



مقایسه رفتار لرزه‌ای دیوار برشی فولادی با دیوار برشی فولادی مرکب

مهدی اسفندیاری^۱، لیلا شهریاری^۲، سید مهدی دهقان بنارکی^۳

۱- کارشناس ارشد مهندسی سازه، الف- دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس علوم و تحقیقات فارس

ب- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، sivand2007@yahoo.com

۲- عضو هیأت علمی، الف- دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس علوم و تحقیقات فارس

ب- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز

۳- دکتری مهندسی سازه، دانشگاه صنعتی شیراز

چکیده

دیوار برشی فولادی و مرکب بخصوص در سه دهه اخیر مطرح شده و مورد توجه قرار گرفته و به سرعت در حال گسترش می باشد. دیوارهای برشی فولادی مرکب که از یک لایه ورق فولادی نازک به همراه پوششی از بتن آرمه در یک و یا دو طرف ورق فولادی ساخته می شود، نسل سوم دیوارهای برشی مقاوم در برابر بارهای جانبی محسوب شده که علاوه بر افزایش مقاومت، شکل پذیری و جذب انرژی، بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه بوده و در ساخت ساختمان های بلندمرتبه، مقاوم سازی ابنیه و نیز مخازن مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله سعی شده است تا رفتار لرزه‌ای دیوار برشی فولادی و مرکب مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور چندین مدل دیوار برشی فولادی و مرکب از یک الی پنج طبقه توسط نرم افزار Abaqus ساخته و تحلیل گردید. نتایج نشان می دهد دیوار برشی فولادی مرکب قابلیت بیشتری در جذب انرژی، گسترش تنش های ایجاد شده به نقاط مختلف صفحه فولادی و شکل پذیری نسبت به دیوار برشی فولادی دارد. حلقه های منحنی همسترزیس دیوار برشی فولادی مرکب منظم تر و پایدارتر از دیوار برشی فولادی می باشد. با افزایش تعداد طبقات، مقاومت و سختی اولیه به دلیل افزایش تغییر مکان جانبی، کاهش یافته ولی میزان جذب انرژی و شکل پذیری افزایش می یابد. مقدار نیروی تحمل شده در مدل های دیوار برشی فولادی مرکب نسبت به دیوار برشی فولادی افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی، دیوار برشی فولادی مرکب، جذب انرژی، شکل پذیری، سختی

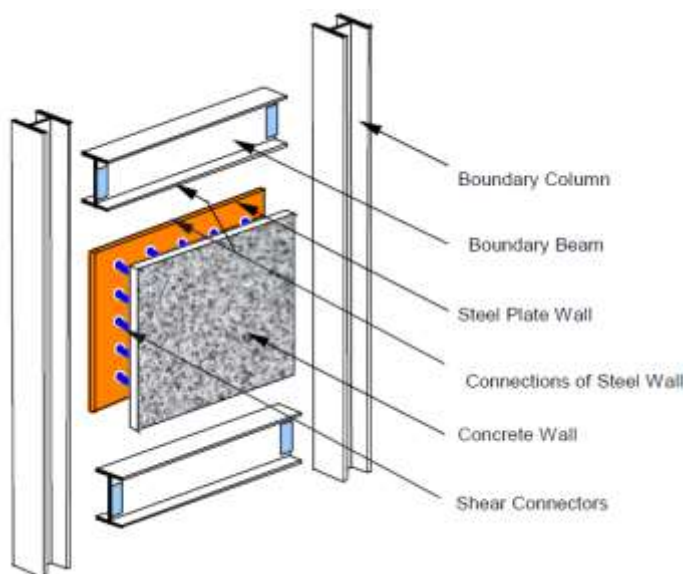
۱- مقدمه

لرزه خیزی کشور ایران و اهمیت طراحی مقاوم سازه ها در برابر نیروهای جانبی از اموری حیاتی برای آینده و توسعه ایرانی پایدار است. انتخاب نوع سامانه مقاوم در برابر نیروهای جانبی بستگی به ترکیب بارگذاری، چگونگی رفتار سازه، نحوه هدایت بارهای ثقلی به پایه و طرح معماری دارد. بعلاوه انتخاب نوع سامانه مقاوم در برابر بارهای جانبی علاوه بر موارد فوق بستگی به ابعاد هندسی سازه، محدودیت های آیین نامه ای، مقدار نیروی جانبی، حداکثر تغییر مکان و غیره دارد.

دیوار برشی فولادی بخصوص در سه دهه اخیر مطرح شده و مورد توجه قرار گرفته و به سرعت در حال گسترش می باشد. این سامانه در مقایسه با قاب خمشی تا حدود ۵۰٪ ارزان تر می باشد.

دیوار برشی فولادی، مشابه یک تیر ورق طره‌ای است که به صورت یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی در ساختمان‌های با ارتفاع متوسط یا بلند به کار می رود. مقاومت مجموعه نیز از طریق عمل میدان کشش قطری (Diagonal tension field) به وجود آمده در ورق فولادی در ترکیب با عمل خمشی قاب انجام می شود [۱].

دیوارهای برشی فولادی مرکب که از یک لایه ورق فولادی نازک به همراه پوششی از بتن آرمه در یک و یا دو طرف ورق فولادی ساخته می‌شود، علاوه بر افزایش مقاومت، شکل پذیری و جذب انرژی، بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه بوده و در ساخت ساختمان های بلندمرتبه ، مقاوم سازی ابنیه و نیز مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱: اجزای اصلی یک دیوار برشی فولادی مرکب

عملکرد اصلی لایه بتنی بر روی ورق فولادی جلوگیری از کمانش خارج از صفحه ورق فولادی است تا ورق فولادی بتواند به حد تسلیم برشی خود برسد. [۲].

دیوار برشی مرکب قابلیت بیشتری را در جذب انرژی، گسترش تنش‌های ایجاد شده به نقاط مختلف صفحه فولادی و شکل‌پذیری، نسبت به دیوار برشی فولادی دارد.

رفتار سیستم در محیط پلاستیک و میزان جذب انرژی آن نسبت به سایر سیستم‌ها بهتر است. در این سیستم به علت یکپارچگی بیشتر به ویژه در مقایسه با سیستم مهاربندی، توزیع تنش‌ها یکنواخت تر شده که رفتار همگن و مطلوب‌تری در محیط پلاستیک به دنبال خواهد داشت [۲]، [۳]. در هر دو سیستم دیوار برشی فولادی و مرکب پدیده پس‌کمانش وجود خواهد داشت با این تفاوت که در حالت دیوار برشی فولادی، کمانش به صورت کلی است و از مقاومت ناحیه محدودی از سطح ورق فولادی استفاده می‌گردد، در حالی که در دیوار برشی مرکب کمانش از حالت کلی به موضعی تبدیل شده و بدین ترتیب از تمام مقاومت صفحه فولادی استفاده می‌گردد [۲]، [۳].

- تعدادی از ساختمان‌هایی که دیوار برشی فولادی و مرکب با موفقیت در آنها استفاده شده است به شرح زیر می‌باشد:
- الف- بیمارستان ۱۸ طبقه سانفرانسیسکو (۱۹۷۷)
 - ب- ساختمان ۲۰ طبقه اداری (Nippon) در توکیو ژاپن (۱۹۷۰)
 - ج- ساختمان ۵۳ طبقه در توکیو (Shinjuku Nomura) (۱۹۷۸)
 - د- هتل ۳۰ طبقه در دالاس، تگزاس (۱۹۸۸)
 - ه- بیمارستان ۶ طبقه در لس‌آنجلس، کالیفرنیا (۱۹۷۰) [۴]، [۵].

۲- مطالعات انجام شده

محققین دانشگاه Alberta در کانادا آزمایش‌هایی را بر روی دیوارهای برشی فولادی بدون سخت‌کننده انجام داده‌اند. پاسخ حلقه‌های پسماند نیرو- تغییر مکان این سیستم سازه‌ای، نشانگر رفتار شکل‌پذیر و افزایش قابل توجه مقاومت بود. قبل از این Thorburn (۱۹۸۳) بر اساس تحقیقات نظری خود، رابطه‌ای را برای زاویه انحنای میدان کشش مطرح کرده بود که همخوانی خوبی با نتایج این آزمایش از خود نشان داد [۶].

Driver (۱۹۹۸) نتایج بارگذاری چرخه‌ای یک نمونه ۴ طبقه دیوار برشی فولادی را منتشر ساخت. با وجود خرابی زود هنگام ستون در این نمونه، رفتار رفت و برگشتی نمونه نشان دهنده افزایش مقاومتی معادل $1/3$ و شکل‌پذیری بسیار خوبی بود [۷].

Takanashi (۱۹۷۳) آزمایش‌های بارگذاری چرخه‌ای ۱۲ نمونه یک طبقه و دو طبقه را انجام داد. نمونه‌ها در امتداد قطرها بارگذاری شده بودند تا تقریباً برش خالصی در پانل‌ها ایجاد گردد. نمونه‌ها بسیار شکل‌پذیر بودند و زاویه تغییر مکان جانبی به حدود $0/1$ رادیان می‌رسید. نتایج آزمایش با پیش‌بینی‌های انجام شده توسط معیار Mises - Von مطابقت کامل داشت [۸].

Yamada (۱۹۹۶) نتایج آزمایش‌های بارگذاری چرخه‌ای بر روی دیوارهای برشی فولادی و مرکب خود را منتشر ساخت. نمونه‌ها تحت بار یکبار در امتداد قطر قرار گرفتند. مد خرابی در اثر خرابی پایه قاب مرزی ایجاد شد. رفتار نمونه‌ها کاملاً شکل‌پذیر بود و میدان کششی در طول قطرها تشکیل گردید [۹].

Nakashima و همکاران (۱۹۹۴) نتایج رفتاری پانل‌های دیوار برشی فولادی با نقطه تسلیم پایین را تحت بارگذاری چرخه‌ای را منتشر ساختند. آزمایش‌ها بر روی فولاد LPY، تحت بارگذاری چرخه‌ای، نمودارهای پسماند پایدار و ظرفیت نسبتاً بالای جذب انرژی را نشان می‌داد [۱۰].

در انگلستان Roberts و صبور قمی (۱۹۹۲) نتایج ۱۶ آزمایش انجام شده بر روی پانل‌های فولادی تحت بارگذاری قطری را منتشر ساختند. این پژوهشگران نتایج یک تحلیل غیرخطی دینامیکی را بر روی یک دیوار برشی فولادی با استفاده از ورق فولادی نازک ارائه کردند. نتایج بدست آمده، پاسخ تحلیل‌های الاستیک را تأیید می‌کرد و همچنین تأثیر عوامل لرزه‌ای را در جلوگیری از تشدید بارهای دینامیکی چرخه‌ای نشان می‌داد [۱۱].

در آمریکا Elgaaly و همکارانش (۱۹۹۳) با مطالعاتشان به این نتیجه رسیدند که وقتی یک صفحه فلزی بدون سخت‌کننده بعنوان دیوار برشی بکار می‌رود رفتار غیرالاستیک با جاری شدن دیوار آغاز شده و مقاومت سامانه را تشکیل مفاصل پلاستیک در ستون‌ها تعیین می‌کند [۱۲].

در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ در دانشگاه برکلی دکتر آستانه و همکارش دو سازه ۳ طبقه را تحت بارهای چرخه‌ای قرار دادند. براساس این آزمایش رفتار تقریباً الاستیک نمونه اول تا تغییر شکل نسبی داخلی حدود $0/6$ ٪ قابل مشاهده است. نمونه قبل از رسیدن به تغییر مکان نسبی داخلی طبقه به بالاتر از $3/3$ ٪ در ماکزیمم برش، ۷۹ سیکل بارگذاری را تحمل کرده و این در حالی است که ۳۹ سیکل غیر الاستیک می‌باشد.

مشابه نمونه اول، نمونه دوم رفتاری شکل پذیر و مطلوب از خود نشان داده و تا تغییر مکان نسبی حدود ۰/۷٪ تقریباً الاستیک عمل می کند. نمونه تا ۲۹ سیکل نیروی برشی بیش از ۱۲۲۵ Kips را تحمل می کند [۵]، [۶].

۳- مدل سازی

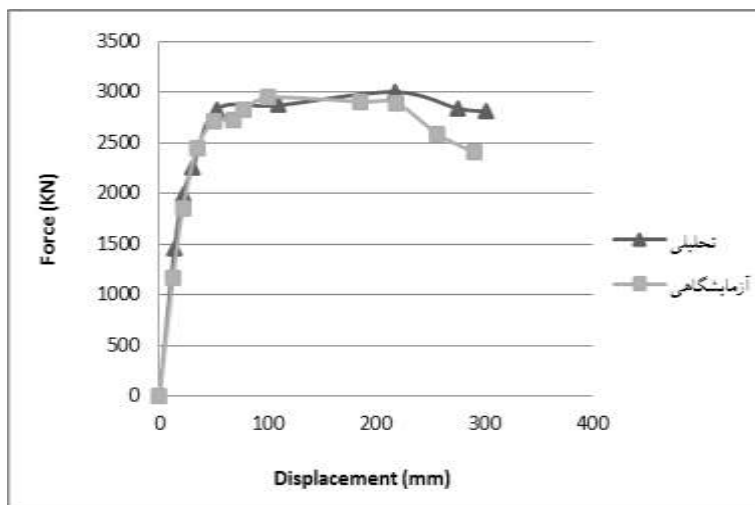
به منظور مقایسه بهتر رفتار لرزه ای دیوار برشی فولادی معمولی و مرکب، مجموعاً ۱۰ مدل شامل ۵ مدل دیوار برشی فولادی مرکب و ۵ مدل دیوار برشی فولادی معمولی با ابعاد و اندازه های متناظر، تعداد طبقات مختلف (یک الی پنج طبقه) و با طول دهانه و ارتفاع هر طبقه ۲ متر، با استفاده از روش المان محدود و بصورت سه بعدی در نرم افزار Abaqus v.6.12 شبیه سازی و آنالیز گردیده است. به منظور صحت سنجی مدل سازی، نمونه آزمایشگاهی دکتر آستانه اصل در نرم افزار المان محدود مدل سازی شده است. مشخصات مصالح بکار برده شده در این آزمایش به شرح زیر می باشد :

الف- ورق فولادی : فولاد A36 با تنش تسلیم ۳۶ ksi (۲۴۸ Mpa) و تنش نهایی ۵۸ ksi (۴۰۰ Mpa)

ب- تیر و ستون : فولاد A572 Grad 50 با تنش تسلیم ۵۰ ksi (۳۴۵ Mpa) و تنش نهایی ۶۵ ksi (۴۴۸ Mpa)

ج- بتن : دارای مقاومت فشاری $f'c = 4000 \text{ psi}$ (۲۷/۵۸ Mpa)

منحنی نیرو - تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی مربوط به پوش حاصل از منحنی هیستریزس این نمونه می باشد. انطباق این دو منحنی مبین توانایی مدل انتخاب شده و روش اجزاء محدود در برآورد مناسب رفتار نمونه می باشد.



شکل ۲: مقایسه منحنی بار- تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی و مدل تحلیلی

- مشخصات مدل ها :

در تمامی مدل ها از المان Shell برای تیر، ستون، ورق فولادی و بتن استفاده شده است. مقاطع و مشخصات مصالح بکار رفته در مدل ها به شرح زیر می باشد :

جدول ۱: مقاطع و مشخصات اجزای نمونه‌ها

| ردیف | اجزای مدل | مقطع / ضخامت | ضخامت / مقدار |
|------|------------|-------------------|-------------------|
| ۱ | ستون | IPB ۲۰۰ ~ IPB ۳۴۰ | - |
| ۲ | تیر | IPE ۲۰۰ ~ IPE ۳۰۰ | - |
| ۳ | ورق فولادی | - | ۵ mm |
| ۴ | بتن | - | ۵۰ mm |
| ۵ | میلگرد | Ø ۸ @ ۱۰۰ | ۱٪ حجمی در هر جهت |

جدول ۲: مشخصات مصالح فولادی

| ردیف | شرح | دانسیته (kg/m ³) | مدول ارتجاعی (Gpa) | ضریب پواسون | تنش تسلیم (Mpa) | تنش نهایی (Mpa) |
|------|------------|----------------------------------|-------------------------|-------------|----------------------|----------------------|
| ۱ | تیر | ۷۸۵۰ | ۲۱۰ | ۰.۳ | ۳۶۰ | ۵۲۰ |
| ۲ | ستون | ۷۸۵۰ | ۲۱۰ | ۰.۳ | ۳۶۰ | ۵۲۰ |
| ۳ | ورق فولادی | ۷۸۵۰ | ۲۱۰ | ۰.۳ | ۲۴۰ | ۳۷۰ |
| ۴ | میلگرد | ۷۸۵۰ | ۲۱۰ | ۰.۳ | ۳۵۰ | ۵۰۰ |

برای شبیه سازی رفتار بتن هر دو ناحیه الاستیک و پلاستیک در نظر گرفته شده است. برای شبیه سازی رفتار بتن در ناحیه پلاستیک و بررسی تخریب در آن، از مدل خسارت حالت پلاستیکی بتن (Concrete Damage Plasticity) استفاده شده است. مشخصات مورد استفاده برای شبیه سازی رفتار بتن در جداول زیر آمده است.

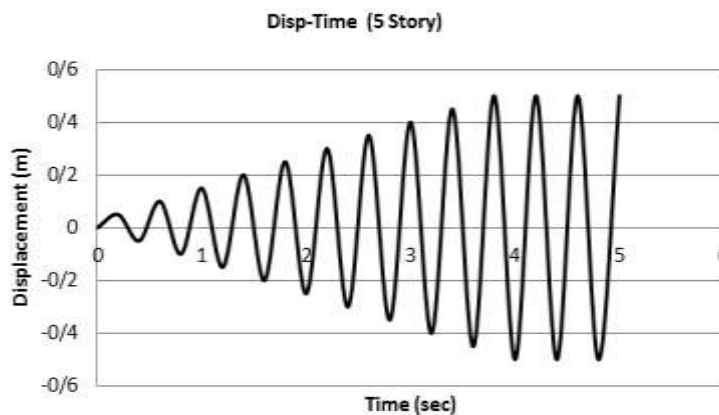
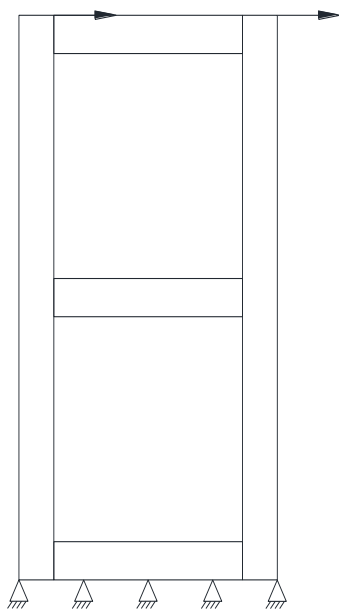
جدول ۳: مشخصات بتن

| ردیف | نوع مصالح | دانسیته (kg/m ³) | مدول ارتجاعی (Gpa) | ضریب پواسون | مقاومت فشاری (Mpa) | مقاومت کششی (Mpa) |
|------|-----------|----------------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|------------------------|
| ۱ | بتن | ۲۴۰۰ | ۲۵.۱ | ۰.۲ | ۲۸ | ۲.۸ |

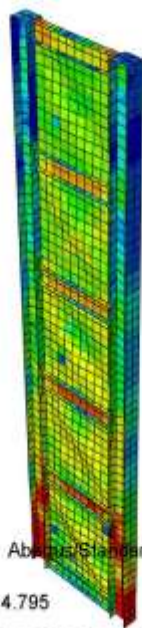
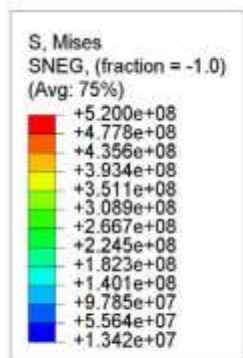
جدول ۴: پارامترهای ناحیه پلاستیک بتن

| Dilation Angle | Eccentricity | fb ₀ /fc ₀ | k | Viscosity Parameter |
|----------------|--------------|----------------------------------|------|---------------------|
| ۳۰ | ۰.۱ | ۱.۱۶ | ۰.۶۷ | ۰ |

شرایط مرزی و اعمال جابه‌جایی اولیه به مدل‌ها به شرح زیر می‌باشد :

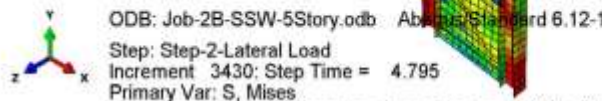


شکل ۳: الف) نمودار تغییرات جابه‌جایی- زمان برای مدل پنج طبقه
ب) نحوه اعمال شرایط مرزی بصورت شماتیک



جدول ۵: مقادیر جابه‌جایی اعمالی به دیوار برشی فولادی و مرکب

| تعداد طبقات | جابه‌جایی (cm) |
|-------------|----------------|
| ۱ طبقه | ۱۰ |
| ۲ طبقه | ۲۰ |
| ۳ طبقه | ۳۰ |
| ۴ طبقه | ۴۰ |
| ۵ طبقه | ۵۰ |

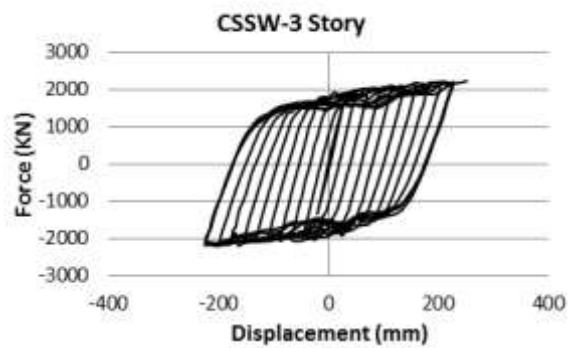
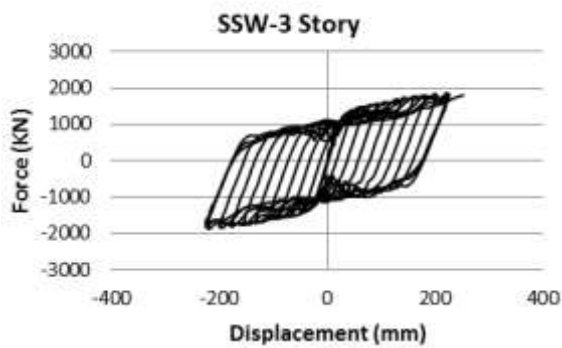
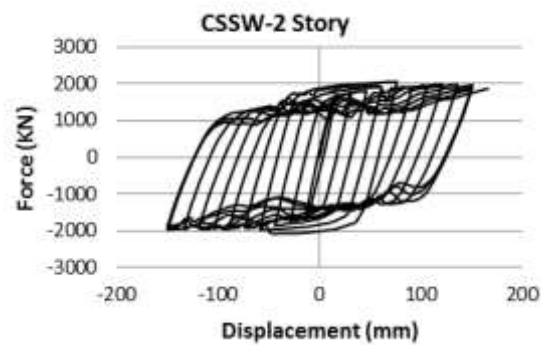
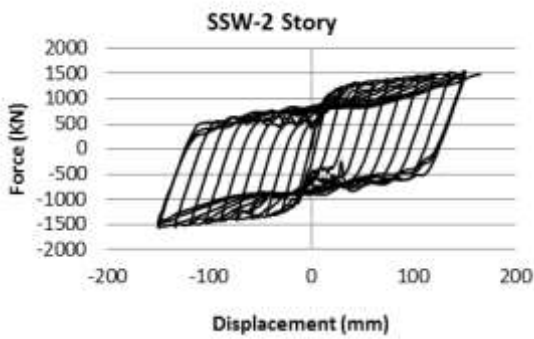
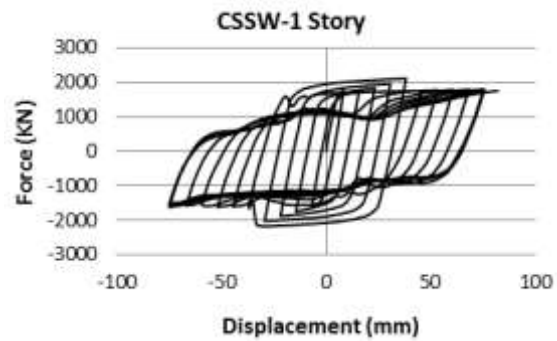
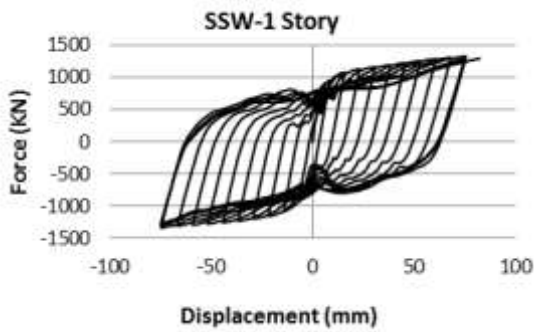


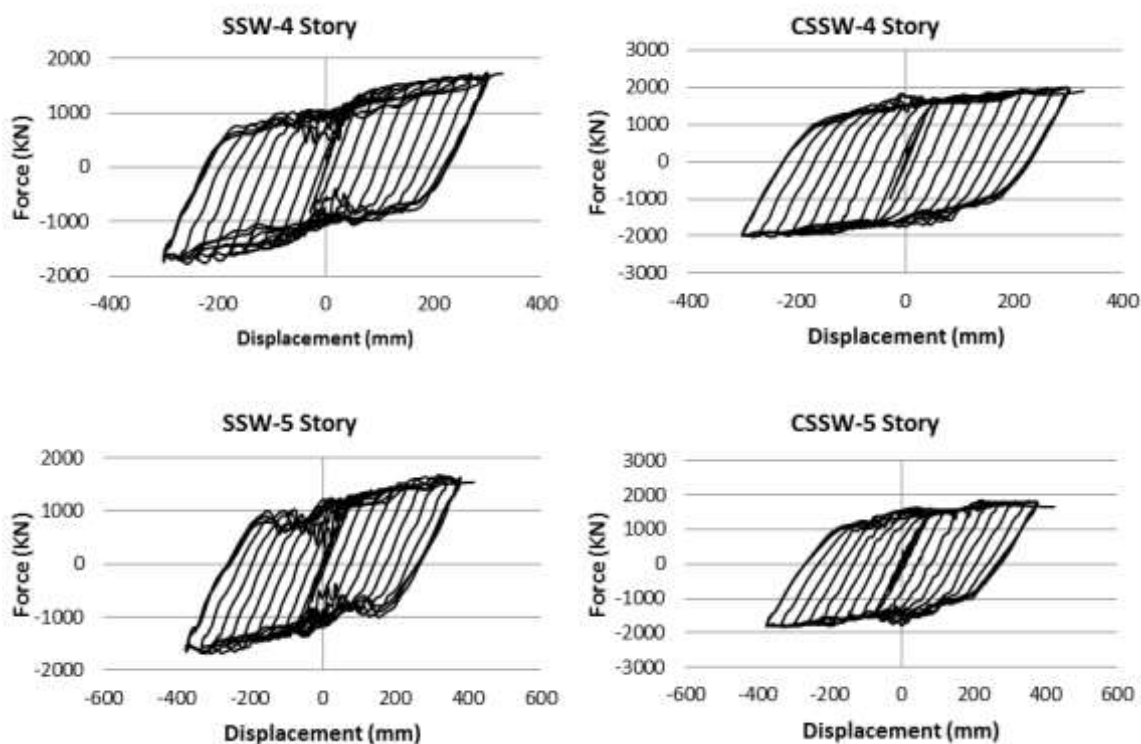
شکل ۴: یکی از نمونه‌های مدل‌سازی شده در نرم‌افزار (۵ طبقه)

۴- نتایج حاصل از مدل سازی

۴-۱- منحنی هیستریزیس نمونه ها :

منحنی هیستریزیس هر سازه که بیانگر میزان جذب انرژی، سختی، شکل پذیری و ... می باشد، برای نمونه های دیوار برشی فولادی معمولی و مرکب یک الی پنج طبقه در زیر نمایش داده شده است.





شکل ۵: منحنی‌های هیستریزیس دیوارهای برشی فولادی و مرکب یک الی پنج طبقه

۴-۲- میزان جذب انرژی :

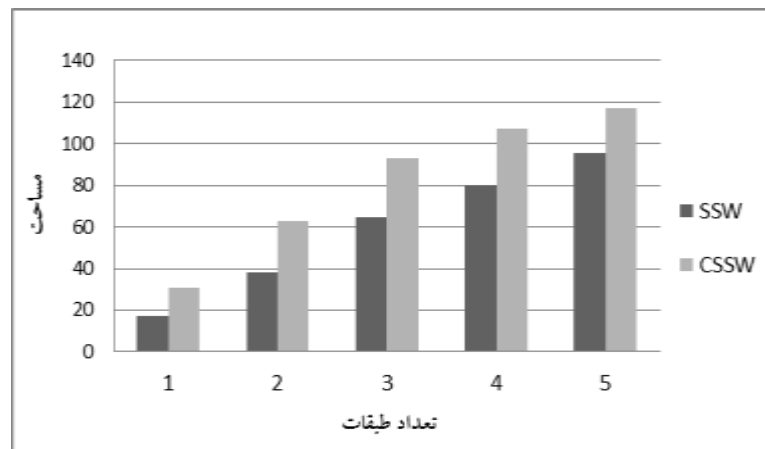
عملکرد اصلی پوشش بتنی جلوگیری از کمانش خارج از صفحه ورق فولادی است. در دیوار برشی فولادی مرکب به دلیل افزایش و توزیع یکنواخت‌تر خطوط قطری ایجاد شده در ورق فولادی، این اجازه به ورق فولادی داده می‌شود تا وارد مدهای کمانشی بالاتر شده و به عبارت بهتر پدیده پس کمانش شکل گیرد، در نتیجه به جای استفاده از ناحیه محدودی از سطح ورق فولادی از تمام مقاومت صفحه فولادی استفاده شده و بنابراین حلقه‌های هیستریزیس، منظم‌تر و پایدارتر می‌گردد.

همچنین مقدار نیروی کمانشی که منجر به تسلیم صفحه می‌شود در مدل‌های دیوار برشی فولادی مرکب نسبت به دیوار برشی فولادی افزایش پیدا می‌کند.

میزان انرژی جذب شده توسط هر نمونه که از محاسبه سطح زیر منحنی هیستریزیس هر نمونه بدست می‌آید، با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD که مساحت را با دقت بالایی محاسبه می‌کند، بدست آمده است. در جدول و نمودار زیر مقایسه مساحت‌های منحنی هیستریزیس نمونه‌ها که بیانگر جذب انرژی و شکل‌پذیری می‌باشد و همچنین میزان افزایش جذب انرژی دیوار برشی مرکب نسبت به دیوار برشی فولادی مشاهده می‌گردد :

جدول ۶: مقایسه مساحت‌های منحنی هیستریزیس نمونه‌ها

| درصد افزایش | مساحت منحنی هیستریزیس دیوار برشی فولادی | | تعداد طبقات |
|-------------|---|--------------|-------------|
| | CSSW (مرکب) | SSW (معمولی) | |
| ۸۰٪ | ۳۱.۱ | ۱۷.۳ | طبقه ۱ |
| ۶۴٪ | ۶۲.۹ | ۳۸.۳ | طبقه ۲ |
| ۴۴٪ | ۹۳.۱ | ۶۴.۸ | طبقه ۳ |
| ۳۴٪ | ۱۰۷.۳ | ۸۰ | طبقه ۴ |
| ۲۳٪ | ۱۱۷.۲ | ۹۵.۴ | طبقه ۵ |
| ۴۹٪ | میانگین | | |



شکل ۶: مساحت‌های منحنی هیستریزیس نمونه‌ها

۴-۳- میزان سختی :

در مدل‌های مربوط به دیوار برشی فولادی مرکب میزان تغییر مکان‌ها نسبت به دیوار برشی فولادی معمولی کاهش می‌یابد. پس می‌توان این نتیجه‌گیری را نمود که تبدیل دیوار برشی از نوع فولادی به نوع مرکب باعث کاهش تغییر مکان‌های جانبی یا به عبارت بهتر باعث افزایش سختی می‌گردد. علت افزایش سختی به دلیل گسترش میدان کشش قطری و پس‌کمانش به تمام صفحه فولادی می‌باشد. میزان سختی هر نمونه از محاسبه شیب منحنی هیستریزیس هر نمونه و یا از تقسیم نیرو بر تغییر مکان بدست می‌آید.

$$F = k \Delta \Rightarrow k = \frac{F}{\Delta} \quad (1)$$

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{y}{x} \quad (2)$$

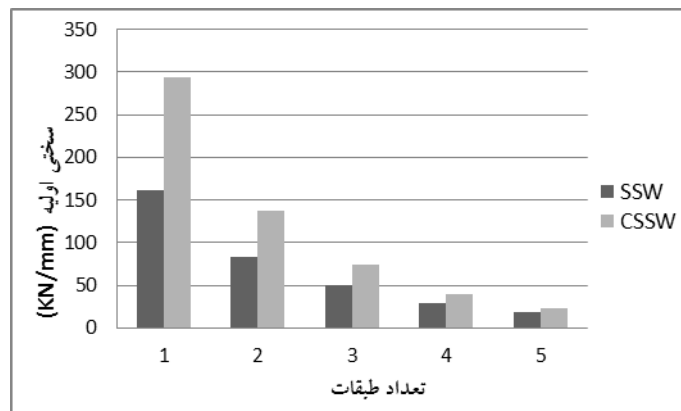
$$k = \tan \theta \quad (3)$$

F : نیرو (KN)
 Δ : تغییر مکان (mm)
 k : سختی (KN/mm)

در جدول و نمودار زیر مقایسه میزان سختی اولیه نمونه‌ها و میزان افزایش سختی اولیه دیوار برشی مرکب نسبت به دیوار برشی فولادی مشاهده می‌گردد :

جدول ۷: مقایسه میزان سختی اولیه نمونه‌ها

| درصد افزایش | سختی اولیه دیوار برشی فولادی | | تعداد طبقات |
|-------------|------------------------------|--------------|-------------|
| | CSSW (مرکب) | SSW (معمولی) | |
| ۸۳٪ | ۲۹۴.۵۲ | ۱۶۱.۰۲ | ۱ طبقه |
| ۶۴٪ | ۱۳۷.۷ | ۸۳.۷۱ | ۲ طبقه |
| ۴۷٪ | ۷۴.۴۳ | ۵۰.۶۹ | ۳ طبقه |
| ۳۲٪ | ۳۹.۵۵ | ۲۹.۹۳ | ۴ طبقه |
| ۲۳٪ | ۲۲.۸ | ۱۸.۵۹ | ۵ طبقه |
| ۵۰٪ | میانگین | | |



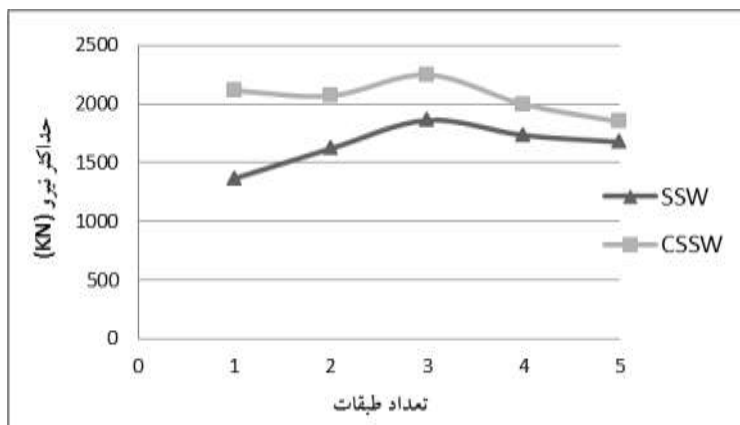
شکل ۷: میزان سختی اولیه نمونه‌ها

۴-۴- حداکثر نیروی تحمل شده توسط دیوار برشی فولادی و مرکب :

حداکثر نیروی تحمل شده توسط دیوار برشی فولادی و مرکب تحت اثر اعمال تغییر مکان‌های یکسان برای مدل‌های متناظر در جدول و نمودار زیر نمایش داده شده است.

جدول ۸: حداکثر نیروی تحمل شده توسط نمونه‌ها

| درصد افزایش | حداکثر نیروی تحمل شده | | تعداد طبقات |
|-------------|-----------------------|--------------|-------------|
| | CSSW (مرکب) | SSW (معمولی) | |
| ۵۵٪ | ۲۱۱۲.۹۸ | ۱۳۶۵.۴۳ | ۱ طبقه |
| ۲۸٪ | ۲۰۶۹.۱۱ | ۱۶۲۰.۱۸ | ۲ طبقه |
| ۲۱٪ | ۲۲۴۸.۶۲ | ۱۸۶۰.۹۲ | ۳ طبقه |
| ۱۵٪ | ۱۹۹۶.۰۶ | ۱۷۳۳.۲۲ | ۴ طبقه |
| ۱۰٪ | ۱۸۴۷.۹۷ | ۱۶۷۵.۹۱ | ۵ طبقه |
| ۲۶٪ | میانگین | | |



شکل ۸: حداکثر نیروی تحمل شده توسط نمونه‌ها

۵- نتیجه گیری

۱- دیوار برشی فولادی مرکب قابلیت بیشتری در جذب انرژی، گسترش تنش‌های ایجاد شده به نقاط مختلف صفحه فولادی و شکل‌پذیری نسبت به دیوار برشی فولادی دارد.

۲- با افزودن پوشش بتنی، سختی دیوار برشی فولادی مرکب افزایش و تغییر مکان جانبی کاهش می‌یابد.

۳- حلقه‌های منحنی هیستریزس دیوار برشی فولادی مرکب منظم‌تر و پایدارتر از دیوار برشی فولادی می‌باشد.

۴- با افزایش تعداد طبقات، مقاومت و سختی اولیه به دلیل افزایش تغییر مکان جانبی، کاهش یافته ولی میزان جذب انرژی و شکل‌پذیری افزایش می‌یابد.

۵- مقدار نیروی تحمل شده در مدل‌های دیوار برشی فولادی مرکب نسبت به دیوار برشی فولادی افزایش می‌یابد.

مراجع

- [۱] قلهکی، م.، و صبوری، س. (۱۳۸۸) تأثیر ضریب شکل‌پذیری بر ضریب رفتار دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک. علمی و پژوهشی سازه و فولاد، ۵(۵).
- [۲] حاتمی، ف.، و صهری، س.م. (۱۳۸۷) بررسی تغییرات ضخامت ورق فولادی بر رفتار دیوار برشی مرکب. علمی و پژوهشی سازه و فولاد، ۴(۴).
- [۳] ارمغانی، ا.، و نالوسی، ج. (۱۳۸۹) سختی و شکل‌پذیری دیوارهای برشی مرکب با لایه بتنی در مقایسه با دیوار برشی فولادی. دومین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، ایران.
- [4] Astaneh-Asl, A. (2002) Seismic Behavior and Design of Composite Steel Plate Shear Walls. *Steel Tips reports*, Department of Civil & Environmental Engineering, University of California, Berkeley.
- [5] Astaneh-Asl, A. (2001) Seismic Behavior and Design of Steel Plate Shear Walls. *Steel Tips reports*, Department of Civil & Environmental Engineering, University of California, Berkeley.
- [6] Thorburn, L.J., Kulak G.L., and Montgomery C.J. (1983) Analysis of steel plate shear walls. Structural Engineering report No. 107, University of Alberta, Canada.
- [7] Driver, R.G., Kulak, G.L., Kennedy, D.J.L., and Elwi, A.E. (1998) Cyclic test of four-story steel plate shear wall. *J Struct Eng ASCE*, 124(2), 112-120.
- [8] Takanashi, Y., Takemoto, T., and Tagaki, M. (1973) Experimental Study on Thin Steel Shear Walls and Particular Bracing under Alternative Horizontal Load. *Preliminary Report*, Lisbon, Portugal.

- [9] Sugii, K., and Yamada, M. (1996) Steel Panel Shear Walls with and Without Concrete Covering. *11th World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, Mexico.
- [10] Nakashima, M. et al. (1994) Energy Dissipation Behavior of Shear Panels Made of Low Yield Steel. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 23, 1299-1313.
- [11] Sabouri-Ghomi, S., and Roberts, TM. (1992) Nonlinear dynamic analysis of steel plate shear walls including shear and bending deformations. *Engineering Structures 1992*, 14(5), 309-317.
- [12] Elgaaly, M. , Caccese, V. (1993) Post-buckling Behavior of Steel- Plate Shear Walls under Cyclic Loads. *J. of Str. Engrg. ASCE*, 119(2), 588-605.