



# بررسی تأثیر پوشش‌های تخته سیمانی الیافی و تخته گچی بر رفتار لرزه‌ای دیوارهای سبک فولادی سردنورد

فرهنگ فرحبود<sup>۱</sup>، فرهاد حکیمی فرد<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱)

## چکیده

این تحقیق به بررسی تجربی تأثیر صفحات پوششی گچ‌برگ و تخته سیمانی الیافی بر عملکرد لرزه‌ای دیوارهای سبک فولادی با یا بدون مهاربند تسمه‌ای قطری پرداخته‌است. برای این هدف، ۵ نمونه دیوار سبک فولادی سرد نورد، به طول ۳۶۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰۰ میلی‌متر تحت بارگذاری جانبی رفت و برگشتی و بدون حضور بار سفلی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. برای تمام نمونه‌ها منحنی‌های چرخه‌ای، مد شکست و ضریب شکل‌پذیری استخراج و با یکدیگر مقایسه شده‌است. آزمایشات نشان دادند که نصب پوشش‌های غیرسازه‌ای مانند تخته سیمانی الیافی و گچ‌برگ، عمدتاً به بهبود رفتار لرزه‌ای دیوارهای سبک فولادی مهاربند شده می‌انجامد. در مقایسه با نمونه بدون پوشش، نصب پوشش‌های تخته سیمانی الیافی و تخته گچی، اثرات محسوسی بر ظرفیت برشی، شکل‌پذیری و مد خرابی قاب‌های سبک فولادی دارد. ظرفیت برشی نمونه‌های دارای مهاربند ضربدری و همراه با پوشش‌های مذکور تا ۴۰٪ افزایش داشته‌است. همچنین ضریب شکل‌پذیری نمونه‌های مهاربند شده نیز با نصب پوشش‌های تخته سیمانی الیافی و تخته گچی تا مرز ۴۰٪ افزایش پیدا می‌کند.

## کلمات کلیدی

دیوارهای سبک فولادی، گچ‌برگ، تخته سیمانی الیافی، ضریب شکل‌پذیری، منحنی چرخه‌ای

## Impression of Gypsum Panel and Fiber Cement Board Sheathing on Seismic Behavior of Cold-Formed Steel Stud Walls

F. Farahbod, F. Hakimi Fard

### ABSTRACT

This paper investigates the impressions of gypsum panel and fiber cement board sheathing on seismic performance of CFS stud walls. For this purpose, five 3600 in 3000 millimeter (length in height) specimens which three of them were strapped diagonally have been tested under cyclic loading. The hysteresis diagram, failure modes and ductility coefficient, were extracted for each specimen and compared. The experiments showed the nonstructural sheathing boards such as gypsum panel and fiber cement cladding would improve the lateral performance of the CFS walls – with or without the strap brace – by 40 percent in average.

### KEYWORDS

Cold-formed steel stud wall, Gypsum panel, Fiber cement board, Ductility factor, Hysteresis curve

۱- استادیار، عضو هیئت علمی بخش سازه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، FarhangFarahbod@yahoo.com (نویسنده مسئول)

۲- مدرس دانشگاه، کارشناسی ارشد مهندسی زلزله پژوهشکده ساختمان و مسکن، Farhad.Hkmf@gmail.com



در احداث ساختمان‌های «قاب‌های سبک فولادی» علاوه بر اجزای سازه‌ای، اجزای غیر سازه‌ای مانند صفحات پوششی سبک دیوارها نیز حائز اهمیت هستند. با این وجود توجه محققین بیشتر بر بررسی رفتار لرزه‌ای دیوارهای متشکل از مقاطع سردنورد شده، تحت تأثیر عواملی نظیر ابعاد دیوار، انواع اتصالات، ابعاد مقاطع و... معطوف بوده و بررسی تأثیر نصب پوشش‌های غیرسازه‌ای بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های سبک فولادی کمتر مورد آزمایش و تحقیق قرار گرفته‌است. این مقاله تجربی، نتایج آزمایش ۵ دیوار فولادی سرد نورد شده را ارائه می‌دهد که با ثابت در نظر گرفتن مشخصات هندسی و مکانیکی، تأثیر نصب «تخته‌های سیمانی الیافی و تخته‌های گچی» را بر عملکرد لرزه‌ای قاب سبک فولادی مورد بررسی قرار داده است. طی این آزمایشات، منحنی چرخه‌ای، مد تسلیم و خرابی هر نمونه ثبت شد، و در ادامه با استفاده از مشاهدات و نتایج به دست آمده، رفتار لرزه‌ای دیوارهای فولادی سرد نورد شده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

مطالعات تجربی متعددی بر روی دیوارهای سبک فولادی سرد نورد صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به آزمایشات Adham و همکارانش [۱]، Fulop و همکارانش [۲]، Kim و همکارانش [۳] و Al-Karat و Rogers [۴] اشاره نمود. تحقیقات آنها بیشتر بر تخمین ظرفیت برشی دیوارهای همراه با «مهاربند تسمه‌ای ضربدری، پوشش‌هایی نظیر صفحات گچی و بار ثقلی» یا بدون حضور آنها تحت بارگذاری جانبی سیکلیک، تمرکز داشت.

آزمایشات انجام شده در سالیان اخیر، اثبات کرده‌است که نصب صفحات پوششی در رفتار لرزه‌ای قاب مهاربندی شده تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارند. مقیمی و رونق بیست دیوار فولادی سرد نورد شده را تحت تأثیر متغیرهای مهاربندی مختلف و نصب صفحات گچی مورد آزمایش سیکلیک قرار دادند. نتایج نشان داد، نصب تخته‌های گچی اثر مثبتی بر مقاومت و شکل پذیری دیوارهای همراه با تسمه‌های مهاربندی دارد. اما اعتماد به

تخته‌های گچی به عنوان عضو اصلی باربر جانبی، خصوصاً در حضور بار ثقلی ایده‌ی خوبی نیست [۵ و ۶]. Serrette و Ogunfunmi [۷] عملکرد لرزه‌ای هشت قاب سبک فولادی مهاربندی شده و دارای پوشش صفحات گچی را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایشات نشان داد مد شکست نمونه‌های دارای صفحات گچی همراه با تسمه مهاربند، وقوع خرابی در صفحات گچی است.

Gad و همکارانش [۸] عملکرد لرزه‌ای ساختمان قاب سبک فولادی یک طبقه‌ای را تحت بارگذاری سیکلیک جانبی مورد مطالعه قرار دادند. قاب‌های منفرد، مهاربند شده و همراه یا بدون پوشش صفحات گچی بودند. آزمایش میز لرزان، وقوع خرابی را «گسیختگی تسمه مهاربند در نزدیکی محل اتصال به قاب» یا «گسیختگی صفحات گچی در محل اتصال پیچ‌ها» نشان داد.

## ۲- برنامه آزمایشات

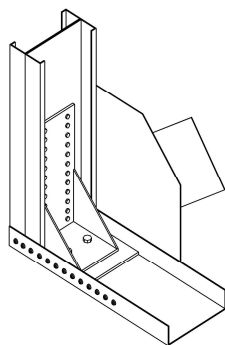
### ۲-۱- مشخصات نمونه‌ها

برای این تحقیق پنج قاب سبک فولادی با ارتفاع ۳۰۰۰ و عرض ۳۶۰۰ میلی‌متر مورد آزمایش قرار گرفته‌اند (شکل (۱)). نمونه‌ها شامل دو گروه دیوارهای بدون مهاربند تسمه‌ای ضربدری و دیوارهای همراه با مهاربندهای تسمه‌ای در دو سمت دیوار می‌باشند. در نمونه‌های دارای مهاربند، تسمه‌ها با به‌کارگیری ورق‌های گوشه به المان‌های مرزی افقی و عمودی قاب متصل شدند تا از هرگونه پارگی احتمالی در محل اتصال جلوگیری به عمل آید. همچنین به منظور جلوگیری از وقوع بلندشدگی در چهارگوشه قاب‌ها، از نبشی و میل‌های مهاربند مطابق شکل (۲) استفاده شد. برای تمام دیوارها، استادها در فواصل ۶۰۰ میلی‌متر از یکدیگر نصب شدند. به جز استادهای مرزی که از مقطع دابل پشت‌به‌پشت در آنها استفاده شد، سایر اعضا شامل استادهای میانی، رانرهای فوقانی و تحتانی و کمرکش‌ها از مقطع C شکل منفرد ساخته شدند.

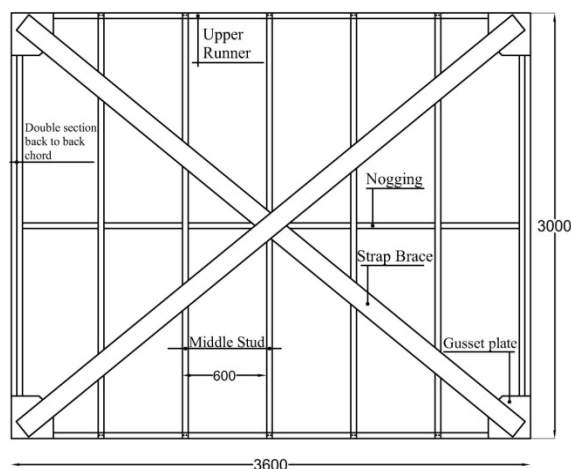
صفحات پوششی گچ‌برگ و تخته سیمانی الیافی به ترتیب دارای ابعادی برابر با  $۱۵ \times ۱۲۰۰ \times ۳۰۰۰$  و  $۹ \times ۱۲۰۰ \times ۱۵۰۰$



میلی متر هستند، و توسط پیچ‌های خودکار نمره ۴ در فواصل ۲۵۰ میلی متر به استاداها و در فواصل ۳۰۰ میلی متر به رانرها متصل شدند.



شکل (۲): آرایش پیچ‌های نبشی و میل‌های مهاري



شکل (۱): قاب سبک فولادی مورد استفاده در آزمایش‌ها

## ۲-۲- مشخصات مصالح

مشخصات مکانیکی مصالح اعضا فولادی سرد نورد شده در آزمایشگاه بخش سازه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ایران، مورد آزمایش و بررسی قرار گرفتند. نتایج این آزمایشات در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- مشخصات مکانیکی اعضای قاب

| عضو                | Grade اسمی (MPa) | ضخامت اسمی (mm) | مدول الاستیک (GPa) | تنش تسلیم (MPa) | کرنش تسلیم، $F_y$ (%) | تنش نهایی، $F_u$ (MPa) | $F_u/F_y$ |
|--------------------|------------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------|
| اعضای سرد نورد شده | ۵۵۰              | ۲/۰۰            | ۲۰۰                | ۲۴۰             | ۰/۱۲                  | ۳۴۰                    | ۱/۴۲      |
| تسمه‌های مهاربندی  | ۳۰۰              | ۱/۲۵            | ۲۰۰                | ۲۴۰             | ۰/۱۲                  | ۳۴۰                    | ۱/۴۲      |

سمت دیگر پوشانده شده است.

## ۲-۴- پیکربندی و بارگذاری آزمایش‌ها

جزئیات پیکربندی و برپایی نمونه‌های آزمایشی در شکل (۳) نشان داده شده است. رانر تحتانی در مجاورت استاداها میانی به تیر فونداسیون متصل و به منظور جلوگیری از پارگی ورق جان رانر در محل اتصال، از قطعات C شکل تقویتی استفاده شد. رانر فوقانی نیز با همین شیوه به تیر بارگذاری متصل شد.

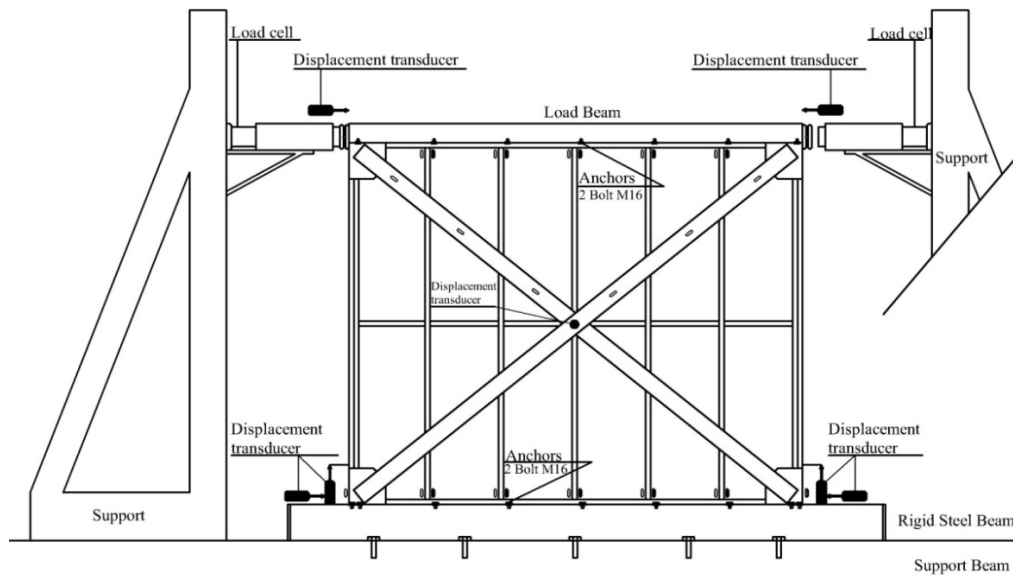
جابجایی افقی، بلندشدگی احتمالی و تغییرمکان احتمالی خارج از صفحه قاب‌ها با استفاده از «مبدل‌های جابجایی» اندازه‌گیری و ثبت شده است. برای هرکدام از نمونه‌های آزمایشی از هشت «مبدل جابجایی» استفاده شد. به نحوی

## ۲-۳- نام‌گذاری نمونه‌ها

قاب سبک فولادی BOO، دارای بادبندهای تسمه‌ای در هر دو سمت دیوار و فاقد هرگونه ورق پوششی است. نمونه BFG دارای مهاربند تسمه‌ای ضربدری در دو سمت دیوار، پوشش تخته‌های سیمانی الیافی در یک وجه و تخته‌های گچی است. دیوار فولادی سرد نوردشده سوم، نمونه BFF است که دارای مهاربند تسمه‌ای ضربدری و صفحات پوششی تخته سیمانی الیافی در دو طرف دیوار است. نمونه‌های UFG و UGG فاقد مهاربند تسمه‌ای در طرفین دیوار هستند. با این تفاوت که نمونه UGG پوشیده شده با تخته‌های گچی در طرفین دیوار است اما نمونه UFG با تخته‌های گچی در یک سمت و تخته‌های سیمانی الیافی در

استاندارد ASTM E2126-07 اعمال شده است. به این منظور بار جانبی رفت و برگشتی، به شیوه کنترل تغییر مکان و با جابجایی‌های ۱/۱۲۵، ۲/۲۵، ۳/۳۷۵، ۴/۵، ۶/۷۵ و ۹/۰ میلی‌متر، در یک سیکل و جابجایی‌های ۱۳/۵، ۱۸/۰، ۲۷/۰، ۳۶/۰، ۴۵/۰، ۵۴/۰، ۶۳/۰، ۷۲/۰، ۸۱/۰، ۹۰/۰، ۱۰۸/۰ و ۱۲۰/۰ میلی‌متر در سه سیکل متوالی به تمام نمونه‌ها اعمال شد.

که چهار دستگاه از آنها، تغییر مکان افقی را در چهار گوشه قاب، دو مبدل دیگر بلندشدگی احتمالی را در دو گوشه پائینی قاب و دو «مبدل جابجایی» دیگر تغییر مکان احتمالی خارج از صفحه را اندازه‌گیری می‌کنند. جانمایی «مبدل‌های جابجایی» و همچنین محل قرارگیری «کرنش سنج‌ها» در شکل (۳) نشان داده شده است. برای تمام دیوارهای فولادی سرد نورد شده مورد آزمایش، بارگذاری جانبی بدون حضور بار ثقلی و مطابق با روش B



شکل (۳): جزئیات پیکربندی و برپایی نمونه‌های آزمایشی

پوشش‌های تخته سیمانی و وقوع لهیدگی در صفحات روکش دار گچی را به همراه داشت. پس از آن، با توجه به رفتار ترد تخته‌های سیمانی الیافی، ادامه بارگذاری جانبی منجر به گسترش هرچه بیشتر ترک‌ها و جدا شدن تدریجی آنها از سطح قاب فولادی گردید. همچنین هیچ گسیختگی یا جداشدگی برای تخته‌های گچی تا پایان بارگذاری مشاهده نشد.

**نمونه BFF** رخداد اولین ترک در نمونه BFF در محل اتصال لبه تخته سیمانی به استاد میانی در تغییر مکان جانبی ۴/۵ میلی‌متر مشاهده شد. سیکل‌های بعدی بارگذاری جانبی سبب گسترش و تعدد ترک‌ها در تخته سیمانی دو طرف دیوار گردید. تا جایی که اعمال تغییر مکان جانبی حدود ۳۵ میلی‌متر منجر به پاره شدن پوشش تخته سیمانی

### ۳- یافته‌ها و نتایج

#### ۳-۱- مدهای خرابی

**نمونه BOO** بارگذاری جانبی سیکلیک روی دیوار سبک فولادی BOO، منجر به وقوع تسلیم تسمه‌های مهاربند ضربداری در تغییر مکان حدود ۱۶ میلی‌متر شد. طی تمام مراحل بارگذاری جانبی روی نمونه BOO و همچنین دیگر نمونه‌های دارای مهاربند ضربداری، هیچگونه پارگی در تسمه‌های مهاربند، اتصالات آنها و نیز بلندشدگی در قاب مشاهده نشد.

**نمونه BFG** اعمال جابه‌جایی جانبی رفت و برگشتی بر نمونه BFG منجر به رخداد ترک در محل اتصال تخته سیمانی الیافی به استاد‌های میانی گردید. افزایش بار جانبی گسترش ترک‌ها در محل اتصال پیچ‌های خودکار به

لهیدگی، خوردشدگی و گسیختگی تخته‌های گچی در محل‌های اتصال به قاب فولادی ثبت شد.

### ۳-۲- نمودارهای چرخه‌ای و پوش

بر اساس نتایج حاصل از بارگذاری جانبی چرخه‌ای، مقادیر جابجایی و ظرفیت برشی متناظر با تسلیم قاب، جابجایی و مقاومت جانبی نهایی و همچنین مقاومت برشی بیشینه قاب، در جدول (۲) ذکر شده‌اند. آنچنان که انتظار می‌رفت، نصب پوشش‌ها تاثیر محسوسی بر ظرفیت برشی نمونه‌ها داشته است. با مقایسه اعداد جدول مشاهده می‌شود که ظرفیت برشی بیشینه نمونه‌های BFF و BFG که از صفحات پوشش گچی و تخته سیمانی الیافی نیز بهره گرفته‌اند، به ترتیب ۲۷٪ و ۴۰٪ نسبت به نمونه BOO، افزایش داشته‌است. در مقابل، ظرفیت برشی نمونه‌های بدون بادبند UFG و UGG که هرکدام شامل صفحات پوشش گچی یا تخته سیمانی الیافی بوده‌اند، کم‌ترین مقادیر ظرفیت برشی را به خود اختصاص داده‌اند که این امر به دلیل عدم بهره‌گیری از بادبند تسمه‌ای است. در مقایسه با نمونه BOO ظرفیت برشی بیشینه دیوارهای UGG و UFG به ترتیب ۷۰٪ و ۵۰٪ کاهش داشته است.

در محل اتصال پیچ‌ها شد. ادامه بارگذاری جانبی پس از وقوع خرابی در نمونه BFF، با جدا شدن بیشتر تخته سیمانی دو طرف دیوار از سطح قاب فولادی همراه بود.

نمونه UFG: بروز ترک خوردگی در محل اتصال تخته‌های سیمانی به استادهای میانی نخستین خرابی حادث در نمونه UFG بود. همزمان با ترک خوردگی تخته‌های سیمانی، لهیدگی و لغزش در محل اتصال پوشش‌های گچی سمت دیگر دیوار به استادهای میانی به وقوع پیوست. ادامه بارگذاری جانبی، گسترش ترک در تخته‌های سیمانی و لهیدگی بیشتر صفحات گچی را در پی داشت تا زمانی که تعدد و گستردگی ترک‌های ایجاد شده در تخته‌های سیمانی سبب افت ظرفیت برشی نمونه UFG گردید. در نهایت در تغییر مکان جانبی ۹۰ میلی‌متر قسمت عمده‌ای از تخته‌های سیمانی الیافی دچار شکست شده و نمونه عملاً تخریب شد.

نمونه UGG: اولین تاثیر بارگذاری جانبی روی نمونه UGG رخداد ترک در لبه فوقانی تخته گچی در فاصله بین دو پیچ اتصال گچ برگ به رانر فوقانی ثبت شد. ادامه بارگذاری جانبی نیز سبب لهیدگی تدریجی صفحات گچی در محل پیچ‌های اتصال به قاب فولادی و بروز اولین خوردشدگی پوشش گچی شد. مد خرابی دیوار UGG

جدول ۲- نتایج حاصل از بارگذاری سیکلیک نمونه‌ها و مقایسه آنها

| مقایسه نسبی          |                     | نتایج آزمایش          |                         |                          |                         |                     |                    |                     |          |
|----------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------|
| ضریب شکل پذیری $\mu$ | مقاومت برشی ماکزیمم | ضریب شکل پذیری* $\mu$ | جابجایی نسبی نهایی (mm) | مقاومت برشی ماکزیمم (kN) | مقاومت برشی نهایی* (kN) | جابجایی نهایی* (mm) | مقاومت تسلیم* (kN) | جابجایی تسلیم* (mm) | نمونه‌ها |
| ۱/۰۰                 | ۱/۰۰                | ۵/۹۲                  | ۴/۰۰                    | ۶۴/۴                     | ۶۴/۲۹                   | ۱۲۰/۵۰              | ۵۹/۲۹              | ۲۰/۳۵               | B00      |
| ۱/۴۱                 | ۱/۲۷                | ۸/۳۴                  | ۴/۰۰                    | ۸۴/۵                     | ۸۲/۲۳                   | ۱۲۰/۲۵              | ۷۴/۳۸۵             | ۱۴/۴۲               | BFG      |
| ۱/۰۳                 | ۱/۴۰                | ۶/۱۱                  | ۲/۲۴                    | ۹۳/۵                     | ۹۰/۳۵                   | ۶۷/۰۵               | ۷۹/۹۰              | ۱۰/۹۹               | BFF      |
| ۱/۱۳                 | ۰/۵۱                | ۶/۶۶                  | ۱/۱۷                    | ۴۳/۰                     | ۳۳/۰۹                   | ۵۳/۰۰               | ۲۹/۷۵              | ۷/۹۵                | UFG      |
| ۲/۰۰                 | ۰/۳۱                | ۱۱/۸۴                 | ۲/۳۳                    | ۲۱/۰                     | ۱۹/۸۴                   | ۶۹/۷۵               | ۱۸/۱۳              | ۵/۸۸                | UGG      |

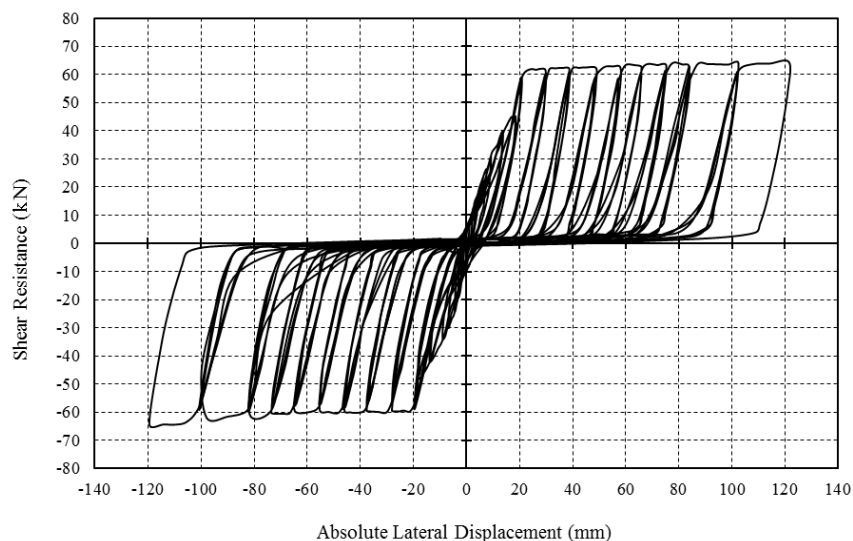
\* توضیح اینکه: مقادیر مقاومت تسلیم، مقاومت برشی نهایی، جابجایی تسلیم و جابجایی نهایی بر اساس مقدار متوسط بارگذاری رفت و برگشت محاسبه شده‌اند.

شکل (۱۰) نمایش داده شده است. به هم فشردگی مشهود در منحنی چرخه‌ای وقوع لغی برشی و مقدار کم استهلاک

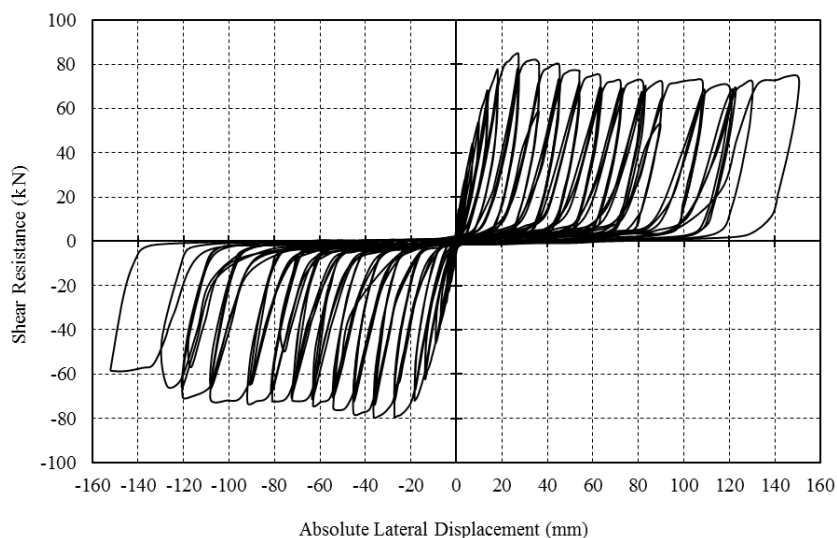
منحنی‌های چرخه‌ای ظرفیت برشی-تغییر مکان جانبی در شکل‌های (۵) تا (۹) و پوش منحنی‌های چرخه‌ای در

آئین نامه، مرز نهایی باربری جانبی قابل پذیرش، برنز افت ۲۰٪ در ظرفیت برشی دیوار است [۹]. تغییر مکان و باربری جانبی نهایی قابل قبول در نمونه‌های BFF، UGG و UFG به ترتیب برابر با ۶۷/۲، ۳۵/۱ و ۶۹/۹ میلی‌متر است. بررسی نمودار مقایسه‌ای پوشش نمونه‌ها (شکل (۱۰)) نشان می‌دهد همچنانکه برای نمونه BOO مقدار «افزایش مقاومت پس از تسلیم» ۹٪ مشاهده می‌شود، با نصب ورق‌های پوششی تخته سیمانی الیافی و گچ‌برگ تغییر محسوسی در نسبت مقاومت نهایی به تسلیم نمونه‌های BFF و BFG بروز نمی‌کند.

انرژی را برای دیوارهای فولادی سرد نورد شده تایید می‌کند. برای نمونه‌های دارای پوشش تخته سیمانی یا گچی، تغییر شیب نمودار چرخه‌ای، معرف وقوع اولین ترک‌ها صفحات پوششی است. همچنین افت تدریجی شیب نمودار گسترش ترک‌ها و گسیختگی صفحات پوششی را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، پوشش منحنی‌های چرخه‌ای تا پایان بارگذاری و اعمال تغییر مکان جانبی نهایی ۱۲۰ میلی‌متر (تغییر مکان جانبی تسبی ۴٪) رسم شده است. این در حالی است مطابق با ضوابط

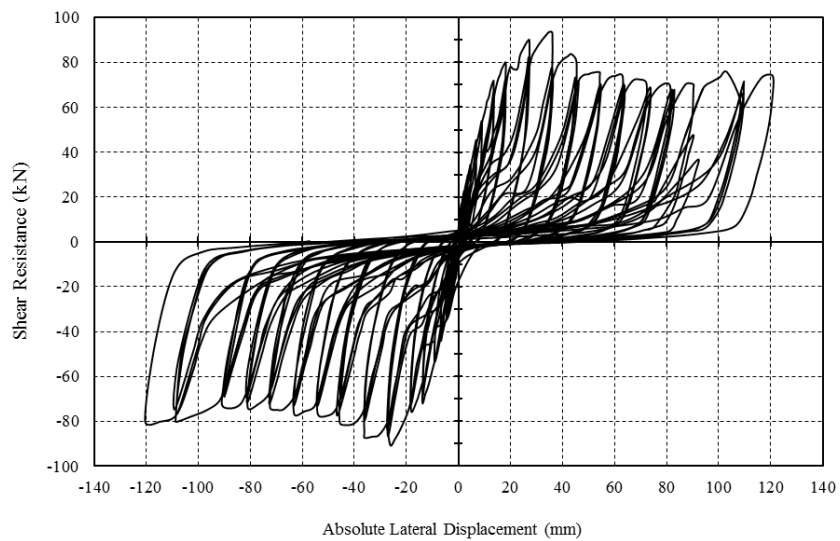


شکل (۵): منحنی چرخه‌ای نیروی برشی-تغییر مکان جانبی حداکثر نمونه BOO

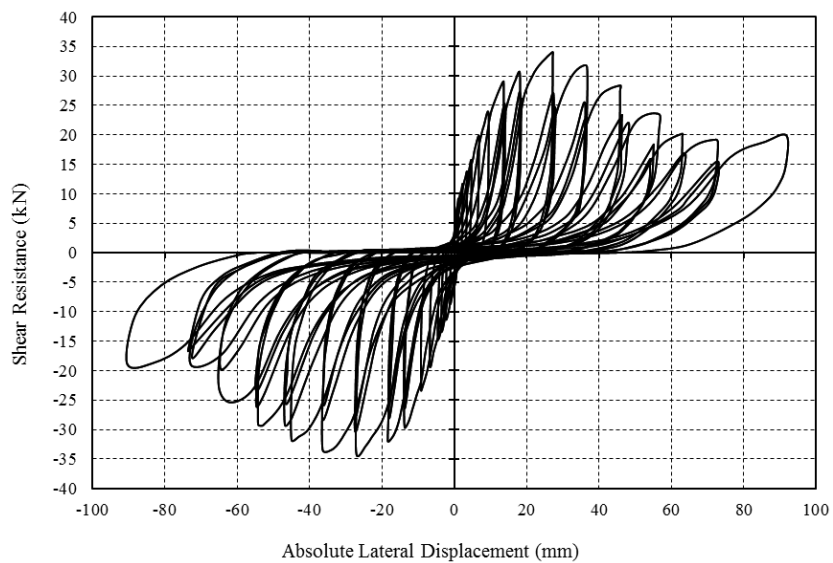


شکل (۶): منحنی چرخه‌ای نیروی برشی-تغییر مکان جانبی حداکثر در دیوار BFG

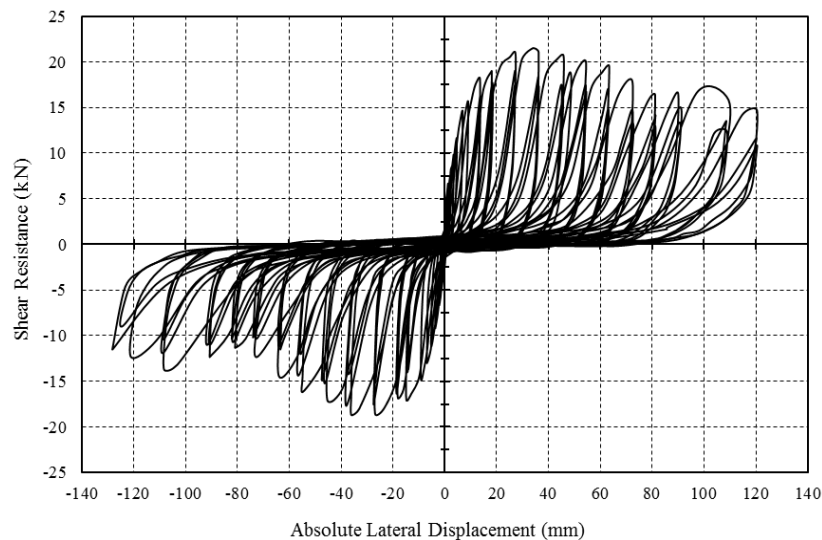




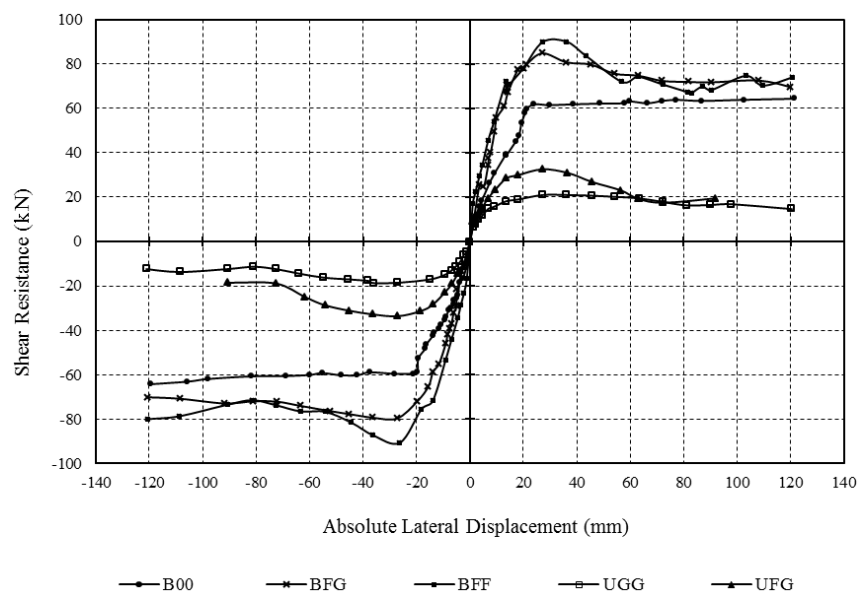
شکل (۷): منحنی چرخه‌ای نیروی برشی-تغییر مکان جانبی نمونه BFF



شکل (۸): منحنی چرخه‌ای نیروی برشی-تغییر مکان جانبی نمونه UFG



شکل (۹): منحنی چرخه‌ای نیروی برشی-تغییر مکان جانبی حداکثر نمونه UGG



شکل (۱۰): نمودار پوش منحنی‌های چرخه‌ای همه نمونه‌های آزمایشی

$$P_{yield} = \left( \Delta_u - \sqrt{\Delta_u^2 - \frac{2A}{K_e}} \right) K_e \quad (2)$$

$$P_{yield} = 0.85 P_{peak} \quad (3)$$

$$\Delta_u^2 < \frac{2A}{K_e} \quad (4)$$

در روابط (۱) تا (۴)،  $P_{yield}$ ، بار تسلیم (kN)،  $A$ ، سطح زیر منحنی پوش بار-تغییر مکان جانبی منتج از حلقه‌های هیستریزس،  $P_{peak}$ ، ظرفیت باربری حداکثر در منحنی

### ۳-۳- شکل پذیری

با در نظر گرفتن نمودار نیروی برشی-تغییر مکان جانبی رسم شده در شکل (۱۱)، ضریب شکل‌پذیری  $\mu$ ، از نسبت «تغییر مکان نهایی متناظر با ۸۰٪ بار حداکثر» به «تغییر مکان نظیر حد تسلیم» محاسبه می‌شود، (رابطه (۱)) [۹].

$$\mu = \Delta_u / \Delta_{yield} \quad (1)$$





افزایش می‌دهد، افزایش ۴۱٪ ضریب شکل‌پذیری را نیز به همراه دارد.

■ نصب صفحات پوششی تخته سیمانی در دو سمت دیوارهای سبک فولادی دارای بادبند تسمه‌ای قطری، (نمونه BFF) سبب افزایش ۴۰٪ ظرفیت باربری جانبی می‌شود.

■ افت شدید مقاومت جانبی دیوار BFF، معرف رفتار کمتر شکل‌پذیر برای این نمونه در مقایسه با نمونه شاهد بدون پوشش و دیوار BFG، است. این در حالی است که تاثیر مخربی منتج از نصب پوشش تخته سیمانی الیافی بر ضریب شکل‌پذیری دیوار مشاهده نمی‌شود.

■ ضریب شکل‌پذیری دیوارهای بدون مهاربند قطری و پوشانده شده با صفحات پوششی گچی و تخته سیمانی الیافی (نمونه‌های UGG و UFG) بسیار بیشتر از نمونه‌های دارای مهاربند است. با این وجود حداقل ظرفیت برشی مطلوبی، برای آنها احراز نمی‌شود.

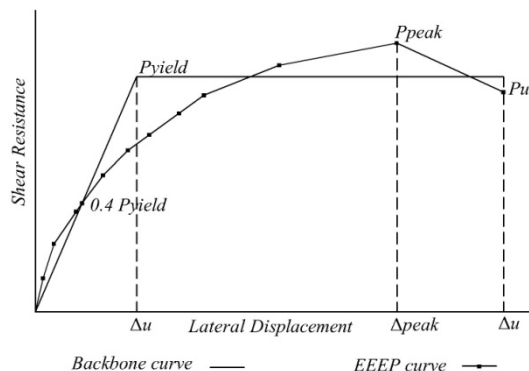
■ ضریب شکل‌پذیری دیوارهای بدون مهاربند قطری و پوشانده شده با صفحات پوششی گچی و تخته سیمانی الیافی (UGG و UFG)، ۱۳٪ تا ۱۰۰٪ نسبت به نمونه‌های دارای مهاربند افزایش داشته است.

■ نتایج حاصل از آزمایشات نشان می‌دهد، استفاده از پوشش‌های صفحات گچی و تخته سیمانی به عنوان عضو اصلی باربر جانبی (نمونه‌های UGG و UFG)، ۱۳٪ تا ۵۰٪ از ظرفیت برشی نمونه همراه با مهاربند ضربداری و بدون پوشش را تامین می‌کند.

■ با توجه به نتایج بدست آمده برای نمونه‌های UGG و UFG، دیوارهای بدون مهاربند قطری و پوشانده شده با صفحات گچی و تخته سیمانی الیافی را می‌توان به عنوان سیستم مقاوم جانبی، در پهنای خطر نسبی کم و متوسط، مورد استفاده قرار داد.

■ افت شدید مقاومت جانبی دیوار BFF، معرف رفتار کمتر شکل‌پذیر برای این نمونه در مقایسه با نمونه شاهد بدون پوشش و دیوار BFG، است. این در

پوش حلقه‌های هیستریزیس،  $\Delta_u$ ، تغییرمکان جانبی نهایی متناظر با ۰/۸ در منحنی پوش حلقه‌های هیستریزیس،  $\Delta_e$ ، تغییرمکان جانبی متناظر با در منحنی پوش حلقه‌های هیستریزیس،  $K_e$ ، سختی برشی الاستیک برابر با  $0.4 P_{peak} / \Delta_e$ ، تغییرمکان جانبی حد تسلیم و برابر با  $P_{yield} / K_e$  است.



شکل (۱۱): محاسبه تغییرمکان جانبی نهایی و حد تسلیم منحنی پوش بار-تغییرمکان جانبی براساس استاندارد ASTM E2126-07

#### ۴- نتیجه‌گیری

- آزمایشات و نتایج حاصل از آن نشان داد لهیده شدن پوشش‌ها در محل اتصال به قاب فولادی، در نهایت منجر به بروز رفتار شکل‌پذیرتر در دیوارهای سبک فولادی سرد نورد می‌شود.
- آزمایشات و نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد، در دیوارهای سبک فولادی دارای بادبند تسمه‌ای قطری، نصب صفحات پوششی گچی و تخته سیمانی الیافی سبب افزایش ۲۷٪ تا ۴۰٪ ظرفیت برشی می‌شود. در مقایسه، استفاده از «صفحات تخته سیمانی الیافی در مقابل با «صفحات پوششی گچی» رشد ۱۳٪ ظرفیت برشی را به همراه دارد.
- نتایج نشان می‌دهد نصب صفحات پوششی گچی و تخته سیمانی الیافی، هر کدام در یک سمت دیوارهای سبک فولادی دارای بادبند تسمه‌ای قطری، (نمونه BFG) علاوه بر اینکه ظرفیت باربری جانبی را ۲۷٪

حالی است که تاثیر مخربی منتج از نصب پوشش  
تخته سیمانی الیافی بر ضریب شکل پذیری دیوار  
مشاهده نمی شود.

#### ۵- واژه نامه

Gusset plate ورق های گوشه  
Hold down میل های مهار

#### ۶- مراجع

- [1] Adham, S.A., Avanesian, V., Hart, G.C., Anderson, RW, Elmlinger, J. and Gegory, J. (1990), "Shear Wall Resistance of Light-Gauge Steel Stud Wall System", *Earthquake Spectra*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-14.
- [2] Fulop, L.A., and Dubina, D. (2004), "Performance of Wall-Stud Cold-Formed Shear Panels under Monotonic and Cyclic Loading. Part I: Experimental Research", *Thin-Walled Structures*, Vol. 42, pp. 321-328.
- [3] Kim, T.W., Wilcoski, J., Foutch, D.A., and Lee, M.S. (2006), "Shake Table Tests of Cold-Formed Steel Shear Panel", *Engineering Structures*, Vol. 28, No. 10, pp. 1462-1470.
- [4] Al-Karat M. and Rogers, C.A. (2007), "Inelastic Performance of Cold Formed Steel Strap Braced Wall", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 63, No. 4, pp. 460-474.
- [5] Moghimi, H. and Ronagh, H.R. (2009), "Better Connection Detail for Strap-Braced CFS Stud Walls in Seismic Regions", *Thin-Walled Structures*, Vol. 47, pp. 122-135.
- [6] Moghimi, H. and Ronagh, H.R. (2009), "Performance of Light-Gauge Cold-Formed Steel Strap-Braced Walls Subjected to Cyclic Loading", *Engineering Structures*, Vol. 31, pp. 69-83.
- [7] Serrette, R. and Ogunfunmi, K. (1996), "Shear Resistance of Gypsum-Sheated Light-Gauge Steel Stud Walls", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 4, pp. 383-389.
- [8] Gad, E.F., Chandler, A.M., Duffield, C.F. and Stark, G. (1999), "Lateral Behavior of Plasterboard-Clad Residential Steel Frames", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 1, pp. 32-39.
- [9] ASTM 2126-07 (2007), "Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Walls for Building", *American Society for Testing and Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA.

