

تعیین ضریب رفتار قاب فولادی سبک سرد نورد با روکش گچ برگ به صورت افقی تحت بارگذاری چرخه ای توسط آزمون های آزمایشگاهی

محمد رضا جواهری تفتی

مرکز تحقیقات سازه و زلزله واحد تفت، دانشگاه آزاد اسلامی، تفت، ایران

Javaheri@taftiau.ac.ir

سعید خانی مزرعه آخوند

گروه عمران، واحد تفت، دانشگاه آزاد اسلامی، تفت، ایران

Saeid.khani1370@gmail.com

چکیده

در این تحقیق به بررسی پارامترهای لرزه ای دیوارهای فولادی نورد سرد شده که به جهت سبک بودن سازه و سرعت بالای اجرای آن هم اینک در کشور ایران در حال توسعه است پرداخته ایم. از این رو بررسی ۶ قاب فولادی نورد سرد همراه با روکش گچ برگ به صورت افقی و در قالب ۲ نوع پیکربندی مختلف بصورت دابل یا تک بودن استاد کناری و وجود یا عدم وجود استاد میانی در نظر گرفته شد. نمونه های مورد نظر که در مرکز تحقیقات سازه و زلزله واحد تفت تحت اثر بار رفت و برگشتی جانبی قرار داده شد. در هنگام آزمایش مراحل آسیب دیدگی دیوارها و قاب یادداشت گردیده پس از آن داده ها مورد تحلیل و ضریب رفتار هر نمونه بدست آمد و در نهایت مشخص گردید که قاب به عرض ۱۲۰ سانتی متر با استاد کناری دابل و بدون استاد میانی دارای ضریب رفتار بیشتر نسبت به قاب به عرض ۱۲۰ سانتی متر با استاد کناری تک و استاد میانی می باشد.

واژه های کلیدی: سازه های فولادی نورد سرد، ضریب رفتار، بارگذاری چرخه ای، سازه سبک

۱- مقدمه

های فولادی نورد سرد با پوشش ورق فولادی را به انجام رسانیدند و با مقایسه ضرایب R بدست آمده، این محققین توصیه کردند که مقدار R ارائه شده در AISI از ۶/۵ به ۷ افزایش پیدا کند. در پژوهشی دیگر جواهری تفتی و بهنام فر [3] بر روی اثر تعداد استاد های انتهایی بر خواص لرزه ای مهاربند های پانل های برشی فولادی سبک در قاب های فولادی نورد سرد، بخصوص ضریب رفتار، به انجام رسانیدند. این محققین پس از تحلیل ضرایب بدست آمده به این نتیجه رسیدند که تعداد استاد های انتهایی در قاب فولادی نورد سرد، آنچنان در ضریب R تاثیری ندارد. لین و همکاران [4] در یک کار پژوهشی قاب دیواری فولادی نورد سرد با پوشش صفحه سلیکات کلسیم، تحت بار برشی، را مورد بررسی قرار دادند. پس انجام آزمایشات ضریب رفتار ۴/۲ را برای طراحی این نوع مهاربندی پیشنهاد دادند. پژوهشگران دیگری نیز همچون: دابریثو و همکاران [5] به بررسی عملکرد دیوار های برشی ساخته شده با فولاد نورد سرد و پوشیده شده با ورق فولادی و ایجاد یک بانک اطلاعاتی جامع در استاندارد های طراحی کانادا پرداخت. ژیانگ دای [6] به مطالعه ی عددی بر روی یک روش مدل سازی عددی جهت پیش بینی رفتار برشی پانل های دیواری فولادی نورد سرد در معرض بارگذاری یکنواخت درون صفحه ای پرداخت. علاوه بر این، محققین دیگری همچون Fulop and dubina [۸،۷]، Branston et al [۹]، Serrette et al [۱۰]، بر روی سایر سیستم های مهاربندی در سازه های فولادی نورد سرد همچون پوشش های چوبی، گچی و ... به مطالعه پرداخته اند. همانطور که ذکر شد،

فلات ایران سابقه ی لرزه خیزی طولانی دارد و بررسی تاریخ کهن، بر وقوع زلزله در سه هزار سال قبل از میلاد گواه است. امبرسز در یک بررسی تاریخی سابقه نزدیک به شش هزار زلزله را که از دو هزار سال قبل در این سرزمین رخ داده از منابع تاریخی بدست آورده و تحلیل کرده است. نیاز شدید به افزایش بهره وری در بخش ساختمان کشور این واقعیت را آشکار کرده است که استفاده از سیستم های سستی در امر ساخت و ساز جوابگوی نیاز جامعه نبوده و استفاده از فناوری های نوین در این بخش اجتناب ناپذیر است. در این میان سیستم های ساختمانی با پتانسیل تولید صنعتی و پیش ساختگی می توانند نیازهای کمی و کیفی صنعت ساختمان را برآورده کنند. یکی از این سیستم ها، سیستم دیوار سبک فولادی است [1] که نتنها امکان تولید صنعتی و پیش ساختگی آن وجود دارد بلکه بعلت سبک بودن سیستم در هنگام زمین لرزه، میزان جذب انرژی به نسبت کمتری نسبت به سازه های متعارف دارد و آسیب پذیری ساختمان را به حداقل می رساند. از این رو این تحقیق بر روی عملکرد لرزه ای بخصوص ضریب رفتار قاب های فولادی نورد سرد همراه با روکش گچ برگ به صورت افقی تحت بار چرخه ای تمرکز کرده است. محققین زیادی در این زمینه عملکرد سیستم های مختلف مهاربند جانی در سازه های فولادی نورد سرد به تحقیق پرداخته اند. به طور مثال جواهری تفتی و همکاران [2] در یک بررسی تجربی مقادیر ضریب رفتار قاب

دیوار با استاد کناری دوپل و ۳ نمونه دیگر دارای استاد انتهایی تک و استاد میانی جهت تحقیق بر روی ضریب رفتار قاب های مورد مطالعه تحت بار چرخه ای و تاثیر استاد انتهایی دوپل و میانی و گچ برگ به صورت افقی بر پارامتر ذکر شده می باشد.

محققین زیادی بر روی انواع سیستم های مهاربند جانبی و بخصوص ضریب رفتار این سیستم ها به پژوهش پرداخته اند. با این وجود، بر روی قابهای فولادی نورد سرد همراه با روکش گچ برگ به صورت افقی مطالعات خاصی انجام نشده است. از این رو ۳ نمونه

$$R = R_d * \Omega_o = \frac{V_e}{V_y} * \frac{V_y}{V_s} = \frac{V_e}{V_s} \quad (3)$$

۲- مواد و روش ها

۲-۱- ضریب اصلاح پاسخ لرزه ای

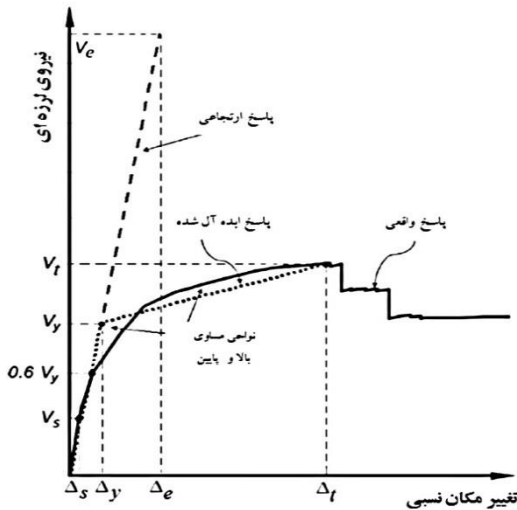
ضریب اصلاح پاسخ لرزه ای یا ضریب کاهش مقاومت یا ضریب رفتار، به طور معمول از دو پارامتر تشکیل شده است: ضریب کاهش شکل پذیری (R_d) و ضریب مقاومت افزون سازه ای (Ω_o) [11]. ضریب رفتار R براساس دو پارامتر ذکر شده بصورت روابط (۳-۱) تعریف می شود [2]:

$$R = R_d * \Omega_o \quad (1)$$

براساس شکل ۱، عملکرد واقعی و الاستیک یک سیستم سازه ای و نیز منحنی بار - تغییر مکان ایده آل دوخطی را نشان می دهد. مولفه های ضریب رفتار به صورت زیر بیان می شود [2]:

$$R_d = \frac{V_e}{V_y} \quad , \quad \Omega_o = \frac{V_y}{V_s} \quad (2)$$

و بر این اساس ضریب رفتار را می توان به صورت زیر بازنویسی کرد:



شکل ۱: پاسخ کلی سازه، بیانگر نظریه FEMA

لازم به ذکر است که مولفه های V_e و V_y و V_s به ترتیب مقاومت پاسخ الاستیک سازه، مقاومت تسلیم ایده آل شده و مقاومت نقطه اولین تسلیم بارز می باشند. شکل (۱) روشی را نشان می دهد که برای ایده آل سازی منحنی بار تغییر مکان بکار می رود و براساس FEMA356 [۱۲] می باشد. منحنی دو خطی ایده آل از دو خط تشکیل شده است. طبق شکل (۱) محل قرار گیری این دو خط با استفاده از یک روش

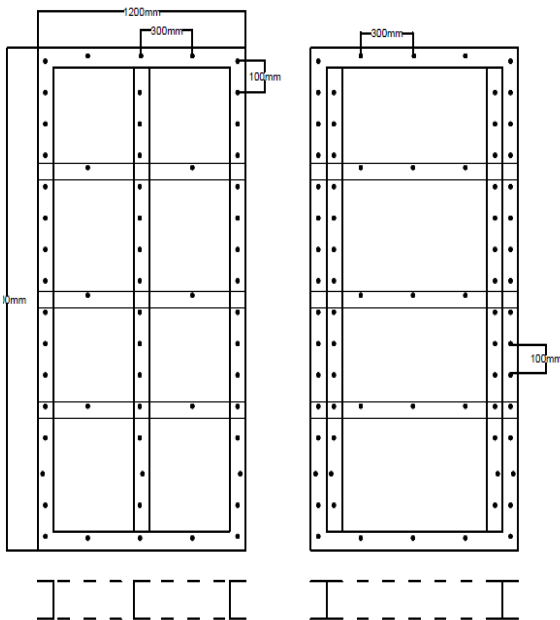
تکراری گرافیکی و بر مبنای تساوی مساحت بالا و پایین منحنی واقعی سیستم، مشخص می شود (به عبارتی سطح زیر منحنی واقعی با سطح زیر منحنی دوخطی برابر شوند). سختی اولیه با استفاده از یک نیروی برش پایه برابر با ۶۰ درصد مقاومت تسلیم ایده آل شده سازه محاسبه می شود. خط دوم منحنی دوخطی و شیب پس از تسلیم با عبور خطی گذرنده از میان منحنی واقعی و منتهی به تغییر مکان هدف محاسبه شده (Δ_T) تعیین می شود. در این مطالعه تغییر مکان هدف ۶۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است. که برابر با حداکثر تغییر مکان نسبی مجاز بین طبقات (۲/۵) بیان شده در FEMA450 [۱۱]، یا ۲۰ درصد افت قابل ملاحظه در بار (مقاومت سازه) هر کدام که زودتر اتفاق بیافتد [۲].

جدول (۱) جزئیات پیکربندی قاب های آزمایش شده

نوع قاب	ابعاد	جزئیات پیکربندی
A	۲۴۰۰×۱۲۰	استاد های کناری دارای مقطع دابل پشت به پشت فاقد استاد میانی و دارای سه عدد ترک میانی فاصله پیچ ها در راستای استاد ۱۰ سانتی متر فاصله پیچ ها در راستای ترک ۳۰ سانتی متر
B	۲۴۰۰×۱۲۰	استاد های کناری دارای مقطع تک دارای استاد میانی و سه عدد ترک میانی فاصله پیچ ها در راستای استاد ۱۰ سانتی متر فاصله پیچ ها در راستای ترک ۳۰ سانتی متر

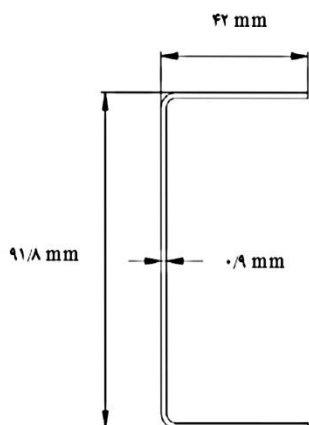
۲-۲- مشخصات نمونه های مورد آزمایش

در این پژوهش جهت بررسی عوامل مختلفی همچون دابل بودن استاد های کناری بدون حضور استاد میانی و حضور استاد میانی زمانی که استاد های کناری به صورت تک به کار رفته است، دو نوع قاب فولادی نورد سرد با پیکربندی و آرایش مختلف در نظر گرفته شد که جهت افزایش دقت و صحت سنجی نتایج از هر کدام سه عدد قاب (جمعاً ۶ عدد) جهت آزمون ساخته شده اند. خواص و مشخصات سازه ای این قاب ها در جدول شماره ۱ و در شکل شماره ۲ نیز هندسه این مقاطع قرار داده شده است.



شکل (۲) نمای شماتیک قابهای نوع A و B — قاب نوع A (سمت راست) و نوع B (سمت چپ)

لازم به ذکر است که تمامی مقاطع اصلی (استاد و رانر) از نوع مقطع نورد سرد ST90x42x1mm می باشد و همچنین تمامی اتصالات توسط پیچ خودکار رزوه ای سری بیضی شماره 10 mm انجام شده است و در هر ناحیه اتصال ، اتصال توسط دو عدد پیچ ایجاد شده است.



شکل (۳) مقطع C شکل استفاده شده در دیوار ها

۳- نتایج و بحث

در این بخش نتایج حاصل از آزمون های صورت گرفته بر روی نمونه ها ارائه خواهد شد که نتایج شامل نمودار های بار تغییر مکان و ضرایب رفتار بدست آمده برای دیوار های برشی آزمایش شده می باشد.

۳-۱- ضریب رفتار نمونه های آزمایش شده

پس از انجام آزمایشات بارگذاری چرخه ای بر روی هر ۶ نمونه ، مقادیر بار تغییر مکان حاصل از انجام آزمایشات به عنوان خروجی دستگاه تست آزمایشگاهی جهت رسم منحنی های هیستریزس هر کدام از نمونه ها بدست آمد. شکل های ۵ و ۴ به ترتیب منحنی های هیستریزس نمونه های آزمایش شده را نشان می دهد. منحنی پوش نمونه های هر کدام از دیوار های برشی نوع A, B نیز به ترتیب در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است. قابل ذکر است که منحنی پوش هیستریزس نمونه های آزمایش شده جهت بدست آوردن ضریب رفتار و از طریق مراحل زیر به کار گرفته شد [2]:

لازم به ذکر است که ابعاد مقاطع فولادی مذکور در حدود 10 - 5 ± درصد دارای خطا می باشند. همچنین دقت ابعاد قاب های فولادی ساخته شده نیز در حدود 3 - 1 ± سانتی متر می باشد.

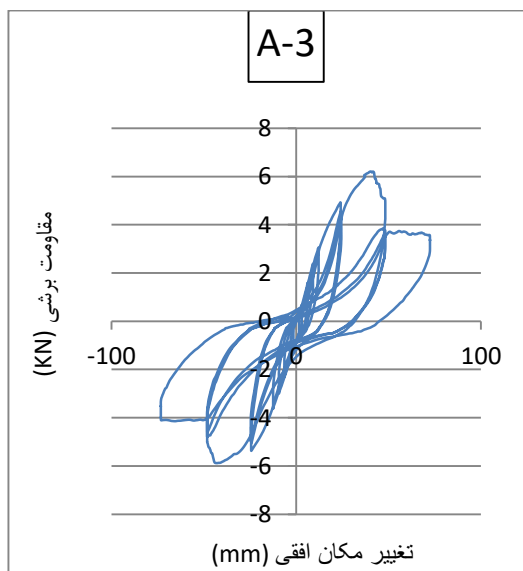
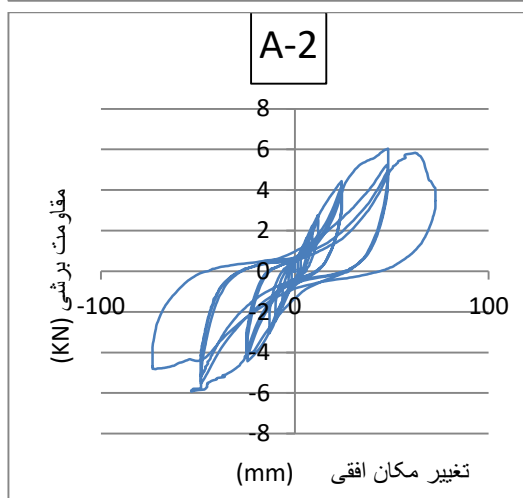
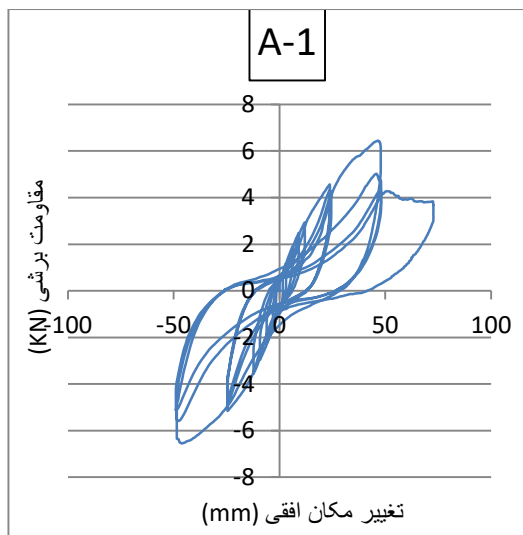
تمام داده های نیرو و تغییر مکان ثبت شده توسط دستگاه به یک رایانه منتقل شده و توسط یک نرم افزار آزمایشگاهی [13] آنالیز شده و در یک فایل متنی به عنوان خروجی دستگاه مورد استفاده قرار می گیرد [2]. در این پژوهش جهت آزمایش دیوار های برشی ساخته شده از روش بارگذاری چرخه ای استفاده شده است که این روش براساس روش B استاندارد ASTM E2126-07 [14] می باشد.

جدول (۲) مشخصات مکانیکی پیچ ها

مقاومت برشی Mpa	مقاومت کششی Mpa	تاب باربری و لهیدگی Mpa
۷	۱۲,۱	۰,۹

جدول (۳) مشخصات مکانیکی مقطع فولادی نورد سرد

ضخامت اسمی mm	مقاومت تسلیم Mpa	مقاومت نهایی Mpa	مدول الاستیسیته Gpa	F _u /F _y
۰,۹۳	۳۴۱	۴۱۵	۲۰۰	۱,۲۲



شکل (۴) منحنی هیستریزس نمونه های A1-A2-

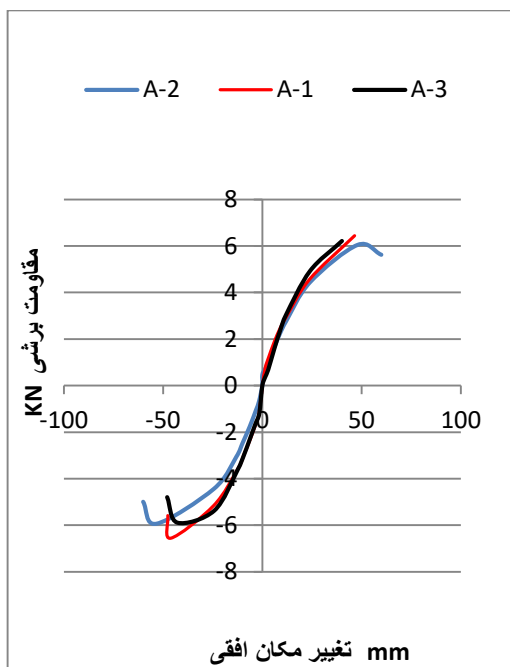
A3

۱- رسم منحنی دوخطی ایده آل با استفاده از روش ارائه شده در FEMA356 [12].

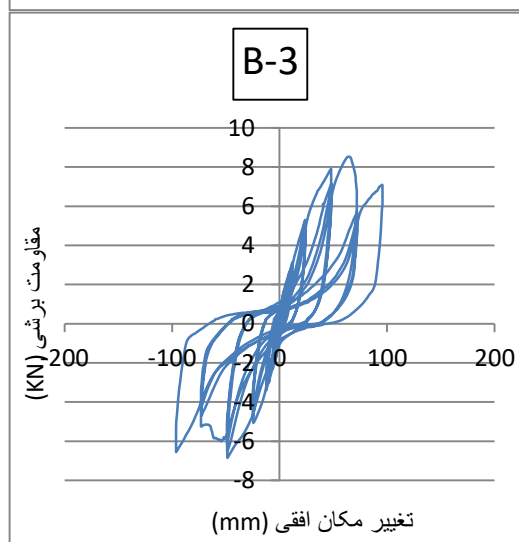
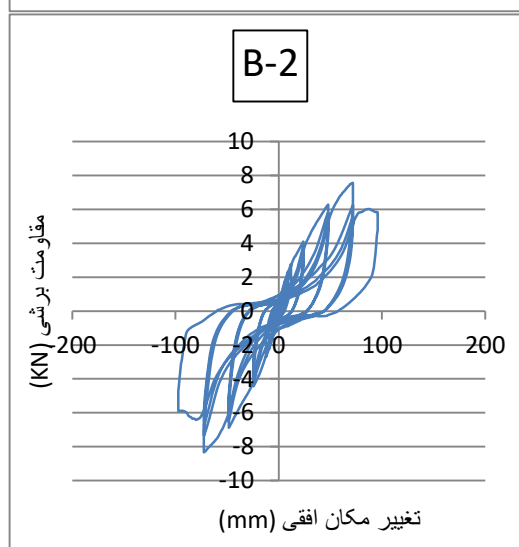
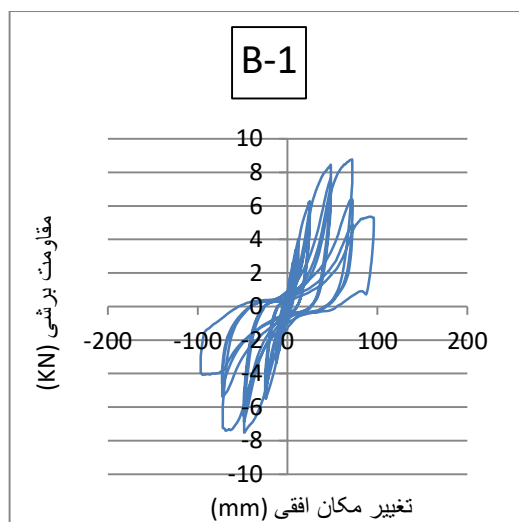
۲- محاسبه ضریب کاهش شکل پذیری R_d ، از طریق بخش اول معادله ۲. لازم به ذکر است که در معادله مذکور دو پارامتر V_e و V_y بر اساس شکل ۱ و به صورتی که V_e بر اساس نظریه تساوی انرژی و V_y با استفاده از منحنی دو خطی ایده آل و آنچه بیان شد قابل محاسبه می باشند.

۳- تعیین ضریب مقاومت افزون Ω_0 ، با استفاده از بخش دوم معادله ۲ و پارامترهای V_s و V_y صورت می گیرد. برای محاسبه V_s از محاسبه معکوس به نظر یافتن ظرفیت طراحی قاب های آزمایش شده استفاده شده است که بر اساس مشاهده مکانیسمی با کمترین بار گسیختگی می باشد و در اینجا اولین ترک های ایجاد شده در گچ برگ در حین آزمایش مشاهده شد، مکانیسمی مورد نظر می باشد.

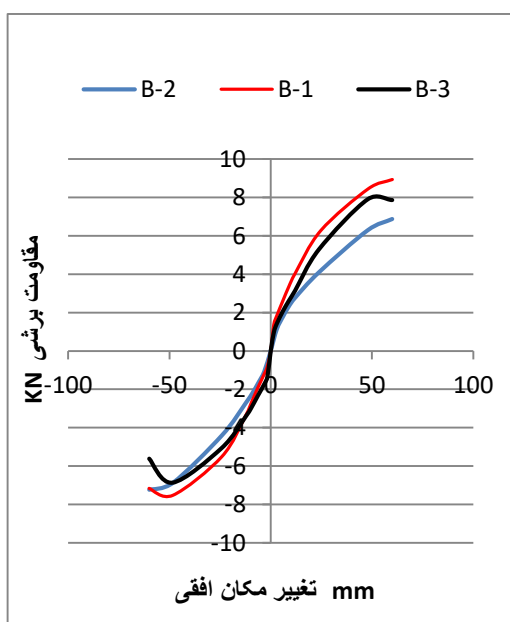
پس از انجام مراحل ذکر شده و بدست آوردن پارامتر های مورد نظر، مقادیر ضرایب رفتار نمونه ها محاسبه شده و در جدول ۴ این مقادیر ارائه شده اند.



شکل (۶) منحنی پوش هیستریزس نمونه های A1- A2-A3



شکل (۵) منحنی هیستریزس نمونه های B1-B2-B3



شکل (۷) منحنی پوش هیستریزس نمونه های B1- B2-B3

جدول ۴: مقادیر ضریب رفتار نمونه های آزمایش شده

متوسط ضریب رفتار R	R	Ω	R_d	V_s KN	V_e KN	V_y KN	موقعیت	نمونه	قاب
۱۰٫۴	۹٫۳۳	۲٫۲۸	۴٫۰۸	۱٫۱۹	۱۱٫۱۰	۲٫۷۲	مثبت	A-۱	A
	۷٫۱۵	۳٫۳۵	۲٫۱۳	-۱٫۵۹	-۱۱٫۳۸	-۵٫۳۳	منفی		
	۱۴٫۹۱	۶٫۰۲	۲٫۴۸	۰٫۷۳	۱۰٫۸۱	۴٫۳۶	مثبت	A-۲	
	۱۰٫۰۷	۴٫۳۷	۲٫۳۱	۱٫۰۷	۱۰٫۷۶	۴٫۶۷	منفی		
	۱۳٫۱۸	۴٫۸۴	۲٫۷۳	۰٫۶۸	۸٫۹۵	۳٫۲۸	مثبت	A-۳	
	۷٫۹۰	۳٫۶۷	۲٫۱۵	۱٫۶۲	۱۲٫۸۱	۵٫۹۵	منفی		
۸٫۴	۹٫۴۸	۲٫۴۴	۳٫۸۸	۱٫۸۴	۱۷٫۴۷	۴٫۵۰	مثبت	B-۱	B
	۱۰٫۸۳	۴٫۶۴	۲٫۳۴	۱٫۲۰	۱۲٫۹۶	۵٫۵۵	منفی		
	۷٫۰۳	۱٫۴۳	۴٫۹۲	۱٫۷۹	۱۲٫۶۲	۲٫۵۷	مثبت	B-۲	
	۷٫۰۰	۲٫۲۱	۳٫۱۶	۱٫۶۵	۱۱٫۵۴	۳٫۶۵	منفی		
	۸٫۹۰	۳٫۹۷	۲٫۲۴	۱٫۴۳	۱۲٫۷۰	۵٫۶۷	مثبت	B-۳	
	۷٫۱۴	۳٫۴۹	۲٫۰۵	۱٫۷۱	۱۲٫۲۳	۵٫۹۸	منفی		

۴- نتیجه گیری

۳- نظر به نتایج بدست آمده ، تاثیر استاد کناری دابل نسبت به استاد میانی تک اینگونه است که منجر به افزایش ۱۹٫۲٪ ضریب رفتار می گردد.

۴- با مطالعه تحقیق های پیشین دست می یابیم که در ساختار قاب با عرض ۱۲۰ سانتی متر با استاد تک کناری و استاد میانی، با تغییر گچ برگ از قایم به افقی ضریب رفتار ۲۳٪ کاهش و مقاومت نهایی ۶۴٪ افزایش می یابد [15].

در این بخش طبق یافته های لرزه ای مطالعه آزمایشگاهی بر روی عملکرد چرخه ای ۶ نمونه دیوار برشی سرد نورد همراه با روکش گچ برگ به صورت افقی نتایج زیر قابل ارائه است:

۱- دیوار برشی نوع A با استاد های انتهایی دابل بیشترین ضریب رفتار بدست آمده را دارا می باشد که مقدار متوسط آن ۱۰/۴ می باشد.

۲- دیوار برشی نوع B دارای استاد میانی با متوسط ضریب رفتار ۸/۴ کمترین مقدار را در مورد ضریب رفتار دارا می باشد.

۵- مراجع

[۱] زینلیان، م. و رونق، ح. ۱۳۹۱. محاسبه ضریب رفتار لرزه ای قاب های سرد نورد شده فولادی و مقایسه با مقادیر آیین نامه ای، اولین کنفرانس ملی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته. [۱۵] کریمی تفتی، ف. و جواهری تفتی، م. ر. ۱۳۹۷. بررسی ضریب رفتار و مقاومت نهایی دیوار های فولادی سرد نورد شده با روکش تخته گچی بصورت قائم.

- [2] Javaheri-Tafti, M.R. and Rounagh, H.R. and Behnamfar F. and Memearzadeh P.2014 . An experimental investigation on the seismic behavior of cold-formed steel walls sheathed by thin steel plates. Thin-Walled structures.
- [3] Javaheri-Tafti, M.R. and Behnamfar F.2013 . Investigating the effect of the number of end-panel studs on the seismic properties of cold-formed light-steel shear-panel braces. Archives of Civil Engineering.
- [4] Lin, SH. and Pan ,CL. and Hsu ,WT.2014 . Monotonic and cyclic loading tests for cold-formed steel wall frames sheathed with calcium silicate board. Thin-Walled Structures.
- [5] DaBreo ,J. and Balh , N.2014 . Ong-Tone c, Rogers CA. Steel sheathed cold-formed steel framed shear walls subjected to lateral and gravity loading. Thin-Walled Structures.
- [6] Dai , X.2012 . Numerical modeling and analysis of structural behavior of wall-stud cold-formed steel shear wall panels under in-plane monotonic loads. Journal of Civil Engineering Research.
- [7] Fulop, LA. and Dubina, D.2004 . Performance of wall-stud cold-formed shear panels under monotonic and cyclic loading Part II: numerical modeling and performance analysis. Thin Walled Structures.
- [8] Fulop, LA. and Dubina, D.2006 . Design criteria for seam and sheeting-to-framing connections of cold-formed steel shear panels. Journal of Structural Engineering.
- [9] Branston, AE. and Chen, CY. and Bodreault, FA. and Rogers, CA. 2006 .Testing of light-gauge steel frame wood structural panel shear walls. Canadian Journal of Civil Engineering.
- [10] Serrte, R. Additional shear wall values for light weight steel framing: Research Report, 97-2, Revision 2007. American Iron and Steel Institute;1997.
- [11] Fema-450. 2003 . NERP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures – part 2 commentary. USA:Building Seismic Safety Council.
- [12] FEMA-356. 2000 . Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of building. USA: Building Seismic Safety Council.
- [13] Lab view. 2007 . Lab view Signal Express. National Instruments Corporation: Austin, Texas.
- [14] ASTM-E2126. 2007 . Standard test methods for cyclic (reversed) load test for shear resistance of walls for building. US

abstract

In this study, we investigate the seismic parameters of cold-formed steel walls, which are developing in Iran due to the light structure and high speed of its implementation. Therefore, the study of 6 cold - formed steel frames with plaster laminate was arranged horizontally in the form of two different configurations as double or single side master and presence or absence of middle master. Specimens that were subjected to lateral reciprocal loading at the Taft Unit Structural and Earthquake Research Center. During testing the damage stages of the walls were recorded and then the data were analyzed and the behavior factor of each sample were determined and finally it was determined that the frame with a width of 120 cm with double side master without intermediate master had higher behavior factor. The frame is 120 cm wide with single side master and middle master .

Keywords: cold - formed steel structures, behavior factor, cyclic loading, light weight structures.