.0 از تحقیق تاگاو و همکاران در سال ۲۰۱۵ و با لحاظ تغییرات ۲۰ درصدی و ۴۰ درصدی در مقادیر اولیه طول و ضخامت میراگر و نیز فاصله بین شکافها با نرم افزار اجزا محدود ABAQUS مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای مؤثر بر رفتار این سیستم از قبیل توزیع تنش، تغییر شکل، منحنی هیستریزیس نیرو-تغییر مکان، ضریب شکل پذیری و مقدار استهلاک انرژی هیستریزیس مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. نتایج بدست آمده از تحلیل اجزا محدود برای نمونه‌های مورد بررسی به صورت زیر جمع بندی و بیان گردیده است:

- در خصوص توزیع تنش وارده، مقدار تنش حداکثر ۴۴۰ مگاپاسکال بدست آمد. با کاهش فاصله بین شکافهای میراگر، موقعیت تنش حداکثر در صفحه جان میراگر مابین شکافها و نزدیک به کناره‌ها و بخشی از آن نیز در نزدیک ورق‌های بال آن اتفاق افتاده است. افزایش بیشتر انحنا سوراخها منجر به کاهش مقدار و محدوده تسلیم شدگی میراگر گردید بطوریکه محدوده جاری شدن متمایل به مرز جداره‌های شکاف مشاهده شد. با افزایش طول میراگر، موقعیت تنش حداکثر در صفحه جان میراگر مابین شکافها و نزدیک به کناره‌ها و میزان تسلیم شدگی در مقایسه با حالت افزایش انحنا سوراخها کمتر شده و با افزایش بیشتر طول میراگر، میزان کاهش تسلیم شدگی ملموس تر گردید و بیشتر در مرز جداره‌های شکاف رخ داده است. همچنین با افزایش ۴۰ درصدی ضخامت، نتیجه‌ای مشابه با حالت افزایش انحنا سوراخها حاصل گردید بطوریکه کل فاصله بین شکافهای میراگر در کناره‌ها تسلیم شده است.

- در خصوص تغییر شکل میراگر، محدوده تغییر شکل حداکثر در سمت اتصال میراگر سمت چپی رخ داده است. بطور کلی در سمت اتصال میراگرها به عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مقدار تغییر شکل بیشتری نسبت سمت دیگر ملاحظه شد. مقادیر حداکثر تغییر شکل در گوشه‌های چپ و راست عضو استهلاک انرژی الاکلنگی مشاهده گردید. با افزایش انحنای سوراخها و افزایش طول میراگرها، مقدار حداکثر تغییر شکل بیشتری در مقایسه با حالت افزایش ضخامت میراگر در سیستم الاکلنگی و میراگرها اتفاق افتاده است.

- با مشاهده منحنی‌های چرخه‌ای هیستریزیس، افزایش مقادیر انحنای سوراخها، طول و ضخامت میراگر منتج به این شد که سیستم الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی، خصوصیات چرخه ای پایدار و ظرفیت استهلاک انرژی بزرگی را دارا می‌باشد.



- در خصوص استهلاک انرژی منحنی‌های چرخه‌ای هیستریزیس، مشخص شد که کاهش فاصله بین شکاف‌ها، ظرفیت مستهلک کردن انرژی بیشتری در مقایسه با دو حالت دیگر دارد. همچنین افزایش ضخامت میراگر سبب استهلاک انرژی حدوداً ۲ برابر در مقایسه با افزایش ضخامت میراگر گردید.

- در خصوص ضریب شکل پذیری پوش منحنی‌های هیستریزیس و بیشترین مقدار ضریب شکل پذیری در حالت افزایش ۲۰ درصدی ضخامت میراگر و کمترین آن در حالت کاهش ۲۰ درصدی فاصله بین شکاف‌های میراگر بدست آمد. بطور کلی با کاهش فاصله بین شکاف‌ها در میراگر، شاهد کاهش شکل پذیری سیستم الاکلنگی با میراگر شکاف دار فولادی و با افزایش مقادیر ضخامت میراگر، شاهد افزایش مقدار ضریب شکل پذیری در سیستم الاکلنگی می‌باشد.

۶- مراجع

- 1- Saberi, V., Saberi, H., & Sadeghi, A., 2020, **Collapse Assessment of Steel Moment Frames Based on Development of Plastic Hinges**, Journal of Science and Technology, (In Persian).
- 2- Sadeghi, A., Hashemi, S., & Mehdizadeh, K., 2020, **Probabilistic Assessment of Seismic Collapse Capacity of 3D Steel Moment-Resisting Frame Structures**, Journal of Structural and Construction Engineering, (In Persian).
- 3- Saberi, V., Saberi, H., Salimikia, M., & Sadeghi, A., 2021, **Investigation the cyclic behavior of rigid RBS connections with horizontal and vertical stiffeners in steel moment-resisting frame**, Amirkabir Journal of Civil Engineering, (In Persian).
- 4- Lee, M. H., Oh, S. H., Huh, C., Oh, Y. S., Yoon, M. H., & Moon, T. S., 2002, **Ultimate energy absorption capacity of steel plate slit dampers subjected to shear force**, International Journal of Steel Structures, 71-79.
- 5- Chan, R., & Albermani, F., 2008, **Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation**, Engineering Structures, 30, 1058-1066.
- 6- Oh, S. H., Kim, Y. J., & Ryu, H. S., 2009, **Seismic performance of steel structures with slit dampers**, Engineering Structures, 31, 1997-2008.
- 7- Karavasilis, Theodore L., Sanaya Kerawala, and Emma Hale, 2012, **Hysteretic model for steel energy dissipation devices and evaluation of a minimal-damage seismic design approach for steel buildings**, Journal of Constructional Steel Research, 358-367.
- 8- Köken, A., and Köroglu, M. A., 2012, **Waste rubber damper using on steel beam to column connection**, International Journal of Arts & Sciences, 217.
- 9- Farahi Shahri, S., & Mousavi, S. R., 2016, **Application of Elliptic Slits for Development of Slit Damper in Beam-to-Column Connection**, IQBQ, 16, 1, 93-102
URL: <http://mcej.modares.ac.ir/article-16-2005-fa.html>
- 10- Tagawa, H., Trruaki, Y., Akira, T., Ricky, W., Chan, K., 2016, **Cyclic behavior of seesaw energy dissipation system with steel slit dampers**, Journal of Constructional Steel Research, 117, 24-34.
- 11- Chang-Hwan, L., Seung-Hee, L., Do-Hyun, K., & Jintak, Oh., 2016, **Hourglass-shaped strip damper subjected to monotonic and cyclic loadings**, Engineering Structures, 119, 122-134.
- 12- Joonho, L., Hyungoo, K., & Jinkoo, K., 2017, **Seismic performance of steel plate slit-friction hybrid dampers**, Journal of Constructional Steel Research, 128-139.
- 13- Shahri, S. F., and Mousavi, S. R., 2018, **Seismic behavior of beam-to column connections with elliptic slit dampers**, Steel and Composite Structures, 289-301.
- 14- Kohnepooshi, O., & Salem, A., 2020, **Structural behavior of steel slit damper in steel beam to column connection**, Journal of Structural and Construction Engineering, 7, 1, 26-40.



- 15- Saberi, H., Saberi, V., Shandi Abadi, E., & Sadeghi, A., 2020, **Investigation the Effect of Dampers with Different Damping in Improving the Performance of Chevron Braces**, New Approaches in Civil Engineering, 4, 3, 58-81. (In Persian).
- 16- ABAQUS, ABAQUS/standard, (2012) version 6.11, ABAQUS, Inc., Pawtucket, R.I.