رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886، دوره چهارم، شماره ۳، ۱۳۹۹، صفحه: ۸۲-۹۲
Archive of SID

سازه‌های فولادی سبک: ساختاری مناسب برای ساختمان‌سازی در مناطق زلزله‌زده ایران(یک مطالعه مروری)

محمد عمارلو [*۱]، محمدحسین قدیری راد [۲]، حمیدرضا دشتبانی [۳]

[*۱] کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی توس، مشهد، ایران.
(*ammarloum69@gmail.com*)

[*۲] استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران.

[۳] کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۶/۲۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۸/۱۵)

چکیده

طبق آمار مرکز لرزه نگاری کشوری در سه ماهه اول سال ۱۳۹۸، حدود ۲۸۸۰ زمین لرزه در ایران و نواحی مرزی ثبت و تعیین محل شده است. بزرگترین زمین لرزه ها با بزرگی بین ۴ تا ۵/۱ ریشتر در استان کرمانشاه و حوالی آن رخ داده است. علاوه بر این به طور میانگین در ایران هر ۷ سال یک زلزله قوی و دارای خسارت جانی و مالی بالا روی داده است. با توجه به خسارت های ناشی از زلزله، صنعت ساختمان سازی به منظور محافظت بهتر در برابر نیروهای لرزه ای، به سمت سبک سازی و ساخت صنعتی سازه ها پیش رفته است. به همین منظور سازه های سبک فولادی به عنوان یکی از بهترین راهکارهای صنعتی سازی و سبک سازی توسط مهندسین، به کار گرفته شده است. این سیستم نوین ساختمانی در کشورهای پیشرفته با استقبال گسترده مواجه شده است و جایگزین سیستم های سنتی شده است. از این سیستم می توان برای بازسازی در مناطق زلزله زده و ساختمان سازی در مناطق زلزله خیز استفاده کرد. این مطالعه با هدف مروری بر ویژگی های سازه های فولادی سبک برای استفاده در مناطق زلزله خیز و زلزله زده انجام شد.

کلمات کلیدی

سازه، سازه فولادی سبک، زلزله، ایران.

www.SID.ir

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886، دوره چهارم، شماره ۳، ۱۳۹۹، صفحه: ۸۳-۹۲
Archive of SID

Light Steel Frame (LSF) Systems: A Suitable Structure for Building in Iran's Earthquake-Stricken Areas (A Review)

Mohammad Ammarlou [1], Mohammad Hosein Ghadiri Rad [2], Hamid Reza Dashtbani [3]*

[1] M.Sc. Engineering and Construction Management, Toos Institute Higher Education, Mashhad, Iran.*

(ammarloum69@gmail.com)

[2] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Quchan University of Technology, Quchan, Iran.

[3] M.Sc. of Structural Engineering, Quchan University of Technology, Quchan, Iran.

(Date of received: 19/09/2020, Date of accepted: 05/11/2020)

ABSTRACT

According to the statistical data of the Iranian Seismological Center in the first three months of 1398, a total of around 2880 earthquakes were recorded and determined in Iran and borderline regions. The largest earthquakes with the Richter magnitude scales of 4-5.1 occurred in Kermanshah province, Iran, and its suburbs. In addition, a severe earthquake occurs in Iran every 7 years on average which leads to dramatically high financial loss and casualties. According to earthquake induced losses and damages, the building industry has intended to lighten and provide industrial construction of structures to facilitate better support against seismic forces. In this respect, light-weight steel structures have been applied by engineers as one of the excellent industrialization and lightening approaches. This modern building system has greatly welcomed in developed countries and has used as an alternative to traditional systems. This system can be employed for rebuilding in earthquake-stricken areas and construction in prone-to earthquake regions. This study was conducted aiming at reviewing features of light-weight steel structure to be used in prone-to-earthquake and earthquake-stricken areas.

Keywords:

Structure, LSF, Earthquake, Iran.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

ایران در قسمت میانی کمربند کوهزایی آلپی می باشد و این حرکات هنوز به اتمام نرسیده و تعادل نهایی برقرار نشده است. لذا با توجه به موقعیت ایران و واقع شدن در بین دو قاره قدیمی و مقاوم یعنی اوراسیا در شمال و و آفریقا-عربستان در جنوب، پلاتفرمی ترد و شکننده است [۱]. طبق آمار مرکز لرزه نگاری کشوری در سه ماهه اول سال ۱۳۹۸، حدود ۲۸۸۰ زمین لرزه در ایران و نواحی مرزی ثبت و تعیین محل شده است. در خرداد ماه سال ۱۳۹۸، تعداد ۱۲ زمین لرزه با بزرگی بیش از ۴,۰ در داخل کشور توسط مرکز لرزه‌نگاری کشوری به ثبت رسیده است که بزرگترین آنها به بزرگی ۴,۸ حوالی قصرشیرین واقع در استان کرمانشاه ، رخ داده است [۲]. در اردیبهشت ماه نیز بزرگترین زمین لرزه به بزرگی ۵,۱ حوالی ازگله واقع در استان کرمانشاه ، رخ داده است [۳]. در فروردین هم بزرگترین زلزله به بزرگی ۵,۱ حوالی سومار واقع در استان کرمانشاه ، رخ داده است(۳). به طور میانگین در ایران هر ۷ سال یک زلزله قوی و دارای خسارت جانی و مالی بالا روی داده است. زلزله باعث خسارت های جانی و مالی فراوان می‌شود و در صورت قوی بودن می‌تواند فاجعه انسانی ایجاد کند [۴]. زلزله حلقه‌ای است که عواقب ناشی از آن به شیوه عملکرد سه گروه سیاستگذاران، متخصصان و مجریان بستگی دارد. بنابراین اگر این سه گروه هماهنگ و خوب عمل کنند و وظیفه خود را به نحو احسن و مطابق با معیارهای علمی انجام دهند، خطر زلزله و خسارت های ناشی از آن کاهش می‌یابد. در غیر این صورت زلزله در کشور ما خسارت بار و فاجعه آمیز خواهد بود. خسارت های ناشی از زلزله در کشورهای دیگر بسیار کمتر از کشور ما است. مثلا بر اثر زلزله ۸/۸ ریشتری که در سال ۱۳۸۲ در شرق جزیره هوکایدو در شمال ژاپن اتفاق افتاد و معادل ۵۱۲ بمب اتمی قدرت تخریب داشت، تنها یک نفر کشته، دو نفر مفقود و ۶۰۰ نفر زخمی شدند ولی زلزله های ۵ تا ۷ ریشتری در کشور ما بین ۲۰ تا ۳۰ هزار کشته بر جای می‌گذارند [۱]. با توجه به خسارت‌های ناشی از زلزله صنعت ساختمان‌سازی به منظور محافظت بهتر در برابر نیروهای لرزه‌ای، به سمت سبک سازی و ساخت صنعتی سازه‌ها پیش رفته است. استفاده از روش سنتی ساخت وساز در کشور ایران به دلیل زلزله خیز بودن روش نادرستی بوده و حاصل آن چیزی جز هدر رفتن منابع ملی نیست [۵]. به همین منظور سازه‌های سبک فولادی به عنوان یکی از بهترین راهکارهای صنعتی سازی و سبک سازی توسط مهندسین، به کار گرفته شده است. این سیستم نوین ساختمانی در کشورهای پیشرفته با استقبال گسترده مواجه شده است و جایگزین سیستم های سنتی شده است (۵) و در مناطق مسکونی و بلوک های آپارتمانی استفاده می‌شود [۶-۷]. Veljkovic and Johansson همچنین اذعان دارند که سازه‌های LSF به طور گسترده‌ای در آمریکا، استرالیا و ژاپن و اروپا بازار را به دست آورده‌اند [۸]. سازه‌های LSF موجود مزایای خاصی نسبت به ساخت و سازهای سنگین دارند. مانند وزن کم با قدرت مکانیکی بالا، سرعت ساخت و کاهش اختلال در محل، توانایی بالقوه برای بازیافت و استفاده مجدد، انعطاف زیاد برای طراحی برای اهداف تکمیلی، پیش ساخت آسان با استفاده از ساخت مدولار، مناسب برای اقتصاد تولید انبوه، صرفه جویی در حمل و نقل و نگهداری، کیفیت بالاتر، مقاومت دقیق و استانداردهای بالاتر که از طریق کنترل در کارخانه به دست می‌آید، پایداری عالی در برابر رطوبت و مقاومت در برابر آسیب های حشرات. با توجه به این جایگزینی‌ها در ساخت سازه‌ها بایستی ویژگی‌هایی که سازه های فولادی سبک را برای کاربرد در مناطق زلزله زده و زلزله خیز مناسب می‌کند توضیح داد. به همین منظور این مطالعه با هدف مروری بر سازه‌های فولادی سبک برای ساختمان سازی در مناطق زلزله خیز و زلزله زده انجام شد. در قسمت اول این مقاله تاریخچه استفاده از LSF در ساختمان سازی، معرفی سیستم، اجزای تشکیل دهنده و روش‌های اجرا ارائه شده است. در قسمت دوم مقاله، مقالات مرتبط با سازه های فولادی سبک در رابطه با ساختمان سازی در مناطق زلزله زده مرور شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- تاریخچه

استفاده از سازه‌های فولادی سردنورد شده یا سیستم قاب فولادی سبک (LSF) از دهه ۱۸۸۱ میلادی در صنعت ساختمان آغاز به کار نمود. با این حال در آمریکا استفاده از این مقاطع در ساختمان سازی تا نشر اولین چاپ ضوابط انجمن آمریکایی آهن و فولاد در سال ۱۹۴۱ گسترش زیادی پیدا نکرد [۹]. اولین استاندارد طراحی بر مبنای تحقیقات انجام یافته در دانشگاه کرنل از سال ۱۸۹۴ و با پشتیبانی AISI تدوین گردید. این استاندارد به تناوب توسط کمیته AISI و به منظور بازتاب پیشرفت های فنی و نتایج تحقیقات جاری در سال های ۱۸۸۱، ۱۹۱۱، ۱۹۱۵ و ۱۹۵۱ مورد بازبینی و تجدید نظر قرار گرفت. در سال ۱۹۴۱ اولین ضوابط مربوط به "طراحی اعضای سازه‌ای فولاد سردنورد شده بر اساس روش ضریب بار-مقاومت" توسط AISI انتشار یافت [۱۰]. در سال۱۹۴۱ ضوابط مربوط به "طراحی به روش تنش مجاز (ASD)" و "طراحی به روش ضریب بار-مقاومت (LRFD)" در یک مدرک گردآوری گردیدند. این سیستم از سال ۱۹۴۶ در صنعت ساختمان وارد شد [۱۱]. اما آن زمان به دلیل اقتصادی نبودن کاربرد محدودی یافت. از سال ۱۹۹۰ میلادی به دلایل متعددی از جمله افزایش قیمت مصالح معمول و همچنین محدود بودن منابع تهیه آن، مشکلات زیست محیطی و نیاز به تولید سریع و انبوه مسکن، استفاده از سیستم پیش ساخته قاب فولادی سبک کاربرد گسترده ای پیدا کرده است، به طوری که امروزه این سیستم در آمریکا، استرالیا، ژاپن و بسیاری از کشورهای دیگر در احداث ساختمان های تجاری و مسکونی کوتاه و میان مرتبه کاربرد گسترده‌ای دارد [۱۲-۱۳]. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از سیستم LSF علاوه بر این که سرعت اجرا را حداقل دو برابر می‌نماید، منجر به کاهش ۹۱ درصدی در فولاد مصرفی خواهد شد. این سیستم به دلیل مزایای فراوان از جمله سرعت و کیفیت بالای ساخت و عملکرد لرزه‌ای مناسب در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای دنیا رواج قابل توجهی یافته است.

۳- معرفی

قاب فولادی سبک یکی از انواع سیستم‌های نوین ساختمانی است که هرچند اخیرا نمونه‌های بلند مرتبه آن در خارج از کشور اجرا شده است اما در داخل کشور برای اجرای ساختمان‌های کوتاه مرتبه و میان مرتبه (حداکثر تا پنج طبقه) استفاده می‌شود [۱۴]. در این سیستم تمام اتصالات از نوع پیچ و مهره می‌باشد. سوراخ‌های مربوط به اتصالات همزمان با تولید مقاطع فولادی و با دقت بسیار زیاد به وسیله دستگاه‌های مخصوص، بر روی بال و یا جان مقاطع در مختصاتی که طراح تعیین کرده است در کارخانه اجرا می‌شوند [۱۵]. این سیستم بیشتر در آمریکای شمالی، اروپا و اقیانوسیه استفاده شده است [۱۶].

۴- موارد مورد استفاده در سیستم LSF

سازه‌های LSF یک سیستم ساخت و ساز است که از مواد خشک تشکیل شده است [۱۷]. این سیستم عمدتا برای ساختمان‌های مسکونی کم ارتفاع به کار می‌رود [۱۸]. این سیستم ساخت و ساز خشک می‌تواند توسط سه جزء اصلی که در دیوارها و اسلب‌ها (Slabs) مورد استفاده قرار می‌گیرد مشخص شود: بخش‌های فولادی سرد شکل گرفته شده برای تحمل بار، پانل‌های پوشیده شده و مواد عایق [۱۹]. مواد دیگری برای اتصال و مواد ضد آب هم نیاز است [۱۶-۲۰]. بخش‌های سرد شکل گرفته می‌توانند با استفاده از سه فرآیند نقشه برداری (drawing)، خم کردن (bending) و رول کردن(rolling) تولید شوند [۱۸].

www.SID.ir

Archive of SID

۵- اجزاء تشکیل دهنده سیستم قاب فولادی سبک

سازه‌های LSF به صورت پانل تولید شده و اجزای تشکیل دهنده‌ی هر پانل عبارتند از:

۵-۱- اعضای قائم باربر (استاد) یا وادار

اعضای عمودی در این سیستم ستونک نام دارند و بارهای قائم را به شالوده انتقال می‌دهند. برخی از این اعضا که در دهانه مهاربندی جانبی سازه قرار می‌گیرند علاوه بر بار قائم متحمل نیروهای ناشی از بارهای جانبی نیز می‌شوند.

۵-۲- اعضای همبند قاب (ترک)

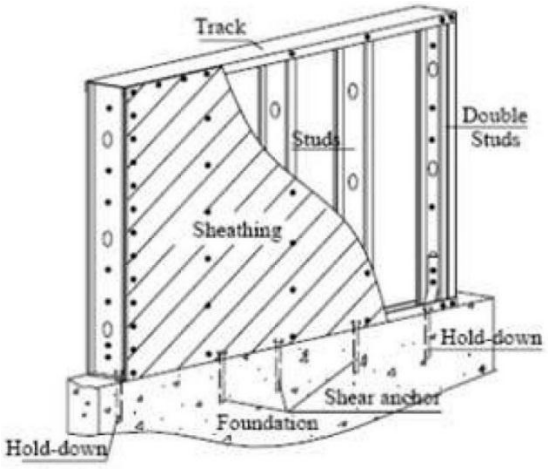
مقاطع u شکل که به صورت افقی در سازه نصب می‌شوند، رانرها هستند که وظیفه یکپارچگی و اتصال قطعات استاد به یکدیگر و تشکیل پانل‌های دیواری و تقویت سازه را بر عهده دارند و کشش را تحمل می‌نمایند.

۵-۳- اعضای خمش سقف

مقاطع C شکل که به صورت افقی در سازه مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای بتن ریزی سقف و کف استفاده می‌شوند.

۵-۴- اعضای باربر جانبی

سیستم ساختمانی LSF از سه جزء اصلی شامل مقاطع فولاد فرم داده شده در حالت سرد، پانل‌های گچی و پشم شیشه، یا پشم سنگ شکل گرفته است. دیوارهای باربر و غیرباربر این سیستم ساختمانی از تعدادی اجزای عمومی C شکل (استاد) به فواصل ۴۰ تا ۶۰ سانتی متر، که در بالا و پایین به اجزای افقی ناودانی U یا C شکل ترک (رانر) متصل شده‌اند، تشکیل می‌شود که به شکل پانلی بارهای جانبی و عمودی را به تکیه گاه انتقال می‌دهند. این استادها را معمولا از پایین و بالا به رانرها اتصال می‌دهند. برای مقاومت کافی در برابر بارهای جانبی معمولا دیوارها پس از اتصال استادهای فولادی به رانرها، بادبندی می‌شوند و با نصب پانل های گچی به شکل پانلی ساخته می‌شوند. نعل درگاه در این سیستم به شکل تیر I که از دو مقطع C شکل که از پشت به هم اتصال می‌یابند، تشکیل می‌شود. اتصالات این سیستم به شالوده توسط کلاف افقی با مقطع C شکل انجام می‌گیرد.



شکل ۱: اجزاء تشکیل دهنده سیستم فولادی سرد نورد شده.

www.SID.ir

Archive of SID

۶- روش های اجرای LSF

سه روش برای اجرای سازه‌های LSF موجود است که شامل مونتاژ در محل اجرا ، سیستم برافراشتن و سیستم جعبه‌ای است.

۶-۱- مونتاژ در محل اجرا

در این روش، مقاطع فولادی به صورت برش خورده و شماره گذاری شده به محل اجرای طرح منتقل می‌شوند و در محل اجرا با اتصالات سرد (پیچ و مهره) به یکدیگر متصل می‌شوند. می‌توان یک دیوار را به صورت افقی روی زمین اجرا کرد و سپس آن را بلند کرد و در محل خود نصب نمود. این روش از دقت بالایی برخوردار است.

۶-۲- سیستم برافراشتن

در این روش ابتدا قطعه مورد نظر مانند دیوار قاب و قطعات نما در محل پروژه به صورت افقی اجرا می‌شود و سپس به وسیله جرثقیل به مکان مورد نظر حمل و در محل مورد نظر نصب می‌شود.

۶-۳- سیستم جعبه‌ای

این روش برای ساخت فضاهای ساختمانی محدود و کوچک مانند سرویس‌ها یا کانکس‌ها استفاده می‌شود. در این روش، قاب فولادی سبک به صورت جعبه‌های پیش‌ساخته پس از انتقال به کارگاه کنار هم چیده شده و به یکدیگر متصل می‌شوند. در مرحله بعد، قطعات دیواره و سقف و دیوارهای خالی اجرا می‌شوند.

۷- مرور ادبیات فنی در رابطه با سازه های LSF تحت اثر زلزله

سرتی و همکاران (۱۹۹۷) آزمایشاتی بر روی دیوارهای فولادی سرد نورد شده تحت بارهای سیکلیک و استاتیکی انجام دادند. در این آزمایشات، فاصله استادها ۲۴ اینچ درنظر گرفته شد و استادهای کناری از مقاطع دوبل و به صورت پشت به پشت در دو انتهای دیوار نصب شدند. آزمایشات شامل دیوارها با انواع مختلف مهاربندی و پوشش های فلزی بود. پوشش یا مهاربند فقط در یک سمت دیوار قرار داشت. گسیختگی دیوار با پوشش فلزی، از شکست پوشش فلز در امتداد پیچ‌ها در گوشه‌ها شروع شد. کاهش فاصله بست‌ها و افزایش ضخامت پوشش، تاثیر مثبت در افزایش ماکزیمم بار خرابی داشت [۲۱]. گاد و همکارانش (۱۹۹۹)، تحقیق در زمینه وجود صفحات تخته گچی بر رفتار لرزه‌ای دیوار سازه‌ای فولادی سرد نورد که با تسمه‌های ضربدری مهاربندی شده بودند، انجام داده‌اند و ضرایب اصلاح پاسخ مربوط به این سیستم‌ها با آزمایشات میز لرزان و مطالعات عددی، ارزیابی نموده‌اند. طبق گزارشات این محققان، محدوده‌ی وسیعی از آزمایشات، بین ۴ و ۲۹ برای ضریب اصلاح پاسخ به دست آمده است که با توجه به مقادیر موجود در آیین نامه، این نتایج، غیرعملی و گمراه کننده است و باید مطالعات بیشتری برای رسیدن به یک پاسخ معتبر انجام شود [۲۲]. دوداس (۲۰۰۳) در مطالعه خود به این نتیجه رسید که سازه‌های LSF را در مراحل تولید، استفاده و تخریب از نظر زیست محیطی بررسی نمود و مشخص شد که این سازه‌ها برای محیط زیست مشکل ساز نیستند [۲۳]. فلوپ و دوبینا (۲۰۰۴)، سه نوع قاب مهاربندی شده به طول ۳/۶ متر و ارتفاع ۲/۴۴ متر با مهاربندهای تسمه‌ای ضربدری که با پیچ به قاب متصل شده بودند را تحت بارگذاری جانبی در صفحه‌ی قاب، مورد آزمایش قرار داده‌اند. از این سه نمونه، یکی از نمونه‌ها تحت بارگذاری یکنواخت و دو نمونه‌ی دیگر تحت بار سیکلیک آزمایش شده‌اند. دیوارها شامل قاب‌های فولادی سردنورد شده و مهاربندهایی به عرض ۱۱۰ میلیمتر و ضخامت ۱/۵ میلیمتر بوده است که در هر دو طرف دیوار نصب شدند و با پیچ به قاب متصل شدند. استادهای کناری از مقاطع دوبل انتخاب شدند تا تغییر شکل های خطی و گسیختگی بحرانی دیوارها، محدود به بادبندها شود. پروفیل‌های U شکل در قسمت گوشه‌ی

www.SID.ir

Archive of SID

ترک ها نصب شد تا سختی و ظرفیت هلدداون‌ها افزایش یابد. در طول آزمایش، کمانش موضعی کمتری در ترک‌ها مشاهده شده است و خرابی‌ها بیشتر در نواحی گوشه‌های قاب و کشیدگی غیرخطی تسمه‌ها متمرکز بوده است. پیامد غیرمنتظره‌ی تسلیم و خرابی گوشه ها در آزمایش، نشان از شکل پذیری نامطلوب دیوار مهاربندی شده داشت. این محققان، اشاره کردند که پیکربندی گوشه‌های قاب باید طوری باشد که نیروهای بالابرنده را مستقیما از بادبندها یا استاد کناری به لنگرگاه پیچ‌ها منتقل کند، بدون اینکه خمش در ترک ایجاد شود. تقویت گوشه ها می‌تواند اثر قابل توجهی بر سختی اولیه‌ی سیستم داشته باشد و باعث تغییر شکل‌های برشی فراتر از حد انتظار در دیوار، قبل از خرابی بادبندها می‌شود [۲۴]. در سال ۲۰۰۵ برما تحقیقی بر روی دو نوع قاب فولادی سردنورد شده با مهاربند ضربدری و پوشش فلزی برای دیوارهای برشی انجام داده است. دستاورد مهم این تحقیق، ایجاد یک خط راهنمای مهندسی برای ارزیابی رفتار این دو نوع سیستم با درنظرگرفتن سختی، شکل پذیری و انرژی تلف شده بود. نتایج آزمایش نشان داده است که بیشترین سختی اولیه، مربوط به نمونه‌های مهاربندی ضربدری بوده است درحالی که بیشترین شکل پذیری برای دیوار برشی با پوشش فلزی حاصل شده بود، همچنین انرژی تلف شده در هر دو سیستم تقریبا شبیه به هم بوده است [۲۵]. کیم و همکاران (۲۰۰۷) نیز آزمایش میز لرزان بر روی قاب دو طبقه با مهاربندهای نواری صورت گرفته است. آن ها در این سازه برای اعمال جرم از دال بتنی برای طبقات استفاده کرده بودند و اتصال مهاربندهای نواری به ستون ها نیز به صورت اتصال جوشی بوده است. در این آزمایش نشان داده شد که برای حصول رفتار مناسب قاب، شکست اتصالات جوشی یا پیچی مهاربند به ستون ها نباید روی دهد [۲۶]. الخرات و راجرس (۲۰۰۷)، شانزده نمونه دیوار با تسمه‌های ضربدری در قاب های فولادی سرد نورد شده را در آزمایشگاه تحت بارسیکلیک و یکنواخت مورد بررسی قرار داده اند. اندازه گیری ها شامل جابه جایی‌های داخل صفحه‌ی دیوار، کرنش‌ها و پهنای ورق مهاربندی، نیروی برشی در بالای دیوار و شتاب بارگذاری بوده است. نمونه‌های دیوار مورد آزمایش تحت بارگذاری جانبی، با تسلیم شدن مهاربندها، کنترل نشدند بلکه شکست در ترک ها، استادهای گوشه و اتصالات مهاربند به ترک و استاد مشاهده شد. این مدل های خرابی نامطلوب، بیشتر از نوع موضعی بود و موجب می شد که شکل پذیری و توانایی جذب انرژی سیستم های مقاوم جانبی لرزه‌ای، در مقایسه با آنچه به صورت تئوری از خصوصیات ذاتی مصالح مهاربند انتظار می رود، کاهش یابد. نمونه ها نتوانستند در امتداد طول مهاربند به تسلیم برسند. خرابی وسیعی در قاب و ورق اتصال مهاربند مشاهده شد که انتظار نمی‌رفت این حالت خرابی، زیر یک ظرفیت طراحی پایه ایجاد شود. شکست برشی منگنه‌ای ترک نیز مشاهده شد که به بادبندها اجازه نمی‌داد به ظرفیت تسلیم‌شان در کشش برسند. همچنین استادهای گوشه در دو طرف به سمت مرکز دیوار کشیده شدند که این امر ناشی از زوال مقاومت فشاری در ترک و گاست پلیت‌ها پس از خرابی برشی منگنه‌ای در محل اتفاق می‌افتد. پیچ‌هایی که استادهای میانی را به تیرهای پایینی متصل می‌کنند، نیز به بیرون کشیده شدند. چرخش اتصالات گوشه نیز منجر به کمانش موضعی استادهای کناری شد [۲۷]. مهدوی نژاد و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه موردی خود در شهرهای قم، کاشان، اصفهان و تهران به بررسی این سوال پرداختند که آیا استفاده از سیستم LSF هزینه های ساخت را کاهش می‌دهد". نتیجه این مطالعه نشان داد که این سازه‌ها اقتصادی بوده و برای کشورهای در حال توسعه مناسب هستند [۲۸]. زینلیان و رونق (۲۰۱۲)، یک تحقیق آزمایشگاهی به منظور تعیین کاراکترهای لرزه‌ای سیستم‌های مهاربند زانویی در سازه‌های فولادی سرد نورد شده انجام داده‌اند و ۴ نمونه قاب ۲/۴ * ۲/۴ متر با پیکره بندی های مختلف تحت بارگذاری سیکلیک را مورد بررسی قرارداده اند. ماکزیمم تغییر مکان جانبی و ماکزیمم مقاومت جانبی نمونه‌ها اندازه گیری شده است که در نهایت یک ضریب رفتار معقول برای سیستم‌های مهاربند زانویی مورد استفاده در قاب‌های فولادی سردنورد شده ارزیابی شود. همچنین مدل‌های گسیختگی سیستم و عوامل موثر در تعیین پاسخ شکل پذیر سیستم‌ها بررسی شده‌اند. محققین مشاهده کردند که خرابی در ناحیه اتصالات و کمانش موضعی استادها سبب ایجاد تغییر مکان جانبی نسبی قابل توجهی در قاب می‌شود. همچنین با توجه به نتایج آزمایشات آن‌ها بر عقیده‌اند که مقدار ضریب اصلاح پاسخ درنظر

www.SID.ir

Archive of SID

گرفته شده برای سیستم های مهاربندی زانویی در آیین نامه AISI برابر R=3 در نظر گرفته شده است مقدار معقولی است. در نهایت این محققین توصیه کردند که استفاده از مهاربند زانویی بهتر است فقط در نواحی با لرزه خیزی کم به کار رود. زینالیان و رونق (۲۰۱۲) یک آنالیز المان محدود غیرخطی با استفاده از نرم افزار انسیس به منظور بهینه سازی کاراکترهای لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی سردنورد سیستم مهاربند تسمه‌ای ضربدری دارای براکت انجام دادند. عوامل موثری چون رفتار غیرخطی مصالح و نقص هندسی و تنش‌های پسماند و وجود سوراخ نیز در مدل سازی و محاسبات در نظر گرفته شد. هدف ویژه‌ی این تحقیقات تعیین ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی و ماکزیمم مقاومت جانبی نمونه‌ها بوده است که در نهایت کاراکترهای لرزه‌ای و ضریب اصلاح پاسخ نمونه‌ها ارزیابی شده است. میانگین مقدار ضریب اصلاح پاسخ برای نمونه‌های مهاربندی شده ضربدری برابر ۵/۵۲ ارزیابی شده است. با توجه به این موضوع آن‌ها بر این عقیده اند که مقدار ضریب اصلاح پاسخ درنظرگرفته شده برای سیستم‌های مهاربندی ضربدری که در آیین نامه‌های AISI و AS4600 به ترتیب برابر با ۴ و ۲ می‌باشد، محافظه کارانه درنظر گرفته شده‌اند. زینلیان و همکاران (۲۰۱۲) در یک مطالعه امکان سنجی در مقایسه سیستم ساخت معمول با LSF مشخص کردند که سازه‌های LSF برای ساختمان سازی در مناطق زلزله زده پایدارتر و قابل اطمینان‌تر هستند [۲۹]. دانش و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه خود اشاره نمود که استفاده از سیستم قاب فولادی سبک در مقایسه با سیستم های سنتی می‌تواند تا ۴/۸ مترمکعب در هر ۱۰۰ مترمربع سطح ساخته شده (یعنی ۲۲ درصد) از تولید ضایعات ساختمانی بکاهد. همچنین این سیستم امکان بازیافت صددرصدی قطعات، مصالح و اجزای ساختمانی را فراهم می کند که از امتیازات این سازه در کاهش آثار زیست محیطی صنعت ساختمان است [۳۰]. مارتینز در سال ۲۰۱۴ در مطالعه خود نتیجه‌گیری کرد که در به حداقل رساندن پلهای حرارتی و بهبود اینرسی حرارتی دو پارامتر مهم هستند که تاثیر زیادی بر رفتار حرارتی و کفایت انرژی در سازه‌های LSF دارند [۳۱]. دابرو و همکاران (۲۰۱۴) رفتار ۶۸ نمونه دیوار برشی ساخته شده از مقاطع فولادی سردنورد شده را تحت بارگذاری جانبی و ثقلی مورد بررسی قرار داده‌اند. نمونه ها از نظر ضخامت اعضای قاب، ضخامت پوشش، جزئیات اتصال بست ها و نسبت های ابعادی قاب، متفاوت در نظر گرفته شدند. آزمایشات آن ها شامل دو فاز بود. در فاز اول، نمونه ها تحت بارگذاری جانبی قرار داده شدند و در فاز دوم، بارگذاری شامل ترکیبی از بارجانبی و عمودی بود. بررسی های آن ها نشان داده است که در صورتی که اعضای استادها برای مجموع این نیروها طراحی شوند، فاصله ی نزدیک بست ها و استفاده از پانل های ضخیم تر منجر به مقاومت برشی بالاتر دیوار خواهد شد [۳۲]. آریانا جام و همکاران(۲۰۱۴) در مطالعه خود به بررسی مقاومت LSF در برابر آتش با استفاده از مدل سازی اجزاء محدود و بر روی مدل های واقعی پرداختند. در مطالعه آنها مشخص شد که این سازه ها قابلیت مقاومت بالا در برابر حریق دارند [۳۳]. گرامی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود نشان دادند که استفاده از سازه های LSF در مناطق با لرزه خیزی شدید، موجب بهبود رفتار لرزه ای می شود [۳۴]. زینلیان و زارع (۲۰۱۷) در مطالعه خود ضمن معرفی سازه های LSF برای مناطق زلزله خیز پیشنهاد نمودند که افزایش ضخامت ستونچه ها و کاهش فاصله پیچ ها می تواند عملکرد قاب های فولادی سردنورد شده را در برابر زلزله ارتقا دهد [۳۵]. توکلی و همکاران(۲۰۱۷) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که سازه های LSF هزینه کلی ساخت را از طریق استفاده از مصالح کمتر در ساخت سازه، صرف زمان کمتر برای ساخت کاهش می دهد، همچنین باعث ثبات مسکن شده و افراد کم درآمد می توانند این نوع ساختمان ها را خریداری کنند و این سازه ها را برای تمام مناطق آب و هوایی ایران مناسب معرفی می کند [۳۶]. سانتوز و روک در سال ۲۰۱۷ ، در مطالعه خود تاثیر گرما، سرما و دمای تلفیقی را بر دیوارهای LSF بررسی نمودند و با نرم افزار اجزا محدود جزئیات را محاسبه نمودند [۳۷].

www.SID.ir

Archive of SID

سئوار و همکاران(۲۰۱۷) در مطالعه مروری خود نشان دادند که استفاده از مواد تغییر فاز دهنده میتواند منجر به بهبود راحتی دمای داخلی ساختمان و همینطور استفاده از مزایای انرژی حرارتی خورشید شود [۳۸]. سرا و آنجلیس در سال ۲۰۱۹ گزارش کردند که در ایتالیا از روش ایزوله کردن دیواراهای LSF برای ذخیره انرژی استفاده می‌شود [۳۹].

۸- جمع بندی و نتیجه گیری

سازه‌های فولادی سردنورد شده در طول سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای در ساختمان سازی در بسیاری از کشورها خصوصا در مناطق زلزله خیز مانند آمریکا، قسمت هایی از اروپا و اقیانوسیه برای تولید صنعتی انواع ساختمان‌های اداری، تجاری و مسکونی به کار می‌روند. اما در ایران هنوز کاربرد محدودی دارند و به استفاده در ساخت مسکن مهر در برخی از نقاط کشور محدود شده است. کاربرد محدود این سازه باعث شده بین عامه مردم این تصور ایجاد شود که این سازه ها صرفا مناسب افراد کم درآمد است و شاید صرف هزینه کمتر برای ساخت آن دلیل بر عدم کارایی است درحالیکه چنین برداشتی کاملا نادرست است. هزینه اثربخشی، مقاومت در مقابل زلزله، مقاومت در مقابل سرما و گرما و دوستدار محیط زیست بودن بخشی از مزایای استفاده از این سازه ها در مقایسه با سازه‌های سنتی است. مسئولان بایستی استفاده از این نوع سازه را با توجه به ویژگی ها و فواید برشمرده شده برای آن، در اولویت برنامه های ساخت و ساز خصوصا برای مناطق زلزله زده و زلزله خیز قرار دهند. همچنین از سازمان نظام مهندسی انتظار می رود مشخصات مطلوب و مقررات مناسب برای ساختمان سازی در مناطق زلزله زده با استفاده از این سازه ها را تدوین و در دستور کار قرار دهند.

۹- مراجع

[1]-Negaresh, H., (2004), **Earthquakes, cities and faults**, Tehran, Iran.
[2]-Iran N.S.Co., 2019, **monthly report Iran**, [cited 1/6/2019 7/7/2019]. Available from: http://irsc.ut.ac.ir/mountlyreports/farsireports/Khordad98/Khordad98.php.
[3]- Iran N.S.Co., 2019, **monthly report Iran**, Available from: http://irsc.ut.ac.ir/mountlyreports/farsireports/Ordibehesht98/Ordibehesht98.php.
[4]-Ganalipour, M., Mohammadzadeh, A., Valadanzoej, M., and Amirkhani, S., 2015, **Buldings' damage determination after the earthquake by using ANFIS model and remote sensing imagery**, Crisis Management, 7, 79-91.
[5]-Keramati, S., Hashemi, S. S., and Vaghefi, M., 2018, **Non-linear Performance of the Dual System Consisting of Lightweight Steel Frame (LSF) and Moment Resisting Steel Frame**, Building Engineering and Housing Sciences, 11, 21, 9-17.
[6]-Soares, N., Gaspar, A., Santos, P., and Costa, J., 2014, **Multi-dimensional optimization of the incorporation of PCM-drywalls in lightweight steel-framed residential buildings in different climates**, Energy and buildings, 70, 411-421.
[7]-Gorgolewski, M., 2007, **Developing a simplified method of calculating U-values in light steel framing**, Building and Environment, 42, 1, 230-236.
[8]-Veljkovic, M., and Johansson, B., 2006, **Light steel framing for residential buildings**, Thin-walled structures, 44, 12, 1272-1279.

www.SID.ir

Archive of SID

[9]-AISI., 2001, **North American specification for the design of cold-formed steel structural members**, Washington (DC, USA): American Iron and Steel Institute.
[10]-AISI, 2004, **Standard for cold-formed steel framing general provisions**, Washington (DC, USA): American Iron and Steel Institute.
[11]-Winter, G., 1959, **Cold-formed, light-gage steel construction**, Journal of Structural Engineering, 85, 151-171.
[12]-Yu, C., Vora, H., Dainard, T., Tucker, J., and Veetvkuri, P., 2007, **Steel sheet sheathing options for cold-formed steel framed shear wall assemblies providing shear resistance**, Report No. UNT-G76234, American Iron and Steel Institute, Department of Engineering technology, University of North Texas, Denton, Texas, USA.
[13]-Shaydeh, S. M. Y., 2015, **light-weight steel-framed buildings**, Second National Conference on Civil Engineering, Architecture, Electrical and Mechanical Engineering, Tehran, Iran.
[14]-Ghalehnovi, M., and Amiri, A., 2014, **Pathology of light steel frame system with construction management approach**, 3rd national conference of construction industry new technologies, Iran.
[15]-Golabchi, M., and Mazaharin, H., 2010, **New Construction Technologies**, Tehran: Tehran University Press.
[16]-Landolfo, R., 2019, **Lightweight steel framed systems in seismic areas: current achievements and future challenges**, Thin-Walled Structures, 140, 114-131.
[17]-Burstrand, H., 1998, **Light-gauge steel framing leads the way to an increased productivity for residential housing**, Journal of constructional steel research, 1, 46, 183-186.
[18]-LSK, E., 2005, **European Lightweight Steel-framed Construction**, Arcelor.
[19]-Höglund, T., Burstrand, H. S., 1998, **steel studs to reduce thermal bridges in insulated walls**, Thin-Walled Structures, 32, 1-3, 81-109.
[20]-Santos, P., da Silva, L. S., Ungureanu, V., 2017, **Energy efficiency of light-weight steel-framed buildings**, Energy Efficient Buildings, 35, 180-191.
[21]-Serrette, R. L., 1997, **Additional shear wall values for light weight steel framing**, Report No. LGSRG-1-97, Santa Clara University. Santa Clara, CA.
[22]-Gad, E. F., Duffield, C. F., Hutchinson, G. L, Mansell, D., and Stark, J. G., 1999, **Lateral performance of cold-formed steel-framed domestic structures**, Journal of Engineering Structures, 21, 83–95.
[23]-Dudas, A., 2003, Light steel structures in residential house construction, Periodica Polytechnica Ser, 47, 1, 133–136.
[24]-Fülöp, L., and Dubina, D., 2004, **Performance of wall-stud cold-formed shear panels under monotonic and cyclic loading. Part I: Experimental research**, Thin-Walled Structures, 42, 321–338.
[25]-Berman, J. W., Celik, O. C., and Bruneau, M., 2005, **Comparing hysteretic behavior of light-gauge steel plate shear walls and braced frames**, Engineering Structures, 27, 3, 475-785.
[26]-Kim, T. W., Wilcoski, J., Foutch, D. A., and Lee, M. S., 2006, **Shaking table tests of a cold-formed steel shear panel**, Engineering Structures, 28, 10, 1462-1470.
[27]-Al-Kharat, M., and Rogers, C., 2007, **Inelastic performance of cold-formed steel strap braced walls**, Journal of Constructional Steel Research, 63, 4, 460-474.

www.SID.ir

Archive of SID

[28]-Mahdavinejad, M., Hajian, M., and Doroodgar, A., 2011, **Role of LSF technology in economic housing for urban Sustainability; case of Iran**, Procedia Engineering, 21, 2-7.
[29]-Zeynalian, M., Trigunarsyah, B., and Ronagh, H. R., 2012, **Feasibility study of the use of light weight steel structures in high-seismic regions of Iran using modified APRAM method**, 9th International Congress on Civil Engineering; Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran.
[30]-Danesh, S., Toosi, H., and Torabi, M., 2013, **Relative advantages of light frame construction system in reducing the production of construction waste and its environmental hazards**, The First National Green House Conference, Ferdowsi University, Faculty of Engineering, Mashhad, Iran.
[31]-Martins, C., Santos, P., and Simoes da Silva, L., 2014, **Light weight steel framed construction systems**, Contribution of Sustainable Building to Meet EU 20-20-20 Targets, 395-402.
[32]-Da Breo, 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, 74, 232-245.
[33]-Ariyanayagam, A. D., and Mahendran, M., 2014, **Numerical modelling of load bearing light gauge steel frame wall systems exposed to realistic design fires**, Thin-Walled Structures, 78, 148-170.
[34]-Gerami, M., Lotfi, M., and Nejat, R., 2015, **Inelastic behavior of cold-formed braced walls under monotonic and cyclic loading**, International Journal of Advanced Structural Engineering, 7, 181-209.
[35]-Tavakoli, D. B., Bareshadat, N., Tafrishi, M., and Abbaspour, E., 2017, **Investigation of LSF Structure Effect on Economy and Sustainable Housing in Iran. Case Study: 50m^2 Units**, Review of European Studies, 9, 3, 130-145.
[36]- Roque, E., and Santos, P., 2017, **The effectiveness of thermal insulation in lightweight steel-framed walls with respect to its position**, Buildings, 7, 1, 13-21.
[37]-Soares, N., Santos, P., Gervásio, H., Costa, J., and da Silva, L. S., 2017, **Energy efficiency and thermal performance of lightweight steel-framed (LSF) construction: A review**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 194-209.
[38]-de Angelis, E., and Serra, E., 2014, **Light steel-frame walls: thermal insulation performances and thermal bridges**, Energy Procedia, 45, 362-371.

www.SID.ir