

تأثیر آزاد کردن اتصال ورق از ستون‌ها در دیوار برشی فولادی تحت بارگذاری‌های مختلف

سید علی اصغر حسین زاده^۱، علی کاظمی^۲، محمدعلی برخوردار^۳، مهدی میرزایی^۴

۱-استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

۲-کارشناس ارشد سازه، پژوهشکده عمران، پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص پژوه، اصفهان، ایران.

۳-استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

۴-مربی، دانشکده مهندسی، دانشگاه امام علی (ع)، تهران، ایران

چکیده

در این تحقیق با استفاده از روش المان محدود، تأثیر آزاد کردن اتصال ورق از ستون‌ها در مشخصه‌های رفتار غیرخطی سیستم‌های دیوار برشی فولادی تحت بارگذاری‌های پوش‌آور، سیکلی و انفجاری مطالعه شد. نتایج تحلیل‌های پوش‌آور نشان داد که در این سیستم، به دلیل عدم وقوع تسلیم کامل در سطح ورق، بطور نسبی از مقاومت ورق و در نتیجه مقاومت کل و تا حدی، سختی اولیه و شکل‌پذیری سیستم کاسته می‌شود، لیکن تغییری در مقاومت قاب به وجود نمی‌آید. با افزایش ضخامت ورق متناسب با کاهش نسبی مقاومت آن، نه تنها افت نسبی مقاومت سیستم نیمه‌پیوسته جبران می‌شود، بلکه سختی اولیه و شکل‌پذیری سیستم (با ضخامت اصلاح شده) نسبت به سیستم اولیه با اتصال کامل نیز افزایش می‌یابد. نتایج تحلیل سیکلی نشان داد که به دلیل کاهش نسبی مقاومت و جذب انرژی توسط ورق، میزان جذب انرژی در سیستم نیمه‌پیوسته نسبت به سیستم پیوسته نظیر کاهش می‌یابد. نتایج تحلیل‌های انفجاری نیز نشان داد که سیستم‌های پیوسته و نیمه‌پیوسته دیوار برشی فولادی (طراحی شده در برابر زلزله) در برابر بار انفجاری نیز تا حدی مقاوم هستند و به صورت کلی منهدم نمی‌شوند. همچنین، با جداسازی ورق پرکننده از ستون‌ها، رفتار سیستم‌های دیوار برشی فولادی تحت تأثیر نسبت طول دهانه به ارتفاع آن‌ها تغییر می‌کند.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی، انفجار، زلزله، المان محدود، تحلیل غیرخطی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
10.22065/JSCE.2019.145512.1652	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
doi: 10.22065/JSCE.2019.145512.1652	۱۳۹۹/۰۴/۰۱	۱۳۹۹/۰۴/۰۱	۱۳۹۷/۱۰/۱۵	۱۳۹۷/۱۰/۰۷	۱۳۹۷/۰۶/۰۴
			سید علی اصغر حسین زاده		*نویسنده مسئول:
			ahosseinzade@gmail.com		پست الکترونیکی:

Nonlinear behavior of steel plate shear wall connected to frame beams only under Various Loading conditions

Ali Asghar hosseinzade^{*1}, ali kazemi², Mohammad Ali Barkhordari³, mehdi mirzaei⁴

1 Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Golestan university

2 M.Sc. of Structural Engineering

3 Professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology

4 Instructor, Department of Engineering, Imam Ali University

ABSTRACT

In the present paper, the behavior of steel shear walls connected to frame beams only was investigated under various loading conditions (nonlinear static, cyclic and blast) using the finite element method and compared with that of the corresponding system with fully-connected infill walls (typical SPSW). The obtained results were discussed in terms of strength, initial stiffness, ductility, max of Von-Mises stress and max of in-plane and out-of-plane deformations. In the study, the effects of different system aspect ratios and various infill plate thicknesses were also considered. The adequacy of the finite element modeling approach for representing the responses of SPSWs under loading conditions was verified through comparison with experimental results. Results of pushover analyses showed that releasing of the infill wall connection to the columns limits the widespread yielding of the infill plate. This, in turn, affects the strength, initial stiffness and ductility of the system. Notably, the behavior of SPSW frames is not affected much by such configuration. Increasing the infill plate thickness in proportion to the decrease of its strength, not only offsets the effect of this configuration on the system strength, but also improves the system behavior in terms of initial stiffness and ductility (compared to the corresponding system with infill plate connected to boundary columns and beams). Results of cyclic analyses showed that the dissipated energy by the semi-connected SPSW is relatively decreased mainly due to the decrease of plate strength and energy absorption. Results of analyses under blast loading condition showed that both fully-connected and semi-connected SPSWs designed for seismic loading can partially resist against out-of-plane blast loading effects without failure.

ARTICLE INFO

Receive Date: 26 August 2018

Revise Date: 28 December 2018

Accept Date: 05 January 2019

Keywords:

Steel Plate Shear Wall, Blast, Earthquake, Finite Element, Nonlinear analysis

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.145512.1652

*Corresponding author: Ali Asghar hosseinzade

Email address: ahosseinzade@gmail.com

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، استفاده از سیستم دیوار برشی فولادی (SPSW) به عنوان سیستم باربر جانبی، مورد توجه مهندسان طراح قرار گرفته است. این سیستم متشکل از ورق فولادی است که به تیر و ستون‌های قاب فولادی پیرامون متصل می‌شود. در نمونه‌های متداول از این سیستم، از ورق نازک بدون سخت کننده استفاده می‌شود. ورق نازک و قاب خمشی در مجموع تشکیل یک سیستم دوگانه کارآمد را می‌دهند که در آن، ورق با تشکیل ناحیه کشش قطری نقش اولیه را در باربری جانبی ایفا می‌کند و قاب نیز با تحمل نیروهای منتقل شده از طرف ورق به گسترش تسلیم در سطح ورق کمک می‌کند.

سیستم دیوار برشی فولادی در مقایسه با سایر سیستم‌های باربر جانبی متداول دارای مزایای گسترده‌ای از نظر اقتصادی بودن، وزن کم، جذب انرژی و شکل‌پذیری بالا و رفتار هیستریزس پایدار است. این مزایای گسترده، پژوهش‌های قابل توجهی را در زمینه شناخت رفتار این سیستم به دنبال داشته است. خوشبختانه بر اساس نتایج به دست آمده از شماری از این پژوهش‌ها، آئین‌نامه‌های مرتبط با طراحی این سیستم [۴-۱] نیز در سال‌های اخیر تدوین شده، که به استفاده و عمومیت بیش از پیش این سیستم کمک شایانی کرده است.

نقش اصلی باربری در سیستم دیوار برشی فولادی را ورق فولادی بر عهده دارد. از سوی دیگر، قاب فولادی افزون بر تحمل نیروهای ناشی از عملکرد خمشی قاب، نقش مکمل در تحمل نیروهای منتقل شده از طرف ورق را دارد که به توسعه تسلیم در سطح ورق کمک می‌کند. در نتیجه، نیروهای داخلی ستون‌ها، به ویژه نیروهای محوری ستون‌های طبقات زیرین ساختمان‌های بلندمرتبه، به صورت فزاینده‌ای افزایش می‌یابد که می‌تواند به خرابی سازه بیانجامد. با توجه به پژوهش‌های انجام شده و پیشنهاد‌های ارائه شده توسط پژوهشگران [۷-۴]، می‌توان از راهکارهای مختلفی، همچون استفاده از ورق فولادی با تنش تسلیم پایین، استفاده از سیستم نیمه مقید، تغییر نوع اتصالات تیر و ستون‌ها، جابجایی دیوار به دهانه‌های مجاور (ایجاد ناپیوستگی در ارتفاع) و آزاد کردن اتصال ورق از ستون‌ها برای رفع این مشکل بهره برد. در حال حاضر کاربرد دیوارهای برشی فولادی در انواع پیوسته (با اتصال کامل ورق به تیر و ستون‌ها)، پیوسته با بازشو، نیمه مقید (با اتصال ورق به تیرها و ستون‌های فرعی) و نیمه پیوسته (با اتصال ورق به تیرها) در صنعت ساختمان مطرح است.

همچنین با وجود اینکه سیستم دیوار برشی فولادی توانایی خوبی برای مقابله با نیروی زلزله دارد، اما از رفتار این سیستم در مواجهه با نیروی انفجار اطلاعات کاملی در دست نیست. از دیرباز نیاز به محافظت از خانه‌ها و به ویژه مراکز نظامی در برابر انواع تهدیدات دشمنان وجود داشته است. در عصر جدید، با وجود انواع سلاح‌های کشنده و مرگبار یا تحت تأثیر انفجارهای ناشی از حوادث طبیعی، این نیاز شکل جدی‌تر و حیاتی‌تری پیدا کرده است. مراکز مهم نظامی و استراتژیک یک کشور، باید توانایی ایستادگی در مقابل انواع تهدیدات معمول و غیر معمول را داشته باشند. برای این منظور نیاز به طراحی سازه‌های مقاوم در برابر اثرات سلاح‌ها وجود دارد.

مقاله حاضر، با استفاده از روش المان محدود، تأثیر الگوی اتصال کامل ورق (به تیر و ستون‌ها) یا جزئی آن (صرفاً به تیرها) به اعضای قاب را در رفتار دیوار برشی فولادی تحت بارگذاری‌های پوش‌آور، سیکلی و انفجاری مورد مطالعه قرار می‌دهد. برای این منظور، سیستم‌های دیوار برشی فولادی با نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه با الگوی اتصال کامل و یا جزئی ورق به اعضای قاب با استفاده از آنالیز استاتیکی غیرخطی (پوش‌آور)، آنالیز شبه استاتیکی غیرخطی (سیکلی) و آنالیز دینامیکی انفجاری (با استفاده از مدل CONWEP) تحلیل می‌شوند و خصوصیات رفتاری سیستم‌ها برای دو الگوی اتصال مقایسه می‌گردد. همچنین در مطالعات، تأثیر افزایش یا کاهش ضخامت ورق نیز لحاظ می‌شود.

پژوهشگران دیگری چون رضایی و ونچورا^۱ [۸]، آستانه اصل [۹]، درایور^۲ [۱۰] و خرازی [۱۱] پژوهش‌هایی در زمینه طراحی سیستم دیوار برشی فولادی در برابر نیروهای زلزله انجام داده‌اند. در سال ۲۰۰۴ آئین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی کانادا، FEMA 450 [۲]، معیارهایی برای طراحی دیوار برشی فولادی ارائه کرد. همچنین در سال ۲۰۰۵ معیارهایی برای طراحی دیوار برشی فولادی ویژه به آئین-نامه AISC (AISC 341-2005) [۳] افزوده شد.

همچنین در زمینه بارهای دینامیکی انفجاری، نخستین آئین‌نامه طراحی شده در بارگذاری انفجاری با نام TM 5-855-1 [۱۲] در سال ۱۹۸۶ توسط نهاد پژوهشی نظامی ارتش آمریکا برای سازه‌های مقاوم در برابر انفجارهای غیراتمی بود. پس از آن، آئین‌نامه TR-87-57 [۱۳]

¹ Ventura

² Driver, R.G.

در سال ۱۹۸۹ توسط بخش مهندسی هوایی آمریکا و سپس، آئین نامه TM 5-1300 [۱۴] در سال ۱۹۹۰ تدوین شد. در ادامه، آئین نامه‌های دیگری همچون DOE/TIC-11268 [۱۵] توسط نهاد انرژی آمریکا در سال ۱۹۹۲ و آئین نامه‌ی FEMA 428 [۱۶] تهیه شد [۱۷]. در حال حاضر انجام پژوهش‌های گسترده به منظور یافتن راهکارهایی برای جلوگیری از تخریب ساختمان‌ها در برابر عوامل طبیعی و حملات خرابکارانه ضروری است. لزوم حفظ امنیت بناهای مسکونی، صنعتی، نظامی و راهبردی در برابر شوک ایجاد شده توسط زلزله و انفجار و توجه به این بارهای جانبی در ساختمان باعث توسعه تحلیل و طراحی سازه‌های مقاوم می‌شود و می‌توان گفت یکی از اهداف مهم در جهان امروز به شمار می‌رود.

هدف از پژوهش حاضر، مطالعه و ارزیابی تأثیر جداسازی اتصال ورق از ستون‌ها در پاسخ غیرخطی سیستم دیوار برشی فولادی تحت اثر بار جانبی و بارهای انفجاری است. برای این منظور ابتدا رفتار سیستم‌های مختلف دیوار برشی فولادی با اتصال کامل ورق به اعضای قاب مورد بررسی قرار می‌گیرد، سپس رفتار سیستم نظیر با اتصال صرف ورق به تیرها ارزیابی می‌شود. در نهایت نیز پاسخ‌های بدست آمده از دو سیستم تحت بارهای استاتیکی (از حیث مقاومت، سختی، شکل‌پذیری یا تغییرشکل‌های عمود بر صفحه ورق) و بارهای انفجاری (تغییرشکل‌های عمود بر صفحه ورق و حداکثر تنش‌های ایجاد شده در صفحه یا وقوع احتمالی خرابی در آن) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مطالعات تأثیر تغییرات ضخامت ورق و تغییر طول دهانه سیستم‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود.

۲- روش مطالعه و مدل‌سازی عددی

در این پژوهش به جهت انجام تحلیل‌ها از نرم افزار المان محدود ABAQUS بهره گرفته می‌شود. در آنالیزهای غیرخطی تحت بار جانبی رفتار مصالح بصورت همسانگرد فرض می‌شود و اثرات غیرخطی مادی و غیرخطی هندسی نیز در تحلیل‌ها لحاظ می‌گردد [۱۸]. اتصال پای ستون‌ها به صورت گیردار فرض می‌شود و به جهت مدل‌سازی اثر دال طبقات، تغییرمکان عمود بر صفحه ورق جان تیرها محدود می‌گردد.

برای مدل‌سازی بارگذاری انفجاری و تحلیل و آنالیز مدل‌ها نیز از مراجع [۱۹، ۲۰] و آئین نامه UFC [۲۱] استفاده می‌شود. وقتی که یک انفجار روی می‌دهد، آزادسازی شدید انرژی در محیط گازی روی می‌دهد. این فرایند منجر به افزایش ناگهانی فشار در محیط گازی مزبور می‌شود. این آشفستگی فشار، موج انفجار^۳ نامیده می‌شود و با یک افزایش تقریباً آبی فشار از فشار طبیعی محیط به یک مقدار که اوج فشار آبی^۴ نامیده می‌شود، مشخص می‌گردد. این افزایش فشار، از نقطه انفجار با سرعتی که رو به کاهش است حرکت خواهد نمود. البته این سرعت از سرعت صوت در محیط گازی مورد نظر کمتر نخواهد شد. طبیعت موج شوک^۵ با متغیرهای گوناگونی تغییر می‌کند و نوع انفجار ایجاد شده تأثیر چندانی بر روی آن نخواهد داشت. اثرهای مستقیم انفجار دربردارنده‌ی مواردی چون انفجار، اثرات موج انفجار و اثرات قطعه‌های پرتابی یا ترکش‌ها است.

۲-۱- مدل‌ها

در این بخش ۴۰ مدل دیوار برشی فولادی یک طبقه در پنج دسته‌ی کلی در نظر گرفته می‌شود. مدل‌های اصلی بر اساس آئین نامه طراحی لرزه‌ای آمریکا [۳] و راهنمای متمم آن [۴] طراحی شده‌اند که جزئیات آنها در مرجع [۱۸] موجود است و در اینجا نیز به جهت راحتی در جدول (۱) آورده شده است. در مدل‌های اصلی (پیوسته) ورق پرکننده از چهار طرف (تیرها و ستون‌ها) به قاب متصل است و در مدل‌های نیمه پیوسته، ورق پرکننده فقط به تیرها متصل است و در مجاورت با ستون‌ها اتصال آن به صورت آزاد لحاظ می‌شود. ارتفاع کلیه مدل‌ها ثابت و برابر ۳/۵ m فرض می‌شود. نسبت‌های طول دهانه به ارتفاع طبقه نیز بین نسبت‌های ۰/۸۶، ۱/۱۴، ۱/۴۳، ۱/۷۱ و ۲/۰۰، متغیر لحاظ می‌شود. ضخامت پیشفرض ورق پرکننده در همه‌ی مدل‌های اصلی (با اتصال کامل ورق به اعضای قاب)، ثابت و برابر ۳/۱۸ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود، در حالی که در مدل‌های با اتصال جزئی به جهت مطالعه تأثیر تغییرات ضخامت ورق، بین مقادیر ۰/۰۰ (بدون ورق)، ۱/۵۹، ۳/۱۸، ۴/۷۶، ۶/۳۵، ۷/۶۴ و ۹/۵۳ میلیمتر تغییر می‌کند. همچنین برای متمرکز کردن محل تشکیل مفصل‌های

³ Blast Wave

⁴ Peak Incident Over - Pressure

⁵ Shock Wave

پلاستیک در دو انتهای تیرها و محدود کردن تقاضای خمشی در ستون‌ها، از اتصال RBS⁶ در دو سمت تیرها استفاده می‌شود. جدول (۲) نیز مشخصات اتصال RBS را برای تیرهای طبقات مطابق با آئین‌نامه AISC 358-05 [۲۲] ارائه می‌کند.

جدول (۱). مشخصات مدل‌های اصلی (با اتصال کامل ورق به اعضای قاب)، برگرفته از [۱۸].

نام مدل	طول دهانه، L(mm)	ارتفاع طبقه، h (mm)	نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه، L/h	ضخامت ورق دیوار، t_p (mm)	مقطع تیر	مقطع ستون
1S3L	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۰/۸۶	۳/۱۸	W14×176	W14×283
1S4L	۴۰۰۰	۳۵۰۰	۱/۱۴	۳/۱۸	W14×193	W14×311
1S5L	۵۰۰۰	۳۵۰۰	۱/۴۳	۳/۱۸	W14×233	W14×370
1S6L	۶۰۰۰	۳۵۰۰	۱/۷۱	۳/۱۸	W24×250	W14×455
1S7L	۷۰۰۰	۳۵۰۰	۲/۰۰	۳/۱۸	W24×370	W14×550

جدول (۲). جزئیات اتصال RBS برای مقاطع مختلف تیرها بر اساس آئین‌نامه AISC 358-05، برگرفته از [۱۸].

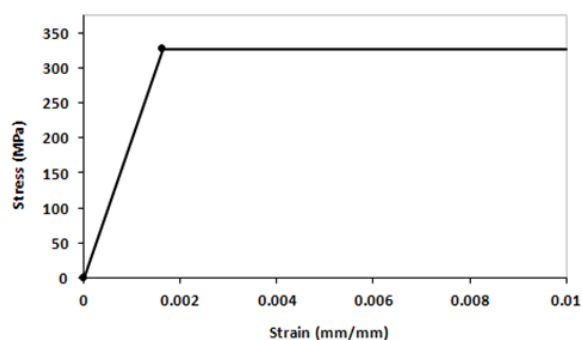
جزئیات اتصال	W14×176	W14×193	W14×233	W24×250	W24×370
a (mm)	۲۰۰	۲۰۰	۲۲۰	۲۰۰	۱۷۵
b (mm)	۳۰۰	۳۰۰	۳۳۰	۵۵۰	۶۰۰
c (mm)	۹۵	۹۵	۱۰۰	۸۰	۸۵

۲-۲- مشخصات مکانیکی مصالح

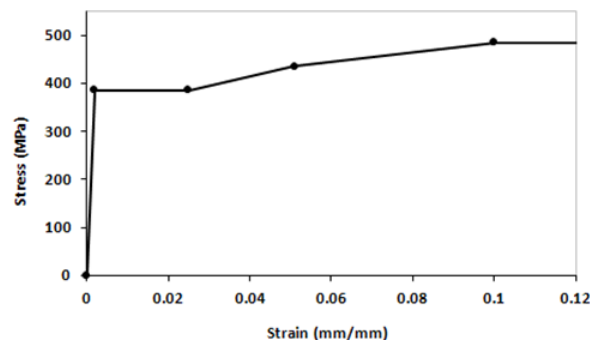
برای مصالح مصرفی در المان‌های مرزی (تیر و ستون‌ها) از فولاد رده ASTM-A572 (با تنش تسلیم ۳۸۵ MPa) و همچنین برای ورق پرکننده از فولاد رده ASTM-A36 (با تنش تسلیم ۳۲۷/۶ MPa) استفاده شده است. مدول الاستیسیته و نسبت پواسون فولادهای مصرفی به ترتیب برابر با ۲۰۰ GPa و ۰/۳ فرض شده است. شکل (۱) دیاگرام‌های تنش- کرنش مربوط به هر رده از فولاد را جهت مطالعه رفتار غیرخطی مدل‌ها نشان می‌دهد. در تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی، رفتار مصالح به صورت همسانگرد^۷ و در تحلیل‌های شبه- استاتیکی و دینامیکی انفجاری نیز به صورت سینماتیک با لحاظ اثر باشینگر در نظر گرفته می‌شود.

⁶ Reduced Beam Section

⁷ Isotropic



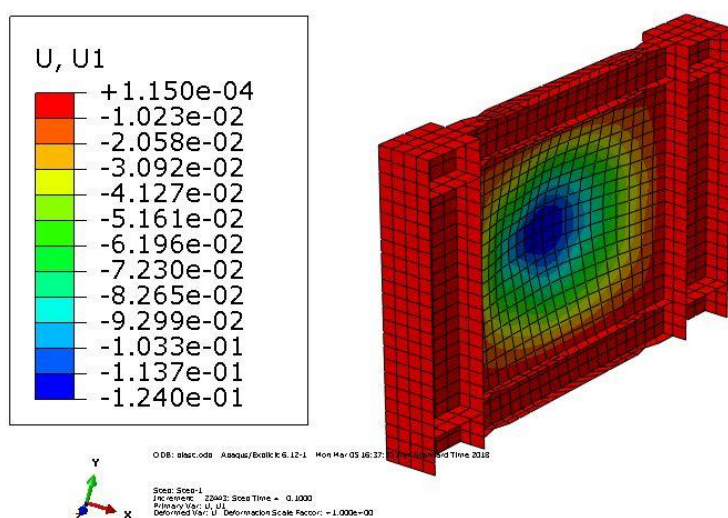
شکل (۱). منحنی‌های تنش - کرنش مصالح، برگرفته از [۲۳].



شکل (۲). مقایسه‌ی رفتار مدل آزمایشگاهی و شبیه‌سازی شده

۲-۳- صحنه‌گذاری نتایج

در سال ۲۰۱۴ برونو^۸ و همکاران دو نمونه دیوار برشی فولادی را تحت بار انفجار قرار دادند [۲۴]. به جهت بررسی روش مدلسازی و صحت نتایج تحلیل عددی، یکی از نمونه‌های مورد آزمایش توسط این پژوهشگران، مدلسازی می‌شود (شکل (۲)). مطابق با مرجع [۲۴]، مشخصات مصالح تیر ASTM A572 و ستون ASTM A992 و ورق پرکننده از نوع ASTM A1011 در نظر گرفته شده است.



شکل (۲-۲). تغییرشکل عمود بر صفحه (mm) پس از اعمال موج انفجار



شکل (۲-۱). مدل آزمایشگاهی پس از موج اعمال انفجار، برگرفته از [۲۴].

شکل (۲). مقایسه‌ی رفتار مدل آزمایشگاهی و شبیه‌سازی شده

مقایسه کیفی الگوهای تغییرشکل خارج از صفحه ورق در مدل المان محدود (شکل (۲-۲)) و مقایسه نتایج آن با حداکثر تغییرشکل خارج از صفحه ورق (۱۳۳ میلیمتر) در نمونه آزمایشگاهی (شکل (۲-۱)) حاکی از کفایت و دقت مناسب روش مدلسازی است. لازم به ذکر است که صحت روش مدلسازی برای بارگذاری‌های استاتیکی غیرخطی و چرخه‌ای قبلاً توسط نویسندگان اول بررسی شده است [۱۸، ۲۵].

⁸ Michel Bruneau

۳- بحث و بررسی نتایج

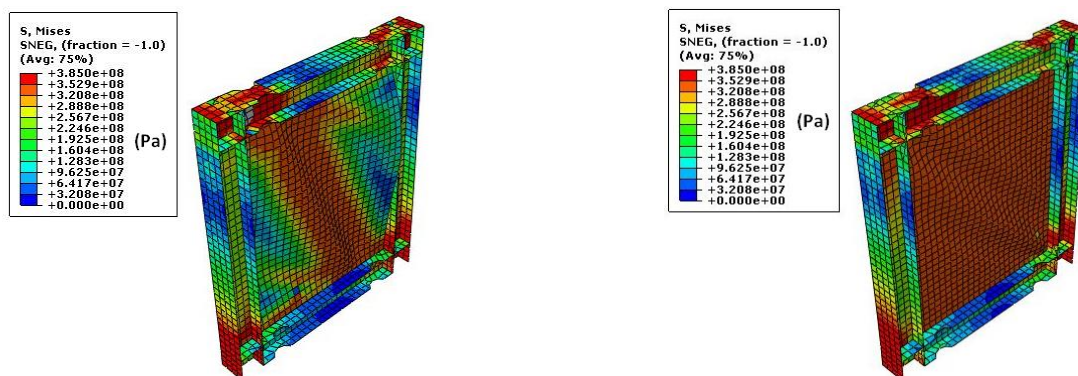
۳-۱- نتایج تحلیل تحت بارگذاری پوش آور

قاب و ورق در سیستم دیوار برشی فولادی با هم اندرکنش دارند و بر رفتار یکدیگر تأثیر می‌گذارند [۲۵]. همانطور که می‌دانیم، ورق نقش اولیه و اصلی را در باربری و جذب انرژی سیستم دیوار برشی فولادی ایفا می‌کند. بعلاوه، حداکثر باربری و جذب انرژی در سیستم نیز زمانی رخ می‌دهد که قاب سختی و مقاومت کافی را برای ایفای نقش مکمل خود در تحمل نیروهای ناشی از حوزه کشش ورق و در نتیجه، توسعه تسلیم کامل در ورق داشته باشد. بدیهی است که در صورت عدم تسلیم یا تسلیم ناقص ورق، از جذب انرژی و شکل پذیری سیستم کاسته خواهد شد. بنابراین انتظار می‌رود الگوی پاسخ و جذب انرژی نیز در سیستم نیمه پیوسته (اتصال ورق به تیرها) در مقایسه با سیستم اولیه با اتصال کامل (پیوسته) دچار تغییر شود.

در این بخش، ابتدا رفتار کلی و اندرکنش قاب و ورق در دو سیستم پیوسته و نیمه پیوسته در طول بارگذاری مورد بحث قرار می‌گیرد. سپس تأثیر تغییرات ضخامت ورق در سیستم‌های نیمه پیوسته با نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه به جهت اصلاح رفتار سیستم مطالعه می‌شود.

در صورت آزاد کردن اتصال ورق از ستون‌ها، ورق حتی در حد نهایی باربری نیز به شرایط تسلیم کامل نمی‌رسد که این موضوع مقاومت ورق و مقاومت کل سیستم را تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به لحاظ نظری، یک راهکار مناسب و عملی برای جبران این اثر، افزایش ضخامت ورق است. در این قسمت، تأثیر این موضوع در تغییر خصوصیات رفتاری دیوار برشی فولادی نیمه پیوسته مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور، علاوه بر ضخامت $3/18$ میلیمتر (به عنوان ضخامت اولیه ورق در سیستم)، ضخامت ورق در سیستم‌های دیوار برشی فولادی بین صفر (معادل با عدم استفاده از ورق و یا معرف سیستم قاب خمشی تنها) تا $9/53$ میلیمتر (۳ برابر ضخامت اولیه) متغیر فرض می‌شود و رفتار سیستم‌ها از نظر مقاومت، سختی اولیه، شکل پذیری و تغییر شکل‌های عمود بر صفحه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

شکل (۳) توزیع تنش‌های فون میزس را در حد نهایی باربری سیستم‌های با اتصال کامل و جزئی برای نسبت‌های طول دهانه به ارتفاع طبقه ($L/h = 0/18$) مقایسه می‌کند. نتایج در شکل (۳)، مطلب عنوان شده در بالا را تایید می‌کند.



(P-1S3L) (۲-۳) با اتصال جزئی

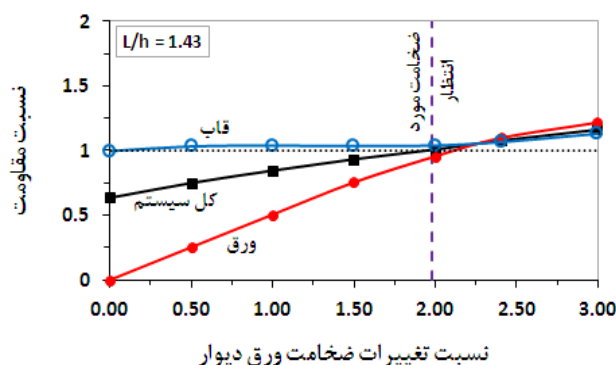
(1S3L) (۱-۳) با اتصال کامل

شکل (۳). توزیع تنش های فون- مایسز در حد نهایی باربری سیستم‌های با اتصال کامل و جزئی.

۳-۱-۱- مقاومت نهایی

شکل (۴) تأثیر تغییرات نسبت ضخامت ورق را در مدل‌های نیمه پیوسته با نسبت طول دهانه به ارتفاع ($L/h = 1/43$) را در نسبت‌های مقاومت نهایی ورق، قاب و کل سیستم مقایسه می‌کند. نمودارهای نسبتاً مشابهی برای سایر نسبت‌های طول دهانه به ارتفاع طبقه به دست آمد که در اینجا به جهت اختصار از ارائه آن‌ها صرف نظر می‌شود. در شکل (۴)، همانطور که پیشتر نیز بیان شد، ضخامت ورق با تقسیم

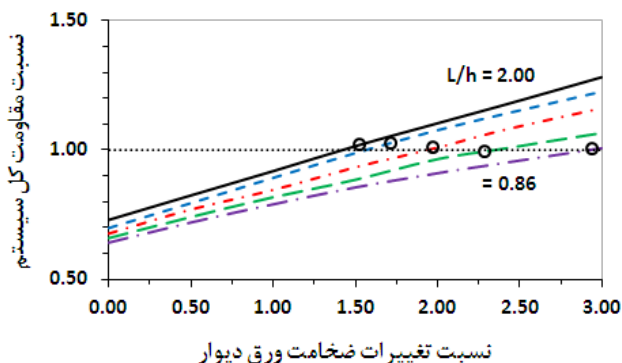
کردن آن به ضخامت ورق مینا (۳/۱۸ میلی‌متر)، و نسبت‌های مقاومت نیز برای ضخامت‌های مختلف با تقسیم کردن مقاومت‌ها در سیستم با اتصال جزئی (S-1S5L) به مقاومت‌ها در سیستم اصلی (با اتصال کامل) نظیر با ضخامت ورق مینای ۳/۱۸ میلی‌متر (1S5L) بی بعد شده است.



شکل (۴). تغییرات نسبت‌های مقاومت در یک سیستم با اتصال جزئی (S-1S5L) به سیستم نظیر با اتصال کامل (1S5L) در مقابل نسبت ضخامت ورق.

شکل (۴) تأیید می‌کند که با افزایش ضخامت ورق می‌توان کاهش در مقاومت نهایی ورق و کل سیستم را جبران نمود. شکل (۴) همچنین نشان می‌دهد که تغییرات نسبت ضخامت و نسبت مقاومت ورق، به خصوص برای ضخامت‌های کمتر، تقریباً با یکدیگر تناسب خطی دارد. به عنوان مثال با توجه به نتایج ارائه شده در شکل (۴)، مقاومت ورق در سیستم نیمه‌پیوسته (با $L/h = 1/43$ و نسبت ضخامت واحد) در حدود نصف مقاومت ورق در سیستم نظیر با اتصال کامل است که تقریباً با دو برابر کردن ضخامت ورق (ضخامت مورد انتظار، خط چین قائم در شکل (۴)) این افت مقاومت جبران می‌شود. بنابراین می‌توان ادعا کرد که در سیستم نیمه‌پیوسته، با افزایش ضخامت ورق متناسب با کاهش نسبی مقاومت آن می‌توان کاهش نسبی مقاومت ورق و کل سیستم را جبران نمود.

شکل (۵) صحت ادعای فوق را برای سیستم‌های نیمه‌پیوسته با نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه بررسی می‌کند. در شکل (۵) تغییرات نسبت مقاومت کل سیستم برای مدل‌های مختلف در مقابل نسبت ضخامت ورق ترسیم شده است. همچنین در شکل (۵) نسبت‌های افزایش ضخامت مورد انتظار جهت جبران افت مقاومت (که با توجه به کاهش نسبی مقاومت ورق در سیستم با اتصال جزئی محاسبه شده) توسط دوایری برای نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج در شکل (۵) صحت این ادعا که با افزایش ضخامت ورق متناسب با افت مقاومت آن می‌توان کاهش در مقاومت سیستم را جبران کرد را برای سیستم‌های مختلف تأیید می‌کند. این مطلب در واقع نشان می‌دهد که در حد نهایی باربری، الگوی گسترش تسلیم در سطح ورق سیستم نیمه‌پیوسته مستقل از ضخامت آن است.



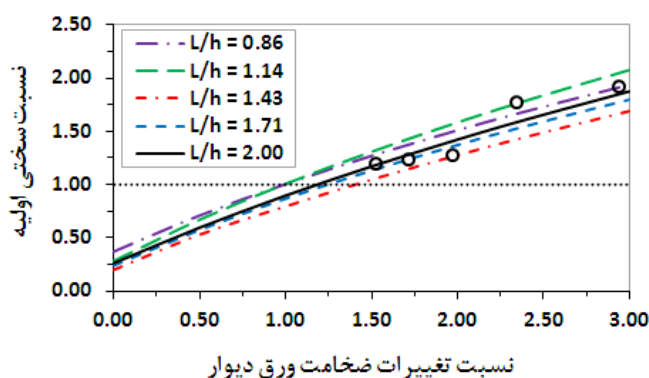
شکل (۵). نسبت مقاومت کل سیستم نیمه‌پیوسته در مقابل نسبت ضخامت ورق برای نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه.

۲-۱-۳ - سختی اولیه و شکل پذیری

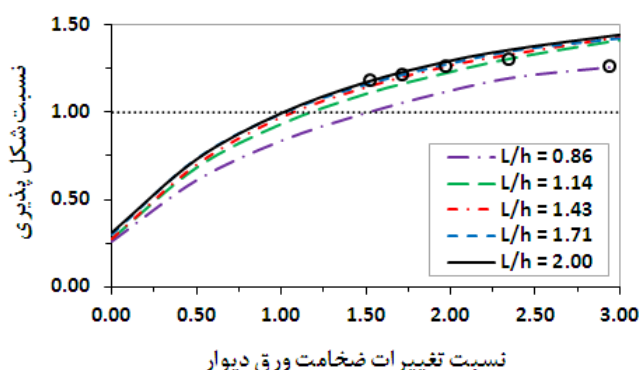
اشکال (۶) و (۷) تأثیر تغییرات نسبت ضخامت ورق را در سختی اولیه و شکل پذیری سیستم‌های نیمه پیوسته با نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه مقایسه می‌کند. در اشکال (۶) یا (۷) نیز به جهت مقایسه راحت‌تر، نسبت سختی اولیه یا شکل پذیری سیستم برای حالتی که ضخامت ورق بطور متناسب افزایش داده می‌شود توسط دوایری بر روی هر یک نمودارها مشخص شده است.

شکل (۶) به خوبی نشان می‌دهد سختی اولیه سیستم کاملاً متأثر از تغییرات ضخامت ورق در سیستم است و با افزایش ضخامت ورق، سختی اولیه سیستم نیز با تناسب نسبتاً خطی افزایش می‌یابد. حداکثر اختلاف بین نمودارهای نسبت سختی برای نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع بین حدود ۱۵٪ (برای نسبت ضخامت صفر) تا حدود ۴۰٪ (برای نسبت ضخامت ۳) تغییر می‌کند. شکل (۶) همچنین نشان می‌دهد که در صورت افزایش متناسب ضخامت ورق، نه تنها همواره اثرات افت سختی اولیه سیستم ناشی از آزاد کردن اتصال ورق با ستون‌ها جبران می‌شود، بلکه سختی اولیه سیستم نیمه پیوسته با ورق ضخیم‌تر از سختی اولیه سیستم اصلی نظیر (با اتصال کامل) نیز بیشتر خواهد شد. در حالت کلی هر چقدر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه کمتر باشد میزان افزایش در سختی اولیه سیستم نیمه پیوسته با ضخامت ورق متناسب (اصلاح شده) بیشتر خواهد بود. با توجه به نتایج در شکل (۶)، نسبت سختی اولیه سیستم نیمه پیوسته با ضخامت ورق اصلاح شده برای کمترین ($L/h = 0.86$) و بیشترین ($L/h = 2.00$) نسبت طول دهانه به ارتفاع به ترتیب در حدود ۹۴٪ و ۱۷٪ بیشتر از سیستم اولیه نظیر به دست می‌آید.

شکل (۷) نشان می‌دهد که با افزایش نسبت ضخامت ورق، شکل پذیری سیستم نیمه پیوسته نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج، بیشترین اختلاف بین نمودارهای مربوط به نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع به حدود ۲۰٪ محدود می‌شود. همچنین نتایج در شکل (۷)، مشابه با نتایج بدست آمده برای سختی اولیه در شکل (۶)، نشان می‌دهد که در صورت افزایش متناسب ضخامت ورق، نه تنها اثرات افت نسبی شکل پذیری سیستم نیمه پیوسته جبران می‌شود، بلکه شکل پذیری سیستم نیمه پیوسته با ورق اصلاح شده (ضخیم‌تر) از سختی اولیه سیستم اصلی نظیر (با اتصال کامل) نیز بیشتر خواهد شد. با توجه به نتایج بدست آمده، شکل پذیری سیستم نیمه پیوسته با ضخامت ورق اصلاح شده بطور متوسط در حدود ۲۵٪ از شکل پذیری سیستم اصلی نظیر (با اتصال کامل) برای نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه بیشتر است.



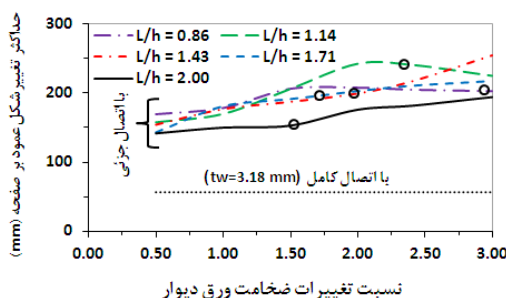
شکل (۶). نسبت سختی اولیه سیستم‌های نیمه پیوسته در مقابل نسبت ضخامت ورق برای نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه.



شکل (۷). نسبت شکل پذیری سیستم‌های نیمه پیوسته در مقابل نسبت ضخامت ورق برای نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه.

۳-۱-۳- پیشینه تغییر شکل عمود بر صفحه

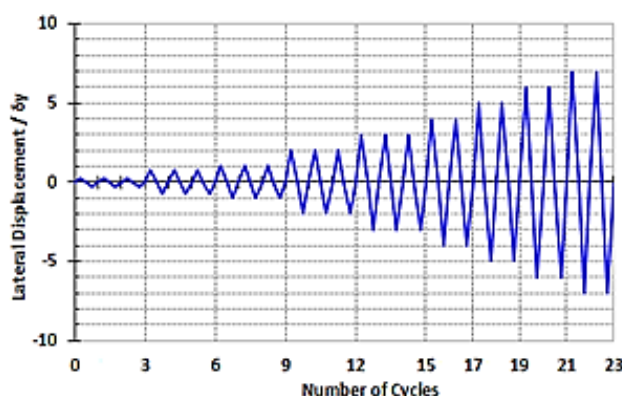
شکل (۸) تأثیر تغییرات نسبت ضخامت ورق را در مقدار حداکثر تغییر شکل‌های عمود بر صفحه سیستم‌های نیمه پیوسته با نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع مقایسه می‌کند. همانطور که در شکل (۸) ملاحظه می‌شود الگوی مشخصی برای تغییرات مقدار حداکثر تغییر شکل‌های کمانشی ورق با تغییر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه و ضخامت ورق مشاهده نمی‌شود. به هر حال، در حالت کلی می‌توان گفت که با افزایش ضخامت ورق در سیستم‌های نیمه پیوسته، برخلاف آنچه که انتظار می‌رود (که تغییر شکل‌های عمود بر صفحه صفحات نازک‌تر بیشتر باشد) تغییر شکل‌های عمود بر صفحه عمدتاً افزایش می‌یابند. با توجه به نتایج بدست آمده، با افزایش متناسب ضخامت ورق در سیستم نیمه پیوسته نسبت به سیستم نیمه پیوسته نظیر با ضخامت ورق اولیه (۳/۱۸ میلیمتر)، بطور متوسط در حدود ۱۵۰ میلیمتر به حداکثر تغییر شکل‌های عمود بر صفحه ورق افزوده می‌شود.



شکل (۸). حداکثر تغییر شکل‌های عمود بر صفحه سیستم نیمه پیوسته در مقابل نسبت ضخامت ورق برای نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه.

۳-۲- نتایج تحلیل تحت بارگذاری سیکلی

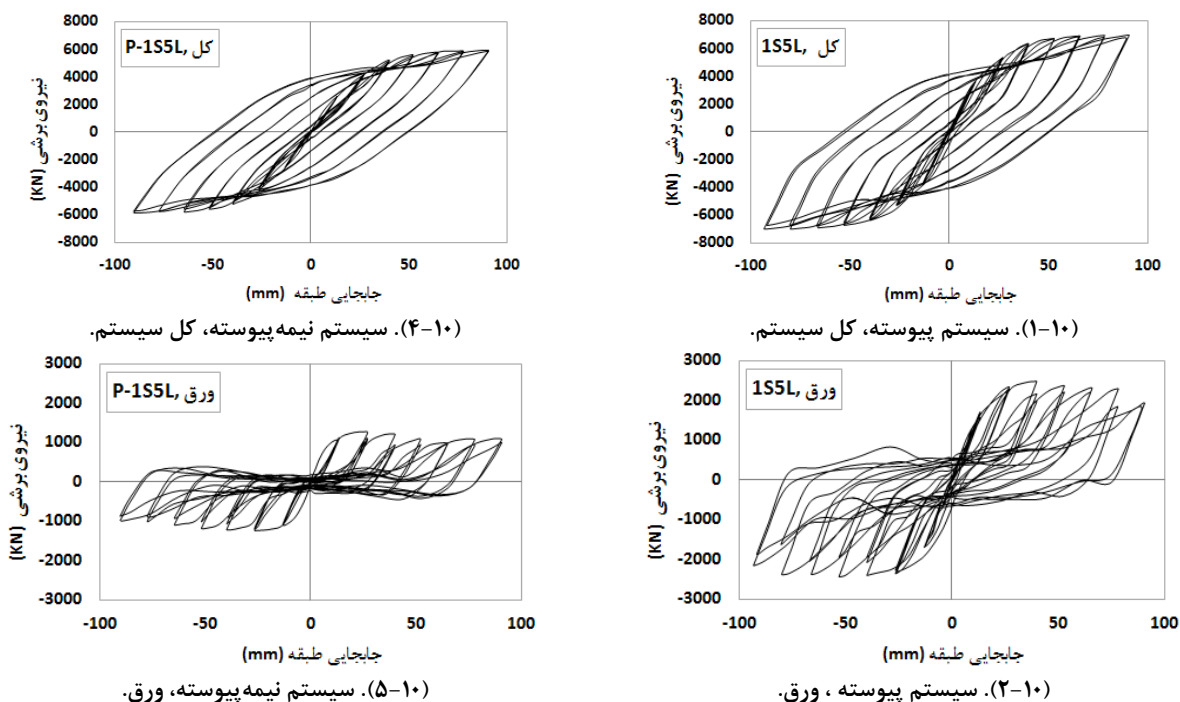
در این بخش با استفاده از نتایج آنالیز چرخه‌ای، رفتار سیستم‌های دیوار برشی فولادی پیوسته و نیمه پیوسته بررسی می‌شود. به این منظور جایجایی حد تسلیم (δy) که پارامتر اصلی در اعمال بارگذاری سیکلی است با استفاده از نتایج تحلیل پوش‌آور، تقریباً معادل با ۱۲/۵ میلیمتر برای سیستم‌های مختلف دیوار برشی فولادی پیوسته در نظر گرفته شد. به منظور انجام مقایسه، از یک الگوی یکسان بارگذاری برای سیستم‌های پیوسته و نیمه پیوسته استفاده می‌شود. بر اساس دستورالعمل ATC-24 [۲۶]، بارگذاری سیکلی با اعمال ۲۳ سیکل جایجایی به تراز تیر طبقه صورت می‌گیرد (شکل (۹)).



شکل (۹). تاریخچه جابجایی سیکلی مطابق [۲۶].

همانطور که در شکل (۹) دیده می‌شود، ۶ سیکل ابتدائی مبتنی بر جابجایی‌های کوچکتر از جابجایی تسلیم ($0.33\delta_y$ و $0.67\delta_y$) است و در سیکل‌های بعدی بارگذاری تا جابجایی معادل با ۷ برابر جابجایی حد تسلیم ($7\delta_y$) ادامه می‌یابد. به طور کلی با توجه به دستورالعمل ATC-24 [۲۶]، برای جابجایی‌های کوچکتر یا مساوی با ۳ برابر جابجایی حد تسلیم ($3\delta_y$)، سه سیکل بارگذاری، و برای جابجایی‌های بزرگتر از آن، دو سیکل بارگذاری در نظر گرفته می‌شود.

شکل (۱۰)، منحنی‌های هیستریزس ورق، قاب و کل سیستم را برای دو سیستم دیوار برشی فولادی پیوسته (IS5L) و نیمه پیوسته (P-IS5L) نشان می‌دهد. به جهت بررسی بهتر اندرکنش قاب و ورق در سیستم‌های دیوار برشی فولادی، منحنی رفتار هیستریزس قاب تنها (قاب بدون ورق) نیز در شکل (۱۰) نمایش داده شده است. نتایج در شکل (۱۰) به خوبی نشان می‌دهد جذب انرژی در سیستم دیوار برشی فولادی نیمه پیوسته، نسبت به حالت پیوسته کاهش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود، این کاهش در جذب انرژی سیستم نیز عمدتاً ناشی از کاهش ظرفیت سیستم و تا حدی افزایش پدیده تنگ شدگی در منحنی‌های هیستریزس رفتار سیستم است.

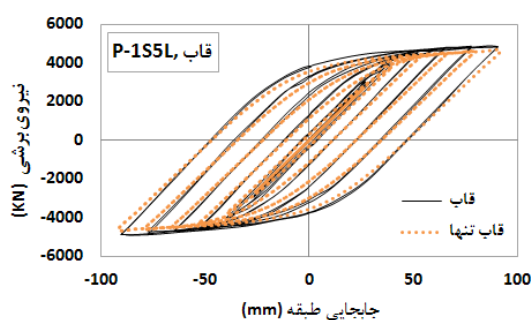


(۱۰-۴). سیستم نیمه پیوسته، کل سیستم.

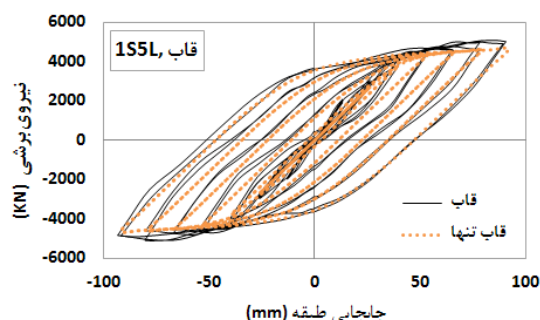
(۱۰-۱). سیستم پیوسته، کل سیستم.

(۱۰-۵). سیستم نیمه پیوسته، ورق.

(۱۰-۲). سیستم پیوسته، ورق.



شکل (۱۰). سیستم نیمه پیوسته، قاب.

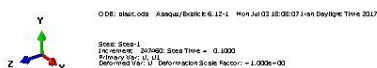
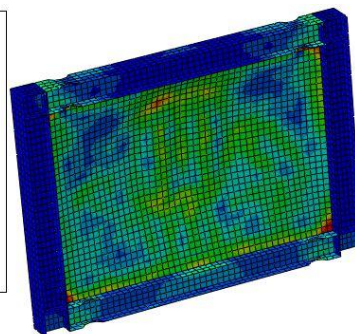
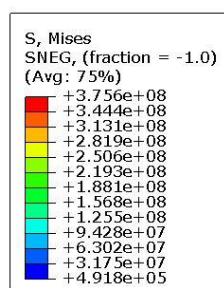
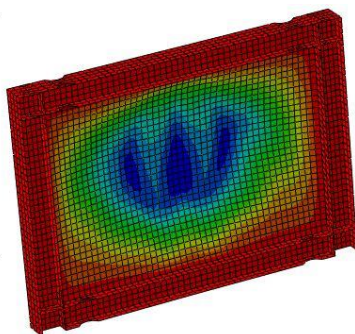
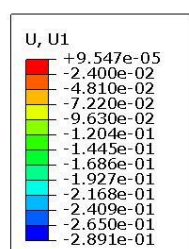


شکل (۱۰). سیستم پیوسته، قاب.

شکل (۱۰). منحنی‌های هیستریزیس سیستم‌های دیوار برشی فولادی پیوسته (1S5L) و نیمه پیوسته (P-1S5L).

۳-۳- نتایج تحلیل تحت بارگذاری انفجاری

در این بخش مدل‌های پیوسته و نیمه پیوسته که پیشتر در برابر نیروی جانبی بررسی شده‌اند، این بار تحت بار انفجار مورد مطالعه و مقایسه قرار می‌گیرند. برای این منظور با استفاده از [۲۰، ۱۹] بارگذاری انفجاری در نرم افزار آباکوس مدلسازی نموده و با استفاده از آئین‌نامه UFC [۲۱] به بررسی و تحلیل نتایج مدل‌ها می‌پردازیم. در اینجا فرض می‌کنیم که منبع انفجاری دقیقاً در رو به روی مدل قرار گرفته باشد و به منظور اثر بخشی بار انفجار، با توجه به [۲۷] منبع انفجاری در فاصله ۳۰/۵ متر و دقیقاً بر روی زمین به مقدار ۱۰۰۰ کیلوگرم TNT در نظر گرفته می‌شود. همچنین زمان رسیدن موج انفجار به دیوار ۰/۰۱ ثانیه در نظر گرفته شده و از آنجائی که بار انفجاری به صورت ضربه و در مدت زمان بسیار کوتاهی اعمال می‌شود، کل زمان بارگذاری به مدت ۰/۱ ثانیه لحاظ می‌گردد. همچنین، پاسخ‌های دینامیکی با استفاده از مدل CONWEP در نرم افزار آباکوس استخراج می‌شود. شکل (۱۱) یک نمونه از مدل‌های پیوسته تحلیل شده در نرم افزار آباکوس (1S5L) را تحت بارگذاری انفجاری نشان می‌دهد.

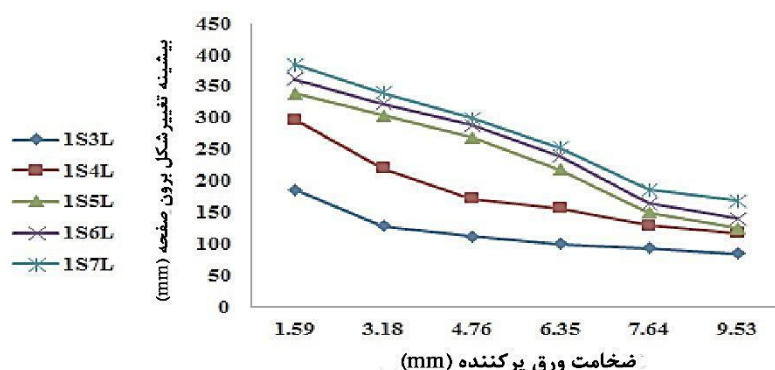


شکل (۱۱). بیشینه جابجایی عمود بر صفحه (m) در مدل

شکل (۱۱). تنش فون میز (N/m2) در مدل

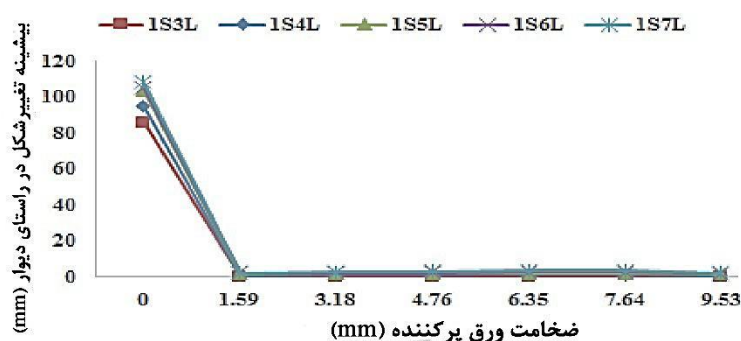
شکل (۱۱). یک نمونه از مدل‌های تحلیل شده در نرم افزار آباکوس (1S5L) تحت بارگذاری انفجاری.

نتایج در شکل (۱۱) نشان می‌دهد که در حالت کلی سیستم دیوار برشی فولادی پیوسته طراحی شده در برابر زلزله در برابر بار انفجاری تعریف شده نیز مقاوم است و دچار خرابی کلی نمی‌شود و صرفاً در مدل‌های مورد مطالعه، تغییر شکل و جابجائی‌های عمود بر صفحه موضعی غیرپیشرونده مشاهده می‌شود. در شکل (۱۲) تأثیر تغییرات ضخامت ورق پرکننده در سیستم دیوار برشی فولادی با اتصال پیوسته بر حداکثر جابجایی عمود بر صفحه ورق ناشی از انفجار را مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، با افزایش ضخامت ورق، دامنه حداکثر تغییر شکل‌های ورق ناشی از بار انفجاری کاهش نسبتاً چشمگیری می‌یابد.



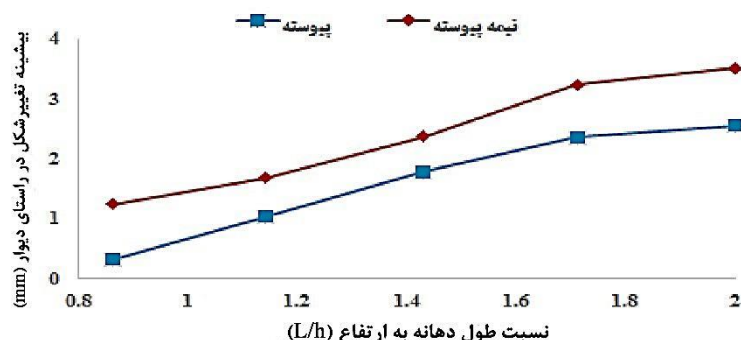
شکل (۱۲). بیشینه تغییر شکل‌های عمود بر صفحه در مرکز ورق در مدل‌های پیوسته دیوار برشی فولادی با ضخامت‌های متغییر.

شکل (۱۳) نیز حداکثر جابجایی را در صفحه دیوار برشی فولادی پیوسته تحت بار انفجاری برای ضخامت مختلف ورق پرکننده مورد بررسی قرار می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در صورت حضور ورق پرکننده، صرفنظر از ضخامت آن، عملاً تغییر شکل‌های درون صفحه دیوار برشی فولادی ناچیز هستند.

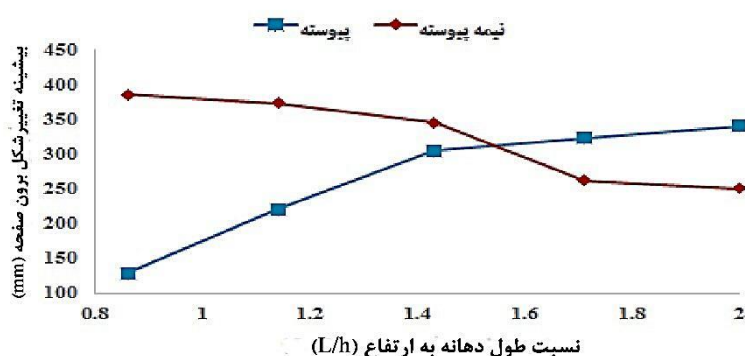


شکل (۱۳). بیشینه جابجایی در راستای دیوار در مدل‌های دیوار برشی فولادی

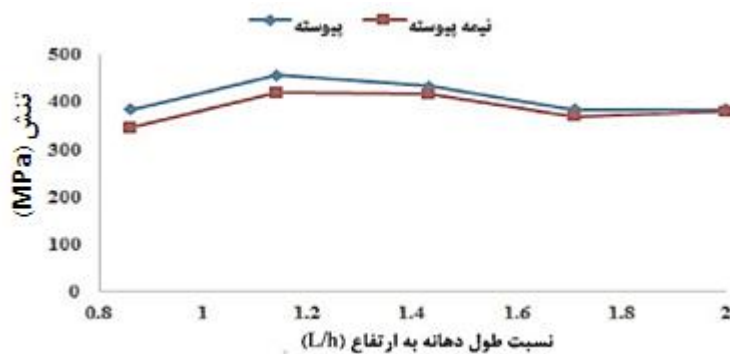
اشکال (۱۴) تا (۱۶) نیز به ترتیب، بیشینه جابجایی درون صفحه سیستم، بیشینه تغییر شکل عمود بر صفحه ورق و بیشینه تنش (فون میزس) ایجاد شده در کل دیوار برشی فولادی پیوسته و نیمه پیوسته را مقایسه می‌کنند. همانگونه که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود، با افزایش نسبت طول دهانه در هر دو سیستم پیوسته و نیمه پیوسته جابجایی‌های درون صفحه سیستم افزایش می‌یابد. البته همانطور که انتظار می‌رود در سیستم نیمه پیوسته، به علت کاهش سختی ورق، در مقایسه با سیستم پیوسته نظیر حداکثر مقدار جابجایی درون صفحه به میزان کمی بزرگتر است. نتایج در شکل (۱۵) نشان می‌دهد که با آزادسازی اتصال ورق از ستون‌ها، بسته به نسبت طول دهانه به ارتفاع، تغییر شکل‌های عمود بر صفحه ورق تحت بار انفجاری می‌تواند در مقایسه با سیستم پیوسته نظیر کاهش یا افزایش داشته باشد. نتایج در شکل (۱۶) نیز گویای این مسئله است که عملاً الگوی اتصال ورق به اعضای مرزی تأثیر چندانی در مقدار حداکثر تنش‌های فون میزس ایجاد شده در دو سیستم پیوسته و نیمه پیوسته ندارد. با توجه به شکل (۱۶)، تنش‌های فون میزس در دو سیستم پیوسته و نیمه پیوسته تحت تأثیر انفجار از حد تسلیم فراتر رفته است، لیکن موجب بروز خرابی در سیستم‌ها نشده است.



شکل (۱۴). مقایسه بیشینه جابجایی درون صفحه ورق در مدل‌های دیوار برشی فولادی پیوسته و نیمه پیوسته



شکل (۱۵). مقایسه بیشینه تغییر شکل عمود بر صفحه در مدل‌های دیوار برشی فولادی پیوسته و نیمه پیوسته



شکل (۱۶). مقایسه بیشینه تنش (فون میزس) ایجاد شده در مدل‌های دیوار برشی فولادی پیوسته و نیمه پیوسته

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، رفتار دیوارهای برشی فولادی پیوسته و نیمه پیوسته (که برای مقابله با بارهای زلزله طراحی شده بودند) با استفاده از روش المان محدود تحت بارگذاری‌های پوش‌آور، سیکلی و انفجاری مطالعه شد. در مطالعات، اثر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه، ضخامت ورق پرکننده و همچنین تأثیر اتصال ورق به ستون‌های قاب بررسی شد و رفتار سیستم‌ها از دیدگاه مقاومت، سختی، شکل‌پذیری، بیشینه تنش ایجاد شده در دیوار، و بیشینه جابجایی در درون صفحه و برون صفحه بررسی شد. نتایج برجسته بدست آمده عبارتند از:

- مقاومت ورق (یا کل سیستم) در سیستم‌های نیمه‌پیوسته نسبت به سیستم‌های پیوسته نظیر، به علت محدود شدن گسترش تسلیم در ورق، کاهش می‌یابد که با افزایش متناسب ضخامت ورق (با توجه به این کاهش) در سیستم نیمه‌پیوسته می‌توان این کاهش مقاومت را جبران نمود.

- با جدا کردن اتصال ورق از ستون‌های دیوار برشی فولادی، جذب انرژی در سیستم دیوار برشی فولادی کاهش می‌یابد. این کاهش در جذب انرژی سیستم نیز عمدتاً ناشی از کاهش مقاومت سیستم و تا حدی افزایش پدیده تنگ شدگی در منحنی‌های هیستریزیس رفتار سیستم است. با توجه به اینکه مقاومت و جذب انرژی قاب در دو سیستم پیوسته و نیمه‌پیوسته تقریباً یکسان است، علت اصلی کاهش نسبی جذب انرژی در سیستم نیمه‌پیوسته را می‌توان به کاهش نسبی مقاومت و جذب انرژی توسط ورق نسبت داد.

- به طور کلی، سیستم‌های پیوسته و نیمه‌پیوسته دیوار برشی فولادی که عملاً برای بارهای زلزله طراحی شده‌اند، رفتار نسبتاً مناسبی از خود تحت بارهای انفجاری تعریف شده (استاندارد) نشان دادند و دچار خرابی کلی نشدند.

- استفاده از ورق پرکننده، صرفنظر از ضخامت ورق و الگوی اتصال آن به اعضای مرزی (پیوسته یا نیمه‌پیوسته)، می‌تواند کاهش چشمگیری را در کاهش تغییرشکل‌های درون صفحه قاب تحت بار انفجاری داشته باشد.

مراجع

- [1] Canadian Standard Association, CSA-S16-01. (2001), *Limit state design of steel structures*, Toronto, Ontario.
- [2] Building Seismic Safety Council, 2003 NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA 450), (2004), *Federal Emergency Management Agency*.
- [3] AISC, ANSI/AISC 341-05, (2005), *Seismic provisions for structural steel buildings*, Chicago (IL): *American Institute of Steel Construction*.
- [4] AISC. Steel design guide 20, (2007), *steel plate shear walls*, Chicago (IL): *American Institute of Steel Construction*.
- [5] Xue, M. and Lu, L. (1994), Interaction of Steel Plate Shear Panels with Surrounding Frame Members, *Proceedings of the Structural Stability Research Council Annual Technical Session*, Bethlehem, PA, 339-54.
- [6] Jahanpour, A., Moharrami, H. and Aghakoochhak, A., (2011), Evaluation of Ultimate Capacity of Semi-Supported Steel Shear Walls, *Journal of Constructional Research*, 67(6), pp. 1022-30.
- [7] Choi, I. R. and Park, H. G., (2008), Ductility and energy dissipation capacity of shear-dominated steel plate walls, *Journal of Struct Eng-ASCE*, 134(9), pp. 1495-507.
- [8] Lubell, A., Prion, H.G.L., Ventura, C.E., and Rezai, M., (1998), Behaviour of Unstiffened Steel Plate Shear Walls under quasi-static loading, *Structural Engineers World Congress*, San Francisco, pp. 8.
- [9] Driver, R.G. and Gilbert, G.Y. and Behbahani-fard, M.R. and Hussain, M.A. (2001), Recent Development and Future Directions in Steel Plate Shear Wall Research, *Proceeding of North American Steel Construction Conference*, Ft. Lauderdale, FL, May 9-12.
- [10] Astaneh-Asl, A., (2000), Steel Plate Shear Walls, *Proceedings, U.S.-Japan Partnership for Advanced Steel Structures, U.S.-Japan Workshop on Seismic Fracture issues in Steel Structures*, San Francisco.
- [11] Kharrazi, M., Ventura, C., Prion, H., Sabouri-Ghomi, S., (2004), Bending and Shear Analysis and Design of Ductile Steel Plate Walls, *13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver*, B. C., Canada, August 1-6, PP. No. 77.
- [12] Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons, TM 5-855-1. (1986), *Department of the Army*, U. S., Washington.
- [13] Protective Construction Design Manual, ESL- TR-87-57. (1989), *Air Force Engineering and Services Centre*, U. S., Washington.
- [14] Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, TM 5-1300, (1990), Joint Departments of the Army, *Air Force and Navy*, U. S., Washington.
- [15] A Manual for the Prediction of Blast and Fragment Loading on Structures, DOE/TIC 11268, (1992), *Department of Energy*, U. S., Washington.
- [16] Primer for Design Safe School Projects In Case Of Terrorist Attacks (FEMA 428), (2003), *Federal Emergency Management Agency*.
- [17] Longinow, A. and K. R. Mniszewski, (1996), Protecting buildings against vehicle bomb attacks, *Practice Periodical on Structure Design and Construction*, pp. 51-54.

- [18] Hosseinzadeh, S.A.A. and Tehranizadeh, M. (2012), Introduction of stiffened large rectangular openings in steel plate shear walls, *Journal of Constructional Steel Research*, 77, pp. 180-192.
- [19] Moghimi, H., & Driver, R. G., (2014), Performance assessment of steel plate shear walls under accidental blast loads, *Journal of Constructional Steel Research*, 106, 44-56.
- [20] CONWEP. Conventional weapons effects. Vicksburg, (1992), MS: U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station.
- [21] UFC. Structure to resist the effects of accidental explosions, UFC 3-340-02, (2008), *United Facilities Criteria Program*. Washington, DC: U.S. Department of Defense.
- [22] AISC, ANSI/AISC 358-05, (2005), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Chicago (IL): *American Institute of Steel Construction*.
- [23] Habashi HR, Alinia MM., (2010), Characteristics of the wall-frame interaction in steel plate shear walls, *Journal of Constructional Steel Research*, 66:150-8.
- [24] Bruneau, M., Purba, R., Qu, B., Warn, G., Tsai, K. C., (۲۰۰۹), Innovation in Steel Plate Shear Wall Design, 6th *Center for Urban Earthquake Engineering (CUEE) conference*.
- [25] Hosseinzadeh, S.A.A. and Tehranizadeh, M., (2014), The wall-frame interaction effect in steel plate shear wall systems, *Journal of Constructional Steel Research*, 98, pp. 88-99.
- [26] ATC-24. Guidelines of cyclic seismic testing on components for steel structures, (1992), *Redwood City*, California, U.S.A.: Applied Technology Council.
- [27] Wensu Chen, Hong Hao, SHuyang Chen, Francisco Hernandez, (2015), Performance of composite structural insulated panel with metal skin subjected to blast loading, *Materials and Design*, 84, pp. 194-203.