

Parametric Study of Behavior of Perforated Yielding Shear Panel Device as a Vertical Link Beam in Inverted V-Braced Steel Frames under Cyclic Load

M. Hejazi ^{1*}, F. Amere ²

1- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran

2- M.Sc. Graduate in Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran

ABSTRACT

In this research, the cyclic behaviour of a perforated yielding shear panel device in an inverted v- braced steel frame has been studied. In 40 samples the effects of web thickness, amount of cut-out and amount of cut sector, in two samples the web length, in seven samples the variation of frames components and boundary conditions, and in two samples the centre to centre distance of the cut-outs have been studied. Non-linear analysis has been performed using the finite element ABAQUS code. Cyclic displacement control loading based on FEMA 461 protocol has been applied to the two sides of the beam. The von Mises yield criterion has been used. Obtained results show that if the web thickness of the yielding shear panel exceeds a certain value, the panel will not yield. Making cut-outs in the web and cutting sectors at the two sides of the web up to a certain amount increases the dissipation of energy, and thereafter it has an opposite effect. The amount of cut-outs for which the maximum damping occurs increases with the increase of the web thickness. Therefore, the favourable amount of cut-outs increases approximately proportional to increase of the web thickness. For instance, the favourable percentage of cut-outs without cut sectors with a web thicknesses of 10 mm, 15 mm and 30 mm are approximately 10%, 20% and 30%, respectively. These values for samples with cut sectors of 20% are respectively 10%, 10% and 30%. A yielding shear panel with a shorter web length absorbs more energy. Increasing the beam moment of inertia and the bracing cross-sectional area does not have a significant impact on increasing the damping.

ARTICLE INFO

Receive Date: 23 February 2020
Revise Date: 18 September 2020
Accept Date: 04 October 2020

Keywords:

*Perforated yielding shear
Panel device
Steel frame
Cyclic behaviour
Energy dissipation
Finite element method*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.220995.2088>

*Corresponding author: Mehrdad Hejazi
Email address: m.hejazi@eng.ui.ac.ir

بررسی پارامتری رفتار میراگر پانل برشی تسلیمی سوراخ دار به عنوان تیر پیوند قائم در قاب فولادی با مهاربند به شکل ۸ تحت بار چرخه‌ای

مهرداد حجازی^{۱*}، فاطمه آمره^۲

۱- دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه عمران، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان

چکیده

در این تحقیق رفتار چرخه‌ای میراگر پانل برشی تسلیمی سوراخ‌دار در قاب فولادی مهاربندی با مهاربند به شکل ۸ مورد بررسی قرار گرفته است. تعداد نمونه‌های بررسی شده ۴۸ عدد است. در ۴۰ عدد از نمونه‌ها اثرات ضخامت و درصد سطح سوراخ و درصد سطح بریدگی لبه‌ها، در دو نمونه طول جان میراگر و در ۶ نمونه اثرات تغییر در اجزای قاب و شرایط تکیه‌گاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. مدل سازی و تحلیل با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS انجام شده است. نوع بارگذاری چرخه‌ای و براساس پروتکل FEMA 461 و محل اعمال بار در دوسر تیر و به صورت کنترل تغییر مکان بوده است. از آنالیز غیرخطی و معیار تسلیم فون میزز استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که در صورتی که ضخامت جان میراگر از حد مشخصی تجاوز کند میراگر تسلیم نخواهد شد. نمونه با طول متوسط جان کمتر انرژی را کمتر جذب می‌کند. افزایش مدول مقطع تیر و سطح مقطع مهاربند تاثیر محسوسی بر روی افزایش میرایی ندارد. بریدن سوراخ از داخل جان و ایجاد بریدگی لبه‌ها تا حدی مشخص موجب بهبود اتلاف انرژی می‌شود، و از آن پس اثر معکوس دارد. مقدار عددی درصدی از سطح سوراخ که در آن حداکثر میرایی اتفاق می‌افتد با افزایش ضخامت افزایش می‌یابد. بنابراین درصد سطح سوراخ مطلوب با افزایش ضخامت، و تقریباً متناسب با آن زیاد می‌شود. به عنوان مثال درصد سطح سوراخ مطلوب با در نظر گرفتن میرایی قاب به عنوان پارامتر مورد بررسی در نمونه با لبه‌های صاف در ضخامت ۱۰ mm تقریباً برابر ۱۰٪، ۱۰٪ و ۳۰٪ تغییر می‌یابند. ۲۰٪ و در نمونه ۳۰ mm تقریباً برابر ۳۰٪ می‌باشد. در نمونه با ۲۰٪ سطح بریدگی لبه‌ها این مقادیر به ۱۰٪، ۱۰٪ و ۳۰٪ تغییر می‌یابند.

کلمات کلیدی: میراگر پانل برشی تسلیمی سوراخ‌دار، قاب فولادی، رفتار چرخه‌ای، جذب انرژی، روش اجزاء محدود

| شأنه دیجیتال: | | سابقه مقاله: | | | | |
|---------------------------------------|---|--------------|---------------|------------|------------------------------------|------------|
| doi: | https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.220995.2088 | چاپ | انتشار آنلاین | پذیرش | بازنگری | دریافت |
| | 10.22065/jsce.2020.220995.2088 | ۱۴۰۰/۰۸/۳۰ | ۱۳۹۹/۰۷/۱۳ | ۱۳۹۹/۰۷/۱۳ | ۱۳۹۹/۰۶/۲۸ | ۱۳۹۸/۱۲/۰۴ |
| مهرداد حجازی m.hejazi@eng.ui.ac.ir | | | | | *نویسنده مسئول: پست الکترونیکی: | |

۱- مقدمه

سازه‌های متعارف با نسبت میرایی کم، در محدوده رفتار الاستیک خود، انرژی ناچیزی را مستهلک می‌نمایند. با افزایش انرژی ورودی سازه وارد ناحیه غیرالاستیک شده و با تشکیل مفاصل پلاستیک این انرژی را جذب می‌کند؛ که تخریب موضعی در سیستم مقاوم جانبی سازه را در پی خواهد داشت [۱]. برای کاهش خرابی‌های سازه مقدار انرژی هیستریزس جذب شده‌ی سازه باید کاهش یابد [۲]. در سیستم کنترل غیرفعال ابزاری به سازه افزوده می‌شود که با مشخصات فیزیکی خود باعث کاهش پاسخ سازه در برابر نیروهای دینامیکی خارجی می‌گردد. عملکرد این سیستم (تغییر مشخصات دینامیکی سازه یا اتلاف انرژی یا هر دو) در زمان تحریک سازه تغییر نمی‌کند [۳].

در سال ۲۰۰۸ چان و آلبرمانی^۱ [۴] میراگر فولادی شکاف‌دار، قطعه کوچکی از یک مقطع بال پهن که شیارهایی از جان آن بریده شده (SSD) را به عنوان میراگر ارائه کردند. این میراگر در معرض تغییر شکل چرخه‌ای غیرالاستیک، انرژی را از طریق تسلیم خمشی نوارهای فولادی جان جذب می‌کند. (این میراگر از طریق خمش نوارهای فولادی، در طول تغییر شکل غیر خطی، انرژی را جذب می‌کند). در سال ۲۰۰۹ چان و همکاران^۲ [۵] میراگر پانل برشی تسلیمی (YSPD) را پیشنهاد دادند. این دستگاه از یک صفحه دیافراگم سوراخ نازک جوش داده شده در داخل یک پروفیل مربع توخالی کوتاه تشکیل می‌شود. صفحه دیافراگم دستگاه در سیستم باربر جانبی قرار گرفته است. انرژی در این دستگاه مبتنی بر جابجایی، از طریق تغییر شکل برشی پلاستیک صفحه دیافراگم سوراخ از بین می‌رود. چان و همکاران^۳ [۶] در سال ۲۰۱۱ دریافتند که سوراخ باعث کاهش سختی و استحکام دیوار برشی صفحه فولادی و در نتیجه کاهش نیروهای وارده از دیوار برشی به اعضای قاب می‌شود. چان و همکاران^۴ [۷] در سال ۲۰۱۳ میراگر پانل برشی تسلیمی سوراخ‌دار (PYSPD) را ارائه دادند.

برای جلوگیری از سقوط عرشه پل از روی پایه‌ها در طول زمین‌لرزه‌های بزرگ سیستم‌های مانع شونده اتلاف انرژی به همراه جداسازها در پل نصب می‌شوند. مانع شونده اتلاف انرژی، در صورت وقوع زلزله‌های کوچک با ایجاد نیروی واکنش در ناحیه الاستیک و جلوگیری از جابجایی عرشه پل، عملکرد پل را حفظ می‌نماید. در طی زمین‌لرزه‌های بزرگ این مانع‌شونده با تسلیم و اتلاف انرژی تغییر-شکل بین عرشه و پایه‌های پل و در نتیجه نیروی وارده بر ستون را می‌کاهد. دنگ و همکاران^۵ [۸] در سال ۲۰۱۴ به توسعه یک مانع اتلاف انرژی جدید با استفاده از پانل برشی فولادی پرداختند. زارعی و تسنیمی^۶ [۹] در سال ۲۰۱۹ میراگر پانل برشی را در تیر همبند فولادی قرار دادند تا انرژی لرزه‌ای را از طریق تسلیم برشی جذب کند. فرزامپور و ادرتن^۷ [۱۰] در سال ۲۰۱۹ به بررسی حالات حدی تسلیم برشی و خمشی و کماتش پیچشی جانبی در لینک برشی پروانه‌ای شکل پرداختند. معادلاتی ارائه دادند و صحت معادلات ارائه شده را توسط نتایج مدل‌سازی المان محدود تایید کردند. لی و همکاران^۸ [۱۱] در سال ۲۰۱۹ لینک برشی را بین سازه‌های لوزی شکل در شبکه‌ی مورب قرار دادند. در سال ۲۰۲۰ شن و گنگ^۹ [۱۲] کلید برشی فولادی که برای اتصال قطعات دیوار برشی پیش ساخته استفاده می‌شود را از طریق الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده بهینه کردند.

در تحقیقات قبلی تاثیر استفاده از میراگر پانل برشی تسلیمی سوراخ‌دار در "قاب کامل" بررسی نشده است و در این مقاله برای اولین بار اثر این نوع میراگر در قاب کامل بررسی خواهد شد. برای جلوگیری از کماتش از نمونه‌های ضخیم که با ایجاد بریدگی لبه‌ها و بریدن سوراخ از داخل ضعیف شده‌اند استفاده می‌شود. رفتار این میراگر با ترسیم نمودار نیرو-جابجایی و بررسی پارامتری مطالعه می‌گردد.

1 R. W. K. Chan and F. Albermani

2 R. W. K. Chan, F. Albermani, and M. S. Williams

3 R. Chan, F. Albermani, and S. Kitipornchai

4 R. W. K. Chan, F. Albermani, and S. Kitipornchai

5 K. Deng, P. Pan, Y. Su, T. Ran, and Y. Xue

6 D. Zarei, A. Tasnimi

7 A. Farzampour and M. R. Eatherton

8 T. Li, T. Y. Yang and G. Tong

9 S. Shen and R. Gong

۲- راستی آزمایشی مدل سازی المان محدود

در این تحقیق برای مدل سازی المان محدود از نرم افزار ABAQUS [۱۳] استفاده شده است. برای راستی آزمایشی نتایج بدست آمده از نرم افزار ABAQUS، یک مدل همانند مدل آزمایشگاهی چان [۲] ساخته شده و با نتایج آزمایشگاهی مزبور مقایسه می گردد.

۲-۱- مدل آزمایشگاهی چان و آلبرمانی

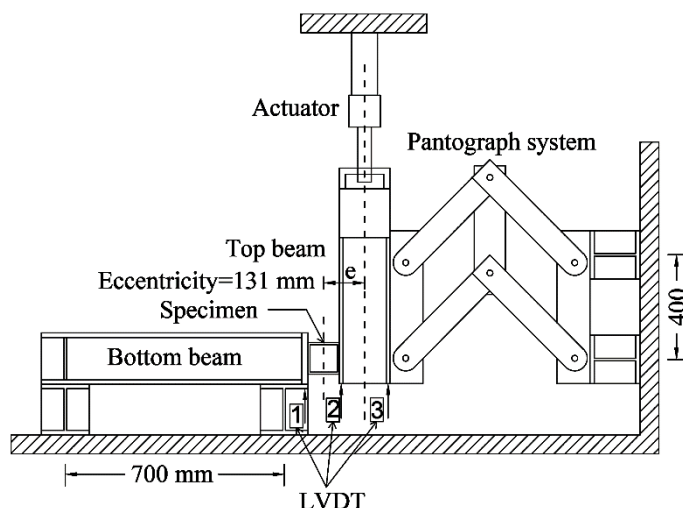
در سال ۲۰۰۸ چان بر روی میراگرهای فلزی برای اتلاف منفعل انرژی لرزه‌ای کار کرد [۲]. دستگاه آزمایش آنها همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده از تیر بالا و تیر پایین، محرک، سیستم پانتوگراف و مهارهای جانبی تشکیل شده و این تجهیزات بر قاب واکنش تکیه داده‌اند.

یکی از این نمونه‌ها میراگر پانل برشی تسلیمی است. آنها از این نوع میراگر پانزده نمونه ساخته بودند. به این صورت که ابتدا صفحه مربعی چهارگوش را داخل پروفیل مربعی توخالی قرار داده و در چهارگوشه خال جوش کردند. سپس اضلاع صفحه مربعی چهارگوش را در دو طرف به پروفیل مربعی توخالی جوش دادند. از میان این نمونه‌ها، نمونه‌هایی با نام‌های 100-2M، 100-2C و 100-3C-P2 برای راستی آزمایشی در این تحقیق انتخاب شدند. در شکل ۲ و جدول ۱ جزئیات و مشخصات مصالح نمونه‌های آزمایشگاهی آورده شده است.

نیروی تسلیم میراگر پانل برشی از ضرب τ_y در سطح مقطع صفحه مربعی به صورت رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$F_y = \tau_y dt_p \quad (1)$$

که در آن d طول و t_p ضخامت صفحه مربعی چهارگوش می‌باشند. در جدول ۱، D و t_{SHS} طول و ضخامت بال پروفیل توخالی مربعی و f_y تنش تسلیم آن می‌باشند.

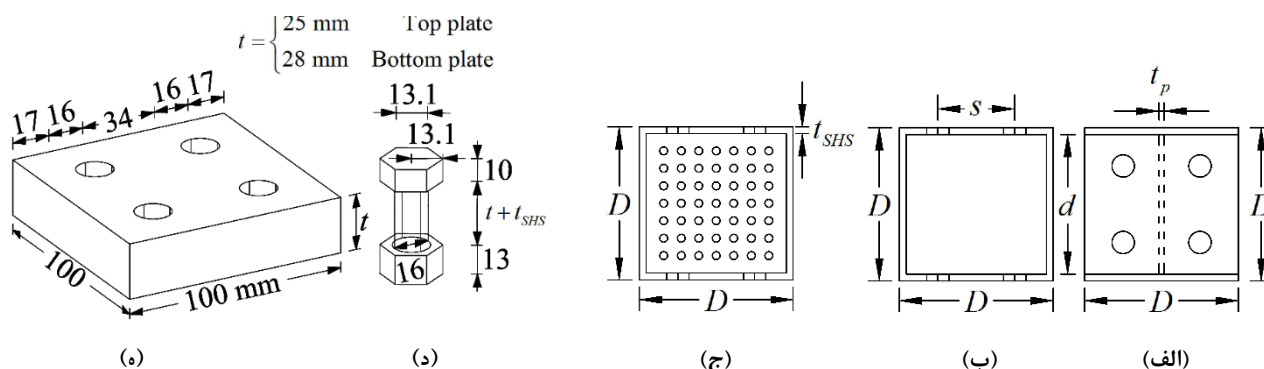


شکل ۱: طرح کلی دستگاه آزمایش چان [۲]

جابجایی نمونه‌ها توسط مجموعه‌ای از LVDT ها که در شکل ۱ توسط اعداد ۱ تا ۳ مشخص شده‌اند، اندازه‌گیری شده بود. کرنش برشی متوسط نمونه با رابطه $\gamma = \frac{U}{d}$ تعریف شده است. که در آن U تغییر شکل مطلق نمونه آزمایشگاهی (تفاوت اندازه‌گیری‌های LVDT1 و LVDT2) می‌باشد. با توجه به تغییر شکل الاستیک دستگاه‌های آزمایش (تفاوت اندازه‌گیری‌های LVDT2 و LVDT3)، U با چرخه جابجایی اعمال شده اندکی تفاوت دارد.

جدول ۱: جزئیات و مشخصات مصالح نمونه‌های آزمایشگاهی

| نام نمونه | 100-2M | 100-2C | 100-3C-P2 |
|--------------------------------|---------|---------|-----------|
| tp (mm) | 1.86 | 2.83 | 2.83 |
| نوع بارگذاری | یکنواخت | چرخه‌ای | چرخه‌ای |
| قطر سوراخ (mm) | 0 | 5.5 | 5.5 |
| تنش تسلیم (N/mm ²) | 211.3 | 321.3 | 321.3 |
| Fy (kN) (رابطه (۱)) | 21.15 | 48.3 | 48.3 |



شکل ۲: اجزای اصلی و فرعی (صرفاً جهت مدل‌سازی شرایط تکیه‌گاهی) میراگر پانل برشی تسلیمی: الف- نمای بالا (قسمتی که توسط پیچ‌ها به دستگاه وصل می‌شود)، ب- نمای روبروی نمونه بدون سوراخ، ج- نمای روبروی نمونه سوراخ‌دار، د- ابعاد پیچ، ه- ابعاد ورق بالا و ورق پایین

۲-۲- مدل المان محدود

برای مدل‌سازی، المان‌های پیوسته (سه بعدی) مناسب در نظر گرفته شد. میراگر پانل برشی تسلیمی با توجه به ابعاد داده شده در شکل ۲ و جدول ۱ و جوش با بعد ۲ mm مدل شده است. خصوصیات مکانیکی مصالح در جدول ۲ آمده است. خصوصیات مصالح اجزای اصلی نمونه‌های 100-2M و 100-2C با نمودار تنش- کرنش واقعی دوخطی، صفحه سوراخ‌دار در نمونه 100-3C-P2 با نمودار تنش- کرنش الاستیک- پلاستیک کامل [۲]، جوش با نمودار تنش- کرنش مهندسی دوخطی [۱۴] و پیچ با نمودار تنش- کرنش سه خطی مدل‌سازی شده است [۱۵].

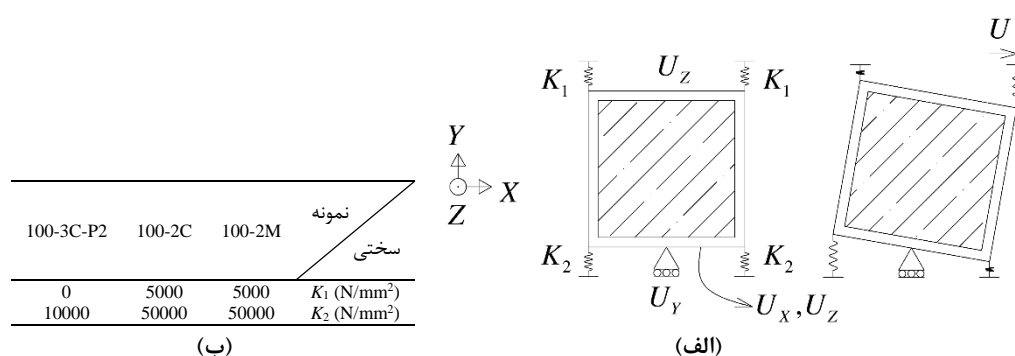
جدول ۲: تغییرات تنش و کرنش مصالح

| مقطع | مشخصات | نقطه اول | نقطه دوم | نقطه سوم |
|---------------------------|--------------------------|----------|----------|----------|
| پروفیل توخالی چهارگوش [۲] | تنش (N/mm ²) | 414.9 | 453.8255 | - |
| | کرنش | 0.002024 | 0.04 | - |
| صفحه مربعی [۲] | تنش (N/mm ²) | 211.3 | 267.2209 | - |
| | کرنش | 0.001031 | 0.04 | - |
| صفحه مربعی سوراخ‌دار [۲] | تنش (N/mm ²) | 321.3 | - | - |
| | کرنش | 0.001567 | - | - |
| جوش [۱۰] | تنش (N/mm ²) | 666 | 666 | - |
| | کرنش | 0.002833 | 0.1 | - |
| پیچ [۱۸] | تنش (N/mm ²) | 1080 | 1200 | 1200 |
| | کرنش | 0.005268 | 0.018439 | 0.042146 |

۳-۲- شرایط مرزی و بارگذاری

شرایط مرزی مطابق شکل ۳ اعمال شده است. در انتهای پایینی ورق پایین، جابجایی در جهت X و Z در تمام صفحه و جابجایی در جهت Y در محل تلاقی این صفحه با صفحه X محدود شده است. جابجایی خارج از صفحه (U_z) در صفحه بالایی محدود شد.

با محدود کردن جابجایی سطح ورق بالا و پایین، سختی مدل اجزا محدود از مدل آزمایشگاهی بیشتر می شود. لذا همانند تحقیق حسین و اشرف^{۱۰} [۱۶] از فنر برای تعریف شرایط تکیه گاهی استفاده شده است. مطابق شکل ۳ در لبه های ورق های بالا و پایین، که در امتداد محور Z قرار دارند، از فنر قائم استفاده می شود. سختی فنرهای بالا و پایین به ترتیب با K_1 و K_2 نشان داده شده و مقادیر آن در همین شکل آمده است. بارگذاری چرخه ای از نوع static-general مطابق پروتکل بارگذاری ارائه شده در جدول ۳ به مدل اعمال گردیده است. در انتهای پایینی ورق پایین نیروی واکنش تکیه گاهی و در دو نقطه در سطوح ورق های بالا و پایین جابجایی در جهت X ثبت شده است.



شکل ۳: تعریف فنر برای شرایط تکیه گاهی: الف- محل قرارگیری فنرها، ب- سختی فنر برای نمونه های 100-2C، 100-2M و 100-3C-P2

جدول ۳: پروتکل بارگذاری برای نمونه های 100-2C و 100-3C-P2

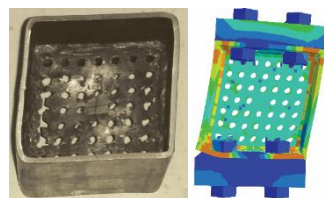
| تعداد تکرار | دامنه جابجایی نمونه 100-3C-P2 [Y] (mm) | دامنه جابجایی نمونه 100-2C [Δ] (mm) | گام بارگذاری |
|-------------|--|-------------------------------------|--------------|
| 3 | 0.5 | 0.23 | 1 |
| 3 | 1.5 | 0.45 | 2 |
| 3 | 3 | 1.7 | 3 |
| 3 | 5 | 3.2 | 4 |
| 3 | 10 | 8 | 5 |
| 3 | 20 | 18.8 | 6 |

۴-۲- مقایسه نتایج به دست آمده

در شکل ۴ تغییر شکل مدل اجزا محدود با مدل آزمایشگاهی چنان [۲] مقایسه شده است. در تغییر شکل میراگر انطباق خوبی بین شکل ها مشاهده می شود. در شکل ۵ مقایسه نتایج المان محدود در این تحقیق با نتایج آزمایشگاهی و المان محدود تحقیق چان برای نمونه 100-2M، تطابق نسبتاً مناسب نتایج المان محدود را نشان می دهد. در شکل ۶ و ۷ به ترتیب مقایسه نتایج المان محدود در این تحقیق با نتایج آزمایشگاهی چان برای نمونه 100-2C و 100-3C-P2 صورت گرفته است. در شکل ۷-الف نمودار نیرو-جابجایی به دست آمده از المان محدود در چرخه های اولیه برخلاف نمودار آزمایشگاهی دارای چرخه های الاستیک است. دلیل اختلاف بین نمودارهای شکل ۷-ب نیز همین مورد می باشد. در جدول ۴ مقایسه نتایج المان محدود در این تحقیق با نتایج آزمایشگاهی و المان محدود چان صورت

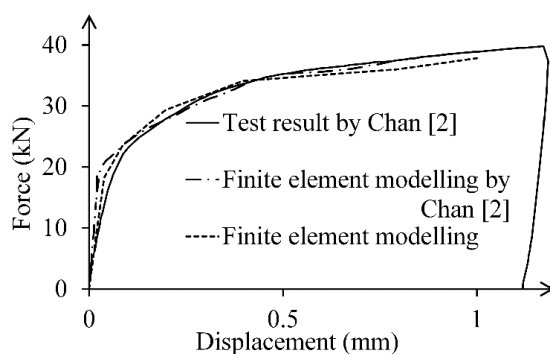
¹⁰ M. R. Hossain and M. Ashraf,

گرفته است. مدل اجزاء محدود در این تحقیق توانسته نیروی حداقل و انرژی جذب شده را با خطای کمتر از ۳٪ مدل سازی کند که مطلوب به نظر می رسد.

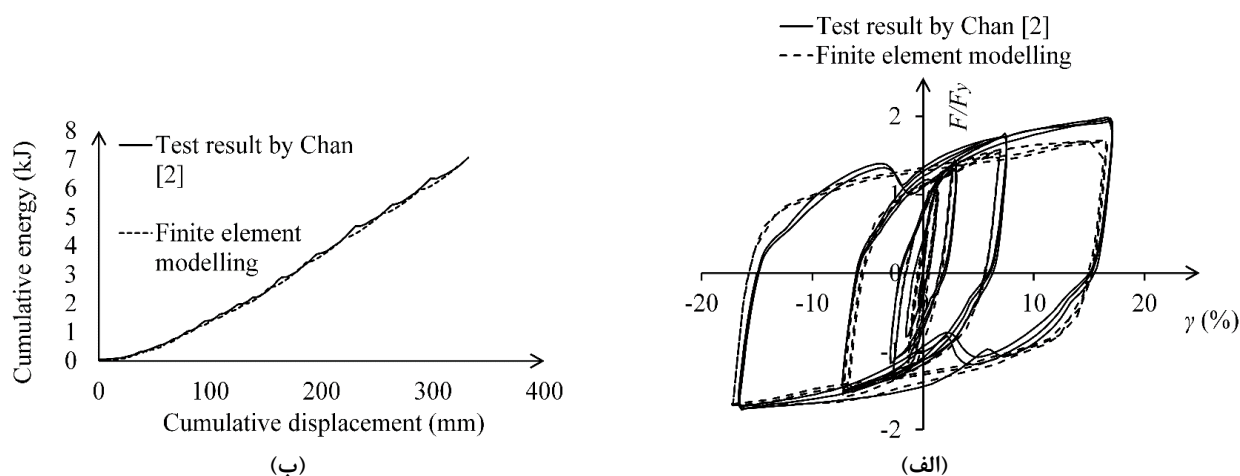


(الف) (ب)

شکل ۴: مقایسه تغییر شکل میراگر: الف- نتایج آزمایشگاهی چان [۲]، ب- نتایج آنالیز المان محدود در تحقیق حاضر



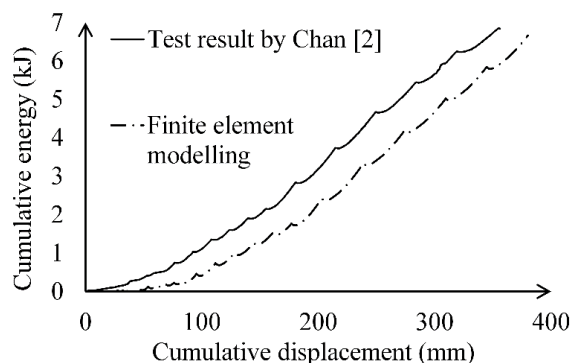
شکل ۵: مقایسه نمودار نیرو-جابجایی برای نمونه 100-2M در این تحقیق با نتایج المان محدود و مدل آزمایشگاهی چان



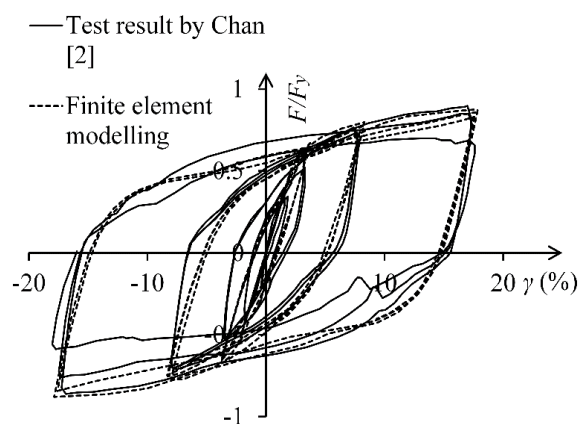
شکل ۶: مقایسه نتایج نمونه 100-2C در این تحقیق با مدل آزمایشگاهی چان: الف- نمودار نیرو-جابجایی، ب- نمودار جابجایی تجمعی-انرژی تجمعی

جدول ۴: مقایسه نتایج المان محدود در این تحقیق با نتایج المان محدود و آزمایشگاهی چان برای نمونه 100-2C

| انرژی جذب شده (kJ) | نیروی حداقل (kN) | نیروی حداکثر (kN) | نمونه |
|--------------------|------------------|-------------------|------------------------------------|
| 6.99 | -36.6 | 42 | آزمایشگاهی چان و آلبرمانی (100-2C) |
| 6.801 | -35.67 | 35.565 | المان محدود در این تحقیق |
| 2.7 | 2.54 | 15.32 | درصد اختلاف |



(ب)

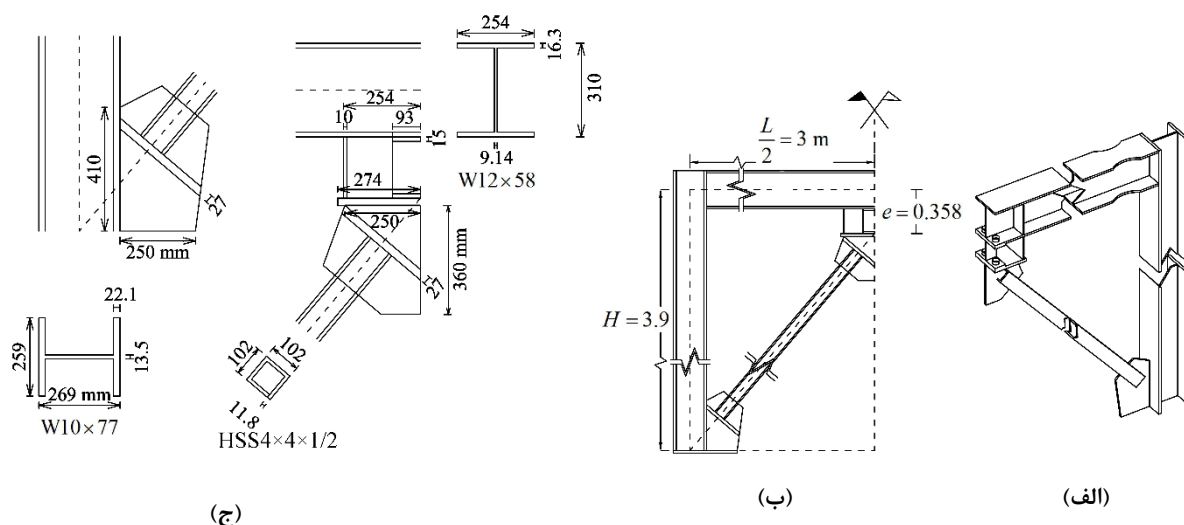


(الف)

شکل ۷: مقایسه نتایج نمونه 100-3C-P2 در این تحقیق با مدل آزمایشگاهی چان: الف- نمودار نیرو-جابجایی، ب- نمودار جابجایی تجمعی- انرژی تجمعی

۳- بررسی پارامتری

در تحقیق حاضر، به بررسی عملکرد میراگر در یک قاب فولادی با مهاربند به شکل ۸ تحت بار چرخه‌ای پرداخته می‌شود. در برخی کارهای آزمایشگاهی عملکرد میراگر به تنهایی بررسی شده اما در این تحقیق سعی بر آن است که عملکرد میراگر در قاب بررسی شود. بدین منظور یک نمونه قاب یک طبقه یک دهانه براساس مبحث دهم طراحی شده است. از آنجایی که قاب متقارن است و به منظور وضوح بیشتر نحوه قرارگیری میراگر در قاب در شکل ۸ تنها نیمی از قاب مذکور به تصویر کشیده شده است. در شکل ۸-ب ابعاد اصلی آمده است. که در آن L طول دهانه قاب، H ارتفاع طبقه و e خروج از مرکزیت می‌باشد. ابعاد و اندازه‌های اجزای قاب در شکل ۸-ج آمده‌اند. در جدول ۵ پارامترهای انتخاب شده برای بررسی پارامتری معرفی شده است.



شکل ۸: ابعاد و اندازه‌های قاب مورد بررسی: الف- تصویر نیمی از قاب به صورت سه بعدی، ب- ابعاد اصلی قاب، ج- ابعاد و اندازه‌های اجزای قاب

جدول ۵: پارامترهای انتخاب شده برای بررسی پارامتری

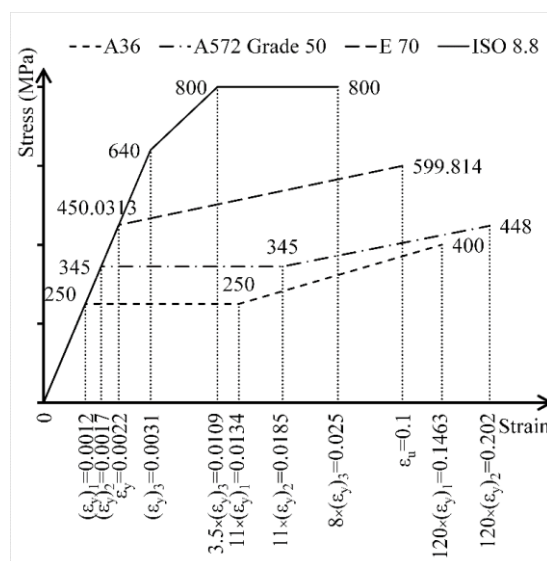
| تعداد نمونه‌ها | پارامتر مورد بررسی |
|----------------|---|
| ۴ | بررسی اثر ضخامت جان میراگر |
| ۲ | بررسی تاثیر مهار جانی تیر |
| ۲ | بررسی تاثیر کاهش طول جان میراگر در نمونه بدون سوراخ و با لبه‌های صاف |
| ۲ | بررسی تاثیر افزایش طول جان میراگر در نمونه با لبه‌های صاف |
| ۳ | بررسی اثر تیر |
| ۲ | بررسی اثر مهاربند |
| ۳۹ | بررسی تاثیر پارامترهای درصد سطح سوراخ، درصد سطح بریدگی لبه‌ها و ضخامت |

۳-۱- مدل المان محدود

تغییرات تنش و کرنش مصالح مورد استفاده در شکل ۹ آمده است [۱۷-۱۹]. شرایط مرزی بدین صورت اعمال شده که کلیه درجات جابجایی در انتهای پایینی هر دو ستون بسته شده‌اند، همچنین درجه آزادی جابجایی خارج از صفحه لبه‌های دو بال تیر جهت جلوگیری از کمانش پیشگی- جانبی بسته شده‌اند. بارگذاری چرخه‌ای مطابق با پروتکل FEMA 461 [۲۰] همانند شکل ۱۰ به مدل اعمال گردیده است.

| مقطع | مشخصات | نقطه اول | نقطه دوم | نقطه سوم |
|--------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | تنش (N/mm ²) | 250 | 250 | 400 |
| A36 [17] | کرنش | (ϵ_y) ₁ | 11 (ϵ_y) ₁ | 120 (ϵ_y) ₁ |
| | تنش (N/mm ²) | 345 | 345 | 448 |
| A572 Grade 50 [17] | کرنش | (ϵ_y) ₂ | 11 (ϵ_y) ₂ | 120 (ϵ_y) ₂ |
| | تنش (N/mm ²) | 640 | 800 | 800 |
| ISO 8.8 [18] | کرنش | (ϵ_y) ₃ | 3.5 (ϵ_y) ₃ | 8 (ϵ_y) ₃ |
| | تنش (N/mm ²) | 450.0313 | 599.814 | - |
| E 70 [19] | کرنش | 0.00219527 | 0.1 | - |

(ب)



(الف)

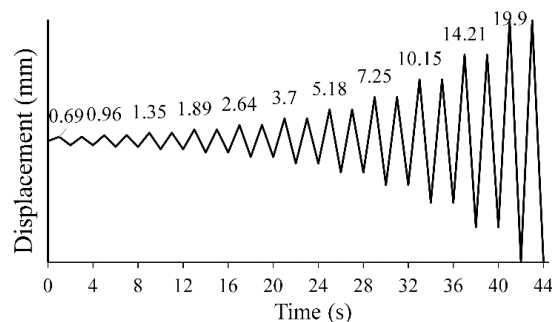
شکل ۹: تغییرات تنش - کرنش مصالح: الف - نمودار، ب - مقادیر

نحوه قرارگیری میراگر در قاب و المان‌های استفاده شده در مدل در شکل ۱۱ آمده است. مدل‌سازی در محیط سه بعدی و با استفاده از المان‌های پیوسته صورت گرفت. در این حالت المان‌های خطی ۸ گره و ۳ درجه آزادی و المان‌های مرتبه‌ی دوم ۲۰ گره و ۶ درجه آزادی دارند. از المان‌های با انتگرال گیری کامل و کاهش یافته و المان‌های با مودهای ناسازگار استفاده شده است. تحلیل به صورت غیرخطی و با انتخاب معیار تسلیم فون میز برای فولاد صورت گرفته است.

تنها بین بال میراگر و تیر یا صفحه اتصال تماس سطح به سطح تعریف شده و در سایر موارد اتصالات با قید بستن شبیه‌سازی شده‌اند و یا دو قطعه به صورت پیوسته مدل شده‌اند.

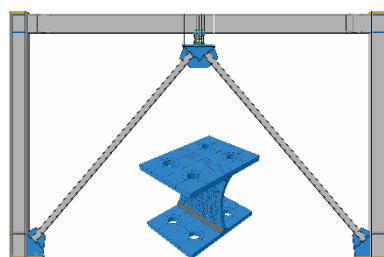
| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-------|-------|------|
| گام بارگذاری | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| دامنه جابجایی (mm) | 0.69 | 0.96 | 1.35 | 1.89 | 2.64 | 3.7 | 5.18 | 7.25 | 10.15 | 14.21 | 19.9 |
| تعداد تکرار | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

(ب)



(الف)

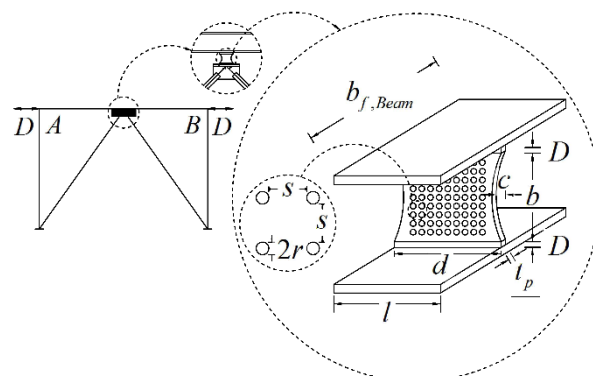
شکل ۱۰: پروتکل بارگذاری FEMA 461 [۲۰]: الف - نمودار، ب - مقادیر نمودار



(ج)

| المان | |
|--------|------------------------|
| C3D8I | بال میراگر و سخت کننده |
| C3D8R | تیر |
| C3D20 | صفحه مربعی |
| C3D20R | سایر اجزا |

(ب)



(الف)

شکل ۱۱: مدل مورد بررسی در این تحقیق: الف- نحوه قرار گیری میراگر در قاب، ب- المان‌های استفاده شده در مدل، ج- تصویر قاب مدل سازی شده در نرم افزار آباکوس

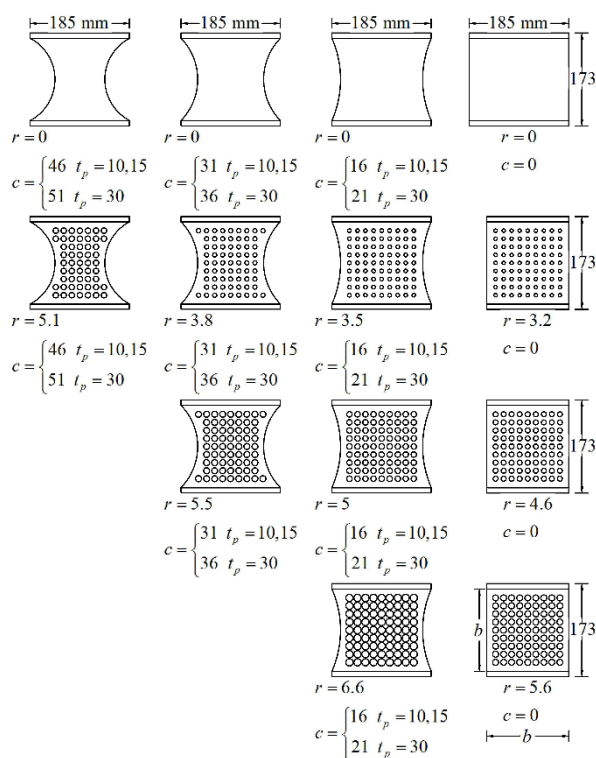
نامگذاری جان میراگر در اکثر نمونه‌ها به صورت $n_r R n_R t_p$ است که در آن n_r درصد سطح سوراخ (درصد سطح کل سوراخ‌ها نسبت به سطح جان میراگر و از رابطه ۳ به دست می‌آید)، n_R درصد بریدگی لبه‌ها (درصد سطح بریده شده جان میراگر از دو طرف و از رابطه ۳ به دست می‌آید) و t_p ضخامت قطعه می‌باشد. اکثر نمونه‌ها تنها با جان میراگر نامگذاری می‌شوند. مشخصات نمونه‌هایی که این گونه نامگذاری شده‌اند و نام نمونه‌های با ضخامت ۱۰ mm در شکل ۱۲ آمده است.

در سایر موارد پس از نام جان، سایر شرایط ذکر می‌شود که در هر قسمت توضیح داده خواهد شد. طول ساق جوشی که جان میراگر را به بال میراگر متصل می‌کند (D) برای نمونه‌های با ضخامت ۱۰ mm و ۱۵ mm برابر ۱۰ mm و برای نمونه‌های با ضخامت ۳۰ mm برابر ۱۵ mm می‌باشد. ارتفاع آزاد جان میراگر (b) برابر ارتفاع جان میراگر (۱۷۳ mm) به جز بعد جوش است. شعاع سوراخ‌ها، d طول جان میراگر، R شعاع بریدگی لبه‌ها (رابطه ۲) و c عمق برش (بیشترین فاصله افقی در امتداد لبه بریده شده جان) است.

$$R = \begin{cases} 0 & c = 0 \\ \frac{4c^2 + b^2}{8c} & else \end{cases} \quad (2)$$

$$n_r = \frac{n\pi r^2}{173d} \quad (3)$$

$$n_R = \begin{cases} 0 & c = 0 \\ \frac{2R^2 \sin^{-1}\left(\frac{b}{2R}\right) - b(R - c)}{173d} & else \end{cases} \quad (4)$$

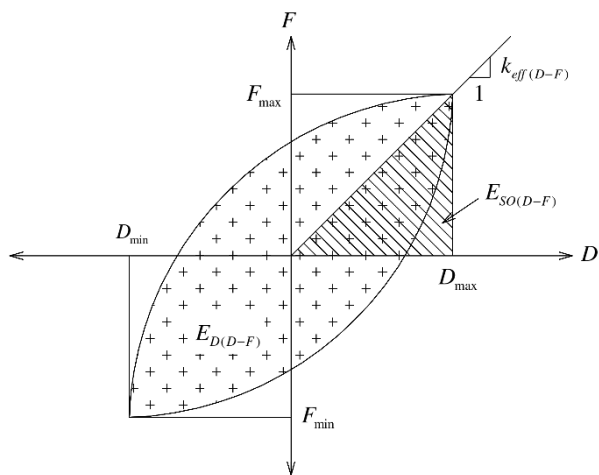


| | | | | درصد سطح بریدگی لبه‌ها | درصد سطح سوراخ |
|-----------|-----------|-----------|----------|------------------------|----------------|
| 30% | 20% | 10% | 0% | | |
| r0R30t10 | r0R20t10 | r0R10t10 | r0R0t10 | 0% | 0% |
| r10R30t10 | r10R20t10 | r10R10t10 | r10R0t10 | 10% | 10% |
| | r20R20t10 | r20R10t10 | r20R0t10 | 20% | 20% |
| | r30R10t10 | r30R0t10 | | 30% | 30% |

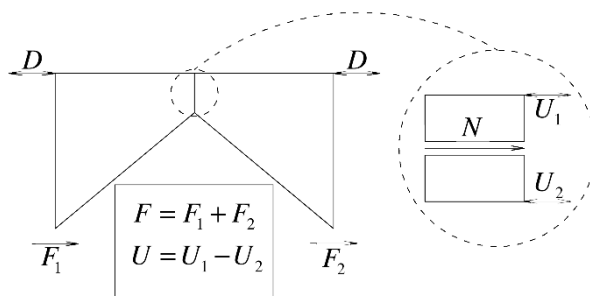
(ب)

(الف)

شکل ۱۲: معرفی مشخصات جهت نام‌گذاری جان میراگر: الف- شعاع سوراخ و عمق برش در نمونه‌ها، ب- نام‌گذاری نمونه‌های با ضخامت ۱۰ mm



(ب)



(الف)

شکل ۱۳: پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق: الف- خروجی‌های نرم‌افزار برای مدل‌های مورد بررسی، ب- پارامترها به دست آمده از یک حلقه هیستریزس

در انتهای پایینی هر دو ستون نیروی واکنش تکیه گاهی در جهت X و در نقطه‌ای در بالای ستون (محل اعمال بارگذاری) جابجایی نوک قاب در جهت X ثبت می‌شود. این نیرو و جابجایی به ترتیب با F و D نام‌گذاری می‌گردند. در قسمت میانی جان میراگر نیروی برشی و اختلاف جابجایی در جهت X در دو نقطه در بالا و پایین جان میراگر در یک ضلع قائم ثبت می‌شود. این نیرو و جابجایی به ترتیب با N و U نام‌گذاری می‌گردند (شکل ۱۳). نمودار هیستریزیس $D-F$ و $U-N$ ترسیم شده و سختی موثر و نسبت میرایی مطابق روابط (۵) و (۶) برای هر یک به دست می‌آید.

F_{max} نیروی حداکثر، F_{min} نیروی حداقل، D_{max} جابجایی حداکثر، D_{min} جابجایی حداقل، $E_{D(D-F)}$ انرژی مستهلک شده در هر چرخه (سطح داخل منحنی هیستریزیس) و $E_{SO(D-F)}$ انرژی ذخیره شده در یک فنر الاستیک تحت شرایط استاتیکی و با سختی k_{eff} و جابجایی D_m در شکل ۱۳ و روابط (۵) و (۶) با جایگذاری U و N به ترتیب به جای D و F ، سختی موثر و نسبت میرایی برای میراگر بدست می‌آید.

$$k_{eff(D-F)} = \frac{F_m}{D_m} \quad (5)$$

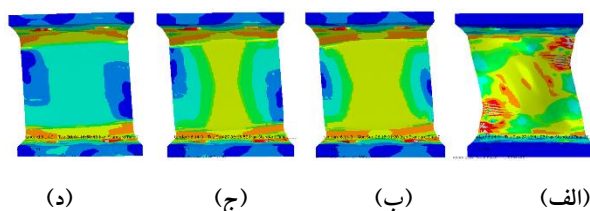
$$\xi_{eq(D-F)} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_{D(D-F)}}{E_{SO(D-F)}} \quad (6)$$

$$E_{SO(D-F)} = \frac{1}{2} k_{eff(D-F)} D_m^2 = \frac{F_m \cdot D_m}{2} \text{ و } D_m = \frac{D_{max} + |D_{min}|}{2} \text{ و } F_m = \frac{F_{max} + |F_{min}|}{2}$$

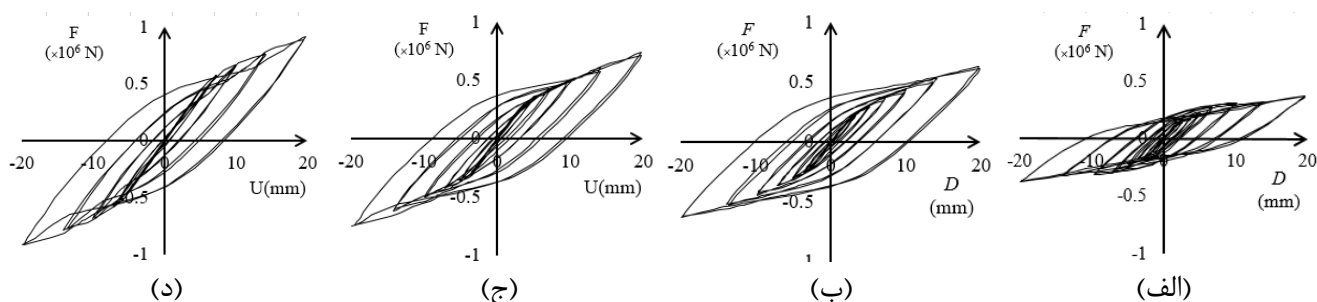
که در آن

۲-۳- بررسی اثر ضخامت جان میراگر

توزیع تنش در نمونه‌های بدون سوراخ و با لبه‌های صاف که در آنها تنها ضخامت افزایش می‌یابد در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴: توزیع تنش در نمونه‌های بدون سوراخ و با لبه‌های صاف: الف- ۵r0R0t، ب- ۱۰r0R0t، ج- ۱۵r0R0t، د- ۳۰r0R0t



شکل ۱۵: منحنی هیستریزیس D-F: الف- ۵r0R0t، ب- ۱۰r0R0t، ج- ۱۵r0R0t، د- ۳۰r0R0t

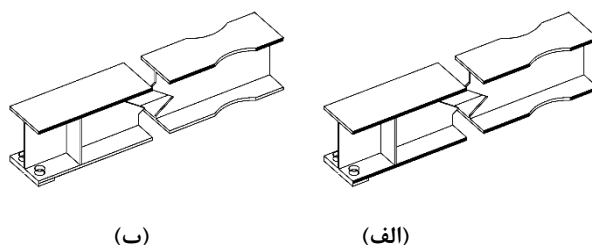
جدول ۶: اثر تغییر ضخامت جان میراگر

| سختی، انرژی و نسبت میرایی | | | | نیرو و جابجایی | | | | | |
|---------------------------|---------|---------|--------|---|---------|---------|---------|--------|---|
| r0R0t30 | r0R0t15 | r0R0t10 | r0R0t5 | نمونه | r0R0t30 | r0R0t15 | r0R0t10 | r0R0t5 | نمونه |
| 46.12 | 37.52 | 31.72 | 18.8 | سختی موثر سیستم معادل قاب به همراه میراگر (kN/mm) | 0.91 | 0.74 | 0.63 | 0.37 | حداکثر نیروی واکنش تکیه گاه (10^6 N) |
| 63.89 | 41.78 | 29.87 | 8.43 | سختی موثر سیستم معادل میراگر (kN/mm) | 0.92 | 0.75 | 0.63 | 0.37 | حداقل نیروی واکنش تکیه گاه (10^6 N) |
| 64.56 | 67.56 | 68.82 | 47.58 | انرژی مستهلک شده در قاب (10^6 N.mm) | 0.68 | 0.5 | 0.39 | 0.19 | حداکثر نیروی برشی میراگر (10^6 N) |
| 41.69 | 47.51 | 49.52 | 34.44 | انرژی مستهلک شده در میراگر (10^6 N.mm) | 0.68 | 0.5 | 0.39 | 0.19 | حداقل نیروی برشی میراگر (10^6 N) |
| 16.20 | 19.01 | 23.32 | 19.5 | نسبت میرایی سیستم معادل قاب به همراه میراگر (%) | 10.71 | 12.02 | 12.87 | 16 | حداکثر جابجایی دو سر میراگر (mm) |
| 27.33 | 32.09 | 40.30 | 36.85 | نسبت میرایی سیستم معادل میراگر (%) | 10.63 | 12.82 | 14.5 | 18.8 | حداقل جابجایی دو سر میراگر (mm) |
| 64.58 | 70.32 | 71.95 | 72.38 | نسبت انرژی مستهلک شده در میراگر به قاب (%) | | | | | |

نمونه r0R0t5 دچار کماتش می شود و نیاز به سخت کننده دارد که در این تحقیق بررسی نمی شود. اما در نمونه های با ضخامت 10 mm، 15 mm و 30 mm با کاهش ضخامت توزیع تنش یکنواخت تر می شود. در جدول ۶ پارامترهای معرفی شده در شکل ۱۳ برای این نمونه ها آورده شده است. با افزایش ضخامت مقادیر حداکثر و حداقل نیروها افزایش و حداکثر و حداقل جابجایی کاهش می یابد. سختی موثر نمونه ها با افزایش ضخامت افزایش می یابد؛ پارامترهای انرژی و نسبت میرایی تا ضخامت 10 mm افزایش و سپس کاهش می یابد و نسبت انرژی ها کاهش می یابد.

۳-۳- بررسی تاثیر مهار جانبی تیر

در شکل ۱۶ لبه هایی که رنگشان سیاه شده در برابر حرکت خارج از صفحه بسته شده اند. در نمونه r0R0t10 لبه های هر دو بال تیر و در r0R0t10-z تنها لبه های بال بالایی تیر مهار جانبی دارد.



شکل ۱۶: بررسی تاثیر مهار جانبی تیر: الف- r0R0t10، ب- r0R0t10-z

پارامترهای معرفی شده در شکل ۱۳ برای این دو نمونه در جدول ۷ آورده شده است. با کمتر شدن محدودیت های مهار جانبی مقادیر حداکثر و حداقل نیروها تغییری نکرده و حداکثر و حداقل جابجایی کاهش می یابد؛ سختی موثر نمونه ها افزایش می یابد و پارامترهای انرژی و نسبت میرایی کاهش می یابند.

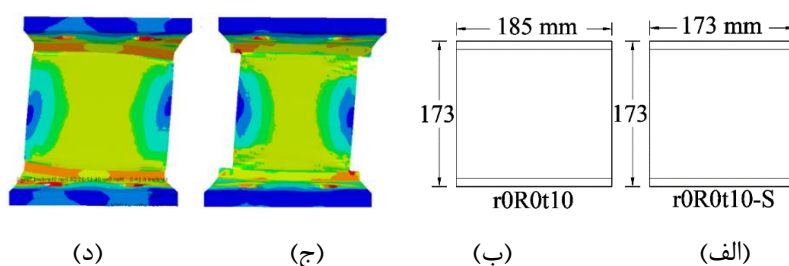
جدول ۷: اثر تغییرات مهار جانبی تیر

| سختی، انرژی و نسبت میرایی | | | نیرو و جابجایی | | |
|---------------------------|---------|---|----------------|---------|---|
| r0R0t10-z | r0R0t10 | نمونه | r0R0t10-z | r0R0t10 | نمونه |
| 31.75 | 31.72 | سختی موثر سیستم معادل قاب (kN/mm) | 0.63 | 0.63 | حداکثر نیروی واکنش تکیه گاه (10^6 N) |
| 30.03 | 29.87 | سختی موثر سیستم معادل میراگر (kN/mm) | 0.63 | 0.63 | حداقل نیروی واکنش تکیه گاه (10^6 N) |
| 68.41 | 68.82 | انرژی مستهلک شده در قاب (10^6 N.mm) | 0.39 | 0.39 | حداکثر نیروی برشی میراگر (10^6 N) |
| 49.19 | 49.52 | انرژی مستهلک شده در میراگر (10^6 N.mm) | 0.39 | 0.39 | حداقل نیروی برشی میراگر (10^6 N) |
| 23.09 | 23.32 | نسبت میرایی سیستم معادل قاب به همراه میراگر (%) | 12.78 | 12.87 | حداکثر جابجایی دو سر میراگر (mm) |
| 39.79 | 40.30 | نسبت میرایی سیستم معادل میراگر (%) | 14.39 | 14.5 | حداقل جابجایی دو سر میراگر (mm) |
| 71.91 | 71.95 | نسبت انرژی مستهلک شده در میراگر به قاب (%) | | | |

۴-۳- بررسی تاثیر کاهش طول جان میراگر در نمونه بدون سوراخ و با لبه های صاف

نمونه r0R0t10-S که طول جان آن نسبت به نمونه r0R0t10 کاهش یافته و توزیع تنش در نمونه ها در شکل ۱۷ آورده شده

است.



شکل ۱۷: ابعاد و توزیع تنش در نمونه ها: الف- شکل نمونه r0R0t10-S، ب- شکل نمونه r0R0t10، ج- توزیع تنش در نمونه r0R0t10-S، د- توزیع تنش در نمونه r0R0t10

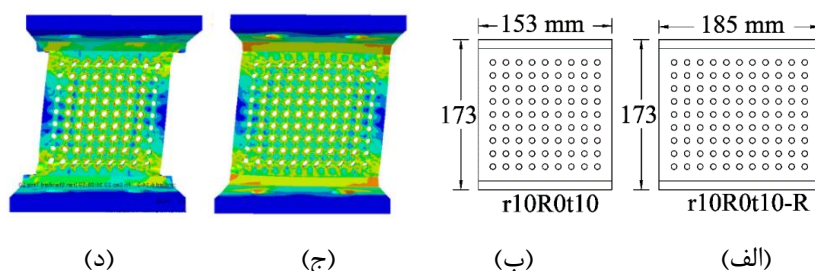
کاهش طول جان میراگر باعث کاهش تنش ها در جوش و نواحی اتصال می شود. در جدول ۸ پارامترهای موجود در یک حلقه هیستریزیس که در شکل ۱۳ معرفی شده اند برای این نمونه ها آمده است. با کاهش طول جان میراگر مقادیر حداکثر و حداقل نیروها کاهش و حداکثر و حداقل جابجایی افزایش می یابد. سختی موثر نمونه ها با کاهش طول جان میراگر کاهش می یابد و پارامترهای انرژی و نسبت میرایی به جز انرژی مستهلک شده در قاب افزایش می یابند.

جدول ۸: اثر کاهش طول جان میراگر در نمونه بدون سوراخ

| سختی، انرژی و نسبت میرایی | | | نیرو و جابجایی | | |
|---------------------------|---------|---|----------------|---------|---|
| r0R0t10-S | r0R0t10 | نمونه | r0R0t10-S | r0R0t10 | نمونه |
| 27.82 | 31.72 | سختی موثر سیستم معادل قاب (kN/mm) | 0.54 | 0.63 | حداکثر نیروی واکنش تکیه گاه (10^6 N) |
| 20.46 | 29.87 | سختی موثر سیستم معادل میراگر (kN/mm) | 0.55 | 0.63 | حداقل نیروی واکنش تکیه گاه (10^6 N) |
| 66.73 | 68.82 | انرژی مستهلک شده در قاب (10^6 N.mm) | 0.31 | 0.39 | حداکثر نیروی برشی میراگر (10^6 N) |
| 52.23 | 49.52 | انرژی مستهلک شده در میراگر (10^6 N.mm) | 0.31 | 0.39 | حداقل نیروی برشی میراگر (10^6 N) |
| 26.04 | 23.32 | نسبت میرایی سیستم معادل قاب به همراه میراگر (%) | 15.21 | 12.87 | حداکثر جابجایی دو سر میراگر (mm) |
| 47.02 | 40.30 | نسبت میرایی سیستم معادل میراگر (%) | 15.61 | 14.50 | حداقل جابجایی دو سر میراگر (mm) |
| 78.27 | 71.95 | نسبت انرژی مستهلک شده در میراگر به قاب (%) | | | |

۳-۵- بررسی تاثیر افزایش طول جان میراگر در نمونه سوراخ دار و با لبه های صاف

نمونه r10R0t10-R که طول جان آن نسبت به نمونه r10R0t10 افزایش یافته و توزیع تنش در آن ها در شکل ۱۸ آورده شده است.



شکل ۱۸: ابعاد و توزیع تنش در نمونه ها: الف- شکل نمونه r10R0t10-R، ب- شکل نمونه r10R0t10، ج- توزیع تنش در نمونه r10R0t10-R، د- توزیع تنش در نمونه r10R0t10

افزایش طول جان میراگر باعث افزایش تنش ها در جوش و نواحی اتصال می شود. در جدول ۹ پارامترهای مورد بررسی برای این دو نمونه آورده شده اند. با افزایش طول جان میراگر مقادیر نیروها افزایش و جابجایی کاهش می یابد. سختی موثر نمونه ها با افزایش طول جان میراگر افزایش می یابد و پارامترهای انرژی و نسبت میرایی به جز انرژی مستهلک شده در قاب کاهش می یابند.

جدول ۹: اثر افزایش طول جان میراگر

| سختی، انرژی و نسبت میرایی | | | نیرو و جابجایی | | |
|---------------------------|------------|---|----------------|------------|---|
| r10R0t10 | r10R0t10-R | نمونه | r10R0t10 | r10R0t10-R | نمونه |
| 25.65 | 22.74 | سختی موثر سیستم معادل قاب (kN/mm) | 0.51 | 0.45 | حداکثر نیروی واکنش تکیه گاه (10^6 N) |
| 17.04 | 12.49 | سختی موثر سیستم معادل میراگر (kN/mm) | 0.51 | 0.45 | حداقل نیروی واکنش تکیه گاه (10^6 N) |
| 66.87 | 65.73 | انرژی مستهلک شده در قاب (10^6 N.mm) | 0.27 | 0.21 | حداکثر نیروی برشی میراگر (10^6 N) |
| 52.47 | 53.35 | انرژی مستهلک شده در میراگر (10^6 N.mm) | 0.27 | 0.21 | حداقل نیروی برشی میراگر (10^6 N) |
| 26.37 | 27.17 | نسبت میرایی سیستم معادل قاب به همراه میراگر (%) | 15.88 | 16.91 | حداکثر جابجایی دو سر میراگر (mm) |
| 49.13 | 53.69 | نسبت میرایی سیستم معادل میراگر (%) | 16.04 | 17.09 | حداقل جابجایی دو سر میراگر (mm) |
| 78.46 | 81.15 | نسبت انرژی مستهلک شده در میراگر به قاب (%) | | | |

۳-۶- بررسی اثر تیر

در جدول ۱۰ مشخصات تیرهای مورد استفاده در این بخش آمده است. d و t_w به ترتیب طول و ضخامت جان تیر و b_f و t_f طول و ضخامت بال تیر هستند.

جدول ۱۰: مشخصات تیرهای مورد استفاده

| مقطع | d | b_f | t_w | t_f | $S_x/10^3$ |
|---------|-----|-------|-------|-------|------------|
| HP10×57 | 254 | 259 | 14.4 | 14.4 | 964 |
| W12×58 | 310 | 254 | 9.14 | 16.3 | 1280 |
| W27×129 | 701 | 254 | 15.5 | 27.9 | 5650 |

پارامترهای مورد بررسی برای این سه نمونه در جدول ۱۱ آورده شده‌اند. با افزایش مدول مقطع تیر مقادیر نیروی تکیه‌گاهی افزایش، نیروی برشی میراگر بدون تغییر و جابجایی افزایش می‌یابد. سختی موثر قاب افزایش و سختی موثر میراگر کاهش می‌یابد. با افزایش مدول مقطع تیر پارامترهای انرژی و نسبت میرایی به جز نسبت میرایی معادل قاب افزایش می‌یابند.

جدول ۱۱: اثر تغییر تیر

| سختی، انرژی و نسبت میرایی | | | نیرو و جابجایی | | |
|---|--------------------|--------------------|---|--------------------|--------------------|
| نمونه | r10R0t10 - HP10×57 | r10R0t10 - W27×129 | نمونه | r10R0t10 - HP10×57 | r10R0t10 - W27×129 |
| سختی موثر سیستم معادل قاب (kN/mm) | 22.15 | 22.74 | حداکثر نیروی واکنش تکیه‌گاه (10^6 N) | 0.43 | 0.45 |
| سختی موثر سیستم معادل میراگر (kN/mm) | 12.67 | 12.49 | حداقل نیروی واکنش تکیه‌گاه (10^6 N) | 0.43 | 0.45 |
| انرژی مستهلک شده در قاب (10^6 N.mm) | 64.34 | 65.73 | حداکثر نیروی برشی میراگر (10^6 N) | 0.21 | 0.21 |
| انرژی مستهلک شده در میراگر (10^6 N.mm) | 51.91 | 53.35 | حداقل نیروی برشی میراگر (10^6 N) | 0.21 | 0.21 |
| نسبت میرایی سیستم معادل قاب به همراه میراگر (%) | 27.93 | 27.17 | حداکثر جابجایی دو سر میراگر (mm) | 16.79 | 16.91 |
| نسبت میرایی سیستم معادل میراگر (%) | 53.21 | 53.69 | حداقل جابجایی دو سر میراگر (mm) | 16.96 | 17.09 |
| نسبت انرژی مستهلک شده در میراگر به قاب (%) | 80.67 | 81.15 | | | |

۷-۳- بررسی اثر مهاربند

در جدول ۱۲ مشخصات مهاربندهای مورد استفاده در این بخش آمده است. H_t و t_{des} به ترتیب طول و ضخامت بال و جان مهاربند هستند.

جدول ۱۲: مشخصات مهاربندهای مورد استفاده

| مقطع | A | $H_t=B$ | t_{des} |
|------------|------|---------|-----------|
| HSS4×4×1/4 | 2170 | 102 | 5.92 |
| HSS4×4×1/2 | 3880 | 102 | 11.8 |

جدول ۱۳: اثر تغییر مهاربند

| سختی، انرژی و نسبت میرایی | | | نیرو و جابجایی | | |
|---|-----------------------|----------|---|-----------------------|----------|
| نمونه | r10R0t10 - HSS4×4×1/4 | r10R0t10 | نمونه | r10R0t10 - HSS4×4×1/4 | r10R0t10 |
| سختی موثر سیستم معادل قاب (kN/mm) | 22.45 | 22.74 | حداکثر نیروی واکنش تکیه‌گاه (10^6 N) | 0.44 | 0.45 |
| سختی موثر سیستم معادل میراگر (kN/mm) | 13.42 | 12.49 | حداقل نیروی واکنش تکیه‌گاه (10^6 N) | 0.45 | 0.45 |
| انرژی مستهلک شده در قاب (10^6 N.mm) | 55.65 | 65.73 | حداکثر نیروی برشی میراگر (10^6 N) | 0.21 | 0.21 |
| انرژی مستهلک شده در میراگر (10^6 N.mm) | 45.09 | 53.35 | حداقل نیروی برشی میراگر (10^6 N) | 0.21 | 0.21 |
| نسبت میرایی سیستم معادل قاب به همراه میراگر (%) | 24.99 | 27.17 | حداکثر جابجایی دو سر میراگر (mm) | 15.75 | 16.91 |
| نسبت میرایی سیستم معادل میراگر (%) | 53.39 | 53.69 | حداقل جابجایی دو سر میراگر (mm) | 15.74 | 17.09 |
| نسبت انرژی مستهلک شده در میراگر به قاب (%) | 81.01 | 81.15 | | | |

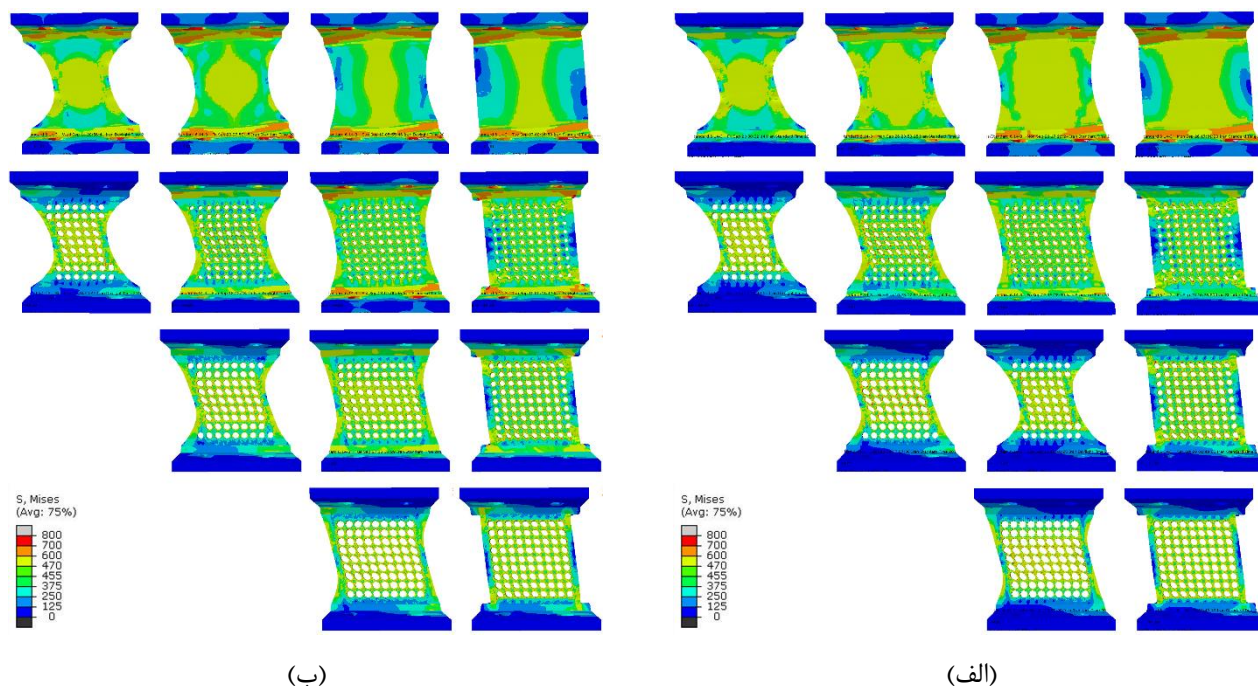
پارامترهای معرفی شده در شکل ۱۳، پارامترهای مربوط به انرژی و نسبت میرایی در جدول ۱۳ ذکر گردیده اند. با افزایش سطح مقطع مهاربند مقادیر حداکثر و حداقل نیروها تغییری نمی‌کند و حداکثر و حداقل جابجایی افزایش می‌یابد. سختی موثر قاب افزایش و سختی موثر میراگر کاهش می‌یابد. با افزایش سطح مقطع مهاربند پارامترهای انرژی و نسبت میرایی افزایش می‌یابند.

۳-۸- بررسی تاثیر پارامترهای درصد سطح سوراخ، درصد سطح بریدگی لبه‌ها و ضخامت میراگر

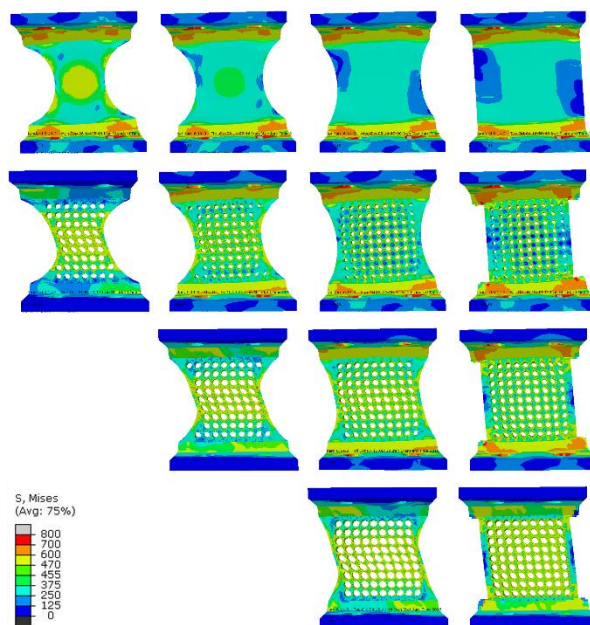
در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ توزیع تنش نمونه‌هایی مشابه شکل ۱۲ با ضخامت ۱۰ mm، ۱۵ mm و ۳۰ mm آمده است.

با ایجاد بریدگی لبه‌ها ناحیه میانی جان میراگر که طول کمتری دارد سریع‌تر وارد مرحله غیرخطی شده، توزیع تنش در این قسمت هموارتر است. با افزایش سوراخ نواحی بین سوراخ‌ها سریع‌تر وارد مرحله غیرخطی شده و با تشکیل خطوط افقی و قائم که سوراخ‌ها را به هم متصل می‌کنند، میدان تنش را تشکیل می‌دهند. افزایش درصد سطح سوراخ و بریدگی لبه‌ها باعث شده که تنش‌ها در جوش و نواحی اتصال کاهش یابند. با افزایش درصد سطح بریدگی لبه‌ها و سوراخ جان قسمت میانی نمونه‌ها به صورت متوازی‌الاضلاع تغییر شکل می‌یابد. رفتار نمونه‌های با ضخامت ۱۵ mm و ۳۰ mm مشابه نمونه‌های با ضخامت ۱۰ mm است. در ضخامت‌های کمتر توزیع تنش هموارتر است.

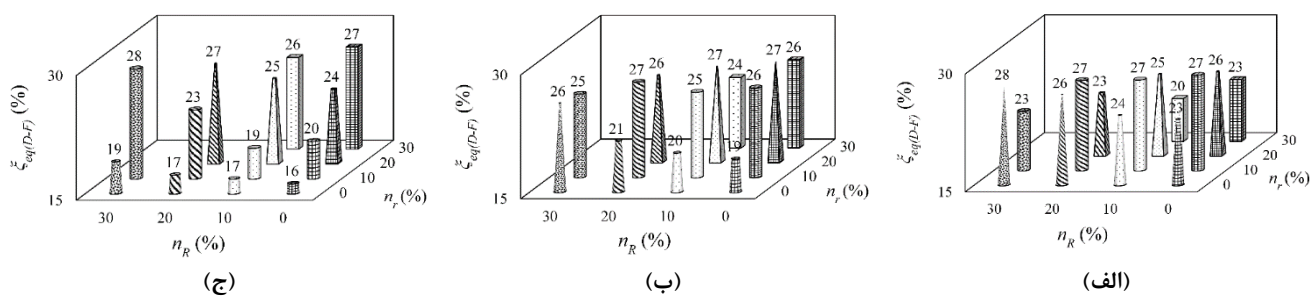
در جدول ۲۵ و در شکل ۲۱ نسبت میرایی معادل قاب برای این نمونه‌ها آورده شده است. افزایش درصد سطح سوراخ و درصد سطح بریدگی لبه‌ها در بسیاری از موارد ابتدا موجب افزایش و سپس کاهش نسبت میرایی معادل قاب می‌شود. مقدار عددی درصد سطح سوراخ که در آن حداکثر میرایی اتفاق می‌افتد با افزایش ضخامت افزایش می‌یابد.



شکل ۱۹: توزیع تنش در نمونه‌های با ضخامت ۱۰ mm و ۱۵ mm



شکل ۲۰: توزیع تنش در نمونه‌های با ضخامت ۳۰ mm



شکل ۲۱: نسبت میرایی معادل قاب برای نمونه با ضخامت: الف - ۱۰ mm، ب - ۱۵ mm، ج - ۳۰ mm

جدول ۲۵: نسبت میرایی معادل قاب برای نمونه با ضخامت ۳۰ mm و ۱۵ mm، ۱۰ mm

| t=30 | | | | t=15 | | | | t=10 | | | | ضخامت |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|
| 30% | 20% | 10% | 0% | 30% | 20% | 10% | 0% | 30% | 20% | 10% | 0% | درصد سطح بریدگی لبه‌ها |
| 18.81 | 17.23 | 16.78 | 16.2 | 25.69 | 21.17 | 19.70 | 19.01 | 27.55 | 26.48 | 23.86 | 23.32 | 0% |
| 28.24 | 23.3 | 18.7 | 19.52 | 25.12 | 26.55 | 25.35 | 25.87 | 22.58 | 26.50 | 26.57 | 27.17 | 10% |
| | 26.97 | 25.20 | 23.94 | | 25.52 | 26.56 | 27.11 | | 22.98 | 25.32 | 25.68 | 20% |
| | | 26.01 | 27.26 | | | 23.54 | 25.67 | | | 20.45 | 22.89 | 30% |

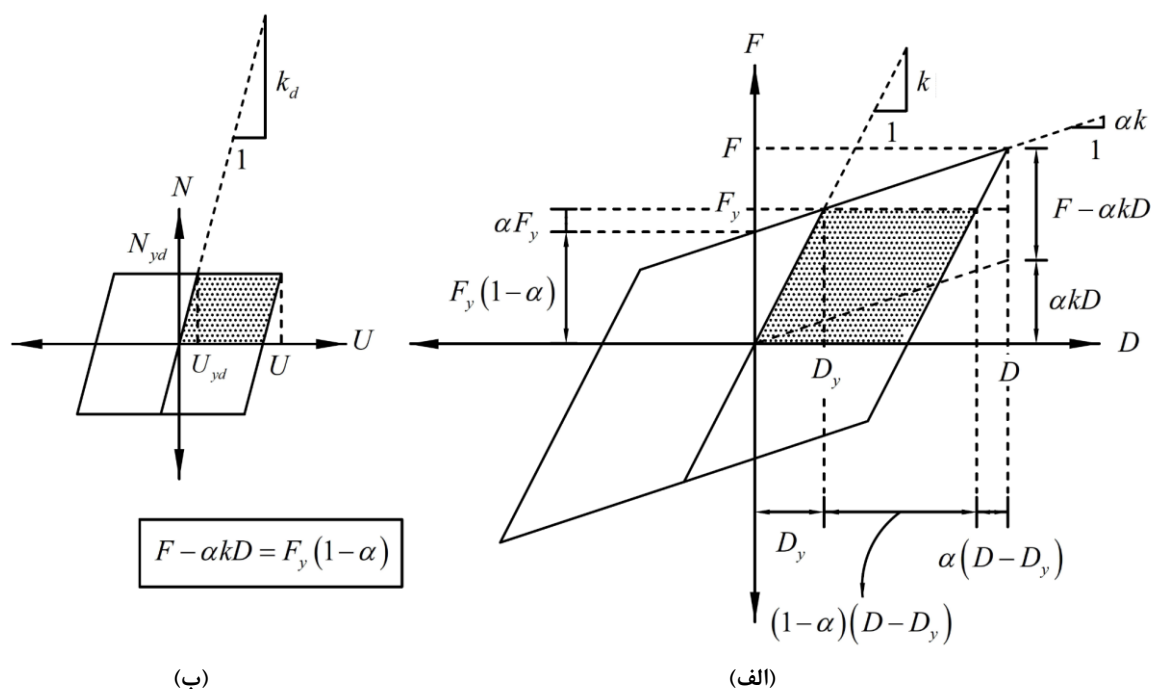
۴- رابطه بین سختی موثر و نسبت میرایی

آسیب دیدن قسمت‌هایی از سازه تحت تغییر شکل‌های بزرگ، می‌تواند موجب از بین رفتن سختی به صورت آنی شود و باریک شدگی چرخه‌ها در وسط نمودار را به وجود آورد. کمناش مهاربندها نیز می‌تواند موجب این رفتار شود [۲۱]. در این تحقیق این آسیب دیدگی می‌تواند شامل کمناش مهاربند و یا کمناش صفحه‌ی مربعی (نمونه r0R0t5) باشد که مطلوب نیست. بنابراین از میان نمونه‌ها، نمونه‌هایی به عنوان نمونه مطلوب انتخاب شده‌اند که نمودار هیستریزیس آن‌ها رفتار الاستوپلاستیک و یا اضافه مقاومت از خود نشان دهد. در این بخش با در نظر گرفتن این که منحنی هیستریزیس $U-N$ ، رفتار الاستوپلاستیک و منحنی هیستریزیس $D-F$ ، رفتار اضافه مقاومت از خود نشان دهد، همانند شکل ۲۲، روابط ۷ و ۸ بین سختی موثر و نسبت میرایی در چرخه‌های مختلف به دست آمده است [۲۲].

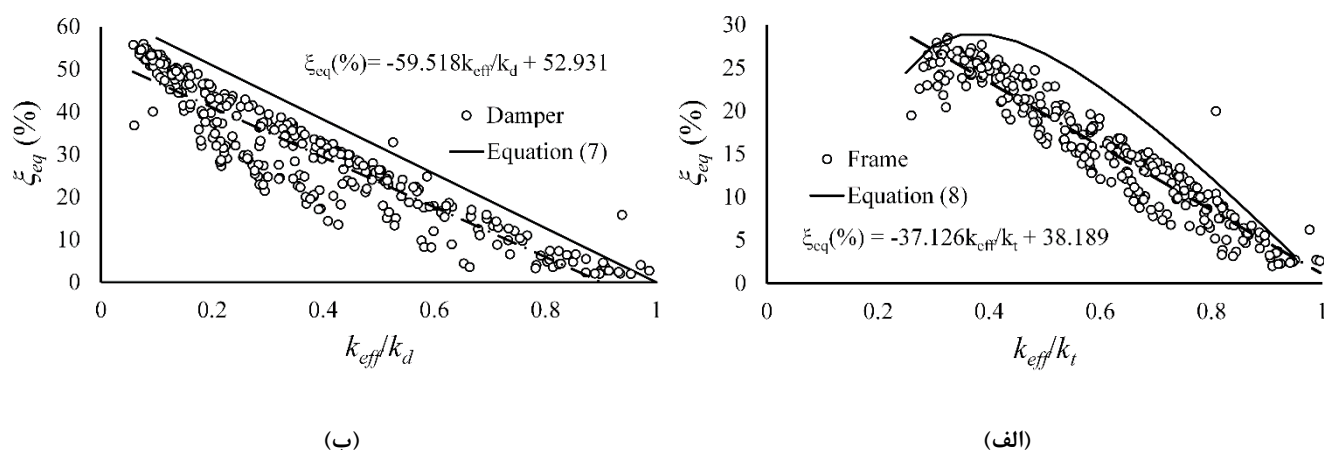
$$\xi_{eq(U-N)} = \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{k_{eff(U-N)}}{k_d} \right) \quad (7)$$

$$\xi_{eq(D-F)} = \frac{2}{\pi(1-\alpha)} \left(1 - \frac{k_{eff(D-F)}}{k} \right) \left(1 - \frac{\alpha}{\frac{k_{eff(D-F)}}{k}} \right) \quad (8)$$

که در آن U ، F ، D و N همان پارامترهای معرفی شده در بخش‌های قبل هستند، k_d سختی جان میراگر، k سختی قاب و α ضریب سخت شدگی منحنی هیستریزیس $D-F$ در قسمت دوم است. در شکل ۲۳ مقایسه مقادیر حاصل از آنالیز اجزاء محدود و نمودارهای خطی به دست آمده در این بند نشان داده شده است.

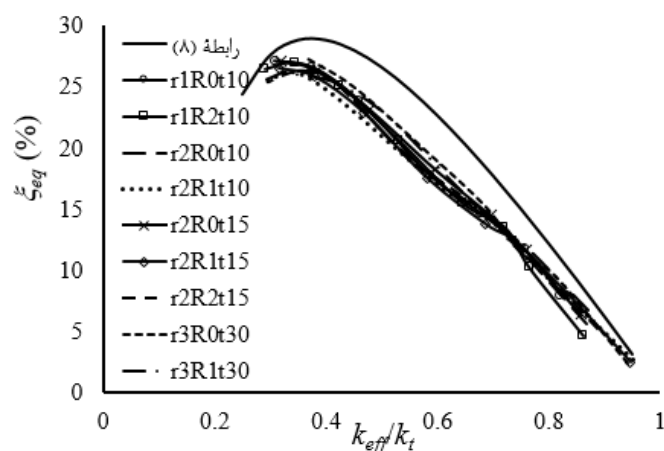


شکل ۲۲: مدل چرخه‌ای: الف-رفتار اضافه مقاومت، ب-رفتار الاستوپلاستیک



شکل ۲۳: مقایسه مقادیر حاصل از آنالیز اجزاء محدود و نمودارهای خطی به دست آمده در این بند: الف- نمودار مقادیر نسبت سختی موثر به سختی جان میراگر و نسبت میرایی در مقابل هم، ب- نمودار مقادیر نسبت سختی موثر به سختی قاب مجهز به میراگر و نسبت میرایی در مقابل هم

طبق شکل ۲۴ نمونه‌های r3R1t30, r3R0t30, r2R2t15, r2R1t15, r2R0t15, r2R1t10, r2R0t10, r1R2t10, r1R0t10 بهترین تطابق را با نمودار رابطه ۸ نشان داده‌اند. با افزایش ضخامت در منحنی هیستریزس نمونه‌ها باریک شدگی مشاهده می‌شود که بریدن سوراخ از داخل جان و ایجاد بریدگی لبه‌ها می‌تواند این رفتار را بهبود دهد و باعث تطابق مناسب مقادیر بدست آمده از رابطه‌های ۷ و ۸ با نتایج حاصل از آنالیز اجزاء محدود گردد.



شکل ۲۴: بهترین تطابق از نمونه‌های شکل ۲۳

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق رفتار سازه‌ای میراگر پانل برشی تسلیمی سوراخ‌دار در قاب فولادی با مهاربند به شکل ۸ توسط مدل سازی المان محدود مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به بررسی‌های پارامتری انجام شده نتایج زیر حاصل گردید:

۱- افزایش ضخامت در نمونه‌های بدون سوراخ موجب کاهش نسبت انرژی مستهلک شده در میراگر به انرژی مستهلک شده در قاب می‌شود. سایر پارامترهای مربوط به انرژی تا ضخامت ۱۰ mm افزایش و سپس کاهش می‌یابند.

- ۲- در صورتی که به جای لبه‌های دو بال، فقط از حرکت خارج از صفحه‌ی لبه‌های بال بالا جلوگیری گردد تمامی پارامترهای مربوط به انرژی کاهش می‌یابند.
- ۳- افزایش طول متوسط جان میراگر موجب افزایش انرژی مستهلک شده در قاب و کاهش سایر پارامترهای مربوط به انرژی می‌شود.
- ۴- افزایش مدول مقطع تیر موجب افزایش کم پارامترهای مربوط به انرژی به جز نسبت میرایی معادل قاب و موجب کاهش کم این پارامتر می‌شود.
- ۵- افزایش سطح مقطع مهاربند موجب افزایش اندک انرژی مستهلک شده در قاب و میراگر و کاهش اندک نسبت میرایی معادل میراگر می‌شود.
- ۶- افزایش درصد سطح سوراخ و درصد سطح بریدگی لبه‌ها در بسیاری از موارد ابتدا موجب افزایش و سپس کاهش نسبت میرایی معادل می‌شود.
- ۷- مقدار عددی درصدی از سطح سوراخ که در آن حداکثر میرایی اتفاق می‌افتد با افزایش ضخامت افزایش پیدا می‌کند. بنابراین درصد سطح سوراخ مطلوب با افزایش ضخامت، و تقریباً متناسب با آن افزایش می‌یابد.
- ۸- تطابق مناسبی بین روابط به دست آمده از فرض رفتار منحنی هیستریزیس به صورت الاستو پلاستیک برای منحنی $U-N$ و رفتار اضافه مقاومت برای منحنی $D-F$ برای برخی نمونه‌ها مشاهده می‌شود.

مراجع

- [1] Hejazi, F. (2005). *Seismic rehabilitation of structures with smart systems*. Tehran: Jihad Daneshgahi Publication, Amir Kabir Industrial Unit (In Persian).
- [2] Chan, R. (2008). *Metallic yielding devices for passive dissipation of seismic energy*, Ph.D. Dissertation. Department of Civil Engineering, University of Queensland, St Lucia, Australia.
- [3] Moghimi, G. (2011). *A study of seismic demand of braced frames with central yielding damper*. M.Sc. Thesis. Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, (in Persian).
- [4] Chan, R. and Albermani, F. (2008). Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation. *Engineering Structures*, 30, 1058-1066.
- [5] Chan, R. and Albermani, F. and Williams, M. (2009). Evaluation of yielding shear panel device for passive energy dissipation. *Journal of Constructional Steel Research*, 65, 260-268.
- [6] Chan, R. and Albermani, F. and Kitipornchai, S. (2011). Stiffness and strength of perforated steel plate shear wall. *Procedia Engineering*, 14, 675-679.
- [7] Chan, R. and Faris, A. and Sritawat, K. (2013) Experimental study of perforated yielding shear panel device for passive energy dissipation. *Journal of Constructional Steel Research*, 91, 14-25.
- [8] Deng, K. and Pan, P. And Su, Y. and Ran, T. and Xue, Y. (2014). Development of an energy dissipation restrainer for bridges using a steel shear panel. *Journal of Constructional Steel Research*, 101, 83-95.
- [9] Zarei, D. and Tasnimi, A. (2019). New fused steel-coupling beam with optimized shear panel damper. *Journal of civil engineering*, 17, 1513-1526.
- [10] Farzampour, A. and Eatheron, M. (2019). Yielding and lateral torsional buckling limit states for butterfly-shaped shear links. *Engineering structures*, 180, 442-451.
- [11] Li, T. and Yang, T. and Tong, G. (2019). Performance-based plastic design and collapse assessment of diagrid structure fused with shear link. *Structural design of tall and special buildings*, 28.
- [12] Shen, S. Gong, R. (2020). Design, simulation and test on the shape on the shape optimization of a steel shear key (SSK). *Measurement*. 151, 107-127.
- [13] *ABAQUS 6.14 Documentation*. Providence, Rhode Island: ABAQUS Inc., 2014.
- [14] Cui, Y. and Asada, H. and Kishiki, S. and Yamada, S. (2012) Ultimate strength of gusset plate connections with fillet welds. *Journal of Constructional Steel Research*, 75, 104-115.

- [15] Sumner, E. (2003). *Unified design of extended end-plate moment connections subject to cyclic loading*, Ph.D. Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
- [16] Hossain, R. and Ashraf, M. (2012). Mathematical modelling of yielding shear panel device. *Thin-Walled Structures*. 59, 153-161.
- [17] Yang, C. (2006). *Analytical and experimental study of concentrically braced frames with zipper struts*. Ph.D. Dissertation. School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
- [18] Verein Deutscher Eisenhüttenleute. (2011). *Stahl-Profile*. Tehran, Iran: Parham publishing (in Persian).
- [19] Syed, S. (2009). *Influence of weld sequence on the seismic failure of welded steel moment connections in building structures*. M.Sc. Thesis. Department of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.
- [20] ATC. (2007). "Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components," FEMA, Washington, D.C., FEMA 461.
- [21] ATC. (2009). "Effects of Strength and Stiffness Degradation on Seismic Response," FEMA, Washington, D.C., USA, FEMA P440A.
- [22] Amere, F. (2016). *Parametric study of behaviour of perforated yielding shear panel device in inverted v-braced steel frames*. M.Sc. Thesis. Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan (in Persian).