



## بررسی سازه های LSF از نظر کیفیت، زمان و هزینه

فریدون امیدی نسب<sup>۱</sup>، سارا سهرابی<sup>۲</sup>

۱-استادیار سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه لرستان

omidinasab@gmail.com

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و ساخت، دانشگاه آزاد واحد بروجرد

sohrabi6656@yahoo.com

چکیده

هر چند استفاده از اعضای فولادی سرد نورد شده از دهه ۱۸۵۰ میلادی آغاز گردید اما استفاده از آن تا انتشار اولین ضوابط انجمن آمریکایی آهن در ۱۹۴۰ گسترش زیادی پیدا نکرد. امروزه به دلیل کیفیت مناسب ساخت و سرعت بالا و مقاومت مناسب در برابر زلزله از آن در کشورهای توسعه یافته به عنوان جایگزین مناسبی برای روش های سنتی ساخت، ارایه و کاربرد وسیع آن آغاز شده است. در این مقاله بررسی کاربرد سیستم سازه ای قاب فولادی سبک (LSF)، و نقش آن در سبک سازی سازه ها در قیاس با سیستم های رایج ساخت و ساز در کشور، ارایه شده است. سیستم LSF در سالیان اخیر به شکل گسترده و در تولید صنعتی انواع ساختمان های اداری، تجاری و مسکونی بکار گرفته شده است. نتایج این بررسی ها نشان می دهد استفاده از سیستم LSF به دلیل دارا بودن قابلیت های کاهش تغییر مکان نسبی، کاهش وزن سازه تا حدود ۴۰ درصد نسبت به سیستم فلزی رایج، کاهش مصرف بتن تا حدود ۶۰ درصد نسبت به سازه های بتنی رایج و ۳۰ درصد نسبت به سیستم فلزی رایج، دارای عملکرد مناسب لرزه ای و قابلیت بسیار مناسب و درعین حال ایمن می باشد، که استفاده صحیح همراه با بومی سازی آن و آموزش این سیستم در بخش های مختلف تصمیم گیری از جمله مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن توصیه می شود.

**واژه های کلیدی:** سازه های سبک فولادی، LSF، فولاد سرد نورد شده، انواع سیستم قاب ساختمانی



## ۱- مقدمه

در ساختمان های رایج، علی رغم طراحی مناسب سازه معمولاً اجرای آنها از کیفیت مناسبی برخوردار نیست. به سخن دیگر رفتار واقعی سازه در مواقع سرویس دهی با آنچه طراحی شده است متفاوت است. لذا نظارت دقیق بر کیفیت اجرا و تطبیق با جزئیات محاسبه شده امری کاملاً ضروری می باشد. از این رو ساختمانهای پیش ساخته شده در کارخانه به دلیل طی نمودن مراحل کنترل کیفیت و تولید مطابق با نقشه های محاسباتی رفتار مناسب در موقع سرویس دهی خواهند داشت. در این بین قابهای سبک فولادی<sup>۱</sup> (LSF) با کیفیت ساخت کارخانه ای و اتصالات ساده، مطمئن، مستحکم و سریع از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند. همچنین نیاز روز افزون کشور به سطح زیر بنای بیشتر در امر مسکن، آموزش، تسهیلات بهداشتی، درمانی، رفاهی، تأسیسات صنعتی و تجاری که عمدتاً از افزایش جمعیت و توسعه ناشی می شود، ایجاب می نماید که از روشهای جدیدی در ساختمان سازی استفاده گردد. در این روشها علاوه بر کاهش زمان ساخت، با صرفه جویی در مصرف مصالح ساختمانی سنتی، هزینه ساخت نیز با حفظ کیفیت مطلوب کاهش می یابد. به منظور دستیابی به اهداف فوق سیستم ساختمانی با ساخت سریع و بررسیهای فنی و اقتصادی جامعی که در آن امکانات و شرایط موجود در نقاط مختلف کشور منظور گردیده است طراحی شده و به عنوان سیستم ساختمانی سریع معرفی شده است. این نوع سیستم ها در هنگام وقوع زلزله های شدید، مقدار نیروی جانبی کمی را دریافت می کنند و به دلیل دو خاصیت ویژه، یعنی پیش ساخته بودن اعضای سازه ای و عایق حرارتی مناسب، موجب شده است که این سیستم سازه ای به طور گسترده ای در کشورهای پیشرفته ی جهان برای ساخت منازل مسکونی مورد استفاده قرار گیرد. به دلیل آن که در طراحی لرزه ای این سازه ها به روش سنتی، طراحی اتصالات به درستی در نظر گرفته نمی شود، در این سازه ها اتصالات به عنوان نقطه ضعف اصلی این سازه ها در هنگام وقوع زمین لرزه های شدید به شمار می آید. این در حالی است که در سازه های سبک فولادی به علت پیش ساختگی و سهولت زیاد در بخش اجرا مشکلات ذکر شده وجود نداشته و اجرای سازه مورد نظر در واقعیت از تطابق بیشتری با طراحی در نرم افزار برخوردار است. سازه فولادی سبک که به اختصار به آن سازه (LSF) گفته می شود، یکی از سیستم های نوین ساختمانی است که برای اجرای ساختمان های با طبقات محدود (معمولاً ۸ طبقه) استفاده می شود. سیستم LSF از سیستم های مورد تایید مهندسان عمران در کشورهای توسعه یافته و مدرن می باشد.

این سازه از ورق های فولادی نورد شده برای تامین پایداری ساختمان، صفحات و تخته های گچی به عنوان پوشش درونی و قطعات دیواره خارجی به عنوان نما تشکیل شده است. این سیستم توانایی ترکیب با سیستم های سازه ای دیگر را دارا می باشد. با استفاده از این سیستم میتوان وزن سازه را تا پنجاه درصد کاهش داد و این بزرگترین امتیاز در برابر زلزله می باشد.

این سیستم که شباهت زیادی به روش های ساخت ساختمان های چوبی دارد، بر اساس کاربرد اجزایی به نام استادآیا وادار و تراک<sup>۲</sup> یا رانر شکل گرفته است. از ترکیب نیمرخ های فولادی گالوانیزه سرد نورد شده، ساختار اصلی ساختمان برپا می شود.

<sup>1</sup>Light Weight Steel Frame

<sup>2</sup> Stude

<sup>3</sup> Track



مقاطع مورد استفاده در این سیستم U,C,Z است که معمولاً با اتصالات سرد به یکدیگر متصل می شوند. ساخت سازه های سبک با عملکرد صحیح مشروط به مدلسازی و بررسی های دقیق می باشد.

در زمینه این بررسی ها Mahdaveinejad و همکاران به بررسی این سازه در حیطه ی سازه های شهری و مسکونی و عملکرد آنها در برابر بارهای جانبی پرداختند [Mahdaveinejad, 2011]. Santos و همکاران با بررسی انرژی اعمالی به بررسی سازه های سبک فولادی پرداخته اند [Santos, 2012]. استفاده از سازه های سبک فولادی در اروپا به نحوی رو به گسترش است که ساخت سازه های مختلف با کاربری های گوناگونی مورد استفاده قرار میگیرد [European Directive, 2010]. Aloisio تاثیر عملکرد سازه های سبک فولادی را نسبت به سازه های معمول مورد بررسی قرار داد [Aloisio, 2010]. Choguill با بررسی پایداری سازه های سبک فولادی نشان داد که چنانچه این سازه ها به خوبی اجرا شوند میتوانند سازه هایی خوب جهت استفاده برای کاربری های مختلفی باشند [Choguill, 2007].

همانطور که بیان شد سازه های سبک فولادی سازه هایی با اتصالات سرد می باشند. در زمینه ی بررسی اتصالات سرد در این سازه ها، Wei-Wen رفتار این اتصالات را مورد بررسی قرار داد [Wei-Wen, 2007]. یک سازه ی خوب سازه ای است که در برابر بارهای وارده پایدار باشد. از این رو Fallah به بررسی پایداری سازه های سبک فولادی پرداخت [Fallah, 2001]. مقاطع فولادی جدار نازک، ورقهای فولادی گالوانیزه ای هستند که با استفاده از نورد سرد و با استفاده از روش Roll Forming در کارخانه شکل دهی می شوند.

در این مقاله ضمن معرفی LSF ذکر مختصر تاریخچه تحقیقاتی آن مزایا و محاسن استفاده از LSF و همچنین معایبی که بر سازه های موجود ساخته شده با LSF مترتب نسبت به چگونگی امکان کاهش عیوب استفاده از این فناوری در صنعت ساختمان راه کارها و ضرورت استفاده و گسترش آن در ایران و بتدریج جایگزینی LSF و کم کردن استفاده از ساختمان های بتنی و فولادی سنتی که دارای بار مرده زیادی هستند و نیاز به نیروی انسانی زیاد، هزینه بالا، اتلاف انرژی بسیار، پرت مصالح بالا و مشکلات حمل و نقل و زمان ساخت طولانی می باشند. همچنین به منظور مشخص شدن تفاوت های سیستم LSF با سیستم های سنتی رایج در کشور در ساخت ساختمان های کوتاه مرتبه و میان مرتبه، در چندین پروژه ی مختلف با استفاده از سیستم سازه ی فولادی معمولی، سازه بتنی و سیستم LSF طراحی شده و نتایج به دست آمده با یکدیگر مقایسه شده است. پروژه های انجام شده شامل ۳ ساختمان دو طبقه، سه طبقه و پنج طبقه است که با استفاده از هر سه روش طراحی شده و مقایسه نسبتاً جامعی از نتایج بدست آمده ارائه شده است.

## ۲- تاریخچه سیستم قاب فولادی سبک (LSF)

این صنعت ابتدا در ساخت پلها، هواپیما سازی و اتومبیل سازی با استفاده از خم کردن ورقه های نازک سرد استفاده می شد. تا سال ۱۹۲۰ هنوز برای استفاده در ساختمان به صورت هاله ای از ابهام بود. در سال ۱۹۳۳ در نمایشگاه بین المللی عصر پیشرفت در شیکاگو طراحی به نام «هوارد فیشر» معمار و مجری این طرح بود. سیستم LSF به دلیل مزایای فراوان از جمله سرعت و کیفیت بالای ساخت و عملکرد لرزه ای مناسب در سالهای اخیر در بسیاری از کشورهای دنیا رواج قابل توجهی یافته است. استفاده از سیستم LSF در سال ۱۹۴۶ در صنعت ساختمان وارد شد از سال ۱۹۹۰ به دلایل زیاد از جمله افزایش قیمت چوب و محدود بودن منابع تهیه آن، مشکلات زیست وسیعی یافت، به طوری که امروزه این سیستم در آمریکا، کانادا، استرالیا، ژاپن و بسیاری از کشور های دیگر در احداث ساختمانهای تجاری و مسکونی کوتاه مرتبه کاربرد زیادی دارد [علیپورباغی و همکاران، ۱۳۹۳].

### ۳- شرح سازه های سبک فولادی سرد نورد شده و مراحل اجرای سازه

به صورت اجرایی LSF موسوم به (Light Weight Steel Frame) ساختمان های پیش ساخته فولادی سبک خشک و عمدتاً با استفاده از اتصالات پیچی و به روش تولید صنعتی به کار گرفته می شود. سیستم های قاب فلزی سبک متشکل از مقاطع فولادی سرد نورد شده<sup>۱</sup> (CFS) از ورق گالوانیزه به شکل Stude , C و به شکل Runner , U به عنوان ستونک ها و تیرک ها است، که ضخامت ورق های گالوانیزه برای تولید LSF، ۲/۱ تا ۲/۳ میلی متر می باشد و در عرض ۱/۵ متر به صورت رولی در کارخانجات بوسیله غلطک هایی به شکل نواری عبور داده می شود [علیپورباغی وهمکاران، ۱۳۹۳]. نمونه ای از سازه LSF اجرا شده در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- سازه LSF اجرا شده

### ۴- اجزای تشکیل دهنده سیستم LSF

اجزای اصلی تشکیل دهنده سیستم ساختمانی LSF از سه نوع مصالح ساختمانی: فولاد فرم داده شده در حالت سرد، پانل های گچی و پشم شیشه یا پشم سنگ شکل گرفته است. در واقع با اتصال قطعات فوق به یکدیگر سیستم ساختمانی LSF به وجود می آید. اجزاء تشکیل دهنده دیوارهای باربر و غیر باربر سیستم ساختمانی LSF استاده ها و رانرها می باشند که به شکلی پانلی بارهای عمودی و جانبی را به تکیه گاه انتقال می دهند.

دیوارهای باربر به عنوان انتقال دهنده بارهای عمودی ساختمان و به عنوان نگهدارنده نمای خارجی بنا و نیز جذب کننده بارهای جانبی ساختمان از جمله باد و زلزله عمل می نمایند در صورتی که دیوارهای غیر باربر معمولاً برای جداسازی فضاهای داخلی بنا مورد استفاده قرار می گیرند. استادهای فولادی را معمولاً از قبل برای عبور دادن تاسیسات (الکتریکی و مکانیکی) سوراخ کاری می کنند و این استادهای معمولاً از بالا و پائین به رانرها و از پائین به رانرها (عناصر اصلی افقی) اتصال می دهند. دیوارهای جداکننده واحدها در ساختمان های چند واحدی و یا دیوارهای جداکننده اتاق ها (دیوارهای غیر باربر) معمولاً به روش های مختلف قابل اجرا می باشند. این نوع دیوارها را می توان روی کف (به صورت خوابیده) سرهم کرده و سپس به

<sup>1</sup>Cold Formed Steel





عنوان بخشی از اجزاء ساختمان در محل مورد نظر نصب نمود. روش دیگر نصب رانرهای بالائی و پائینی و قرار دادن استاداها در داخل آنها ( اجرای دیوار به صورت درجا ) می باشد[عدالتی و همکاران،۱۳۹۳].

- موسسه سوئدی SBI 5 سه روش اجرائی برای جلوگیری از انتقال صدا بین واحدهای آپارتمانی به شرح ذیل معرفی کرده است:
- دیوارهای جداکننده با دو قاب جدا از هم.
  - دیوارهای جداکننده با رانرهای عریض تر از استاداها ( استاداها یکی در میان در دو سمت از رانرها کار گذاشته می شوند).
  - دیوارهای با استاداها آکوستیکی.

در سیستم ساختمانی LSF معمولا دیوارها با اتصال استادهای فولادی به رانرهای فولادی، بادبندی شده و با نصب پانل های گچی به شکل پانلی ساخته می شوند. در صورت اضافه کردن بادبند این شیوه ساخت برای مقاومت در برابر بارهای جانبی، از جمله بارهای حاصل از باد و زمین لرزه خیلی مناسب می باشد. نعل درگاه ها در سیستم ساختمانی LSF معمولا به شکل تیر I که از دو مقطع C شکل ( پشت به پشت چسبیده شده باشند ) تشکیل و ساخته می شوند. همچنین در جان از استادهای مخصوصی به نام Kingstuds جهت نصب و اجراء استفاده می شود[عدالتی و همکاران،۱۳۹۳].

#### ۵- بررسی خصوصیات سازه های LSF

اغلب مصالح مورد استفاده در سیستم سازه های فولادی سبک قابل بازیافت بوده و ۱۰۰ درصد مصالح پرتی که در طول ساخت سیستم ایجاد میگردد، قابل بازیافت می باشد.

##### ۵-۱- انعطاف پذیری

این مقاطع میتوانند به صورت اعضای تکی و یا اینکه به صورت پانل های آماده شده در کارخانه، به سایت منتقل گردند. تنوع ضخامت و ابعاد مقاطع جدار نازک امکان انعطاف پذیری زیادی را در مرحله طراحی ایجاد می نمایند. به عنوان نمونه در طراحی یک سیستم خاص که ارتفاع تیرچه ها باید محدود باشد، بدون اینکه فواصل المانهای کف و یا دیوار را تغییر داد، میتوان با تغییر ضخامت مقطع جدار نازک، این محدودیت را برآورده نمود[عدالتی و همکاران،۱۳۹۳].

##### ۵-۲- دوام

در مقاطع فولادی جدار نازک جمع شدگی و تغییر شکل و کج شدگی مقطع وجود نداشته و لذا مشکلات ایجاد شده برای پانلهای چوبی و پانل های گچی متصل شده به این اجزای فلزی نیز به حداقل ممکن کاهش خواهد یافت. همچنین فلز یک ماده غیراورگانیک بوده و بنابراین در مقابل رطوبت و هجوم حشرات مقاوم بوده و چرخش، کج شدگی، جدادگی، ترک و خزش در آن ایجاد نخواهد شد[عدالتی و همکاران،۱۳۹۳].

##### ۵-۳- وزن سبک

مقاطع فولادی جدارنازک بدلیل سبک بودن به راحتی قابل حمل و جابجایی در محل کارگاه بوده و لذا هزینه مربوط به کارگر را کاهش داده و نیز باعث خستگی مفرط نميگردد. بدلیل اینکه فلز ماده ای است که در مقایسه با مصالح اورگانیک، در مراحل



پروژه مختلف شکل میگیرد، بنابراین مقاطع کاملاً صاف، و هم شکل بوده و دارای کیفیت یکسانی می باشند [عدالتی و همکاران، ۱۳۹۳].

#### ۴-۵- مقاوم در برابر آتش

مقاطع فولادی، مصالح غیرقابل اشتعال میباشند. این مصالح نمی سوزند و باعث گسترش حریق در فضاهای مختلف ساختمان نمی گردند. بنابراین مالکان می توانند هزینه بیمه کمتری را برای بیمه نمودن ساختمان در برابر آتش بپردازند [عدالتی و همکاران، ۱۳۹۳].

#### ۵-۵- مقاومت (Strength)

مقاطع فولادی جدار نازک سرد نورد شده، در مقایسه با دیگر مصالح ساختمانی دارای بالاترین نسبت مقاومت به وزن می باشند [عدالتی و همکاران، ۱۳۹۳].



شکل ۲- سازه LSF اجرا شده اتصالات بادبند



#### ۵-۶- انعطاف در طراحی

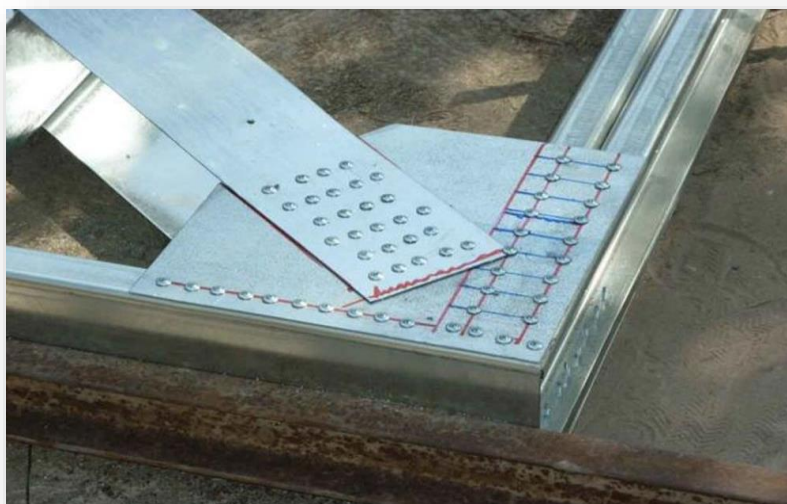
برای وجود تنوع زیاد در شکل مقاطع فولادی جدار نازک و اجزایی که برای تکمیل این سیستم ساختمانی تولید می‌گردد، امکانات نامحدودی را برای طراح جهت ارائه ایده‌های مختلف طراحی، ایجاد می‌نماید. لذا طراح می‌تواند از این سیستم در انواع پروژه‌های ساختمانی با کاربریهای متنوع، بدون نیاز به تولید مقاطع و مصالح خاص، استفاده نماید [عدالتی و همکاران، ۱۳۹۳].

#### ۵-۷- تنوع در مصالح نما (Variety of Finishes)

سطح بیرونی ساختمان با سیستم LSF میتواند با انواع پوشش‌های نمایی که معمار میخواهد، پوشش داده شود. از نماهای قابل استفاده میتوان به مصالح بنایی و آجر، انواع سنگ‌های نما، نماهای آلومینیومی، نماهای چوبی، مصالح سرامیکی، نمای پی‌وی‌سی و... اشاره نمود [عدالتی و همکاران، ۱۳۹۳].

#### ۵-۸- برآورده نمودن الزامات استانداردهای مربوط به عملکرد ساختمان

سیستم سازه‌های فولادی سبک به راحتی می‌تواند بالاترین ضوابط استانداردهای مربوط به طراحی سازه، انرژی، مقاومت در برابر آتش و عملکرد صوتی را برآورده نماید [عدالتی و همکاران، ۱۳۹۳]. نمونه‌هایی از سازه LSF اجرا شده اتصالات بادبند در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است.



شکل ۳- سازه LSF اجرا شده اتصالات





شکل ۴- سازه LSF اجرا شده بادبند

#### ۶- مقایسه موردی سازه های LSF با دیگر روش های موجود

به منظور مشخص شدن تفاوت های سیستم LSF با سیستم های سنتی رایج در کشور در ساخت ساختمان های کوتاه مرتبه و میان مرتبه، در این قسمت نتایج حاصل از چندین پروژه ی مختلف با استفاده از سیستم سازه فولادی معمولی، سازه بتنی و سیستم LSF به دست آمده و با یکدیگر مقایسه می شوند. پروژه های انجام شده شامل انواع ساختمان هایی است که بتوانند مثال مناسبی از انواع ساختمان های کوتاه، متوسط مرتبه باشند. بدین منظور از نتایج حاصل از محاسبات و طراحی سه ساختمان دو طبقه، سه طبقه و پنج طبقه که با استفاده از سه سیستم مختلف طراحی و اجرا شده اند استفاده شده است. در جدول (۱) مشخصات پروژه های طراحی شده ملاحظه می شود [وئوقی فر، ۱۳۹۱].

جدول ۱- مشخصات پروژه ها

تعداد طبقات	نوع سیستم ساختمانی	سیستم سازه		سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی		سیستم سقف سازه
		در جهت X	در جهت Y	در جهت X	در جهت Y	
۲	فولادی	قاب خمشی	قاب ساده	قاب خمشی متوسط	قاب مهاربندی شده	تیرچه بلوک
	بتنی	قاب خمشی		قاب خمشی متوسط		تیرچه بلوک
	LSF	قاب ساده		سیستم مهاربندی های کششی		کامپوزیت
۳	فولادی	قاب خمشی	قاب ساده	قاب خمشی متوسط	قاب مهاربندی شده	تیرچه بلوک





تیرچه بلوک	قاب خمشی متوسط		قاب خمشی		بتنی	LSF	۵
کامپوزیت	سیستم مهاربندی کششی		قاب ساده				
تیرچه بلوک	قاب مهاربندی شده	قاب خمشی متوسط	قاب ساده	قاب خمشی	فولادی		
تیرچه بلوک	سیستم دوگانه متوسط		قاب خمشی		بتنی		
کامپوزیت	دیوار برشی بتنی متوسط		قاب ساده		LSF		

استفاده از سیستم LSF در ساخت انواع ساختمان های ۲ و ۳ و ۵ طبقه مسکونی به دلیل مزایای فراوان از جمله سبک بودن، اقتصادی بودن، مصرف کم مصالح ساختمانی، افزایش فضای مفید داخلی، عملکرد صوتی مطلوب و اتلاف کم انرژی در بسیاری از کشورهای دنیا مرسوم می باشد. ساختمان مسکونی دو طبقه مورد بحث دارای مساحت زیربنای ۹۲ متر مربع در هر طبقه است که در منطقه ی با خطر لرزه خیزی زیاد قرار دارد. این ساختمان با استفاده از روش های مورد نظر در این مقاله طراحی شده و نتایج حاصل از روش های مختلف ساخت با یکدیگر مقایسه شده است.

نتایج به دست آمده از بررسی طراحی صورت گرفته و محاسبات این پروژه در جدول ۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در محاسبه ی مقادیر مندرج در جدول شماره (۲)، مصالح به کار رفته در شالوده ی ساختمان نیز در نظر گرفته شده است. همان طور که ملاحظه می شود استفاده از سیستم LSF منجر به کاهش قابل ملاحظه در وزن، نیروی زلزله، مصالح مصرفی و زمان صرف شده برای ساخت ساختمان شده است [وئوقی فر، ۱۳۹۱].

جدول ۲- نتایج بدست آمده از مقایسه ویژگی های سیستم LSF با سیستم ساختمانی بتنی و فولادی دو طبقه

سیستم یتنی	سیستم سازه فولادی معمولی		سیستم LSF	پارامترهای مهم
	در جهت Y	در جهت X		
۲۳/۲۵	۵۵		۲۵/۱۲	مقدار فولاد و آرماتور مصرفی ( $kg/m^2$ )
۱۱۴۰/۴	۵۴۶/۵		۲۴۰/۴	مقدار بتن مصرفی ( $kg/m^2$ )
۱۱۲/۲۵	۱۰/۲۵		۴/۵۳	وزن اسکلت ساختمان (ton)
۳۱۷/۶	۲۰۹/۱۸		۸۶/۴	وزن کل ساختمان (ton)
۳۶/۲	۲۶	۲۴	۱۶/۱	برش پایه ساختمان در زلزله (ton)
۱/۷۸	۰/۲۶	۱/۶۷	۰/۷۸	بیشترین تغییر مکان مرکز جرم پشت بام (cm)
۷۵	۶۰		۲۵	زمان صرف شده برای سفت کاری (day)
۱۲۰	۱۲۰		۳۵	زمان صرف شده برای نازک کاری (day)
۱۵۰	۱۰۰		۲	پرت مصالح ( $kg/m^2$ )

در جداول (۳) و (۴) به ترتیب نتایج بدست آمده از مقایسه ویژگی های سیستم LSF با سیستم ساختمانی بتنی و فولادی سه و پنج طبقه ارائه شده است [وئوقی فر، ۱۳۹۱].



جدول ۳- نتایج بدست آمده از مقایسه ویژگی های سیستم LSF با سیستم ساختمانی بتنی و فولادی سه طبقه

سیستم یتنی	سیستم سازه فولادی معمولی		سیستم LSF	پارامترهای مهم
	در جهت Y	در جهت X		
۲۳/۲۵	۶۰/۲۵		۲۵/۷۴	مقدار فولاد و آرماتور مصرفی ( $kg/m^2$ )
۱۱۴۰/۴	۵۶۵/۵		۲۴۰/۴	مقدار بتن مصرفی ( $kg/m^2$ )
۱۶۴/۶	۱۶/۳		۶/۹۶	وزن اسکلت ساختمان (ton)
۳۳۷/۶	۳۰۳/۶		۱۱۷/۲۸	وزن کل ساختمان (ton)
۵۵/۶	۳۶/۲	۲۶/۸	۲۴/۳	برش پایه ساختمان در زلزله (ton)
۲/۳	۱/۷۸	۳/۱۸	۲/۳۳	بیشترین تغییر مکان مرکز جرم پشت بام (cm)
۷۵	۷۵		۲۵	زمان صرف شده برای سفت کاری (day)
۱۲۰	۱۲۰		۳۵	زمان صرف شده برای نازک کاری (day)
۱۵۰	۱۰۰		۲	پرت مصالح ( $kg/m^2$ )

جدول ۴- نتایج بدست آمده از مقایسه ویژگی های سیستم LSF با سیستم ساختمانی بتنی و فولادی پنج طبقه

سیستم یتنی	سیستم سازه فولادی معمولی		سیستم LSF	پارامترهای مهم
	در جهت Y	در جهت X		
۴۵	۷۲/۴		۳۵	مقدار فولاد و آرماتور مصرفی ( $kg/m^2$ )
۱۳۰۹/۸	۵۱۹		۲۵۴/۲	مقدار بتن مصرفی ( $kg/m^2$ )
۳۱۱/۴	۳۱۶		۹/۷	وزن اسکلت ساختمان (ton)
۸۲۲/۱۵۶	۵۰۹/۹		۲۷۸/۳	وزن کل ساختمان (ton)
۷۹/۲	۶۹/۶	۵۹/۸	۴۵/۹	برش پایه ساختمان در زلزله (ton)
۴/۱	۲/۶	۴/۶	۴/۵	بیشترین تغییر مکان مرکز جرم پشت بام (cm)
۹۰	۷۵		۲۵	زمان صرف شده برای سفت کاری (day)
۱۸۰	۱۵۰		۳۵	زمان صرف شده برای نازک کاری (day)
۲۰۰	۱۵۰		۵	پرت مصالح ( $kg/m^2$ )

۷-مقایسه اقتصادی سیستم LSF با سیستم های اسکلتی رایج در کشور

در این قسمت مقایسه اقتصادی از سیستم LSF با سیستم های سنتی ساخت ارائه شده است. با توجه به برخی مزایای ارائه شده برای سیستم LSF در قسمت قبل از جمله سرعت در اجرای سیستم، سهولت در نصب سیستم های تاسیساتی، زمان کم

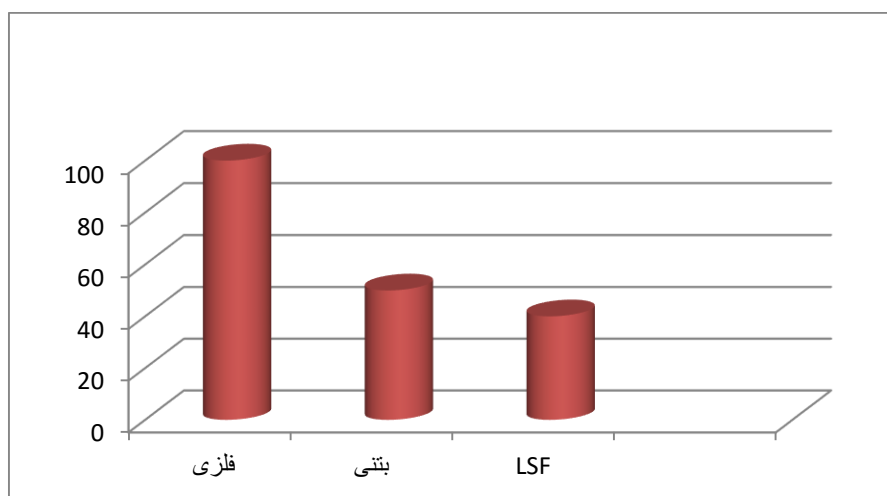


توقف و پیش ساخته بودن، به طور کلی استفاده از این سیستم منجر به کاهش ۰/۸۱ در زمان ساخت سیستم خواهد شد. در جدول ۵ زمان لازم برای ساخت سیستم سنتی و سیستم LSF با یکدیگر مقایسه شده است [وئوقی فر، ۱۳۹۱].

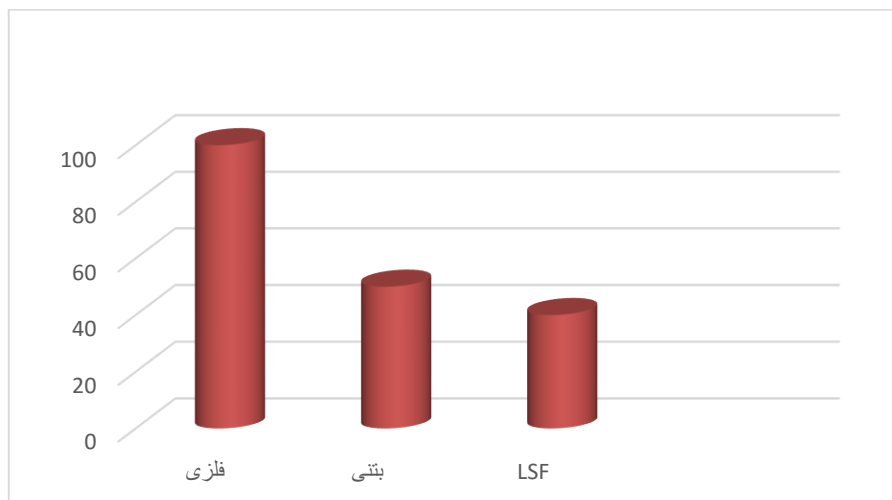
جدول ۵- مقایسه زمان ساخت سیستم LSF با سیستم های سنتی (۸ ساعت کار)

روش ساخت	ساعات کار مورد نیاز برای هر متر مربع	ساعات کارگر مورد نیاز به روز	زمان اجرای مورد نیاز	
			سفت کاری	نازک کاری (ماه)
سیستم سنتی	۳۱	۳/۹	۳/۶	۵/۳
سیستم LSF	۱۲/۵	۱/۷۵	۱/۵	۳/۳

همان طور که در مقدمه اشاره شد استفاده از سیستم LSF منجر به کاهش قابل ملاحظه در میزان مصالح مصرفی برای ساخت می گردد. در نمودار (۱) و (۲) به ترتیب مقدار فولاد و بتن در سیستم های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است [وئوقی فر، ۱۳۹۱].

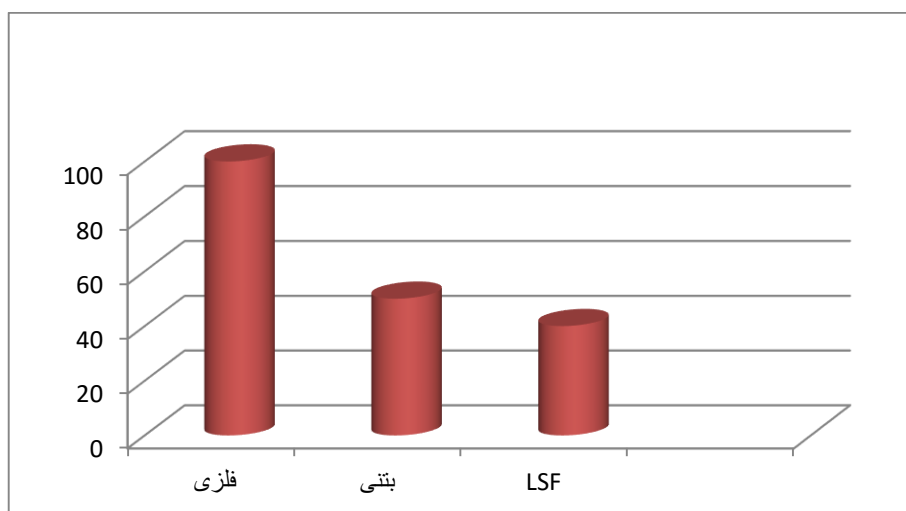


نمودار ۱- مقایسه مصرف فولاد در سیستم های مختلف نسبت به سیستم فلزی



نمودار ۲- مقایسه مصرف بتن در سیستم های مختلف نسبت به سیستم بتنی

همچنین در نمودار (۳) هزینه ساخت سیستم های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. کاهش هزینه نیروی کار، نیاز کم به تجهیزات، هزینه های بهره برداری کمتر نسبت به دیگر سیستم ها، نیاز کمتر به استفاده از مصالح و قابل بازیافت بودن مصالح ساختمانی در سیستم LSF از جمله دلایلی است که سبب می شود هزینه ساخت سیستم LSF نسبت به دیگر سیستم ها کاهش یابد [و ثوقی فر، ۱۳۹۱].



نمودار ۳- مقایسه هزینه ساخت سیستم های مختلف

نتایج بررسی های انجام شده نشان می دهند که میزان برش پایه در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح ۵۵/۵ درصد و در مقایسه با سیستم فلزی ۳۸/۱ درصد کاهش می یابد. میزان بیشترین تغییر مکان مرکز جرم پشت بام در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح ۵۶/۲ درصد و در مقایسه با سیستم فلزی ۳۸/۱ درصد کاهش می یابد.





میزان وزن کل ساختمان در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح ۷۲/۸ درصد و در مقایسه با سیستم فلزی ۵۸/۷ درصد کاهش می‌یابد. میزان وزن اسکلت ساختمان در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح ۷۲/۴ درصد و در مقایسه با سیستم فلزی ۵۵/۸ درصد کاهش می‌یابد. میزان بتن مصرفی در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح ۷۸/۹ درصد و در مقایسه با سیستم فلزی ۵۶ درصد کاهش می‌یابد. مقدار فولاد و آرماتور مصرفی در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح ۷۸/۹ درصد و در مقایسه با سیستم فلزی ۵۶ درصد کاهش می‌یابد. مقدار فولاد و آرماتور مصرفی در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح ۲۴/۵ درصد و در مقایسه با سیستم فلزی ۵۴/۳ درصد کاهش را به همراه دارد.

#### ۸- نتیجه گیری

امروزه از فناوری‌های مختلف به منظور ایجاد آسایش، امنیت بیشتر و صرفه جویی در هزینه‌ها به خصوص در مصرف منابع انرژی بهره‌های فراوان برده می‌شود. از بررسی انجام شده در قسمت‌های قبل و مقایسه صورت گرفته بین سیستم LSF با دیگر سیستم‌ها، نتایج زیر به دست می‌آید:

- استفاده از مقاطع سرد نورد شده فولادی مزایای زیادی به دنبال دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مواردی چون تولید راحت این مقاطع بدون نیاز به استفاده از عملیات حرارتی، عدم وجود تنش‌های حرارتی پسماند در مقاطع، امکان ایجاد مقاطع با شکل‌های متنوع و دلخواه جهت دستیابی به حداکثر بازده مقاومتی ممکن در مقطع، سبک بودن، مقاومت و سختی بالا، دقت بالا در اجرای جزئیات و نصب سریع و آسان اشاره نمود.
- تلاش در جهت ترویج بکارگیری این نوع ساخت و سازها می‌تواند راهکاری برای صنعتی کردن ساختمان سازی باشد و این تاثیر بسیاری در تقلیل مصرف مصالح ساختمان و انرژی نیز می‌گذارد. صنعت ساختمان سازی کشور می‌باید توجه خاصی به این سیستم نموده و از پتانسیل‌های متعدد آن برای پاسخگویی به فن‌آوری مورد نیاز از آن جمله برای ساخت دیوارهای دو جداره بهره‌برداری مناسب بنماید.
- از جداول مورد بررسی در قسمت‌های مختلف چنین بر می‌آید که استفاده از این نوع ساخت و ساز نیازمند توجهات زیادی به بخش خاصی از سازه مورد نظر است. از جمله می‌توان به اهمیت بالای اتصالات در سازه‌های سرد نورد شده اشاره کرد.
- نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از سیستم LSF به دلیل دارا بودن قابلیت‌های کاهش تغییرمکان نسبی، کاهش وزن سازه تا حدود ۴۰ درصد نسبت به سیستم فلزی رایج، کاهش مصرف بتن تا حدود ۶۰ درصد نسبت به سازه‌های بتنی رایج و ۳۰ درصد نسبت به سیستم فلزی رایج، دارای عملکرد مناسب لرزه ای می‌باشد.

#### ۹- پیشنهادات

بهره‌گیری از روش‌های علمی، فناوری‌های نوین و مصالح جدید یکی از ضرورت‌های اساسی جهت ارتقاء کیفی صنعت ساختمان در کشور به شمار می‌رود. نیازهای کمی و کیفی ساختمان طی دهه‌های گذشته نشان می‌دهد که بهترین راهکارهای تحقق اهداف مسکن برای اقشار مختلف جامعه، به کارگیری روش‌های نوین در احداث ساختمان است. یکی از روش‌های اجرای ساختمان‌ها استفاده از مقاطع فلزی جدار نازک LSF در اسکلت ساختمان می‌باشد که نه تنها امکان تولید صنعتی آن وجود دارد، بلکه سبک بودن سیستم باعث کاهش نیروها در هنگام زمین لرزه خواهد شد.



#### ۱۰-مراجع

علیپور باغی میلاد، دولت‌شاه مجتبی، امیدى نسب فریدون، ۱۳۹۳، بررسی سیستم قاب فولادی سبک با سیستم فولادی معمولی، همایش ملی معماری، عمران و توسعه ی نوین شهری، تبریز.

عدالتی محمود، ویسی زاده امیر، کریمی پور آرش، ۱۳۹۳، بررسی و ارزیابی سازه های سبک فولادی، کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران، گرگان.

وثوقی فر حمید رضا، ۱۳۹۱، بررسی کاربرد سیستم ال اس اف در سبک سازی موثر سازه و مقایسه با سیستم های رایج در کشور، کنفرانس ملی قابهای فولادی سبک LSF

شهریار طاووسی تفرشی، امیر رضا تبریزی، سیستم سازه ای قاب سبک فولادی LSF، تهران، ۱۳۹۰

ایمان الیاسیان، تکنیک صنعتی سازی و ساخت خانه های پیش ساخته با ورقهای فولادی سرد نورد شده، ۱۳۹۱، تهران.

ایمان الیاسیان، تکنیک سبک سازی سازه ها با استفاده از قابهای فلزی سبک وزن با ورقهای فولادی فرم داده شده در حالت سرد، سایت Iransaze و نخبگان جوان و مجله علمی پژوهشی عمران و مقاوم سازی، ۱۳۹۲، تهران.

محمد رضا عدل پرور، حمیدرضا وثوقی فر، زلزله و سبک سازی در صنعت ساختمان، انتشارات دانشگاه قم، ۱۳۹۱.

Mahdavinejad M, Hajian M, Doroodgar A, 2011, Role Of LSF Technology In Economic Housing For Urban Sustainability, Case Of Iran, Procedia Engineering 212-7.

Santos P, Simoes Da Silva L, Unguream V, 2012, Energy Efficiency Of Light-Weight Steel-Framed Building, ECCS, ISBN 978-92-9147-105-8, N. 129.

United Nation Human Settlements Programme. State Of World Cities 2006/7. London

European Directive 2010, Energy Performance Of Buildings (EPBD).

Aloisio J, 2010, Steel Framing & Building Envelops, Modern Steel Construction.

Choguill CL, 2007, The Search For Policies To Support Sustainable Housing, Habita International; 31:143-149.

Wei-Wen Yu, 2007, Cold-Formed Steel Design, Third Edition,.

Fallah, M.H., 2001, The Potential Use Of Lightweight Steel Framing For Residential Building Construction In Iran, Ph.D. Thesis, University Of Sheffield.

Www.Bhrc.ac.ir