

بررسی رفتار شکل پذیر بار افزون و چرخه‌ای سیستم دیوار با سخت کننده و ستون‌های

قوطی شکل پرشده با بتن

محمد کاظم شربتدار^{۱*}، علی مونس^۲

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

چکیده

با توجه به مزایای سیستم دیوارهای برشی فولادی به عنوان سیستم مقاوم جانبی (سختی، مقاومت، شکل پذیری، جذب انرژی)، رفتار چرخه‌ای سیستم دیوار برشی فولادی تقویت شده با سخت کننده‌های افقی و قائم و ستون‌های مرزی با مقطع قوطی شکل پرشده از بتن در این مقاله بررسی شده است. تحلیل چرخه‌ای و استاتیکی غیرخطی از نوع کنترل تغییر مکان با نرم افزار ABAQUS طبق الگوی تغییر مکان پروتکل ATC 24 انجام و منحنی‌های هیستریزس برای انواع مدل‌های استخراج گردید. بعد از اعتبارسنجی مدل‌های عددی با نتایج آزمایشگاهی، چهار مدل جدید دیوار برشی فولادی با سخت کننده‌های افقی و قائم به همراه ستون فلزی پرشده با بتن در نظر گرفته و تحلیل شد. نتایج حاصله نشان داد که دیوار برشی فولادی تقویت شده با سخت کننده و ستون‌های مرزی قوطی پرشده از بتن دارای مزیت بیشتر از ظرفیت پس کمانشی ورق فولادی بود و افزایش صلبیت ستون‌های مرزی در مدل تقویت شده باعث استفاده بیشتر مقاومت صفحه فولادی (مقاومت پس کمانشی) می‌شود. ضمناً نتایج نشان داد که انرژی جذب شده نمونه تقویت شده پرشده با بتن نسبت به نمونه مرجع تقویت نشده بدون بتن در بارگذاری بار افزون حدود ۱۱ درصد افزایش یافت درحالی که این نسبت برای انرژی جذب شده تجمعی در بارگذاری تجمعی حدود ۵،۱۵ برابر بود که نشان از تأثیر مثبت استفاده ترکیب سخت کننده و بتن دارد. ضمناً ضریب رفتار نمونه تقویت شده نیز حدود ۲۱ درصد افزایش یافته است.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی، سخت کننده، ستون فلزی بتنی، تحلیل چرخه‌ای، منحنی هیستریزس

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
10.22065/jsce.2017.80816.1124	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
doi: 10.22065/jsce.2017.80816.1124	۱۳۹۷/۱۰/۳۰	۱۳۹۶/۰۸/۰۲	۱۳۹۶/۰۸/۰۲	۱۳۹۶/۰۷/۱۹	۱۳۹۶/۰۵/۱۲
محمد کاظم شربتدار msharbatdar@semnan.ac.ir			*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:		

Cyclic and Push-over ductile behavior investigation of steel shear wall strengthened with stiffeners and boundary column filled with concrete

Ali Munesi¹, Mohammad Kazem Sharbatdar^{2*}

1- PhD Candidate, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

ABSTRACT

Based on the several advantages of steel shear walls as lateral resistant system (stiffness, strength, ductility and energy absorption), the cyclic and nonlinear analysis of steel shear walls strengthened with vertical and horizontal stiffeners and boundary columns filled with concrete was investigated in this paper and displacement controlled analysis at ABAQUS F.E. based on ATC24 protocol for different models were conducted. The numerical model was calibrated with experimental results and then four new steel shear wall models with vertical and horizontal stiffeners and steel column filled with concrete were considered and analysed. The hysteresis curves results conducted in this paper indicated that the steel shear wall with stiffeners and boundary column filled with concrete strength was higher than post-buckling strength, and the steel plate post-buckling strength was fully gained due to increasing rigidity of boundary columns. The absorption energy of strengthened specimen filled with concrete in push-over analysis was 11% higher than non-strengthened specimen without concrete, and also the total energy absorption at cyclic loading of strengthened specimen was 415% (5.15 time) comparing to non-strengthened specimen indicating that this combined stiffeners and concrete filled column was effective. The behaviour ratio of strengthened specimen was 21% more than that of non-strengthened specimen.

ARTICLE INFO

Received: 03/08/2017

Revised: 11/10/2017

Accepted: 24/10/2017

Keywords:

Rocking braced steel frame, seismic design parameters, collapse assessment, collapse margin ratio, fragility curve

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2017.80816.1124

*Corresponding author: Mohammad Kazem Sharbatdar

Email address: msharbatdar@semnan.ac.ir

۱- مقدمه

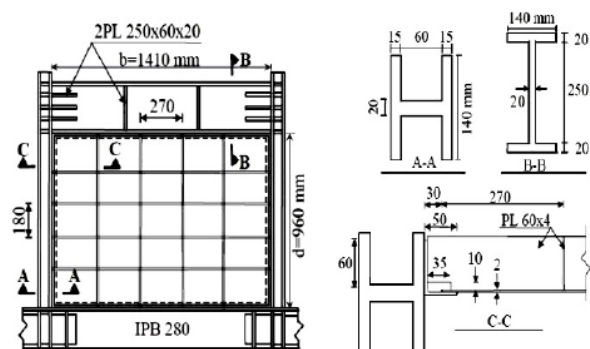
با توجه به خسارات و تلفات ناشی از زلزله در کشورهای زلزله خیز، خصوصاً کشور ایران که روی گسل‌های فعال قرار داشته، لزوم طراحی سازه‌های مقاوم در برابر بارهای زلزله را امری اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. لذا در طول زمان سیستم‌های باربر جانبی مختلفی توسط پژوهشگران و محققین برای مقاومت در مقابل بارهای جانبی زلزله ارائه گردیده است و این روند از میان قاب‌های ساختمان‌های سنتی (مصالح بنایی) تا معرفی سیستم‌های مقاوم سازه‌ای ادامه داشته است. پس سیستم دیوار برشی فولادی (Steel shear wall) که یکی از مناسب‌ترین سیستم‌های رایج جهت مقاومت و پایداری سازه در برابر بارهای جانبی می‌باشد در مناطق لرزه خیز در مقاوم‌سازی و بهسازی سازه‌ها بکار گرفته می‌شود و در سه دهه اخیر به سرعت در دنیا مورد توجه قرار گرفته و از این سیستم برای ساخت و مقاوم‌سازی ساختمان‌های مهمی در دنیا به ویژه در کشورهای زلزله خیزی چون ژاپن و آمریکا استفاده شده است و از سیستم‌های نوین لرزه‌ای به حساب می‌آیند، که از سال ۱۹۹۴ مورد تأیید آیین‌نامه فولاد کانادا قرار گرفته و از سال ۲۰۰۵ نیز آیین‌نامه فولاد آمریکا آن را به رسمیت شناخته است (آیین‌نامه‌های کانادا و آمریکا صرفاً به ارائه ضوابط در مورد دیوارهای بدون سخت‌کننده اکتفا می‌کنند و دیوارهای دارای سخت‌کننده را از مباحث مطروحه خارج می‌کنند و آیین‌نامه ایران به صراحت اعلام کرده است در حوزه‌هایی که وارد بحث شده، رعایت ضوابط آن از سوی مهندسین الزامی است و در حوزه‌هایی که آیین‌نامه به آن‌ها ورود نکرده است مهندسین مجاز هستند به ضوابط آیین‌نامه‌های معتبر کشورهای دیگر مراجعه کنند. البته استاندارد ۲۸۰۰ در ویرایش چهارم [1]، برای سیستم دیوار برشی فولادی، ضریب رفتار ۹ را (بر اساس روش تنش مجاز) پیشنهاد کرده است و به این ترتیب بر کفایت این سیستم صحنه گذاشته است. روش‌های مختلفی برای تعیین ضریب رفتار وجود دارند که متداول‌ترین آن‌ها روش‌های به کار گرفته شده در آیین‌نامه‌های اروپایی، آیین‌نامه کانادا و روش‌های انرژی می‌باشد. در این تحقیق برای تعیین ضریب رفتار نمونه‌های دیوار برشی از روش دوخطی یوانگ [2] استفاده شده است. تاکنون مطالعات تئوری و آزمایشگاهی فراوانی در خصوص رفتار دیوار برشی فولادی انجام شده است که این تحقیقات مؤید تأمین همزمان سختی، مقاومت و شکل‌پذیری در دیوارهای برشی فولادی می‌باشد [3]. همچنین آستانه اصل ضرایب رفتار را برای دیوار برشی فولادی پیشنهاد داده است [4] و این دیوارها ممکن است به دو صورت ورق با سخت‌کننده یا ورق بدون سخت‌کننده به کار می‌روند، تحقیقات آزمایشگاهی زیادی بر روی دیوار برشی بدون سخت‌کننده با ورق نسبتاً نازک انجام شده است [5] ولی در ارتباط با دیوارهای برشی فولادی با سخت‌کننده آزمایش‌های محدودی انجام شده است [6]. خرازی [7] دیوارهای برشی یک دهانه و یک طبقه را آزمایش کردند. ویان و برونو [8] نمونه‌ای از دیوار برشی فولادی یک دهانه و یک طبقه را آزمایش کردند و هدف از این آزمایش بررسی عملکرد فولاد نرم بود. قلمکی [9] دو نمونه دیوار برشی فولادی یک دهانه سه طبقه بدون سخت‌کننده را آزمایش کردند. رهنورد و همکارانش تحقیقاتی در خصوص پارامترهای مهم عددی در دیوار برشی کامپوزیت انجام دادند [10].

عناصر مقاوم در مقابل نیروهای جانبی مؤثر بر یک سازه مانند باد یا زلزله، قاب‌های خمشی، مهاربندها، دیوارهای برشی و یا دوگانه (ترکیبی از آن‌ها) می‌باشند. استفاده از قاب خمشی به عنوان عنصر مقاوم در برابر بارهای جانبی زلزله، احتیاج به جزئیات خاصی دارد که باید شکل‌پذیری مورد نیاز آن را تأمین کند. این جزئیات از لحاظ اجرایی غالباً دست و پاگیر بوده و در صورتی می‌توان از اجرای دقیق آن‌ها مطمئن شد که کیفیت اجرا و نظارت کارگاهی خیلی خوب باشد. به دلیل عدم تحقق این امر و در جهت کنترل تغییر مکان جانبی سازه در اثر بارهای جانبی و تأمین شکل‌پذیری مورد نیاز سیستم دیوار برشی فولادی با بهره‌گیری از مفهوم میدان کشش قطری همانند تیرورق‌ها، در ساختمان‌های متوسط و بلند کشورهای ایالات متحده آمریکا، ژاپن و کانادا به عنوان سیستم مقاوم جانبی مطلوب مورد استفاده قرار گرفته است. سیستم دیوار برشی فولادی در ساختمان‌های با مترای زیاد و همچنین ساختمان‌های بلند، اقتصادی‌تر از سیستم قاب خمشی می‌باشد. دیوار برشی فولادی متشکل از یک ورق نازک فولادی است که توسط تیرها و ستون‌های قاب فولادی احاطه می‌شود و تیرها و ستون‌ها می‌توانند از فولاد ساختمانی با مقاومت معمولی (ST37) یا فولاد با مقاومت بالا (ST52) و برای دیوار برشی فولادی از ورق نازک با مقاومت تسلیم پایین یا عادی استفاده نمود. از جمله ساختمان‌های ساخته شده با این سیستم می‌توان بیمارستان ۶ طبقه در لوس آنجلس (Olive view) در اوایل دهه ۸۰ میلادی، و برج ۵۱ طبقه شیت‌جوکونومورا در توکیو استفاده شده است [11]. ساختمان بین‌المللی لاس وگاس (Cosmopolitan) در سال ۲۰۰۹ و ساختمان اداری ۳۵ طبقه در کوبه (High rise). به طوری که ساختمان بیمارستان ۶ طبقه (Olive view) در لوس آنجلس و ساختمان اداری ۳۵ طبقه در کوبه (High rise) دو سازه مهمی هستند که در آن‌ها از سیستم دیوار برشی فولادی به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی استفاده شده و دو زلزله شدید نورث‌بریج (Northridge) و کوبه را پشت سر گذاشته‌اند و مطالعات

انجام شده بر روی این دو ساختمان پس از زلزله همگی از رفتار بسیار خوب سیستم دیوارهای برشی فولادی در طول زلزله و وارد شدن کمترین خسارت به این دو ساختمان حکایت می‌کنند. همچنین شیشکین و همکارانش تحقیقات وسیعی روی رفتار پانل دیوار برشی ورق فولادی انجام دادند و دریافتند که رفتار دیوارهای برشی سخت شده تحت بارهای سیکلی بهتر از پانل‌های سخت نشده است و بسیاری از تحقیقات عددی خود را برای دیوارهای برشی ورق فولادی ارائه دادند [12]. طی بیست سال اخیر، تعداد قابل ملاحظه‌ای از تحقیقات در آمریکای شمالی و ژاپن بر روی رفتار دیوارهای برشی مرکب حین بارهای رفت و برگشتی و مدل‌های تحلیلی در این دیوارها متمرکز شده است. با وجود اینکه داده‌های تحقیقاتی بارزنی از این نوع سیستم در دسترس بوده و ضمن اینکه تعداد زیادی از ساختمان‌های مهم نیز بر مبنای این سیستم سازه‌ای بنا شده است، اطلاعات مربوط به طراحی لرزه‌ای این سیستم در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای موجود بسیار محدود می‌باشد. صبوری و روبرتز [13]، نتایج ۱۶ آزمایش پانل برشی فولادی با بارگذاری قطری را گزارش داده‌اند. نمونه‌ها در این آزمایشات شامل صفحات فولادی که در درون یک قاب قرار گرفته و دارای اتصال مفصلی بودند. ابعاد پانل‌های فولادی ۱۲*۱۲ اینچ یا ۱۲*۱۸ اینچ و ضخامت ورق فولادی ۱/۳۲ اینچ یا ۳/۶۴ اینچ می‌باشند بعضی از پانل‌ها نیز دارای سوراخ بودند. آزمایشات نشان داد که همه پانل‌ها شکل‌پذیری کافی را دارا بوده و چهار تکیه‌گاه بارهای غیرخطی بزرگ را تحمل می‌کنند. حلقه‌های هیستریزس در تحقیق روبرتز نشان می‌دهد که بدون کمترین کاهش در مقاومت شکل‌پذیری نمونه‌ها به بیش از ۷ می‌رسد. یکی از جنبه‌های جالب این برنامه آزمایشی تحقیق اثر سوراخ در مقاومت و سختی دیوار بود محققان به این نتیجه رسیدند که مقاومت و سختی با افزایش ابعاد سوراخ (1-D/d) به‌طور خطی کاهش می‌یابد. تکنولوژی طراحی و ساخت دیوار برشی فولادی طی سال‌های اخیر پیشرفت چشم‌گیری داشته است و ضوابط طراحی و اجرای آن در آیین‌نامه‌های مختلف مانند آیین‌نامه فولاد، آیین‌نامه لرزه‌ای AISC و ضوابط FEMA 450 وارد شده است.

۲- صحت سنجی دیوار برشی‌های فولادی تحلیل شده

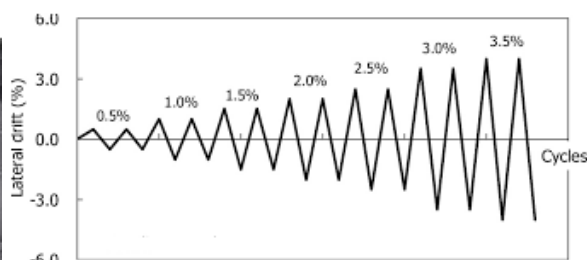
کمانش دو تأثیر عمده در سیستم دیوار فولادی دارد اول اینکه باعث کاهش مقاومت و سختی سیستم می‌گردد و دوم اینکه با ایجاد تغییر شکل زیاد باعث بروز مشکلات معماری می‌گردد. به‌منظور افزایش مقاومت دیوار از طریق جلوگیری از کمانش صفحه فولادی از سخت‌کننده‌ها استفاده می‌شود. استفاده از سخت‌کننده‌ها با وجود اینکه باعث افزایش مقاومت می‌گردد اما دارای هزینه اجرایی قابل توجه و نیازمند صرف زمان زیادی می‌باشد، از طرفی صفحه فولادی پس از کمانش نیز می‌تواند نیروی قابل توجهی را تحمل کند رفتار بعد از کمانش ورق که با ایجاد عمل ناحیه کششی در ورق صورت می‌گیرد محققان را واداشت که با استفاده از دیوار برشی فولادی تقویت شده با سخت‌کننده‌ها، تقریباً از تمام ظرفیت برشی دیوار تا رسیدن به گسیختگی استفاده کنند. برای جلوگیری از کمانش ورق فولادی، در سال‌های اخیر نوع خاصی از دیوار برشی مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته که مرکب از دیوار برشی با صفحه فولادی همراه با سخت‌کننده می‌باشد. همچنین استفاده از ستون‌های پر شده توسط بتن جهت افزایش سختی و مقاومت ستون صورت گرفته است. در این تحقیق برای صحت سنجی از مدل اصلی سیستم دیوار برشی فولادی صبوری و همکاران [13] استفاده شده و در محیط نرم‌افزاری اجزای محدود ABAQUS [14] مدل‌سازی شده است. شکل ۱ نمونه اصلی آزمایشگاهی دیوار برشی همراه با سخت‌کننده‌های افقی و قائم در یک‌طرف دیوار را پس از کمانش در ورق تحت بار یکنواخت نشان می‌دهد. شکل ۲ نمونه‌ای از مش بندی مدل عددی مشابه مدل آزمایشگاهی و تغییر مکان مدل را نشان می‌دهد. بارگذاری چرخه‌ای از نوع رفت و برگشتی طبق پروتکل ATC24 [15] مطابق شکل ۳ به مدل‌ها اعمال شده است. برای مدل‌سازی اجزاء تیر، ستون‌ها، پانل‌های برشی و سخت‌کننده‌های عمودی و افقی نمونه‌ها از المان چهار گره ای پسته‌ای با انتگرال‌گیری کاهش یافته (S4R) استفاده و برای مش بندی نمونه‌ها از مش منظم مکعبی به ابعاد ۵۰ میلی‌متر استفاده شده است. اتصال تیر به ستون، پانل به قاب و سخت‌کننده‌ها به پانل و قاب اطراف به‌صورت گیردار در نظر گرفته شده است. جنس مصالح پانل از فولاد ST14 با تنش تسلیم ۱۹۲ مگاپاسگال و جنس تیر و ستون‌های قاب اطراف از فولاد St52، و سخت‌کننده‌های افقی و قائم پانل نیز از فولاد ST37 انتخاب گردیده‌اند. مدول الاستیسیته فولاد مصرفی 210 گیگاپاسگال و ضریب پواسون ۰٫۳ در نظر گرفته شده است. برای تعریف مشخصات پلاستیسیته مصالح از منحنی دوخطی تنش کرنش الاستو پلاستیک فولاد مطابق شکل ۴ استفاده شده است. در شکل ۴، σ_y تنش تسلیم، E_s کرنش تسلیم و E_u کرنش نهایی مصالح می‌باشد. مصالح تعریف شده دارای قابلیت سخت‌شوندگی سینماتیک می‌باشد از معیار فون مایزس برای گسیختگی استفاده شده است. تشکیل میدان کشش قطری در شکل ۵ نشان داده شده است.



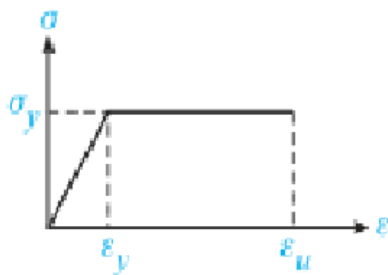
شکل ۱: مشخصات نمونه آزمایشگاهی صبوری و همکاران [13]



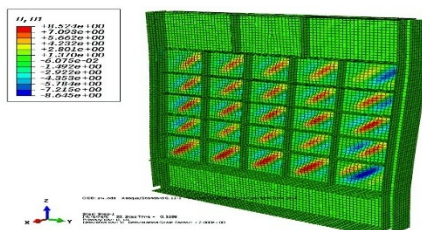
شکل ۳: بارگذاری چرخه‌ای پروتکل ATC24 [15]



شکل ۲: نمونه آزمایشگاهی مدل صبوری و همکاران [13]

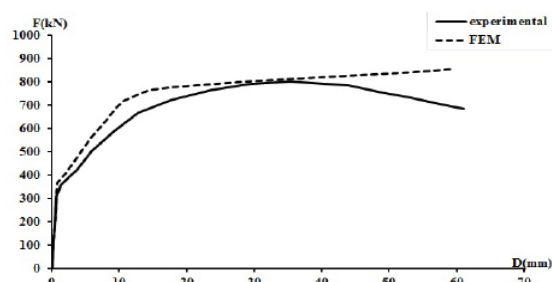


شکل ۴: منحنی دوخطی تنش کرنش الاستو پلاستیک فولاد [13]



شکل ۵: تشکیل میدان کشش قطری (مقاومت پس کمانشی) مدل صبوری و همکاران

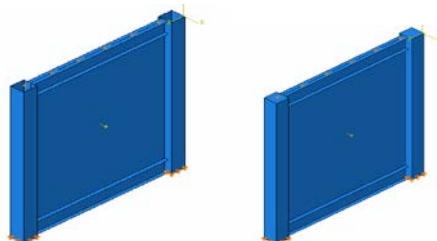
همچنان که از شکل ۶ پیداست حداکثر نیروی برشی برای نمونه آزمایشگاهی و مدل عددی به ترتیب ۸۰۰ کیلونیوتن و ۸۲۶ کیلونیوتن می‌باشد که اختلاف حداکثر نیروی برشی در این مدل‌ها ۲٪ می‌باشد و نتایج حاکی از انطباق قابل قبول میزان سختی و مقاومت می‌باشد.



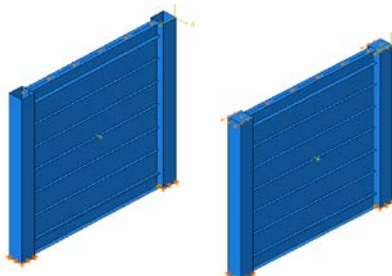
شکل ۶: مقایسه منحنی برش پایه تغییر مکان برای نمونه آزمایشگاهی و مدل عددی

۳- مدل‌های مورد مطالعه

پس از صحت سنجی مدل‌های تحلیلی ساخته شده و نتایج آزمایشگاهی و داشتن دقت نسبی، در این تحقیق، چهار مدل اصلی سیستم دیوار برشی فولادی بدون تقویت و تقویت شده با سخت‌کننده‌های افقی و قائم و ستون‌های پر شده از بتن در محیط نرم افزار اجزای محدود ABAQUS مدل‌سازی شده است. نمونه UCUS به عنوان مدل بدون بتن و بدون سخت‌کننده و نمونه UCS به عنوان مدل بدون بتن و با سخت‌کننده و نمونه CUS به عنوان مدل با بتن و بدون سخت‌کننده و نهایتاً نمونه CS به عنوان مدل با بتن و با سخت‌کننده می‌باشند. طبق طراحی صورت گرفته، ستون‌های مرزی با مقطع قوطی BOX 300*300 میلی‌متر و ورق فولادی و سخت‌کننده‌ها به ضخامت ۸ میلی‌متر و بال‌های تیرهای بالا و پایین دیوار برشی به ابعاد ۱۵۰*۸ و جان ۳۰۰*۸ میلی‌متر می‌باشد. ورق فولادی استفاده شده در نمونه‌ها با تنش تسلیم ۲۸۰ مگا پاسکال و تیرها و ستون‌ها از فولاد A572 با تنش تسلیم ۳۴۵ مگا پاسکال می‌باشد. بارگذاری چرخه‌ای از نوع رفت و برگشتی طبق پروتکل ATC24 به مدل‌ها اعمال شده است. برای مدل‌سازی فولاد از المان S4R و برای مدل‌سازی بتن از المان C3D8R استفاده شده است. نمونه‌های عددی به همراه شرایط مرزی در شکل ۷ نشان داده شده‌اند.



الف- بدون سخت‌کننده و ستون‌های مرزی قوطی خالی (UCUS) ب- بدون سخت‌کننده و ستون‌های مرزی قوطی پر شده از بتن (CUS)



ج- با سخت‌کننده و ستون‌های مرزی خالی (UCS) د- با سخت‌کننده و ستون‌های مرزی قوطی شکل پر شده از بتن (CS)

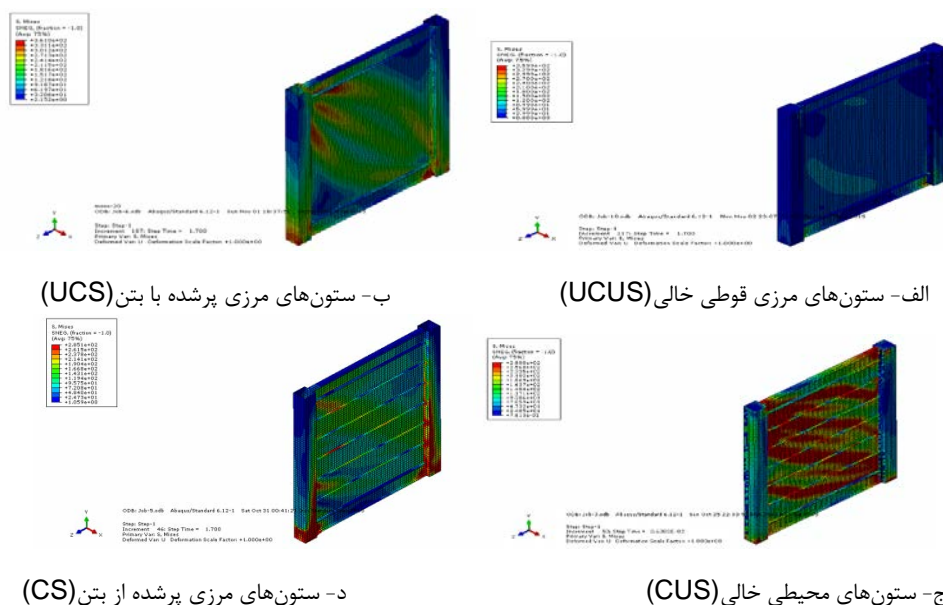
شکل ۷: نمونه‌های دیوار برشی فولادی عددی و شرایط مرزی

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

در این تحقیق جهت تعیین تغییر مکان نظیر جاری شدن در نرم افزار ABAQUS با اعمال بارگذاری یک طرفه از نوع تیر و به بالاترین نقطه سازه، تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل های یک طبقه و یک دهانه دیوار برشی فولادی ورق نازک تقویت نشده و تقویت شده با سخت کننده های افقی و قائم در دو حالت ستون های مرزی قوطی خالی و پر شده از بتن تغییر مکان مذکور تعیین می شود. همچنین تحلیل چرخه های با اعمال بارهای چرخه ای از نوع کنترل تغییر مکان طبق الگوی بارگذاری چرخه ای در محیط نرم افزار ABAQUS برای انواع مدل ها انجام می شود. خروجی تحلیل های چرخه ای، منحنی های هیستریزیس می باشد که منحنی های مذکور برای ارزیابی رفتار انواع مدل ها از لحاظ مشخصه های رفتاری عمده شامل سختی، مقاومت، شکل پذیری و جذب انرژی و وضعیت جمع شدگی منحنی هیستریزیس و غیره مورد استفاده قرار می گیرد.

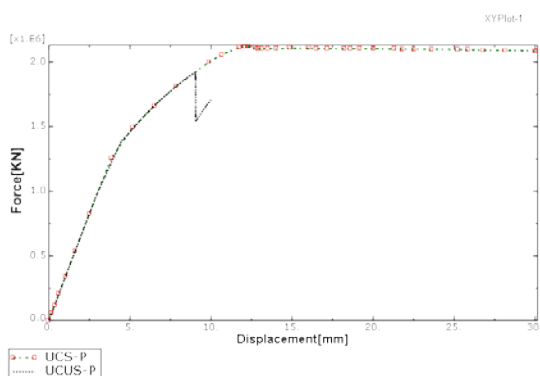
• تحلیل نتایج بار افزون (Push Over)

دیاگرام تنش نمونه ها تحت بارگذاری یک طرفه بار افزون در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به نحوه توزیع در شکل ۸- الف تمرکز تنش در اطراف اتصال تیر به ستون مشاهده می شود در حالی که در نمونه با ستون پر شده با بتن این تمرکز تنش مشهود نیست. اما در نمونه های دارای سخت کننده حداکثر تنش در قسمت های میانی سخت کننده ها و به صورت تقریباً یکنواخت در سرتاسر دیوار توزیع می گردد.

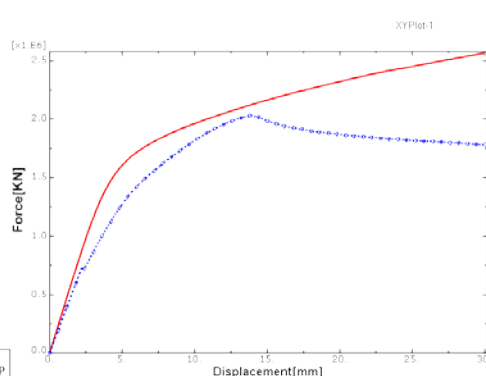


شکل ۸: دیاگرام تنش نمونه های عددی دیوار با سخت کننده

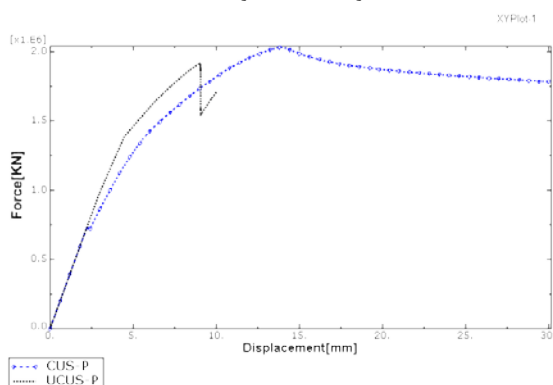
منحنی های بار-تغییر مکان بار افزون نمونه ها تحت بارهای یکنواخت در شکل ۹ نشان داده شده اند. شکل ۹- الف برش پایه -تغییر مکان مدل بدون تقویت (بدون سخت کننده و ستون های مرزی قوطی خالی) را در مقایسه با نمودار برش پایه -تغییر مکان مدل تقویت شده، سختی یکسان و همچنین مقاومت تقریباً یکسانی را نشان می دهد که عدم دقت در چنین دیاگرامی را نسبت به دیاگرام چرخه ای را نشان می دهد که در نمونه تحت بار چرخه ای این اشکال رفع شده است. در مقایسه دیاگرام نمونه CUS با CS در شکل ۹- ب سختی تقریباً یکسان بدست آمده است که با دیاگرام شکل ۹- الف تقریباً همخوانی داشته است. استفاده از بتن در دیوار با سخت کننده مفیدتر از دیوار بدون سخت کننده بوده است که تأیید این مسئله افت مقاومت در نمونه CUS ناشی از کماتش ورق فولادی در اندرکنش با ستون های بتنی می باشد. با مقایسه دیاگرام CUS و UCUS تحت بار یکنواخت در شکل ۹- ج نتیجه می شود که بتن در ستون باعث می شود که مقاومت و سختی نمونه افزایش یابد.



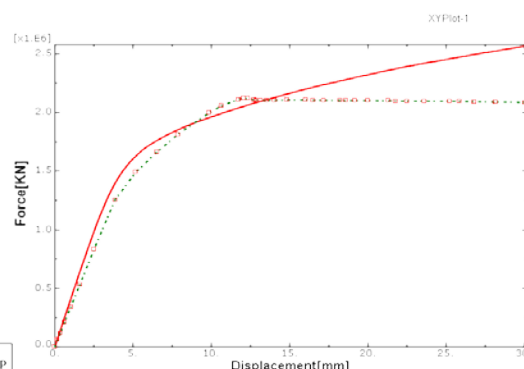
ب- نمونه CUS با نمونه CS



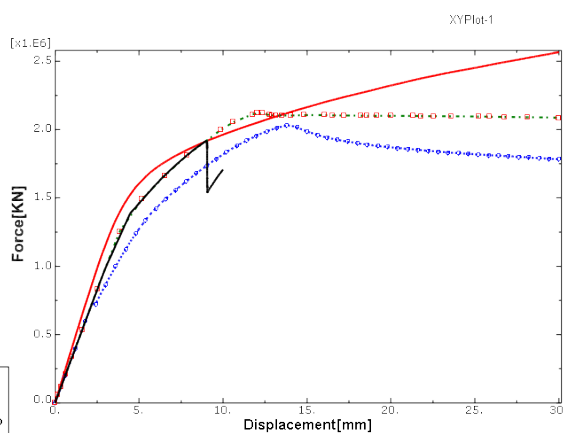
الف- نمونه UCUS با نمونه UCS



د- نمونه UCS با نمونه CS



ج- نمونه CUS با نمونه UCUS



5- نمونه های CS, UCS, CUS, UCUS

شکل ۹: مقایسه منحنی بار-تغییر مکان نمونه‌ها با یکدیگر تحت بار یکنواخت

با مقایسه دیاگرام UCS با CS تحت بار یکنواخت در شکل ۹- نشان داد که هر دو نمونه دارای سخت‌کننده می‌باشند در حالی که نمونه با بتن همانند دیاگرام قبلی افزایش سختی و افزایش مقاومت را نسبت به نمونه بدون بتن را نمایش می‌دهد. ضمناً مقایسه منحنی بار-تغییر مکان همه نمونه‌ها در شکل ۹-۵ داده شده است. بررسی و ارزیابی پویایی سازه‌های ساختمانی در برابر لرزه‌های شدید، با وجود اینکه طراحی آن‌ها بر اساس مقاومتی به مراتب پایین‌تر از مقاومت مورد نیاز الاستیک انجام می‌گیرد. نشان داده است که این‌گونه سازه‌ها به دلیل رفتار غیرخطی مصالح مصرفی و امکان تغییر شکل کافی سیستم سازه‌ای قادرند که در برابر زلزله‌های شدید، مقاومت کافی از خود نشان دهند. در حقیقت چنین سازه‌هایی با تحمل تغییر مکان‌های زیاد در رفتار لرزه‌ای غیرخطی، انرژی ورودی زلزله را جذب و مستهلک می‌نمایند. با توجه به چنین ویژگی، در این بخش به بیان رفتار لرزه‌ای واقعی سازه‌ها در برابر زلزله پرداخته و پارامترهایی مانند پارامترهای نیاز و ظرفیت که در تحلیل غیر الاستیک سازه‌ها نقش دارند مورد مطالعه و بررسی قرار خواهند گرفت. تا چند سال قبل، مفهومی از نام‌های کلی «ضریب

رفتار»، ضریب اصلاح پاسخ سازه، ضریب کاهش نیرو و یا ضریب کاهش مقاومت سازه در تاریخچه طراحی سازه‌ها وجود نداشت و برای طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها، این‌گونه عمل می‌شد که درصدی از وزن ساختمان به‌صورت بار افقی معادل بار زلزله به ساختمان اثر داده می‌شد و ساختمان برای آن طراحی می‌گردید. به‌عبارت‌دیگر نیروی معادل افقی به‌صورت $V = C_1 W$ محاسبه می‌گردید که در آن W وزن ساختمان و C_1 یک ضریب به‌صورت درصدی از وزن ساختمان (در حدود $0.1w$) است. در طی دهه‌های اخیر، برای تعدیل پاسخ خطی و الاستیک سازه به این نیرو، مفاهیمی خاص ارائه‌شده است. تا اواخر دهه هفتاد میلادی، از ضریب K برای این تعدیل استفاده می‌شد. این ضریب مستقیماً در ضریب C_1 ضرب شده و تعدیل موردنظر صورت می‌گرفت. $(V = ZIKC_1SW = KC_1W)$ دستیابی به این ضرایب برای سیستم‌های گوناگون سازه‌ای، به‌صورت استنباطی بوده، عمدتاً بر اساس قضاوت مهندسی تهیه‌کنندگان آئین‌نامه‌ها بعضاً هم تطابق کامل با واقعیت نداشت. مفهوم اخیر مورد استفاده بود تا اینکه K جای خود را به ضریب رفتار (R) داد. رفتار کلی یک سازه متعارف به‌صورت منحنی برش پایه و جابجایی افقی یک درجه آزادی مشخص در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است. در این شکل منحنی‌های بازتاب غیرخطی (شامل بازتاب واقعی و بازتاب دوخطی ایده آل شده) قابل تفکیک و تشخیص هستند. محورهای قائم در این شکل به ترتیب بیانگر مقاومت پایه سازه و تغییر مکان جانبی نسبی طبقه هستند.



شکل ۱۰: منحنی‌های رفتار الاستیک و غیر الاستیک سازه‌ها

تخمین بار مؤثر ناشی از زلزله به ساختمان در روش‌های تخریب لرزه‌ای سازه‌ها در اغلب آئین‌نامه‌ها مانند UBC و استاندارد ۲۸۰۰ ایران [1] بر پایه تحلیل‌های الاستیک خطی قرار دارد. این نیروها به علت آنکه سازه‌ها دارای رفتار غیرخطی هستند، با استفاده از ضریب کاهش مقاومت طراحی سازه‌ها یا ضریب رفتار، کاهش یافته و بدین‌وسیله تصحیح می‌شوند. این ضرایب از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$R = \frac{V_{elastic}}{V_{design}} = \frac{V_e}{V_{design}} \quad (1)$$

در رابطه ۱، V_e برابر مقاومت الاستیک موردنیاز زلزله و V_{design} مقاومت طراحی سازه‌ها است. با توجه به اینکه روش‌های طراحی در دو سطح بار نهایی در آئین‌نامه بتن ایران [16] آئین‌نامه ACI [17] و ضرایب بار مقاومت در فولاد و LRFD [18] و یا بار مجاز (آئین‌نامه ۲۸۰۰ ایران) [1] است، بنابراین V_{design} می‌تواند به ترتیب یکی از دو مقدار V_s (مقاومت متنظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک در سازه) یا V_w (مقاومت متنظر با حد ارتجاعی سازه) را به خود اختصاص دهد و رابطه (۲) را می‌توان به‌صورت‌های زیر نیز نوشت:

$$R_{\mu} = \frac{V_s}{V_e} R_w = \frac{V_s}{V_w} \quad (2)$$

که در رابطه فوق، R_{μ} همان ضریب رفتار بر مبنای تنش‌های تسلیم و R_w همان ضریب رفتار بر مبنای تنش‌های حد مجاز است. یادآوری می‌شود علت آنکه طراحی در دو سطح V_s یا V_w انجام می‌پذیرد به خاطر آن است که رفتار سازه را در این سطح می‌توان با یک مدل الاستیک خطی ارزیابی نمود. بین این دو سطح طراحی رابطه ۳ برقرار است.

$$\frac{V_s}{R_w} = y = \frac{R_w}{R_{\mu}} \quad (3)$$

در رابطه فوق y ضریبی است که بر اساس نحوه برخورد آئین‌نامه‌های مصالح با تنش‌های طراحی (تنش تسلیم یا تنش مجاز) تعیین می‌شود و مقدار این ضریب در حدود $1/7 \sim 1/4$ ارزیابی شده است. در آئین‌نامه [19]UBC97 مقدار این ضرایب $1/4$ ارائه شده است. مقدار R برای هر سیستم سازه‌ای به پارامترهای ظرفیت جذب انرژی، اضافه مقاومت مورد انتظار، درجه نامعینی درجات آزادی، شکل منحنی نیرو-جابجایی، زمان تناوب اصلی سازه، میرایی لرزی و اصطکاکی سازه، نوع زمین و خصوصیات زلزله گذشته بستگی دارد. بنابراین R از رابطه ۴ قابل محاسبه است.

$$R = \frac{V_g}{V_s} = R_s R_\mu \quad (4)$$

در رابطه فوق R_μ ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری و R_s ضریب کاهش ناشی از مقاومت می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$R_\mu = \frac{V_g}{V_y} \quad (5)$$

بطوریکه V_y مقاومت متناظر با حد کلی سازه قبل از فروریختگی کلی سازه (از بین رفتن پایداری سازه) است. همچنین R_s از رابطه ۶ قابل محاسبه است:

$$R_s = \frac{V_y}{V_s} \quad (6)$$

در رابطه فوق C_s مقاومت متناظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک در سازه است. به طور خلاصه می‌توان نوشت:

$$R = \frac{V_g}{V_s} = \frac{V_g}{V_y} \times \frac{V_y}{V_s} = R_\mu \times R_s$$

$$R_w = \frac{V_g}{V_w} = \frac{V_g}{V_y} \times \frac{V_y}{V_s} \times \frac{V_s}{V_w} = R_\mu \times R_s \times y$$

شکل‌پذیری μ برابر است با نسبت تغییر مکان نظیر گسیختگی در عضو به تغییر مکان نظیر تسلیم، در واقع ضریب شکل‌پذیری، بیانگر آنست که سازه تا چه اندازه وارد ناحیه غیرخطی شده است. سختی k عبارت است از نسبت نیرو به جابجایی در منحنی معادل ایده آل شده دوخطی نیرو-جابجایی و سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی هم برابر انرژی تلف شده E در سیستم و جذب انرژی تجمعی چرخه‌های مدل E' همچنین ظرفیت C_s برابر حداکثر مقاومت سیستم می‌باشد. بر اساس منحنی‌های بار-تغییر مکان و محاسبات انجام‌شده، نتایج مقدار ظرفیت، سختی و شکل‌پذیری نمونه‌ها در جدول ۱ داده شده است و میزان افزایش این مقادیر نسبت به نمونه تقویت نشده UCUS نیز در جدول مربوطه داده شده است. ضمناً ضریب رفتار شکل‌پذیری، ضریب رفتار اضافه مقاومت، ضریب نهایی کلی همه نمونه‌های عددی در جدول شماره ۱ داده شده‌اند.

• تحلیل نتایج بارگذاری چرخه‌ای (cyclic)

منحنی‌های هیستریزیس بار-تغییر مکان نمونه‌ها تحت بارهای چرخه‌ای رفت و برگشتی در شکل ۱۱ نشان داده شده‌اند. با مقایسه منحنی‌های هیستریزیس بار-تغییر مکان نمونه‌های UCUS و نمونه UCS تحت بار چرخه‌ای در شکل ۱۱-الف، نکته قابل توجه افزایش مقدار شکل‌پذیری در نمونه دیوار برشی با سخت‌کننده می‌باشد همان‌گونه که در نمودار یکنواخت این دو نمونه گفته شد اثر سخت‌کننده در افزایش سختی و مقاومت ناچیز می‌باشد حال آنکه در افزایش شکل‌پذیری سخت‌کننده نقش جدی ایفا می‌کنند. افزایش مقاومت در مقایسه منحنی‌های هیستریزیس بار-تغییر مکان نمونه‌های CUS با نمونه UCUS تحت بار چرخه‌ای در شکل ۱۱-ب این دیاگرام مشهود است همچنین اثر بتن با ایجاد پدیده پینچینگ (تنگ‌شدگی) مشهود می‌باشد. در مقایسه منحنی‌های هیستریزیس بار-تغییر مکان نمونه‌های UCUS با نمونه CS تحت بار چرخه‌ای در شکل ۱۱-ج، دیاگرام نمونه CS افزایش شکل‌پذیری و مقاومت خوبی را نسبت به نمونه بدون بتن

نشان داده است و در سیکل‌های بالا افت سختی (شیب منحنی) ناشی از کشش بتن و کماتش موضعی در محل ایجاد گسیختگی بتن مشاهده می‌شود.

جدول شماره ۱: مقایسه ظرفیت، سختی و شکل‌پذیری و جذب انرژی بار افزون مدل‌های عددی

مدل	UCUS	UCS	CUS	CS
$(kN) C_s$	۲۰۰۰	۲۱۰۰	۲۴۵۰	۲۶۰۰
$\frac{C_{si}}{C_{sUCUS}}$	۱	۱,۰۵	۱,۲۳	۱,۳
$(kN/mm) k$	342	342	417	427
$\frac{k_i}{k_{UCUS}}$	۱	۱	1.22	1.25
μ	۴	۱۸	۲۰	۲۵
$\frac{\mu_i}{\mu_{UCUS}}$	۱	۴,۵	۵	۶,۲۵
$(kN.mm) E$	۵۳۴۸۷۸۰۹	۵۴۷۳۳۱۷۸	۵۷۳۲۰۴۰۲	۵۹۳۸۴۴۹۰
$\frac{E_i}{E_{UCUS}}$	۱	۱,۰۲۳	۱,۰۷۲	۱,۱۱۰
$E' (kN.mm)$	۱۷۵۸۷۳۰۹	۶۹۴۰۰۰۰۸	۲۹۲۶۲۳۶۰	۹۰۴۸۷۰۱۹
$\frac{E'_i}{E'_{UCUS}}$	۱	۳,۹۵	۱,۶۶	۵,۱۵

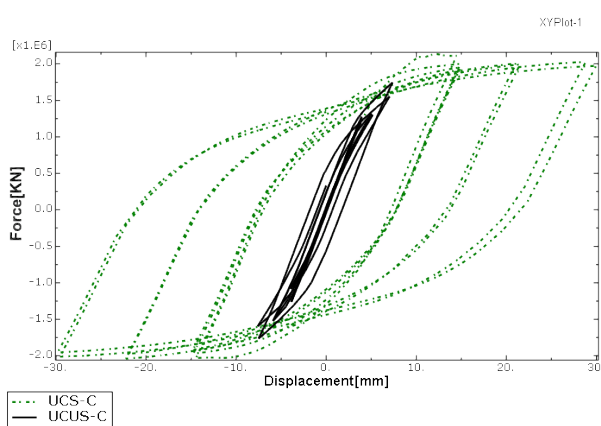
جدول شماره ۲: ضریب رفتار شکل‌پذیری، ضریب رفتار اضافه مقاومت، ضریب نهایی کلی

مدل	UCUS	UCS	CUS	CS
$V_e (kN)$	۲۰۰۰	۲۱۰۰	۲۴۵۰	۲۶۰۰
$V_y (kN)$	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۶۰۰	۱۶۷۰
$V_s (kN)$	۱۲۰۰	۱۲۵۰	۱۲۵۰	۱۳۰۰
R_μ	۱,۳۳	۱,۴	۱,۵۳	۱,۵۶
R_s	۱,۲۵	۱,۲	۱,۲۸	۱,۲۸
$R = R_\mu \times R_s$	۱,۶۶	۱,۶۸	۱,۹۶	۲
$\frac{R_i}{R_{UCUS}}$	۱	۱,۰۱۲	۱,۱۸۱	۱,۲۰۵

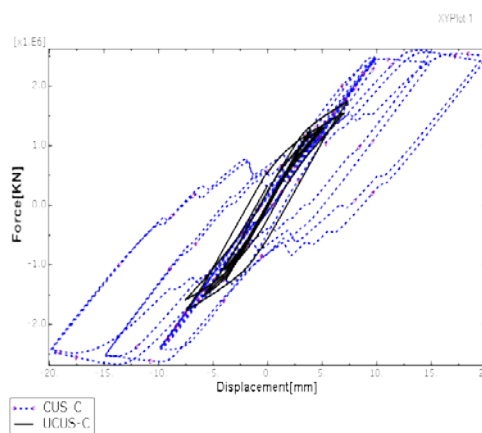
سخت کننده، شکل پذیری و مساحت زیر نمونه منحنی هیستریزیس را افزایش داده ولی افزایش مقاومت و سختی چندانی در نمونه ایجاد ننموده است. در مقایسه دو دیاگرام هیستریزیس بار-تغییر مکان نمونه های CUS با نمونه CS تحت بار چرخه ای در شکل ۱۱-د، اثر وجود سخت کننده وعدم وجود سخت کننده باوجود بتن نمایان می باشد همان گونه که در دیاگرام این دو نمونه مشهود بوده عدم وجود سخت کننده باعث ایجاد پینچینگ زیاد در نمونه ها و در نتیجه کاهش شکل پذیری ناشی از کماتش موضعی ورق دیوار می باشد. ضمناً مقایسه منحنی های هیستریزیس بار-تغییر مکان چهار نمونه CS, UCS, CUS, UCUS باهم تحت بار چرخه ای در شکل ۱۱-ه نشان داده شده است. نتایج حاصل از تحلیل ها نشان می دهد که منحنی های هیستریزیس دیوار برشی فولادی تقویت شده با سخت کننده و دارای ستون های قوطی پر شده از بتن تحت اثر بارهای رفت و برگشتی کاملاً پایدار و جذب انرژی آن ها بسیار بالا می باشد و افزایش سختی، شکل پذیری زیادی را نسبت به مدل های دیوار برشی فولادی تقویت نشده نشان می دهد.

همچنین نتایج نشان داد که دیوار برشی با سخت کننده افقی و ستون های پر شده از بتن دارای پایداری کافی بوده به طوری که علاوه بر تحمل بارهای قائم محوری که ناشی از بارهای ثقلی می باشند بارهای نهائی وارده از ورق فولادی را نیز به نحو مؤثری تحمل می نماید، به طوری که با کماتش دیر هنگام ورق فولادی وارد ناحیه پلاستیک شده و جذب انرژی را نشان می دهد. در هر سیکل بسته می توان سختی (نسبت نیروی ماکزیمم به جابجایی متناظر) و جذب انرژی (سطح زیر منحنی سیکل بسته) و همچنین دررفت متناظر (نسبت جابجایی به ارتفاع قاب، از محل اعمال بار تا فونداسیون) بدست می آید و سپس منحنی های تغییرات سختی نسبت به دررفت (شکل ۱۲) و منحنی تغییرات جذب انرژی تجمعی (جمع جذب انرژی کلیه سیکل ها تا دررفت مورد نظر) نسبت به دررفت (شکل ۱۳) ترسیم می گردد.

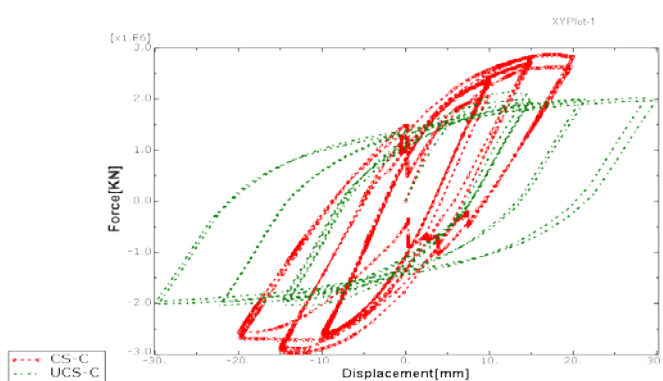
ضمناً همه نمودارهای تغییرات درصد کاهش سختی (نسبت به سختی اولیه) و همچنین جذب انرژی تجمعی نسبت به دررفت در چهار نمونه در شکل ۱۴ باهم مقایسه شده اند. بنابراین نتایج نشان می دهد که درصد افزایش سختی نمونه های UCS (بدون بتن و با سخت کننده)، CUS (با بتن و بدون سخت کننده)، و CS (با بتن و با سخت کننده) نسبت به نمونه UCUS (بدون بتن و بدون سخت کننده)، برابر صفر، ۴۴ و ۱۱۰ درصد می باشد. با بررسی دیاگرام های افت سختی - دررفت برای دو نمونه فاقد سخت کننده نسبت به نمونه های دارای سخت کننده کاهش ناگهانی سختی در ابتدای بارگذاری در نمونه ها به وضوح قابل ملاحظه می باشد که نشان دهنده کماتش ناگهانی ورق دیوار می باشد. همچنین مقداری سخت شوندگی نیز در ادامه بارگذاری در این دو نمونه ایجاد شده است که می تواند ناشی از عملکرد بخش کششی ورق در انتقال نیروی برشی بین ستون های اطراف دیوار باشد. به عبارتی پس از آنکه بخش فشاری ورق دیوار دچار کماتش می گردد بخش کششی ورق همانند یک مهاربند کششی سختی جانبی دیوار را تأمین می نماید. حال آنکه رفتار نمونه های دارای سخت کننده از نظر افت سختی به مراتب بهتر و دیاگرام آن ها دارای شیبی ملایم تر است.



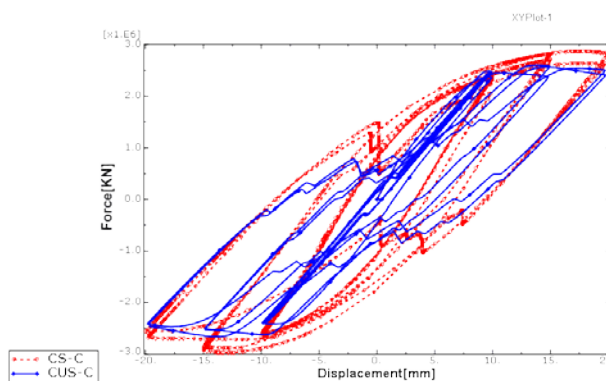
ب- نمونه CUS با نمونه UCUS



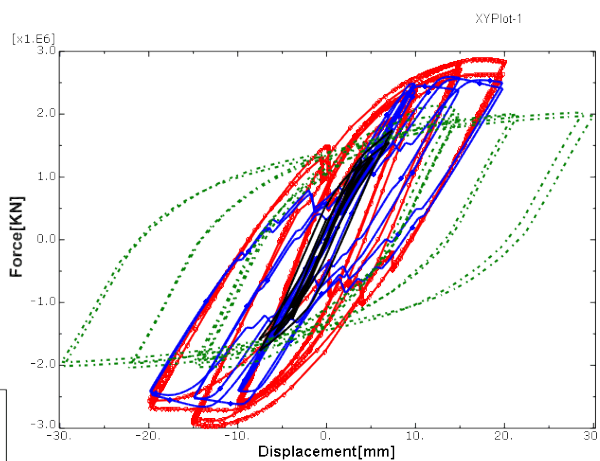
الف- نمونه UCUS با نمونه UCS



د- نمونه CUS با نمونه CS

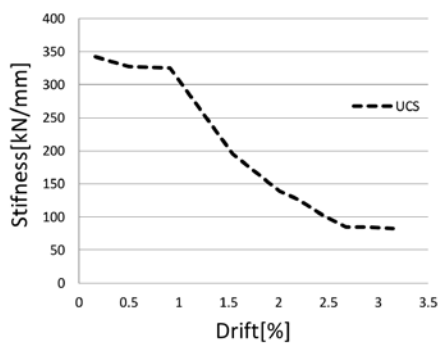


ج- نمونه UCS با نمونه CS

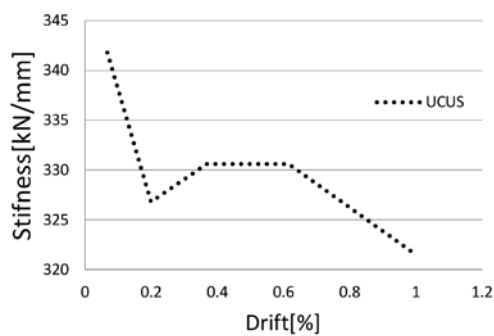


ه- نمونه های CS, UCS, CUS, UCUS

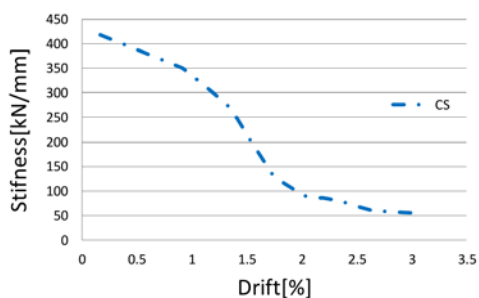
شکل ۱۱: مقایسه منحنی های هیستریزیس بار-تغییر مکان نمونه ها باهم تحت بار چرخه ای



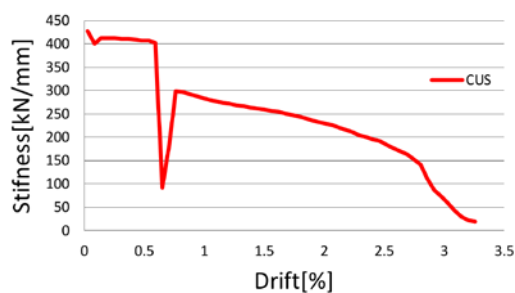
ب- نمونه UCS



الف- نمونه UCUS

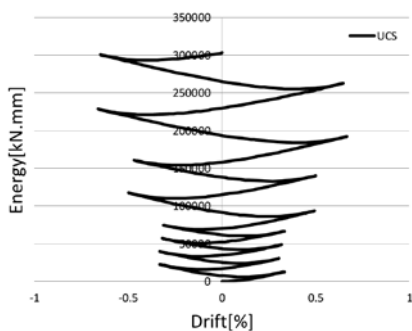


د- نمونه CS

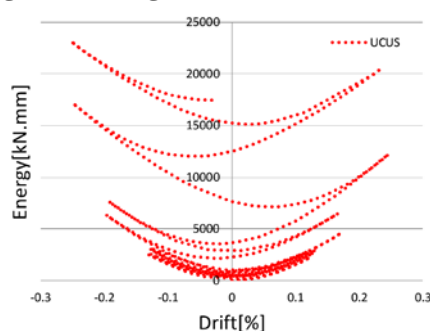


ج- نمونه CUS

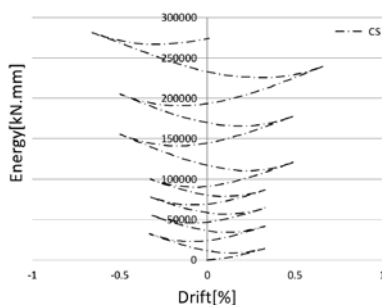
شکل ۱۲: منحنی تغییرات سختی نسبت به دررفت نمونه‌ها تحت بار چرخه‌ای



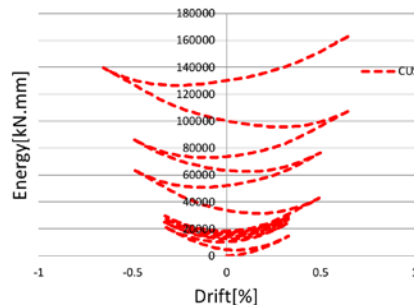
ب- نمونه UCS



الف- نمونه UCUS

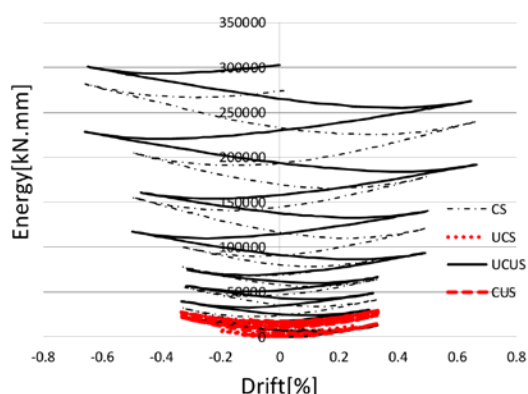


د- نمونه CS

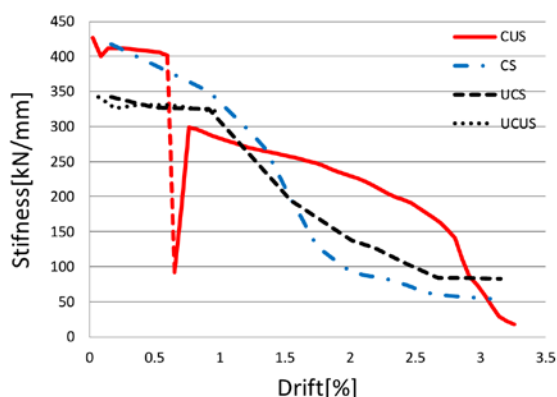


ج- نمونه CUS

شکل ۱۳: منحنی تغییرات جذب انرژی تجمعی نسبت به دررفت نمونه‌ها تحت بار چرخه‌ای



ب- جذب انرژی تجمعی



الف- کاهش سختی

شکل ۱۴: مقایسه منحنی تغییرات کاهش سختی و جذب انرژی تجمعی نسبت به دررفت نمونه‌ها تحت بار چرخه‌ای

۵- نتیجه‌گیری

بامطالعه تحلیلی و صحت سنجی نتایج مدل عددی با نمونه‌های آزمایشگاهی، نمونه‌های جدید سیستم دیوار برشی فولادی تقویت شده با سخت‌کننده‌های افقی و قائم و نمونه‌های سیستم دیوار برشی فولادی تقویت نشده در دو حالت ستون‌های مرزی پر شده با بتن و ستون‌های مرزی توخالی انتخاب گردیدند که نتایج زیر حاصل گردید:

- بیشترین افزایش سختی، مقاومت و شکل‌پذیری به ترتیب برابر ۱۰۹، ۳۰، و ۵۲۵ درصد مربوط به سیستم دیوار برشی فولادی تقویت شده با سخت‌کننده‌های افقی و ستون‌های مرزی پر شده با بتن (CS) می‌باشد.
- بیشترین مقاومت در نمونه با بتن و با سخت‌کننده برابر ۲۶۰۰ کیلو نیوتن و بیشترین شکل‌پذیری برابر ۲۵ میلی‌متر می‌باشد.
- در مجموع با احتساب مصالح مصرفی نمونه با بتن و با سخت‌کننده بهترین عملکرد را در مقابل بارهای جانبی وارده دارد و تنش و کرنش پلاستیک در ستون و ورق دیوار برشی با سخت‌کننده و با ستون با حضور بتن کمتر می‌باشد.
- در مدل با سخت‌کننده و ستون با حضور بتن با افزایش جابجایی سختی و نیرو که توسط قاب جذب می‌شود بیشتر می‌شود.
- مدل با سخت‌کننده و با ستون‌های پر شده با بتن دارای پایداری کافی بوده به طوری که علاوه بر تحمل بارهای قائم محوری که ناشی از بارهای ثقلی می‌باشند، بارهای نهائی وارده از ورق فولادی را نیز به نحو مؤثری تحمل می‌نماید به طوری که وقتی ورق فولادی برای جذب انرژی به حالت پلاستیک می‌رود دارای استحکام کافی بوده و دچار کمانش نمی‌گردد.
- میزان جذب انرژی نمونه‌های UCS، CUS، و CS نسبت به نمونه UCUS در بارگذاری بار افزون به ترتیب ۲، ۷، ۲، ۱۱، ۱۱ درصد افزایش داشته است.
- میزان افزایش ضریب رفتار کلی R نمونه‌های UCS، CUS، و CS نسبت به نمونه تقویت نشده UCUS در بارگذاری بار افزون به ترتیب ۱، ۲، ۱، ۸، ۲۱ درصد افزایش داشته است.
- منحنی‌های هیستریزس دیوار برشی فولادی تقویت شده با سخت‌کننده و دارای ستون‌های قوطی پر شده از بتن تحت اثر بارهای رفت و برگشتی کاملاً پایدار و جذب انرژی آن‌ها بسیار بالا می‌باشد و افزایش سختی، شکل‌پذیری زیادی را نسبت به مدل‌های دیوار برشی فولادی تقویت نشده نشان می‌دهد.
- میزان جذب انرژی تجمعی نمونه‌های UCS، CUS، و CS نسبت به نمونه UCUS در بارگذاری چرخه‌ای به ترتیب ۲۹۵، ۶۶، ۴۱۵ درصد افزایش داشته است.
- میزان افزایش سختی نمونه‌های UCS، CUS، و CS نسبت به نمونه UCUS به ترتیب ۴۴، ۰ و ۱۱۰ درصد می‌باشد که نشان از تأثیر مثبت بکارگیری بتن در ستون‌ها به همراه سخت‌کننده دارد.

مراجع

- [1] Iranian seismic design code No 2800, (1394). 4th version, (In Persian).
- [2] Chia- Ming, U. (1991). Establishing R (or RW) and Cd Factor For Building Seismic Provisions. Journal of structural Engineering, Vol. 117 (Issue 1).
- [3] Gholhaki, M., Sabouri-Ghomi, S. (2008). Ductility of thin steel plate shear walls. Asian Journal of Civil Engineering, Vol.9, Page153-166.
- [4] Astaneh Asl, A. (2001). Seismic Behavior and Design of Steel walls. AISC. USA.
- [5] Sabeli, R., Bruneau, M. (2007). Steel Plate Shear Walls. AISC, Steel design Guide, v20.
- [6] Sabouri-Ghomi, S. (1383). Strong systems against lateral loading, new idea for application of soft steel. Nashr Press (In Persian).
- [7] Kharrazi, M.H.K. (2005). Rational Method for Analysis and Design OF Steel Plate Shear Walls. Ph.D Dissertation. University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- [8] Vian, D., Bruneau, M. (2004). Testing Of Special LYS Steel Plate Shear Walls. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C. Canada.
- [9] Gholhaki, M. (1386). Investigation of ductile steel shear wall (with thin plate) behaviour and its beam-column connection effect. Ph.D Dissertation. Khajenasir University, Tehran, Iran (In Persian).
- [10] Rahnvard, R., HassaniPour, A., Mounesi, A. (2015). Numerical Study on important parameters of composite steel important parameters of steel concrete shear walls. Journal of constructional steel Research. Vol.121, Page 237-252.
- [11] Shishkin, J., Driver, R.G., Gronding, Y. (2009). Analysis of Steel Plate Shear Walls Using the Modified Strip Model. Journal of Structural Engineering. Vol 135 (Issue 11).
- [12] Sabouri-Ghomi, S. (1380). Strong systems against lateral loading, Introduction to steel shear walls. Angizeh Press (In Persian).
- [13] Sabouri-Ghomi, S., Roberts, T.M. (1992). Nonlinear dynamic analysis of steel plate shear walls including shear and bending deformation. Engineering. Structure, No.5, PP 309-317.
- [14] ABAQUS Verification Manual 6.9.1. (2010). USA.
- [15] CODE: ATC-24. (1992). Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures. Applied Technology Council. USA.
- [16] Iran National Building Design code. (1992). 9th Code, Concrete structures. Urban and Road Ministry, Iran.
- [17] ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. (2014). American Concrete Institute. USA.
- [18] Specification for Structural Steel Buildings AISC LRFD. (2016). American Institute of Steel Construction, USA.
- [19] The Uniform Building Code (UBC). (1997). the International Conference of Building Officials, USA.