

## بررسی عملکرد الگوهای مختلف بادبندها در تقویت قاب‌های فولادی سبک (LSF)

محمد رضا شکرزاده\*

واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اسلامشهر، ایران

آرمین عظیمی نژاد\*

واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

Eng.shokrzadeh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۳/۱۲

### چکیده:

سازه‌های فولادی سبک (LSF) که به صورت خشک و به روش تولید صنعتی و نورد سرد (CFS) اجرا می‌شوند. برای تحمل بارهای جانبی در سازه‌های سرد نورد شده از بادبند تسمه‌ای یا دیوار برشی استفاده می‌شود. با توجه به این که وزن مصالح، آماده‌سازی و اجراء دیوار برشی عوامل محدودکننده استفاده از آن در بهسازی قاب‌ها محسوب می‌شود. تعیین آرایش‌ها مناسب که سبب کاهش استفاده دیوار برشی گردد، می‌تواند از عوامل مهم بهبود عملکرد قاب‌ها در بهسازی و مقاوم سازی قاب‌ها شود. نمونه آزمایشگاهی انتخاب شده برای بررسی عملکرد سیستم قاب فولادی سبک LSF و صحت مدل سازی در نرم‌افزار ABAQUS شامل یک سیستم قاب فولادی سبک LSF است که توسط Bin Liu و همکاران (۲۰۱۶) آزمایش گردید. برای این منظور نمونه‌های تقویت شده قاب در ۳ دسته کلی که شامل نمونه تقویت نشده، نمونه مهاربند ضرب دری، نمونه مهاربند ضرب دری دو ردیفه و نمونه تقویت شده باورقه ۴۵ درجه تحت بار گذاری منوتونیک قرار گرفت، با مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل نمونه‌های با نمونه تقویت نشده مشخص گردید که ظرفیت باربری قاب تقویت شده با بادبندهای ضرب دری دو ردیفه نزدیک به قاب پوشش کامل ۴۵ درجه است. استفاده از فولاد با مقاومت تسلیم بالاتر باعث افزایش مقاومت استاتیکی و مقاومت لرزه‌ای بادبند می‌گردد ولی قابلیت جذب انرژی آن را کاهش می‌دهد. استفاده از ورق های فولادی ۴۵ درجه باعث افزایش شکل پذیری قاب می‌گردد.

**کلید واژگان:** بهسازی لرزه‌ای، مقاوم‌سازی، سیستم قاب فولادی سبک (LSF)، مقاطع فولادی سرد نورد شده فولادی ABAQUS، (CFS)

- تا حداکثر دو طبقه یا ارتفاع ۷/۲۰ متر از تراز پایه، با اجرای مهار بندی قطری بلامانع است.

- بکارگیری این سیستم در مناطق لرزه خیز با خطر نسبی بسیار زیاد مطابق آئین نامه (۲۸۰۰ ایران) مجاز نمی باشد.

- بکارگیری حداکثر دهانه ۵ متر و حداکثر ارتفاع ناخالص (با احتساب ضخامت سقف) ۳/۶۰ متر برای هر طبقه در این سیستم مجاز می باشد.

- طراحی کلیه اجزاء و قابات بر اساس استاندارد <sup>۱</sup> AISI و طرح سازه‌ای و لرزه‌ای آن بر اساس آئین نامه‌های ۲۰۰۵-۷-ASCE، ۲۰۰۳-IBC و ویرایش‌های بعد از آن انجام گیرد.

- کنترل سازه در مقابل بار باد بر مبنای مقررات ملی ساختمان ایران مبحث ششم و با در نظر گرفتن سیستم مقاوم در مقابل بار جانبی ناشی از زلزله انجام گردد.

- رعایت محدودیت حداکثر بار زنده و مرده به ترتیب ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع و ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مربع برای سقف‌ها الزامی است.

- رعایت مشخصات فولاد سرد نورد شده بر اساس استاندارد ASTM (American Society for Testing and Materials) الزامی است.

- رعایت ضوابط آئین نامه ACI 318-05 و ویرایش‌های پس از آن برای طراحی دیوارهای برشی بتن آرمه الزامی است.

- تامین ضوابط دیافراگم صلب برای کلیه سقف‌ها الزامی است. کلیه قابات اعضاء قائم به اعضاء افقی می‌بایستی به گونه ای باشد که یکپارچگی اعضاء در ارتفاع سازه تامین گردد.

- ضوابط مربوط به اجزاء قابی شامل پیچ خودکار، پیچ و مهره می‌بایستی مطابق آئین نامه AISI و استاندارد AISI تامین گردد.

- در صورت استفاده از قابات جوشی، رعایت ضوابط و مقررات مربوط به جوشکاری اعضاء سرد نورد شده مطابق استاندارد AISI و آئین نامه‌های AWS و AISI الزامی است.

- سقف سازه‌ای این سیستم متشکل از تیرچه فلزی و دال بتن آرمه فوقانی به صورت مقطع مرکب می‌باشد که می‌بایستی بر مبنای ضوابط مقاطع مرکب مطابق آئین نامه AISI و دال های بتن آرمه بر مبنای آئین نامه ACI تامین گردد.

- بکارگیری مصالح بنائی خارجی و داخلی مجاز نمی باشد.

- حداکثر وزن متر مربع سطح دیوار تمام شده در جدا کننده های داخلی نبایستی بیشتر از ۵۰ کیلوگرم بر متر مربع و در دیوارهای خارجی نبایستی بیشتر از ۱۰۰ کیلوگرم بر متر مربع باشد

- سیستم سازه‌ای فولادی سبک در انواع ساخت و سازها مانند ویلاها، خانه‌های ویلایی تک خانوار و چندخانوار، ساختمانهای مسکونی و اداری یک، دو و سه طبقه، هتل‌ها و هتل

## ۱- مقدمه

نیاز روزافزون به افزایش بهره‌وری در بخش ساختمان این واقعیت را آشکار کرده است که استفاده از سیستم‌های سنتی در امر ساخت و ساز جوابگوی نیاز جامعه نبوده و استفاده از فناوری‌های نوین در این بخش اجتناب‌ناپذیر است. در این میان سیستم‌های ساختمانی با پتانسیل‌های تولید صنعتی و پیش‌ساختگی می‌توانند نیازهای کمی و کیفی صنعت ساختمان را برآورده کنند. یکی از این سیستم‌ها، سیستم قاب سبک فولادی است که نه تنها امکان تولید صنعتی و پیش‌ساختگی آنها وجود دارد، بلکه به علت سبکی سیستم در هنگام زمین‌لرزه، آسیب‌پذیری ساختمان‌ها را به حداقل می‌رساند [۲].

### ۱-۱- معرفی سازه‌های فولادی سبک (LSF)

ساختمان‌های قاب فلزی سبک موسوم به سازه‌های فولادی سبک (LSF) که به صورت خشک و به روش تولید صنعتی و نورد سرد اجرا می‌شوند، یکی از انواع سیستم‌های ساختمانی مدرن می‌باشند که به وسیله این روش می‌توان ساختمان‌هایی را به صورت طبقات محدود (معمولاً تا ۵ طبقه) را طراحی و اجرا نمود [۳]. این نظام ساختمانی از ورق‌های فولادی تشکیل می‌شود که مقاطع آن عمدتاً به صورت C، U و Z می‌باشد. این عناصر فلزی خود به عناصر سازه‌ای اعم از باربر و غیرباربر که وظیفه اصلی آنها پایداری ساختمان است، تقسیم می‌شوند. این سیستم با تکرار قطعات سبک در ساخت دیوارها و سقف‌ها و مانند ساختمان‌های چوبی اجرا می‌شود. قابات این نوع ساختمانها عمدتاً به صورت قابات پیچ و مهره است و جای قرارگیری پیچ‌ها به روش تولید صنعتی در کارخانه به دقت زیاد با مختصات دقیق و طبق طراحی انجام شده به وسیله دستگاه‌های مخصوص مشخص می‌شود. این سیستم یک سیستم سازه‌ای مستقل می‌باشد و برای پروژه‌های انبوه‌سازی، دفاتر و ساختمان‌های تجاری کوچک، ساختمان‌های چند طبقه، واحدهای صنعتی و سالن‌های ورزشی یک طبقه بسیار مناسب است. این سیستم قابل تلفیق با سیستم‌های سازه‌ای رایج مانند بتنی یا فلزی بوده و برای بالاتر بردن تعداد طبقات (بالاتر از ۵ طبقه) با استفاده از سیستم LSF از این سیستم‌های مختلط استفاده می‌شود. در ساخت و تولید این مقاطع به روش نورد سرد مطابق آئین نامه‌ها اشکال مختلف در ابعاد متفاوت با ضخامت‌های مختلف از ورق‌های گالوانیزه نازک پدید می‌آید [۴].

### ۱-۲ الزامات طراحی و اجرا برای سیستم ساختمانی قاب

های سبک فولادی سرد نورد شده (LSF) در مناطق

با خطر نسبی کم، متوسط و زیاد (مطابق آئین نامه

۲۸۰۰ ایران)

- استفاده از این سیستم سازه‌ای به عنوان قاب ساختمانی ساده به همراه دیوار برشی بتن آرمه حداکثر در پنج طبقه یا ارتفاع ۱۸ متر از تراز پایه بلا مانع است.

<sup>1</sup> American iron and steel institute

آپارتمانها، ساختمانهای مدارس و دانشگاهی، رستورانها و .... دارای کاربرد می‌باشد. [۳-۷].

### ۳-۱ ارزیابی رفتار قاب های فولادی سبک سرد نورد شده

برخلاف تصور، استفاده از سیستم فولادی فلزی سبک تنها به چند دهه اخیر محدود نمی‌شود و قدمت استفاده از این روش به ۱۰۰ سال پیش بازمی‌گردد، در اوایل قرن نوزدهم و در سال ۱۸۵۰ میلادی در انگلیس و آمریکا در ساخت پل‌ها از قطعات فلزی جداره نازک استفاده شد و تاکنون نیز به مرور در صنعت هواپیماسازی، اتومبیل و ساختمان سازی نیز کاربرد دارد [۸-۹].

استفاده از اعضای فولادی سرد نورد شده در ساختمان‌ها در حدود سال های ۱۸۵۰ در ایالات متحده و بریتانیای کبیر شروع شد. اگرچه این اعضای فولادی به طور گسترده تا سال‌های ۱۹۴۰ در ساختمان‌ها مورد استفاده وسیعی قرار نگرفت، اما توسعه اولیه این مقاطع در ساختمان های فولادی توسط وینتر [۹] مورد بازبینی قرار گرفت.

از سال ۱۹۴۶ استفاده و توسعه ساختمان‌های فولادی با مقاطع جدار نازک سرد نورد شده در ایالات متحده با انتشار ویرایش‌های مختلف ضوابط طراحی برای اعضای سازه‌ای فولاد سرد نورد شده [۱۰] مربوط به موسسه آهن و فولاد آمریکا (AISC) شتاب بیشتری پیدا کرد.

به طور کلی تحقیقات انجام شده بر روی رفتار جانبی قاب‌های فولادی سرد نورد شده، بسیار کم است. اما به منظور خلاصه و مروری بر پژوهش‌های گذشته در این زمینه، می‌توان به تحقیقات میلر و پکروز [۱۱] بر روی تاثیر صفحات پوششی و اثر کاربرد آنها بر ظرفیت حمل بار قائم و ادارهای فولادی سرد نورد شده اشاره کرد.

علاوه بر این تلو و همکاران [۱۲]، با انجام آزمایشاتی بر قاب‌های فولادی سرد نورد شده، به بررسی رفتار صفحات پوشش گچی در دیوار این قاب‌ها پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که ظرفیت حمل بار و ادارهای پانل‌های دیوار، در صورت استفاده از مهاربند و صفحات پوششی بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

علاوه بر موارد مذکور در تحقیقات نسبتاً زیادی مقاومت جانبی قاب های فولادی سردنورد شده در ساختمانهای فولادی مورد توجه قرار گرفته است [۱۳-۱۴].

علاوه بر تحقیقات مذکور، در تحقیق انجام شده توسط تاین و وانگ مشخص گردید که قاب سبک بدون مهاربند، بار جانبی بسیار کمی را تحمل می‌کند [۱۵]. از طرفی در آیین‌نامه طراحی سازه‌های سرد نورد شده، اشاره شده است که سیستم‌های LSF قابلیت ترکیب با سازه‌های دیگر را داشته و نیز در همان آیین‌نامه به ضریب رفتار ۴ برای قاب بادبندی با تسمه قطری اشاره شده است [۱۶].

در تحقیقی که توسط زینالیان و رونق به انجام رسیده، با انجام تحلیل های عددی، به ارزیابی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی سرد نورد شده دارای سیستم مهاربندی پرداخته شده است. در این تحقیق، در مجموع ۱۶ مدل سازه‌ای با مقادیر مختلف طول دیوار مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۷].

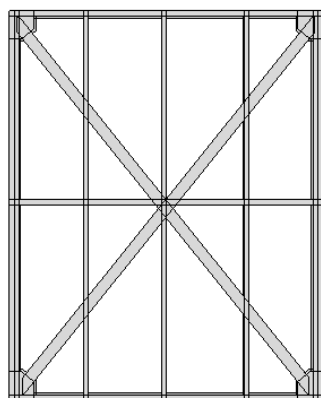
علاوه بر این در تحقیق دیگری که توسط زینالیان و همکاران به انجام رسیده، مشخصه‌های لرزه‌ای دیوارهای برشی سرد نورد شده مورد

بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق به انجام تحقیقات تئوریک در رابطه با اصلاح ضریب رفتار این سازه‌ها اقدام شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که مودهای گسیختگی سازه‌های مورد مطالعه، با اصلاح ضریب رفتار سازه تحت اثر تحریکات لرزه‌ای، و با افزایش شکل پذیری، بیشتر شده است [۱۸].

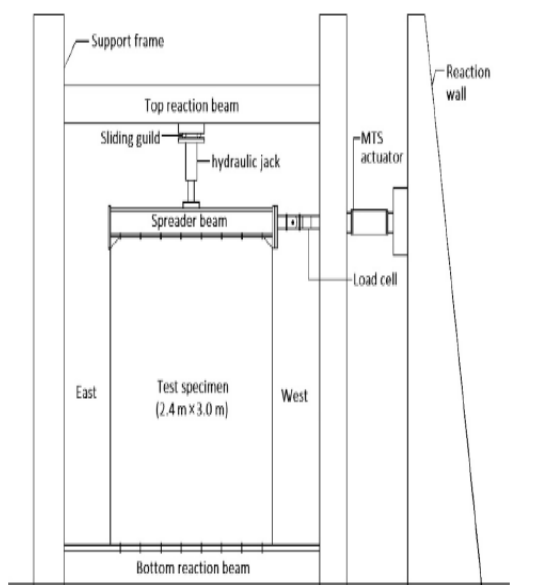
در تحقیقی که توسط جواهری و رونق انجام گرفته، به بررسی و ارزیابی رفتار لرزه‌ای دیوارهای فولادی غلاف‌دار سرد نورد شده که به وسیله صفحات فلزی نازک پوشانده شده‌اند، از طریق تستهای آزمایشگاهی پرداخته شده است. در این تحقیق مودهای گسیختگی دیوارهای مورد مطالعه پرداخته شده و با اضافه کردن ورقهای فولادی غلاف‌دار به این دیوارها، اثر افزایش شکل‌پذیری و جلوگیری از شکست ترد و ناگهانی در این قابهای دیواری مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۹].

در تحقیق دیگری که توسط زینالیان و رونق به انجام رسیده، عملکرد لرزه‌ای دیوارهای فولادی سرد نورد شده که به وسیله پانلهای گچی کامپوزیتی، پوشش داده شده‌اند، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه که به صورت آزمایشگاهی به انجام رسیده، نشان داده است که ضریب رفتار دیوارهای غلاف‌دار مورد مطالعه با پوشش کامپوزیتی در مقادیر معینی از استفاده از پوشش‌ها، رفتار را به صورت ترد و شکننده در لحظه گسیختگی بروز می‌دهد. اما با افزایش میزان پوشش بر روی دیوارها، میزان ضریب رفتار افزایش یافته و شکل‌پذیری سازه نیز بیشتر خواهد شد [۲۰].

در سال ۲۰۰۵ الخراط و راجرز [۲۱] با ساخت یک مدل آزمایشگاهی قاب فولادی سبک تقویت شده به وسیله دیوارهای مهاربندی شده، به ارزیابی رفتار لرزه‌ای این قاب‌ها پرداختند. در این تحقیق عملکرد غیرالاستیک شانزده تسمه‌های مهاربند فولادی سرد نورد شده در دیوارهای برشی به طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. عملکرد این سیستم‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر جزئیات سازه ای قابات آنها بود و همین امر اجازه داد تا نمونه‌های آزمون به حداکثر ظرفیت تسلیم و عملکرد سرویس‌پذیری خود برسند. پس از انجام تست های آزمایشگاهی بر روی نمونه دیوارهای ساخته شده با قاب فولادی سبک سرد نورد شده و مشاهده وقوع گسیختگی‌های خمشی و برشی در این آزمایشات، نتایج مربوط به منحنی‌های مقاومت مونوتونیک (در اثر اعمال بارگذاری بر روی قاب فولادی به صورت تک سوپه و بدون اعمال بار رفت و برگشتی) و سیکلک (بار رفت و برگشتی و نوسانی) در مقابل منحنی جابجایی تسمه‌های مهاربندی در سه حالت مختلف سبک، متوسط و سنگین در دیوار در تست‌های مختلف در اشکال بعدی ارائه شده است. به طور کلی نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تسمه‌های مربوط به حالت سنگین مورد استفاده در دیوارها، قادر به حفظ بار سطح عملکرد ظرفیت حمل بیش از جابجایی وضعیت تسلیم در دیوارهای سبک نیستند. علاوه بر این، دیوارهای سنگین قابلیت تحمل جابجایی های سرویس‌پذیری تا رسیدن به حد تسلیم را نداشته و وقوع آسیب قابل توجه در اثر پانچینگ در این سیستم بسیار واضح بوده است. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام گرفته در این تحقیق، مقادیر ضریب رفتار بدست آمده سطوح کم شکل‌پذیری در قاب های دیوار با تسمه‌های فولادی سبک را نشان می‌دهد، در حالی که



شکل ۲- جزئیات مقاطع در نرم افزار ABAQUS



شکل ۳- جزئیات بارگذاری و تکیه گاهی نمونه آزمایشگاهی [۲۲]

### ۳-۱- تعریف نوع تحلیل و خروجی های مورد نیاز

یکی از وقت گیرترین مراحل انجام چنین مدل سازی هایی مطابق دادن منحنی بار-تغییر مکان است. هر منحنی بار - تغییر مکان مربوط به یک قطعه فولادی معمولاً یک ناحیه خطی دارد که بدست آوردن آن با نرم افزار غیر خطی کار چندان دشواری نیست. قطعه دوم این منحنی که معمولاً تغییر شکل های غیر ارتجاعی آغاز می گردد، کاملاً غیر خطی است و دنبال کردن این قسمت با نرم افزار کار بسیار دشواری است [۱]. همان گونه در شکل (۴) که مشاهده می شود، در آزمایشگاه ۲۶ بدست آمده است. این بار در تحلیل انجام شده ۲۷/۲۲ kn بدست آمده است. یعنی دقت حل انجام شده در یافتن بار شکست تیر در حدود ۹۶ درصد است. خطای شبیه سازی اجزای محدود به طور میانگین ۴ درصد است که رضایت بخش تلقی می شود.

مقدار مناسب ضریب رفتار جهت اصلاح پاسخ لرزه ای قاب ها در طراحی حدود ۴ می باشد [۲۱].

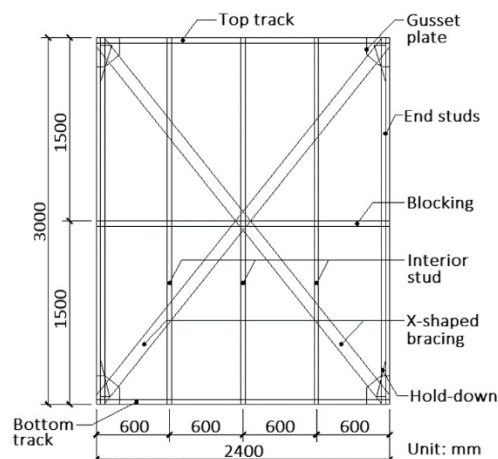
### ۳- صحت سنجی

نمونه های آزمایشگاهی انتخاب شده برای بررسی عملکرد سیستم قاب فولادی سبک LSF و صحت مدل سازی شامل یک سیستم قاب فولادی سبک LSF است که توسط Bin Liu و همکاران (۲۰۱۶) آزمایش گردید. قاب مورد نظر قاب فولادی آزمایش شده با مشخصات F-XB می باشد [۲۲]. جهت نمونه سازی از نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS 2017 [۷] استفاده شد. نمونه آزمایشگاهی مورد نظر تحت بار گذاری فشاری در بالای قاب و جابجای جانبی در قاب قرار دارد. لازم به ذکر است فولاد بکار رفته در مدل آزمایشگاهی دارای مدول الاستیسیته ۱۹۹ Gpa و ضریب پواسون ۰/۳ می باشد. در جدول (۱) خصوصیات مصالح و در اشکال (۱) الی (۳) نمایی از مدل در نرم افزار آباکوس و نحوه بارگذاری و آرایش مورد نظر نشان داده شده است.

جدول ۱- جزئیات خصوصیات مصالح [۲۲]

Material properties of CSB panels.

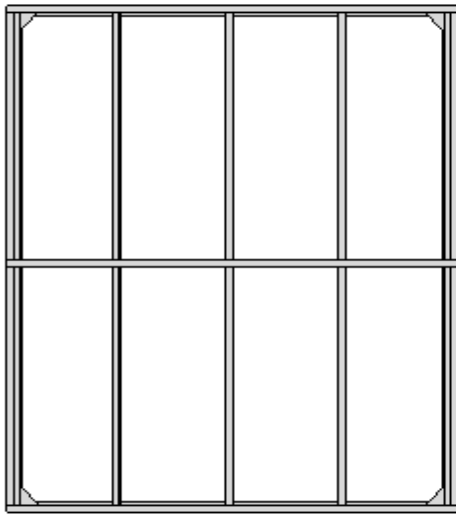
Density (kg/m <sup>3</sup> )	Elastic modulus (MPa)		Flexural strength (MPa)	
	Major axis	Minor axis	Major axis	Minor axis
1370	7450	5370	14.04	9.32



شکل ۴- جزئیات مقاطع [۲۲]

**۴-۱ معرفی نمونه مبنا**

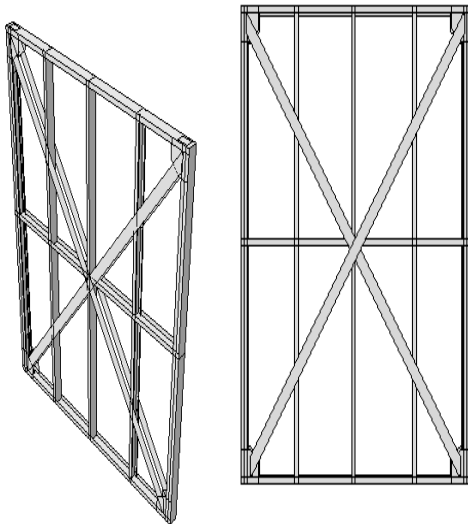
همان گونه که در شکل (۵) نشان داده شده است، ابتدا سیستم قاب فولادی سبک معرفی شد. نمونه مبنا بدون تقویت بادبند می‌باشد.



شکل ۵- نمایی از نمونه مبنا

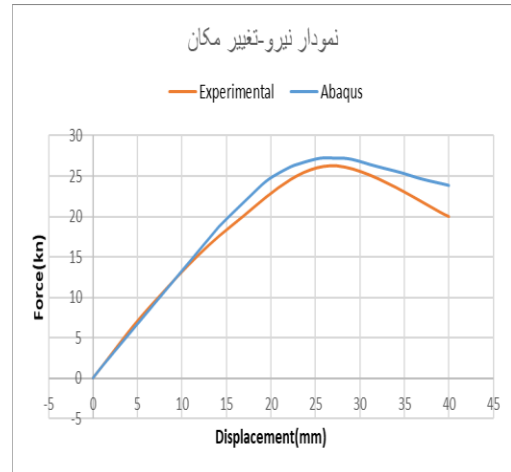
**۴-۲ نمونه A**

در این مدل همان گونه که در شکل (۶) مشاهده می‌نمایید، از مهاربند ضربدری استفاده شده است. این نوع از مهاربند که مهاربند همگرا نیز معروف می‌باشد حالتی است که دو عضو مهاربند به صورت قطری زاویه متقابل یک دهانه را به هم متصل می‌نماید.



شکل ۶-نمایی از نمونه A

شکل (۴) نمودار صحت سنجی مدل آزمایشگاهی و عددی را نشان می‌دهد. لازم بذکر است که در این صحت‌سنجی با توجه به اینکه بارگذاری آزمایش صورت گرفته بصورت سایکلک می‌باشد در صحت سنجی نمودار پوش آن طبق FEMA رسم شده و نمونه‌ها با هم مقایسه می‌گردند. از مقایسه نمودارها اختلاف ۱۰ درصدی بیانگر صحت سنجی مناسب می‌باشد.



شکل ۴- منحنی نیرو و تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی و ABAQUS

مجموعه نتایج بررسی شده نشان می‌دهد که تحلیل انجام شده از دقت قابل قبولی برخوردار است

**۴-۳ معرفی نمونه‌های پیشنهادی**

برای تعریف نمونه‌های تقویت شده ابتدا مرور جامعی بر تحقیقات صورت گرفته توسط سایر محققین انجام شد. این تحقیقات را از نظر ایده به کار رفته در تقویت سیستم قاب فولادی و انتظار محققین گذشته از رفتار سیستم قاب فولادی تقویت شده می‌توان به این نتیجه رسید که با استفاده از انواع بادبند ها و دیوار برشی می‌توان به ظرفیت خمشی و همچنین ظرفیت برشی قاب را افزایش داد و به علت گیردار شدن قابات روش میزان شکل‌پذیری سیستم قاب فولادی را نیز افزایش داد. و تقویت برشی سیستم قاب فولادی بیشتر بر قدرت باربری سازه تاثیر داشته و به صورت کمی بر شکل‌پذیری آن تاثیر می‌گذارد. به این ترتیب در تاریخچه موضوع تنوع چندانی در شکل قرارگیری بادبندها در تقویت سیستم قاب فولادی به چشم نمی‌خورد. در ادامه با تعریف مهاربند ضربدری و ضرب دری دوردیفه و در مدل C بجای مهاربند از ورق ۴۵ درجه در گوشه استفاده شده است. حال به بررسی آنها می‌پردازیم.

مورد استفاده در این سیستم U, C و Z است، که معمولاً با قابات سرد به یکدیگر متصل می‌شوند.

مقاطع فولادی جدار نازک، ورقهای فولادی گالوانیزه هستند که با استفاده از نورد سرد و با استفاده از روش Roll Forming در کارخانه شکل‌دهی می‌شوند. بر اساس آیین‌نامه تدوین شده برای مقاطع فولادی سبک نورد شده ضخامت فلز پایه (ضخامت فلز بدون احتساب پوشش های محافظ) بین ۰/۵ میلی‌متر تا ۳ میلی‌متر تدوین شده است. تولید و برش این مقاطع در کارخانه باعث می‌گردد، تولید مقاطع با کیفیت مناسب و یکنواخت در حجم و سرعت بسیار بالا انجام گیرد. قرارگیری این مقاطع فولادی در فواصل نزدیک به هم دیوارهای باربری را ایجاد می‌نماید که مقاومت و سختی مناسبی را در برابر بارهای جانبی ناشی از باد و زمین لرزه دارا می‌باشند.

#### ۴-۵ شرایط مرزی و بارگذاری

موارد مورد نیاز در محیط بار به شکل زیر است:

- شرط مرزی جابجایی ثابت و از پایین به صورت کاملاً صلب می‌باشد.
- نیرویی از نوع Pressure به صورت ثقلی و ثابت از بالا به سطح رویه قاب میزان ۲۰۰ KN وارد می‌گردد.
- جابجایی از کنار به قاب وارد می‌گردد.
- بارگذاری نیز به صورت خطی به سازه اعمال گردیده است.

#### ۴-۶ مش‌بندی

مش‌بندی مورد استفاده برای تمامی نمونه‌ها از نوع M3D4R (المان پیوسته ۳ بعدی ۴ نقطه ای با انگرال کاهش‌یافته) می‌باشد. [۱]

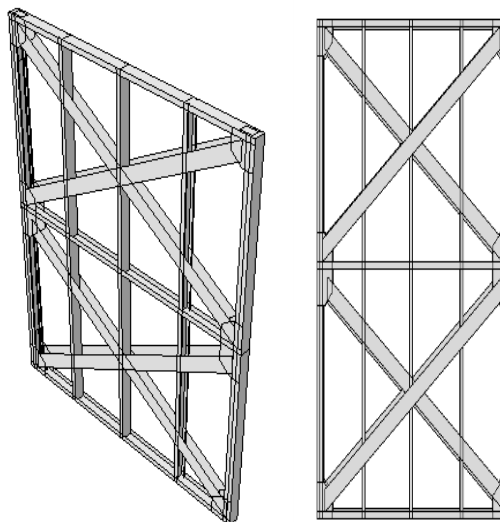
#### ۵- نتایج نمونه‌ها

##### ۵-۱ بررسی نمودارهای مونوتونیک نیرو- تغییر مکان

نمونه‌ها تحت تاثیر تغییر شکل مونوتونیک قرار گرفته و تحلیل‌ها به صورت استاتیکی انجام شده‌اند. در شکل (۹-۱۱) مقایسه نمودارهای نیرو- تغییر مکان نمونه‌های تقویت شده در مقایسه با نمونه مینا (بدون تقویت) ارائه شده است. در هر نمودار منحنی نیرو و تغییر مکان یکی از مدل‌ها با منحنی نیرو و تغییر مکان مدل مینی بدون تقویت مقایسه شده‌اند جهت بررسی آسان‌تر منحنی‌های نیرو و تغییر مکان نمونه این منحنی‌ها با منحنی معادل دو خطی نیز ساده‌سازی شده که نمودار معادل دو خطی نیز در شکلها نشان داده شده‌اند. جدول ۲ مقادیر، مقاومت، درصد افزایش مقاومت و سطح زیر نمودار نیرو تغییر مکان مدل‌های تقویت شده ارائه شده‌اند. مقایسه این مقادیر در شکل‌های ۱۲، ۱۳ نشان داده شده‌اند.

#### ۳-۴ نمونه B

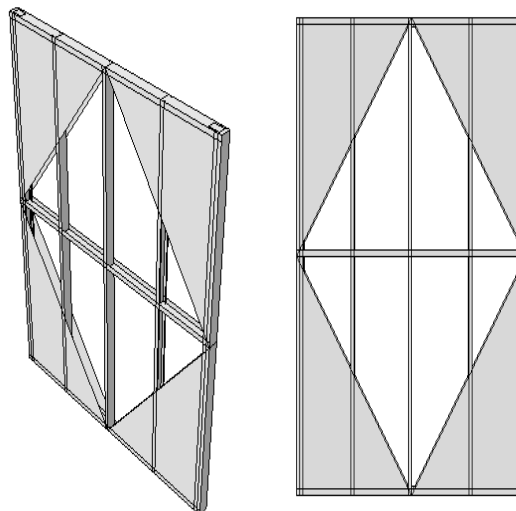
در این مدل همان‌گونه که در شکل (۷) مشاهده می‌نمایید، از مهاربند ضرب دری در دو ردیف استفاده شده است. این نوع از مهاربند حالتی است که دو عضو مهاربند به صورت قطری زاویه متقابل یک دهانه را به هم متصل می‌نمایند.



شکل ۷-نمایی از نمونه B

#### ۴-۴ نمونه C تقویت بصورت ۴۵ درجه

در این مدل همان‌گونه که در شکل (۸) مشاهده می‌نمایید، از مهاربند ضرب دری استفاده نشده است. و در آن از ورق فولادی با زاویه ۴۵ درجه استفاده شده است.



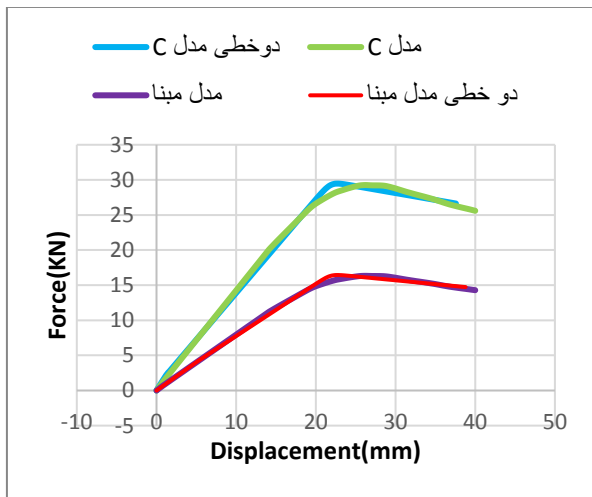
شکل ۸-نمایی از نمونه C

#### ۳-۴ جنس مواد

این سیستم که شباهت زیادی به روش‌های ساخت ساختمان‌های چوبی دارد، بر اساس کاربرد اجزایی به نام استاد (Stud) یا وادار و تراک (Track) یا رانر شکل گرفته است و از ترکیب نیمرخ‌های فولادی گالوانیزه سرد نورد شده، ساختار اصلی ساختمان برپا می‌شود. مقاطع

۵-۴ مقایسه نمونه مینا با نمونه C نمودار بار افزون (منحنی نیرو - تغییر مکان)

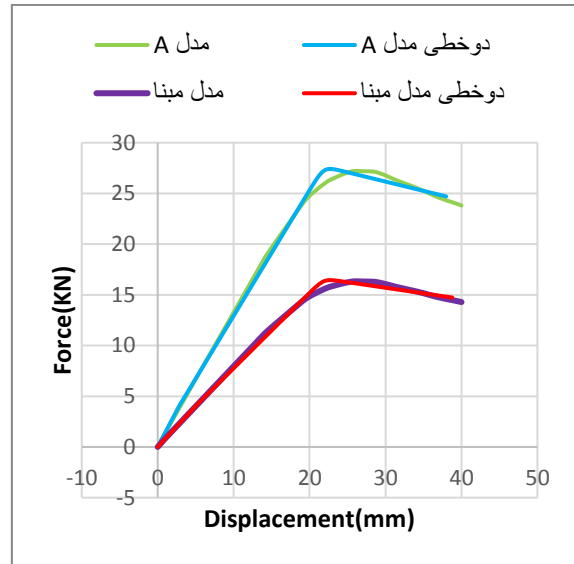
همان گونه که در شکل (۱۱) مشاهده می‌نمایید نمودار نیرو - تغییر مکان برای نمونه مینا و نمونه C با توجه به خروجی‌های نرم افزار ارائه شده است. می‌شود حداکثر نیروی برشی قابل تحمل در قاب KN ۲۹/۲۲ می‌باشد که در حدود ۷۸/۹ درصد نسبت به نمونه مینا افزایش داشته است.



شکل ۱۱ - نمودار نیرو-جابجایی نمونه C

۵-۲ مقایسه نمونه مینا با نمونه A نمودار بار افزون (منحنی نیرو - تغییر مکان)

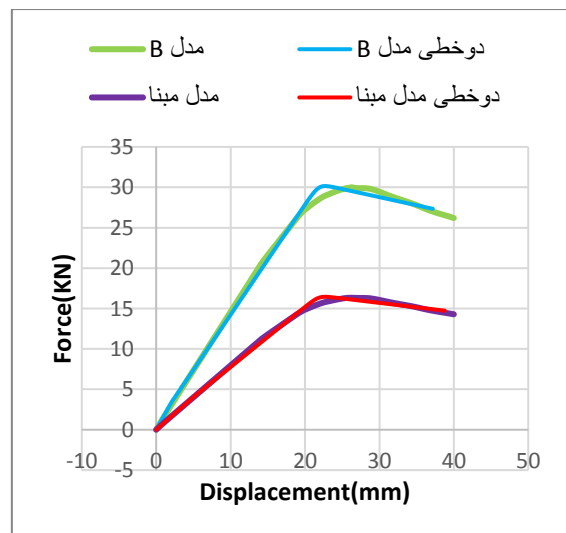
همان گونه که در شکل (۹) مشاهده می‌شود حداکثر نیروی برشی قابل تحمل در قاب ۲۸/۴۲KN می‌باشد که در حدود ۶۶/۷ درصد نسبت به نمونه مینا افزایش داشته است.



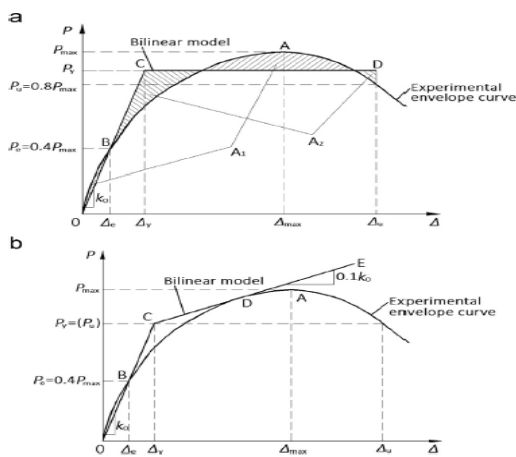
شکل ۹- نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه مینا و نمونه A

۵-۳ مقایسه نمونه مینا با نمونه B نمودار بار افزون (منحنی نیرو - تغییر مکان)

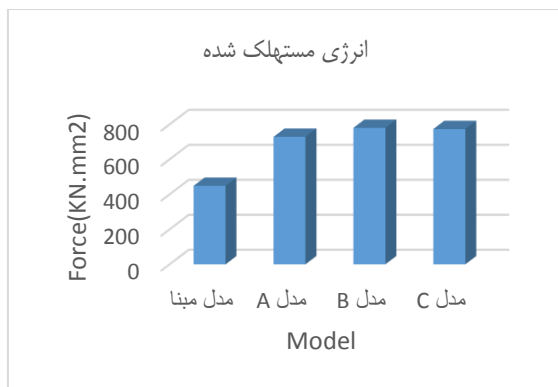
همان گونه که در شکل (۱۰) مشاهده می‌نمایید نمودار نیرو - تغییر مکان برای نمونه مینا و نمونه B با توجه به خروجی‌های نرم افزار ارائه شده است می‌شود حداکثر نیروی برشی قابل تحمل در قاب ۳۰KN می‌باشد که در حدود ۸۳/۷ درصد نسبت به مدل مینا افزایش داشته است.



شکل ۱۰- نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه مینا و نمونه B



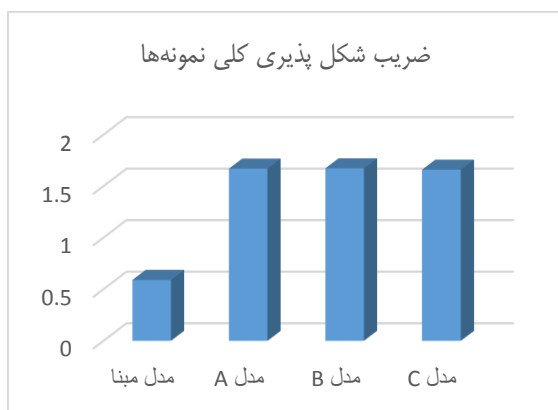
شکل ۱۲- نمایی از تعریف منحنی دوخطی معادل برای ارزیابی شاخص [۲۲]



شکل ۱۴- مساحت سطح زیرنمودار نیرو تغییر مکان (انرژی مستهلک شده) نمونه‌های

جدول ۳- ضریب شکل پذیری و فاکتورهای مربوطه در نمونه‌های تقویت شده و نمونه مینا

نمونه	Dy(mm)	du(mm)	$\mu = \frac{du}{dy}$	افزایش ضریب شکل پذیری (%)
مینا	۲۲/۶۳	۳۸	۰/۵۹	-
A	۲۲/۶۳	۳۷/۹۸	۱/۶۷	۱۸۳
B	۲۲/۲۲	۳۷/۱۷	۱/۶۷۳	۱۸۳/۵
C	۲۲/۶۳	۳۷/۵۷	۱/۶۶	۱۸۱/۳



شکل ۱۵- ضریب شکل‌پذیری کلی نمونه‌های

جدول ۲- نتایج بدست آمده از تحلیل نمونه‌ها

نمونه	حداکثر نیرو برشی (KN)	جابجای (mm)	افزایش بار حداکثر (%)
مینا	۱۶/۳۳	۲۶/۲۶	-
۱	۲۷/۲۲	۲۶/۲۶	۶۶/۷
۲	۳۰	۲۶/۲۶	۸۳/۷
۳	۲۹/۲۲	۲۶/۲۶	۷۸/۹

### ۵-۵- بررسی نتایج

همان‌گونه که در جدول شماره ۳ و اشکال ۱۳ و ۱۴ مشخص است با بررسی خروجی‌های بدست آمده برای هر یک از نمونه‌ها نتایج زیر قابل محاسبه می‌باشند.

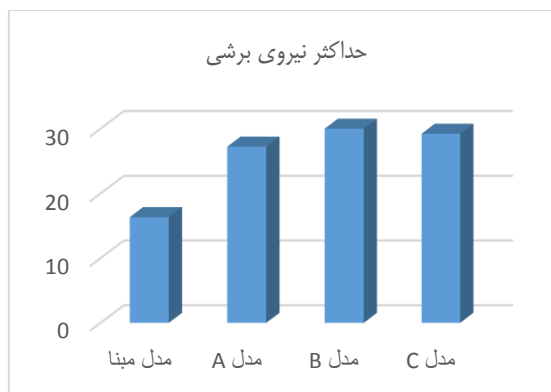
۱- حداکثر نیروی برشی قابل تحمل برای قاب

۲- نسبت نیروی برشی قاب تقویت شده به قاب مینا

### ۵-۶- شکل‌پذیری

شکل‌پذیری خصوصیتی از سازه است که در آن اعضا در تمام یا قسمتی از طول خود بدون تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقاومت قادر به قبول تغییر شکل‌های عمدتاً پلاستیک می‌باشند. در شکل ۱۲ نمودار ایده‌آل دو خطی معادل برای ارزیابی شاخص شکل‌پذیری رسم شده است. با ایده‌آل کردن منحنی رفتار کلی سازه به منحنی‌های معادل دوخطی بصورت الاستیک و پلاستیک کامل ضریب شکل‌پذیری کلی سازه ( $\mu$ ) از رابطه (۱) بصورت تقسیم تغییر مکان جانبی نسبی حداکثر (du) به تغییر مکان جانبی نسبی تسلیم (dy) بدست می‌آید. [۲۲] در جدول شماره ۲ و شکل ۱۵ نمودار شکل‌پذیری نمونه‌ها مشخص است.

$$\mu = \frac{du}{dy} \quad (1)$$



شکل ۱۳- نمودار حداکثر مقاومت نمونه‌های



## ۶- نتیجه گیری

بادبندها به عنوان نوعی سیستم کنترل غیر فعال، نقش موثری در ایجاد مقاومت سازه در برابر نیروهای جانبی مانند زلزله دارند. یکی از روش های بهره گیری بیشتر و اقتصادی تر از قابلیت بادبندها استفاده از ظرفیت غیر ارتجاعی آنها است. بادبندهای معمولی تحت کشش دارای عملکرد خوبی هستند، ولی در زیر فشار دچار کماتش شده، شکل پذیری خوبی ندارند. با توجه به اینکه بارگذاری از نوع خطی استاتیکی بوده است رفتار نمودارهای جذب انرژی با مدل های مختلف از سه نمونه مهاربند مختلف که برای تقویت قاب LSF استفاده می شود مدلسازی شده است. با مشاهده نمودارهای قاب های بالا اطلاعات زیادی در مورد آنها به صورت شهودی می توان کسب کرد. اولین یافته سطح زیر نمودار است که در حقیقت مقدار انرژی مستهلک شده حاصل از بارها در سازه است هر چه این سطح بزرگتر باشد میزان شکل پذیری سازه بیشتر بوده و سازه پتانسیل بیشتری بر مستهلک سازی انرژی وارد خواهد داشت. این نکته در مناطق لرزه خیز که هدف از طراحی بیشتر کردن شکل پذیری سازه است می تواند بسیار حائز اهمیت باشد. تقارن در نمودار های بالا در سیکل های ابتدایی نیز نشان دهنده رفتار یکسان سازه در برابر بارهای سیکلی می باشد و هرچه میزان این تقارن در نمودار بیشتر باشد رفتار یکنواختی از سازه در بارهای سیکلی وجود خواهد داشت.

۱- همچنین در نمودارهای هر چه شیب نمودار کاهش باید در حقیقت با زوال سختی سازه مواجه می باشیم. کاهش سختی اکثراً در انواع سازه ها که در چرخه های بارگذاری طولانی قرار می گیرند و وارد محدوده پلاستیک می شوند رخ می دهد. که در این نمودارهای در تمامی آنها کاهش سختی را مشاهده می کنیم. همچنین علاوه بر رفتار کلی نمودارهای تمامی مدل ها، خود مدل ها در مقایسه با یکدیگر رفتارهای زیر را از خود نشان می دهند:

۲- نیروی تسلیم در نمودار نشانگر مقاومت استاتیکی و بازه تغییر شکل پلاستیک نشانگر مقاومت لرزشی باد بند است. پارامترهایی نظیر مساحت نمودار و تغییر شکل کل نمادی از قابلیت جذب انرژی بادبند می باشد. یک مهندس طراح باید هر سه مورد را در نظر بگیرد.

۳- از بین هندسه های مشخص شده، هندسه B بیشترین قابلیت جذب انرژی و مقاومت در مقابل زلزله و هندسه C نشانگر بیشترین مقاومت استاتیکی است.

۴- افزایش ضخامت نبشی تشکیل دهنده هسته باعث افزایش مقاومت استاتیکی نمونه و کاهش قابلیت جذب انرژی در زلزله را دارد.

۵- استفاده از فولاد با مقاومت تسلیم بالاتر باعث افزایش مقاومت استاتیکی و مقاومت زلزله بادبند می گردد ولی قابلیت جذب انرژی آن را کاهش می دهد.

۶- استفاده از ورق های فولادی ۴۵ درجه باعث افزایش شکل پذیری قاب می گردد.

## ۷- مراجع

- [۱] شکرزاده محمدرضا و عظیمی نژاد آرمن و سروقده مقدم عبدالله رضا بررسی عملکرد چرخه های قابات بتنی تقویت شده با نوارهای ضریبری FRP آنالیز سازه-زلزله دوره ۱۲ شماره ۴ زمستان ۱۳۹۴ صفحه ۲۹-۴۰
- [2] AISI. Standard for cold- formed steel framed- lateral desing. washington, D.C. : American Iron and steel Institued.
- [3] SEI/ASCE 7-02. Minimum design loads for buildings and other structures. Reston VA, USA: American of Civil Engineers; 2003
- [4] FEMA 450.NEHRP recommendation for seismic regulations for new buildings and other structures, 2003 edition, part 1: provisions. Washington, DC, USA: building seismic safety council, National institute of building science; 2004.
- [5] Winter, G. Cold-Formed, Light Gage Steel Construction, Journal of the Structural Division, ASCE Proceedings, Vol. 85, pp. 1989.
- [6] Al-Kharat M, Rogers CA. Testing of light-gauge steel strap braced walls. Research report. Montreal (QC, Canada): Dept. of Civil Engineering, McGill University; 2005.
- [۷] SIMIULIA Inc, ABAQUS V2017 Manuals Providence, Dassault Systemes, 2017
- [8] Winter, G. "Light Gage (Thin-Walled) Steel Structures for Building in the U.S.A., Preliminary Publication, 4th Congress of the International Association for Bridge and Structural Engineering, 1952.
- [9] Winter, G. "Development of Cold-Formed Light Gage Steel Structures", AISI Regional Technical Paper, 1959.
- [10] American Iron and Steel Institute "Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members", 1996 ed.
- [11] Miller, T.H., Pekoz, T. "Behavior of Cold-Formed Steel Wall Stud Assemblies", Journal of Structural Engineering, Vol. 119, 1993.
- [12] Telue, T., Mahendran, M. "Behavior of Cold-Formed Steel Wall Frames Lined with Plasterboard", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 57, 2002.
- [13] Serrette, R.L., Morgan, K.A., Sorhouet, M.A. "Performance of Cold-Formed Steel-Framed Shear Walls", Alternative Configurations, Santa Clara University, 2002.
- [14] Serrette, R.L., Ogunfunmi, K. "Shear Resistance of Gypsum-Sheathed Light-Gauge Steel Stud Walls", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 122, 1996.

- [15] Tian, Y.S., Wang, J., Lu, T.J. "Racking Strength and Stiffness of Cold-Formed Steel Wall Frames", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 60, 2004.
- [16] Design of Cold-Formed Load Bearing Steel Systems and Masonry Veneer / Steel Stud Walls, US Army Corps of Engineers.
- [17] M. Zeynalian, H.R. Ronagh, (2012), A numerical study on seismic performance of strap-braced cold-formed steel shear walls, Thin-Walled Structures, Volume 60, November 2012, Pages 229–238
- [18] M. Zeynalian, H.R. Ronagh, S. Hatami, Seismic characteristics of K-braced cold-formed steel shear walls, Journal of Constructional Steel Research, Volume 77, October 2012, Pages 23–31
- [19] Mohammad Reza Javaheri-Taftia, Hamid R. Ronagh, (2014), An experimental investigation on the seismic behavior of cold-formed steel walls sheathed by thin steel plates, Thin-Walled Structures Volume 80, July 2014, Pages 66–79.
- [20] Mehran Zeynalian, H.R. Ronagh, (2015), Seismic performance of cold formed steel walls sheathed by fibre-cement board panels, Journal of Constructional Steel Research, Volume 107, April 2015, Pages 1–11
- [21] Al-Kharat M, Rogers CA. Testing of light-gauge steel strap braced walls. Research report. Montreal (QC, Canada): Dept. of Civil Engineering, McGill University; 2005
- [22] Bin Liu, Ji-Ping Hao, Wei-Hui Zhong, Hao Wang Performance of cold-formed-steel-framed shear walls sprayed with
- [23] Lightweight mortar under reversed cyclic 2016. Thin-Walled Structures 98(2016)312–331

Archive

## Investigating of the Performance of Different Diagonal Brace Patterns in Rehabilitation Lightweight Steel Frame (LSF)

Mohammad Reza Shokrzadeh

Young Researchers and Elite Club, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran

Armin Azimi Nejad

Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Iran

[ENG.Shokrzadeh@gmail.com](mailto:ENG.Shokrzadeh@gmail.com)

### Abstract:

Lightweight steel structures (LSFs), which are manufactured dry and manufactured using industrial production and cold rolling (CFS). For carrying the side loads in cold-rolled structures, belt braces or shear walls are used. . Considering that the weight of the materials, the preparation and implementation of the wall is a limiting factor for its use in the repair of the frames. Determining the proper makeup that reduces the use of wall panels can be a significant factor in improving the performance of the frames in improving and framing the frames. The sample of the laboratory chosen to examine the performance of the LSF lightweight steel frame system and the accuracy of the modeling in the ABAQUS software includes a LSF light steel frame system, tested by Bin Liu et al. (2016). For this purpose, the frame reinforced samples were categorized in three general categories, including a non-reinforced sample, a braided braid, a double-row braid, and a 45-degree reinforced sample under a monotonic loading, comparing the results obtained from the sample analysis With non-reinforced specimens, it was found that the bearing capacity of the reinforced frame with double-row double-row multi-row bricks was close to the full 45-degree frame. Use of higher yielding steel increased the static strength and earth-impact resistance of the bracing, but the ability The energy absorption reduces it. Use of 45 ° steel sheets adds an extra Its shape is framed.

**Keywords:** Rehabilitation, Seismic refinement, lightweight steel frame system (LSF), steel cold rolled steel sections (CFS), ABAQUS