

# مطالعه آزمایشگاهی رفتار دیوارهای برشی فولادی سردنورد شده با پوشش فولادی تحت بارگذاری جانبی چرخه‌ای

شیرین اسماعیلی نیاری<sup>۱\*</sup>، کریم عابدی<sup>۲</sup>، الهام قندی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، مهندسی عمران، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۲- استاد، مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز

۳- استادیار، مهندسی عمران، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

\* اردبیل، صندوق پستی ۱۷۹، sh\_esmaeili@uma.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴)

## چکیده

یکی از سیستم‌های ساختمانی که در سالیان اخیر توسعه مناسبی در سطح جهانی داشته است، سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک سرد نورد شده (CFS) یا (LSF) می‌باشد. قابلیت ساخت این سیستم به صورت پیش ساخته و صنعتی و همچنین میل به توسعه صنعتی سازی ساختمان در کشور، باعث شده است که سیستم ساختمانی مذکور گزینه‌ای قابل اعتنا در صنعت ساختمان سازی کشور شود. دیوارهای برشی فولادی سرد نورد شده (CFS) با پوشش فولادی، یکی از سیستم‌های باربر جانبی در این نوع سیستم ساختمانی می‌باشد. در این مقاله رفتار دیوارهای برشی CFS با پوشش فولادی تحت بارگذاری جانبی چرخه‌ای به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. تاثیر ضخامت پوشش فولادی و یک طرفه یا دو طرفه بودن پوشش فولادی در رفتار جانبی دیوارهای برشی CFS مورد بررسی قرار گرفته و مودهای خرابی حاصل از نتایج آزمایشات و مقاومت برشی نمونه‌های آزمایشی به تفصیل شرح داده شده است.

## واژگان کلیدی

ساختمان‌های فولادی سبک سرد نورد شده، دیوارهای برشی CFS، بارگذاری چرخه‌ای، مقاومت برشی، مودهای خرابی

## Experimental Study of Steel Sheathed Cold-Formed Steel Shear Wall under Cyclic Lateral Loading

Sh. Esmaeili Niari, K. Abedi, E. Ghandi

### Abstract

Lightweight steel frame construction system is one of the building systems that has been good development in recent years in the world. The possibility of prefabrication of LSF systems and the development of building Industrialization in Iran, has led to greater attention to this system. Cold-formed steel shear wall with steel sheathing is one of the lateral load resisting systems in this building system. In this paper, the cyclic lateral behavior of steel sheathed Cold formed steel shear wall has been studied. The effect of steel sheathing thickness and double sided sheathing in lateral behavior of steel sheathed CFS shear wall has been investigated. The failure modes of CFS shear walls and shear strength of them is described in detail.

### Keywords

Lightweight steel frame, Cold-formed steel shear wall, Cyclic loading, Shear strength, Failure modes

۲۰۰۹ [۵] Balh و همکارانش در سال ۲۰۱۰ [۶] Dabreo و همکارانش در سال ۲۰۱۴ [۷] Shamim و همکارانش در سال ۲۰۱۴ [۸]، جواهری تفتی و همکارانش در سال ۲۰۱۴ [۹]، شکبیا نسب و همکارانش در سال ۲۰۱۴ [۱۰] Yanagi و Yu در سال ۲۰۱۳ [۱۱]، در مورد دیوارهای برشی CFS با پوشش فولادی مطالعاتی را انجام داده‌اند.

آیین نامه AISI [۱۲]، مقادیر مقاومت برشی اسمی را برای دیوارهای برشی CFS با پوشش یک‌طرفه فولادی برای برخی ضخامت‌های پوشش فولادی و قاب پیرامونی بر اساس نتایج آزمایشات Serrette و همکارانش ارائه داده است. همچنین در این آیین‌نامه اشاره شده است که مقادیر مقاومت برشی اسمی دیوار برشی CFS با پوشش دو طرفه، دو برابر مقاومت برشی دیوار با پوشش یک‌طرفه است. با توجه به اینکه در مطالعات گذشته بیشتر از پوشش یک‌طرفه فولادی استفاده شده است، در این مطالعه در یک مورد از پوشش دو طرفه فولادی نیز استفاده شده است تا چگونگی عملکرد دیوار برشی CFS با پوشش دو طرفه فولادی مورد بررسی قرار گرفته و صحت مطلب فوق ارزیابی شود. بنابراین هدف از انجام مطالعه حاضر ارزیابی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی CFS با پوشش یک‌طرفه و دو طرفه فولادی به روش آزمایشگاهی می‌باشد. همچنین چگونگی تاثیر ضخامت پوشش فولادی در عملکرد جانبی دیوار برشی CFS مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- آزمایش‌های دیوار برشی CFS با پوشش فولادی

### ۲-۱- آزمایش کشش فولاد

برای فهم بهتر رفتار مصالح فولادی سرد نورد شده بکار گرفته شده در آزمایش دیوارهای برشی CFS با پوشش فولادی، آزمایش کشش فولاد با توجه به الزامات استاندارد A370 [۱۳] بر روی نمونه‌های کششی انجام شده است. بدین منظور نمونه‌های آزمایش کشش مطابق با استاندارد مذکور از ورق‌های فولادی مورد استفاده در پوشش دیوار و همچنین از پروفیل‌های مورد استفاده در اعضای قابی ستونک و تیرک، بدست آمده و مورد آزمایش قرار گرفتند. در کل در آزمایش‌های دیوار برشی CFS، از دو ورق فولادی به ضخامت ۱ و ۱/۵ میلیمتر برای پوشش فولادی و از پروفیل‌های فولادی سردنورد شده به ضخامت ۱/۲ میلیمتر استفاده شده است. مشخصات مکانیکی نمونه‌ها در جدول (۱) آورده شده است. شکل (۱) نمونه آزمایشی را در حین آزمایش و در لحظه گسیختگی نمونه نشان می‌دهد.

استفاده از ساختمان‌های فولادی سرد نورد شده<sup>۱</sup>، بخاطر برخی مزایای منحصر بفرد آن، از جمله نسبت مقاومت به وزن زیاد و سرعت بالای ساخت و ساز، در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی در جهان داشته است. به دلیل سبکی وزن، ساختمان‌های فولادی سرد نورد شده، راهکار موثرتری در مناطق پر خطر لرزه‌ای نسبت به ساختمان‌های متداول فولادی و بتنی است. پانل‌های دیوار برشی فولادی سرد نورد شده (CFS)<sup>۲</sup>، سیستم مقاوم جانبی مورد استفاده در ساختمان‌های با قاب سبک فولادی (LSF)<sup>۳</sup> می‌باشد. سیستم سازه‌ای ساختمان‌های LSF متفاوت با ساختمان‌های فولادی معمولی است. در ساختمان‌های LSF اعضای سازه‌ای اصلی، پانل‌های دیواری برشی، پانل‌های دیواری باربر و پانل‌های کف و سقف می‌باشند؛ در حالی که در ساختمان‌های فولادی معمولی، اعضای اصلی ستون‌ها، تیرها، دیوارهای برشی، مهاربندهای قطری و ... می‌باشند. پانل‌های دیوار برشی در قاب‌های LSF با ستونک‌های<sup>۴</sup> فولادی سرد نورد شده با مقطع C شکل که به صورت قائم با فاصله از هم قرار گرفته‌اند ساخته می‌شوند. انتهای ستونک‌ها به تیرک‌های<sup>۵</sup> بالا و پایین پیچ می‌شوند [۱]. سپس این قاب فولادی سرد نورد شده با استفاده از پوشش‌های سازه‌ای با جنس‌های مختلف از قبیل ورق‌های فولادی نازک، ورق‌های فولادی موج‌دار، ورق‌های چوبی، ورق‌های گچی و ... پوشانده می‌شود. پوشش سازه‌ای می‌تواند در یک یا دو طرف دیوار نصب شود. اتصال پوشش به قاب فولادی پیرامونی با استفاده از وسایل اتصال متفاوتی مثل میخ، پیچ، پرچ، بلت و ... انجام می‌شود. معمول‌ترین روش برای اتصال پوشش به قاب پیرامونی استفاده از پیچ‌های خودکار می‌باشد. برای مقابله با نیروی بالابری ایجاد شده در قسمت پایینی دیوار برشی CFS، هولدان<sup>۶</sup> به ستونک‌های مرزی متصل شده و بوسیله بلت‌های مخصوصی به فونداسیون یا طبقه زیرین متصل می‌شوند. نیروهای برشی و بالابری دو نیروی اعمال شده به دیوار برشی CFS می‌باشند. بلت اتصال هولدان به فونداسیون در برابر نیروی بالابری مقابله می‌کند و نیروهای برشی بوسیله مجموعه اعضای قابی، پوشش و اتصالات پوشش به اعضای قابی تحمل می‌شود.

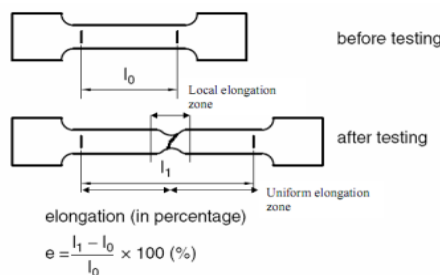
در سال‌های اخیر استفاده از پوشش فولادی در پانل‌های دیوار برشی فولادی سرد نورد شده بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. محققین مختلفی از جمله Serrette و همکارانش در سال ۱۹۹۷ [۲] و [۳] ۲۰۰۲ Yu و همکارانش در سال ۲۰۰۷ [۴] و



جدول ۱- مصالح مورد استفاده در مدل

| ضخامت نمونه‌ها | $F_y$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $F_u$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | درصد ازدیاد طول<br>(%) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| ۱/۰            | ۳۴۱                           | ۳۵۴/۵                         | ۳۶                     |
| ۱/۲            | ۳۱۹                           | ۳۵۷                           | ۳۷                     |
| ۱/۵            | ۲۹۲                           | ۳۳۸                           | ۳۱                     |

در مجموع ۳ نمونه دیوار برشی CFS با پوشش فولادی یک طبقه مطابق مشخصات جدول (۲) در آزمایشگاه سازه دانشگاه صنعتی سهند تبریز آزمایش شد. نمونه‌ها در موقعیت افقی روی کف آزمایشگاه ساخته شده سپس به صورت قائم در قاب آزمایشگاهی نصب شدند. از جک هیدرولیکی ۱۰۰ تنی برای اعمال بار جانبی استفاده شد. برای جلوگیری از تغییر مکان خارج صفحه دیوار از سیستم مهار جانبی استفاده شد.



الف) نمونه در دستگاه آزمایش (ب) باریک شدگی و گسیختگی نمونه

شکل ۱- آزمایش کشش مصالح

جدول ۲- مشخصات نمونه‌های آزمایش شده

| نمونه       | طول دیوار<br>(mm) | ارتفاع دیوار<br>(mm) | ضخامت پوشش فولادی<br>(mm) | ضخامت قاب پیرامونی<br>(mm) | فاصله پیچ‌ها<br>(mm) | پانل با پوشش<br>دوطرفه |
|-------------|-------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|
| st1.2-sh1   | ۱۲۵۰              | ۲۵۰۰                 | ۱/۰                       | ۱/۲                        | ۱۰۰/۳۰۰              | خیر                    |
| st1.2-sh1.5 | ۱۲۵۰              | ۲۵۰۰                 | ۱/۵                       | ۱/۲                        | ۱۰۰/۳۰۰              | خیر                    |
| st1.2-sh1   | ۱۲۵۰              | ۲۵۰۰                 | ۱/۰                       | ۱/۲                        | ۱۰۰/۳۰۰              | بلی                    |

## ۲-۲- ساخت نمونه‌ها

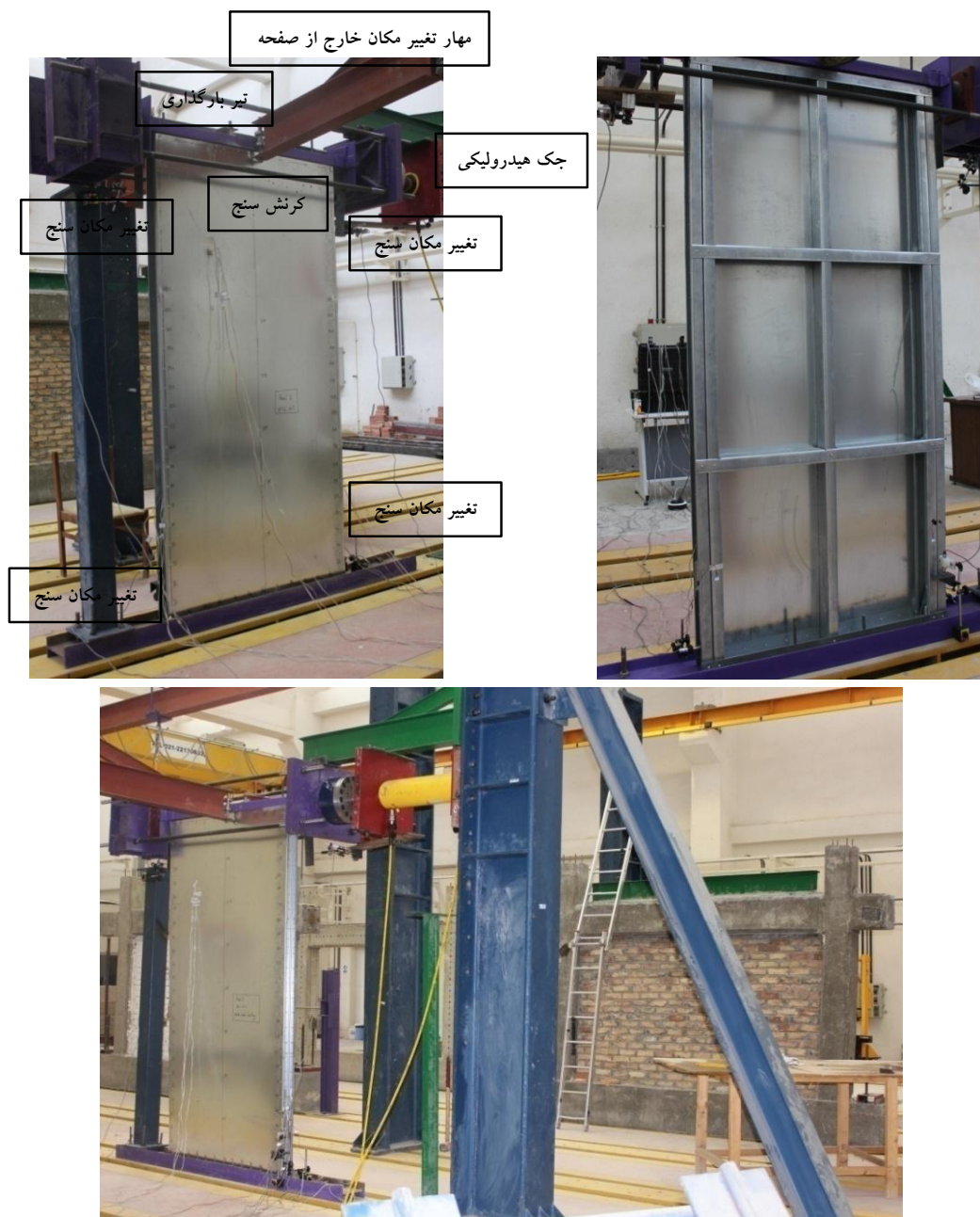
در این بخش به معرفی مصالح و پروفیل‌های مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها و همچنین نحوه ساخت نمونه‌ها پرداخته شده است. از ورق فولادی گالوانیزه به ضخامت‌های اسمی ۱ میلی‌متر و ۱/۵ میلی‌متر به عنوان پوشش سازه‌ای استفاده شده است. از پروفیل‌های فولادی سرد نورد شده C شکل، به ضخامت اسمی

۱/۲ میلی‌متر و ابعاد اسمی ۱۰×۱۵۰×۱۰۰ میلی‌متر به عنوان اعضای عمودی قاب کناری یا ستونک و پروفیل‌های U شکل به ضخامت اسمی ۱/۲ میلی‌متر و ابعاد اسمی ۱۵۰×۱۰۰ میلی‌متر، به عنوان اعضای افقی قاب کناری یا تیرک استفاده شده است. برای مهار نیروهای کششی و فشاری ایجاد شده در ستونک‌های انتهایی از اعضای مهاري که هولدان نامیده می‌شود و از ورق فولادی

به ضخامت ۴ میلیمتر ساخته شده، استفاده شده است. هولدان با استفاده از ۲۰ عدد پیچ به قطر ۶ میلیمتر به قسمت داخلی ستونک‌های کناری متصل می‌شود. پیچ خودکار شماره ۸ به طول ۱۹ میلیمتر و قطر ۴/۲ میلیمتر برای اتصال ستونک‌ها به تیرک‌ها و همچنین برای اتصال پوشش فولادی به ستونک‌ها، بکار رفته است.

یک ستونک میانی در فاصله ۶۲۵ میلیمتری از لبه پانل قرار گرفته است. از دو عدد مهار افقی در فاصله ۱/۳ ارتفاع برای جلوگیری از کماتش ستونک‌ها استفاده شده است. این مهارها از

همان پروفیل تیرک‌ها بوده و برای گذراندن ستونک‌ها از میان آن در محل ستونک‌ها برش داده شده‌اند. پس از اتصال تیرک‌ها به ستونک‌ها و ساخت قاب فولادی سرد نورد شده، ورق فولادی با ابعاد ۲۵۰۰×۱۲۵۰ میلیمتر با استفاده از پیچ خودکار شماره ۸، در فواصل ۱۰۰ میلیمتری به قاب پیرامونی متصل شد. اتصال پوشش فولادی به ستونک میانی در فواصل ۳۰۰ میلیمتری برقرار شده است. فاصله پیچهای پیرامونی از لبه پوشش فولادی ۲۰ میلیمتر می‌باشد. set up کلی آزمایش در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- Set up کلی آزمایش

## ۲-۳- ابزارهای اندازه‌گیری

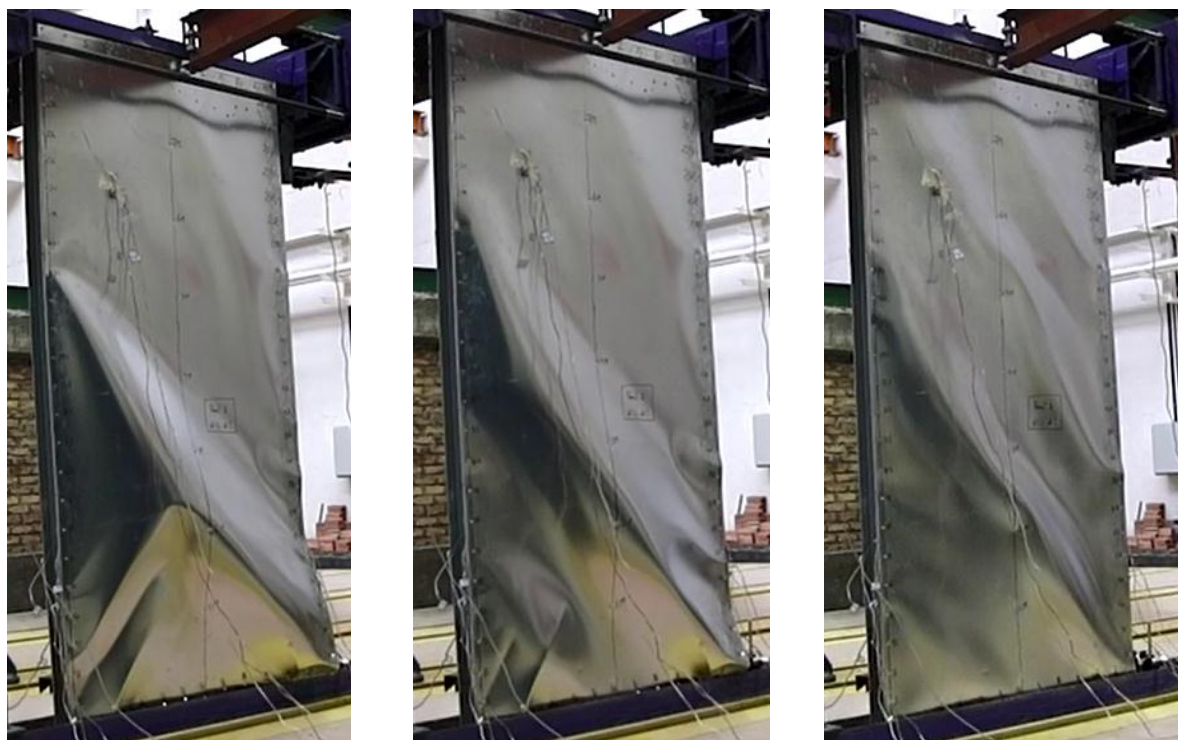
برای بارگذاری جانبی مدل‌های آزمایشگاهی از روش کنترل تغییر مکان طبق دستورالعمل ATC-24 [۱۴] استفاده شد. معیار کنترل تغییر مکان، تغییر مکان جانبی قسمت بالای پانل CFS می‌باشد. بارگذاری نمونه تا گسیختگی پانل دیوار برشی و از دست دادن مقاومت آن ادامه می‌یابد.

## ۳- نتایج آزمایش‌ها

### ۳-۱- نمونه St1.2-Sh1 با پوشش یک‌طرفه

در تغییر مکان جانبی تقریباً ۴۰ میلیمتر، کمانش‌های برشی الاستیک در پانل بوجود می‌آید. با باربرداری، نمونه به حالت اولیه برگشته و تغییر شکل‌های کمانشی حذف می‌شوند. چنانچه در شکل (۳) مشاهده می‌شود، در پایان آزمایش کمانش‌های برشی ماندگار در پوشش فولادی به وجود آمده است. با توجه به اینکه بارگذاری به صورت چرخه‌ای و دو طرفه اعمال شده است، کمانش‌های قطری در هر دو جهت ایجاد شده است.

برای ارزیابی عملکرد نمونه‌های آزمایش تحت بارگذاری اعمالی، ابزارهای اندازه‌گیری تغییر مکان (تغییر مکان سنج<sup>۷</sup>)، بار (بارسنج<sup>۸</sup>) و کرنش (کرنش سنج<sup>۹</sup>) بر روی نمونه‌های آزمایشی قرار داده شده‌اند (شکل (۲)). از ۵ عدد تغییر مکان سنج در هر نمونه برای اندازه‌گیری لغزش جانبی و حرکت رو به بالای پایه ستونک‌های انتهایی استفاده شده است. در این صورت هر گونه تغییر مکان جانبی و حرکت رو به بالای دیوار برشی در صورت وجود، ثبت خواهد شد. علاوه بر این، برای ثبت تغییر مکان جانبی در قسمت فوقانی دیوار نیز از ۲ عدد تغییر مکان سنج استفاده شده است. برای ثبت و ضبط بار جانبی اعمالی به دیوار برشی از بارسنجی به ظرفیت ۱۰۰ کیلو نیوتن، در بین جک هیدرولیکی و محل اعمال نیرو به دیوار استفاده شده است. برای انتقال اطلاعات ابزارهای اندازه‌گیری به کامپیوتر، از دیتالاگر<sup>۱۰</sup> با سرعت متوسط (۲۰ داده در هر ثانیه) استفاده شده است.



شکل ۳- کمانش برشی پوشش فولادی در نمونه دیوار برشی St1.2-Sh1 در مراحل مختلف بارگذاری

پیچ‌ها به تدریج شل می‌شوند. با افزایش بارگذاری، این پیچ‌های شل شده از محل خود درآمده و باعث جدا شدگی پوشش فولادی از قاب کناری می‌شوند که در شکل (۴) نشان داده شده است. در پایان بارگذاری نمونه، با گسیختگی پیچ‌های اتصال

با افزایش نیروی جانبی اعمالی به پانل، نیروهای کششی و فشاری ایجاد شده در ستونک‌های کناری افزایش یافته و باعث افزایش نیروهای برشی وارده به پیچ‌های اتصال پوشش فلزی به قاب پیرامونی در قسمت پایین ستونک‌ها شده و در نتیجه این

می‌شود، باعث ایجاد نیروی کششی زیاد در هولدان شده و بالاآمدگی هولدان و در نتیجه تیرک پایینی را سبب می‌شود که در شکل (۶) نشان داده شده است.

پاسخ دیوار برشی به صورت منحنی چرخه‌ای نیروی برشی در مقابل تغییر مکان جانبی دیوار در شکل (۷) رسم شده است. همچنین پوش منحنی هیستریزس نیز در این شکل رسم شده است. بر اساس نتایج آزمایش، مقاومت برشی اسمی برای دیوار برشی st1.2-sh1 با پوشش یکطرفه در حدود ۲۷ کیلونیوتن می‌باشد.

پوشش در قسمت پایینی قاب و کمانش‌های برشی ایجاد شده در ورق پوشش، ظرفیت باربری نمونه کاهش یافته و در نهایت به صفر می‌رسد. بیرون کشیدگی پیچ‌ها همچنین باعث خرابی و کمانش موضعی بال ستونک‌های کناری به سمت بیرون نیز شده است. ولی در هر صورت ستونک شکل اولیه خود را حفظ کرده است. گسیختگی به صورت کمانش خمشی ستونک‌ها مشاهده نشده است. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، کمانش‌های موضعی در برخی قسمت‌های ستونک‌ها مشاهده شده است. نیروهای کششی زیادی که به ستونک کششی وارد



شکل ۴- بیرون آمدگی پیچ و جداشدگی پوشش از قاب پیرامونی شکل

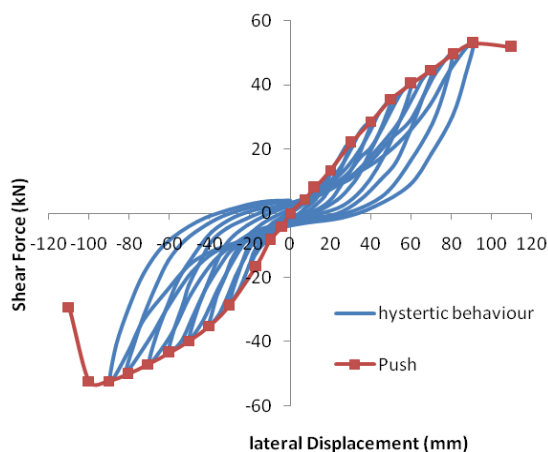


شکل ۵- کمانش موضعی ستونک

در مقابل تغییر مکان جانبی دیوار در شکل (۹) رسم شده است. همچنین پوش منحنی هیستریزس نیز در این شکل رسم شده است. بر اساس نتایج آزمایش، مقاومت برشی اسمی برای دیوار برشی St1.2-sh1 با پوشش دوطرفه در حدود ۵۳ کیلو نیوتن می باشد.



شکل ۸- کمانش موضعی ستونک کناری، بیرون آمدگی پیچ و جدا شدگی پوشش از قاب فولادی



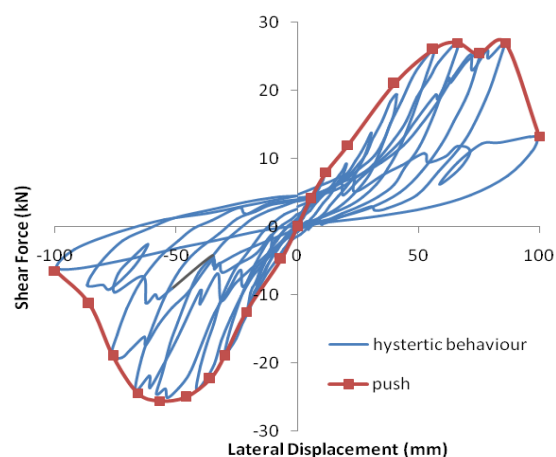
شکل ۹- منحنی بار-تغییر مکان نمونه دیوار برشی St1.2-sh1 با پوشش دو طرفه

### ۳-۳- نمونه St1.2-Sh1.5

نمونه با ضخامت پوشش ۱/۵ میلیمتر نیز مشابه دیگر نمونه های آزمایش شده، در نهایت با بیرون آمدن پیچ اتصال پوشش به قاب پیرامونی در قسمت پایین ستونک ها و تیرک پایینی، مقاومت خود را از دست داده و دچار خرابی می شود. تنها تفاوتی که هست این است که به دلیل ضخامت زیاد پوشش فولادی، کمانش های برشی در مقایسه با دو نمونه دیگر زیاد



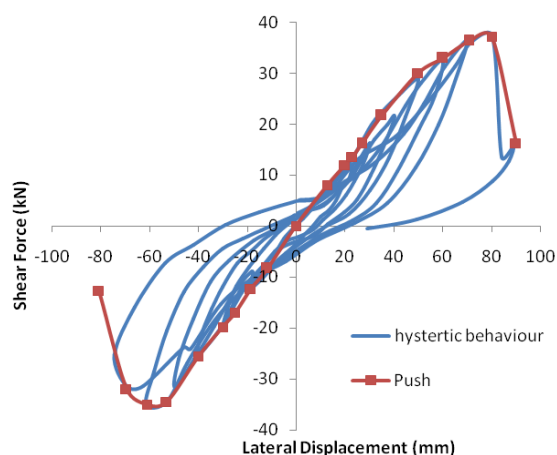
شکل ۶- کمانش و بالا آمدگی تیرک



شکل ۷- منحنی بار-تغییر مکان نمونه دیوار برشی St1.2-sh1 با پوشش یک طرفه

### ۳-۲- نمونه St1.2-Sh1 با پوشش دوطرفه

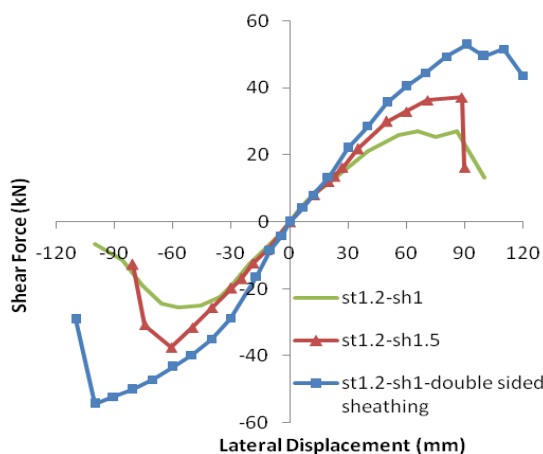
مودهای گسیختگی نمونه پانل دیوار برشی St1.2-Sh1 با پوشش دوطرفه نیز تا حدودی شبیه مودهای گسیختگی نمونه با پوشش یک طرفه است. در طی بارگذاری، کمانش های برشی الاستیک در نمونه به چشم می خورد. در موقع رسیدن به مقاومت نهایی پانل دیوار برشی، به دلیل افزایش نیروی کششی و فشاری ایجاد شده در ستونک های کناری، کمانش موضعی شدیدی در محل بالای هولد دان در ستونک فشاری بوجود می آید که در شکل (۸) نشان داده شده است. به دنبال کمانش موضعی ستونک، بیرون آمدگی پیچ های اتصال پوشش به قاب پیرامونی در محل ستونک کمانش یافته، بوقوع پیوسته و به ترتیب بیرون آمدن پیچ ها به نواحی مجاور نیز گسترش پیدا کرده است. این امر باعث جدا شدن پوشش فولادی از قاب پیرامونی می شود. ورق پوشش فولادی در هر دو سمت دیوار دچار کمانش برشی شده است. پاسخ دیوار برشی به صورت منحنی چرخه ای نیروی برشی



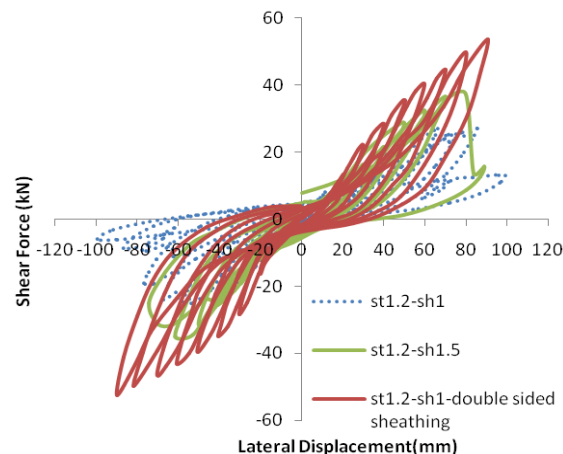
شکل ۱۰- منحنی بار-تغییر مکان نمونه دیوار برشی st1.2-sh1.5

مشهود نیست. منحنی هیستریزیس بار-تغییر مکان نمونه مذکور در شکل (۱۰) نشان داده شده است. مقاومت برشی اسمی برای دیوار برشی st1.2-sh1.5 در حدود ۳۷.۵ کیلونیوتن می‌باشد.

در شکل (۱۱-الف) منحنی‌های هیستریزیس و در شکل (۱۱-ب) پوش منحنی‌های هیستریزیس بدست آمده از آزمایش نمونه‌های دیوار برشی CFS با پوشش فولادی با هم مقایسه شده است. همچنین در جدول (۳)، مقادیر ظرفیت برشی و سختی الاستیک متناظر با هر کدام از نمونه‌ها، محاسبه شده و آورده شده است. با افزایش ضخامت پوشش فولادی از ۱ میلی‌متر به ۱/۵ میلی‌متر، ظرفیت برشی پانل به میزان ۳۵٪ و همچنین سختی الاستیک در حدود ۷٪ افزایش یافته است. همچنین با استفاده از پوشش دو طرفه در نمونه St1.2-Sh1، ظرفیت برشی تقریباً ۱۰۰٪ و سختی الاستیک در حدود ۲۳٪ افزایش یافته است.



ب) منحنی پوش هیستریزیس



الف) منحنی هیستریزیس

شکل ۱۱- مقایسه منحنی بار-تغییر مکان نمونه‌های آزمایشگاهی

جدول ۳- نتایج آزمایش‌ها

| تغییر مکان متوسط<br>متناظر با ظرفیت<br>برشی نهایی<br>(mm) | سختی<br>الاستیک<br>متوسط<br>(kN/mm) | سختی<br>الاستیک<br>(-)<br>(kN/mm) | سختی<br>الاستیک<br>(+)<br>(kN/mm) | ظرفیت برشی<br>نهایی متوسط<br>(kN) | ظرفیت<br>برشی نهایی<br>(-)<br>(kN) | ظرفیت<br>برشی نهایی<br>(+)<br>(kN) | نمونه                 |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| ۶۱/۵                                                      | ۰/۶۰۵                               | ۰/۶۱                              | ۰/۶۰                              | ۲۶/۳                              | ۲۵/۶                               | ۲۷                                 | St1.2-Sh1-one side    |
| ۹۲/۵                                                      | ۰/۷۴۵                               | ۰/۷۶                              | ۰/۷۳                              | ۵۳/۶                              | ۵۴/۳۴                              | ۵۲/۸۶                              | St1.2-Sh1-double side |
| ۷۴/۵                                                      | ۰/۶۴۵                               | ۰/۶۷                              | ۰/۶۲                              | ۳۷/۴                              | ۳۷/۵۲                              | ۳۷/۲۵                              | St1.2-Sh1.5           |

برشی پوشش فولادی، بیرون کشیدگی پیچ‌های اتصال پوشش به قاب پیرامونی و جدا شدگی ورق پوشش فولادی از قاب پیرامونی می‌شود. می‌توان گفت که مهمترین عامل خرابی

#### ۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایشات انجام یافته، مودهای گسیختگی پانل‌های دیوار برشی CFS با پوشش فولادی شامل کماتش‌های



- [5] Yu, C. and Chen, Y. (2009), "Steel Sheet Sheathing Options for Cold-Formed Steel Framed Shear Wall Assemblies Providing Shear Resistance-Phase 2", A Research Report Submitted to American Iron and Steel Institute.
- [6] Balh, N., DaBreo, J., Ong-Tone, C., El-Saloussy, K., Yu, C. and Rogers, C. (2014), "Design of Steel Sheathed Cold-Formed Steel Framed Shear Walls", *Thin-Walled Structures*, Vol. 75, pp. 76-86.
- [7] DaBreo, J., Balh, N., Ong-Tone, C. and Rogers, C. (2014), "Steel Sheathed Cold-Formed Steel Framed Shear Walls Subjected to Lateral and Gravity Loading", *Thin-Walled Structures*, Vol. 74, pp. 232-245.
- [8] Shamim, I. and Rogers, C. (2013), "Steel Sheathed/CFS Framed Shear Walls Under Dynamic Loading: Numerical Modelling and Calibration", *Thin-Walled Structures*, Vol. 71, pp. 57-71.
- [9] Javaheri-Tafti, M., Ronagh, H., Behnamfar, F. and Memarzadeh, P. (2014), "An Experimental Investigation on the Seismic Behavior of Cold-Formed Steel Walls Sheathed by Thin Steel Plates", *Thin-Walled Structures*, Vol. 80, pp. 66-79.
- [10] Shakibanasab, A., Attari, N. and Salari, M. (2014), "A Statistical and Experimental Investigation Into the Accuracy of Capacity Reduction Factor for Cold-Formed Steel Shear Walls With Steel Sheathing", *Thin-Walled Structures*, Vol. 77, pp. 56-66.
- [11] Yanagi, N. and Yu, Ch. (2014), "Effective Strip Method for the Design of Cold-Formed Steel Framed Shear Wall with Steel Sheet Sheathing", *Journal of structural engineering*, Vol. 140, No. 4, pp. 1-8.
- [12] AISI S213-07, (2007), North American Standard for Cold-Formed Steel Framing-Lateral Design.
- [13] ASTM A370, A370-06, (2006), Standard Test Methods and Definitions For Mechanical Testing of Steel Products, American Society for Testing and Materials.
- [14] ATC-24, (1992), Guidelines for Seismic Testing of Components of Steel Structures, Applied Technology Council (ATC), Report 24.

پانل‌های برشی CFS با پوشش فولادی، گسیختگی اتصالات پوشش به قاب پیرامونی می‌باشد که باعث جدا شدن ورق پوشش فولادی از قاب پیرامونی شده و سبب از دست رفتن مقاومت برشی پانل برشی می‌شود. در بررسی چگونگی تاثیر ضخامت پوشش فولادی در رفتار برشی دیوار برشی می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که با افزایش ضخامت پوشش فولادی از ۱ میلیمتر به ۱/۵ میلیمتر، ظرفیت برشی پانل به میزان ۳۵٪ و همچنین سختی الاستیک در حدود ۷٪ افزایش یافته است. همچنین با استفاده از پوشش دو طرفه در نمونه St1.2-Sh1، ظرفیت برشی تقریباً ۱۰۰٪ و سختی الاستیک در حدود ۲۳٪ افزایش یافته است. لازم به ذکر است که برای یک نتیجه‌گیری کلی لازم است نمونه‌های بیشتری مورد بررسی قرار گیرد.

#### ۵- مراجع

- [1] Martínez, J. (2007), "Seismic Performance Assessment of Multi-Storey Buildings with Cold Formed Steel Shear Wall Systems", A thesis presented to the University of Waterloo in fulfilment of the thesis requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering, Waterloo, Ontario, Canada.
- [2] Serrette, R. (1997), "Additional Shear Wall Values for Light Weight Steel Framing", Research Report ,RP 97-2,1997, revision 2007. American Iron and Steel Institute, AISI.
- [3] Serrette, R. (2002), "Performance of Cold-Formed Steel-Framed Shear Walls: Alternative Configurations", Final Report: LGSRG-06-02, Santa Clara University, Santa Clara, CA.
- [4] Yu, C. (2007), "Steel Sheet Sheathing Options for Cold-Formed Steel Framed Shear Wall Assemblies Providing Shear Resistance", A Research Report Submitted to American Iron and Steel Institute.

#### پی نوشت

- <sup>1</sup> Cold-formed steel structures
- <sup>2</sup> Cold-formed steel-CFS
- <sup>3</sup> Light steel frame-LSF
- <sup>4</sup> Stud
- <sup>5</sup> Track
- <sup>6</sup> Hold-down
- <sup>7</sup> Linear variable differential transformers (LVDT)
- <sup>8</sup> Load cell
- <sup>9</sup> Strain gauge
- <sup>10</sup> Data-logger

