

کنفرانس بین المللی سبک سازی و زلزله

جهاد دانشگاهی استان کرمان

1 تا 2 اردیبهشت 1389

بررسی کاربرد سیستم LSF در سبک سازی مؤثر سازه در مقایسه با سیستم های رایج در کشور

حمید رضا وثوقی فر¹، شهرام ترک²، مجید طارمی³

1- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب

Vosoughifar@yahoo.com

2- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه- دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب

Shahramtork@yahoo.com

3- کارشناس عمران- دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب

Majidtarami@ymail.com

چکیده

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، ارائه شده است. سیستم LSF که از مقاطع سرد نورد شده فولادی (CFS) ساخته می شود در سالیان اخیر به شکل گسترده و در تولید صنعتی انواع ساختمان های اداری، تجاری و مسکونی بکار گرفته شده است. این روش در کشورهای توسعه یافته به عنوان جایگزین مناسبی برای روش های سنتی ساخت، ارائه و کاربرد وسیع آن آغاز شده است. بمنظور بررسی نقش اینگونه سازه ها در سبک سازی از برنامه SAP2000 و ETABS2000 استفاده شده است. برای قیاس بین سازه های مورد بحث، شرایط مشابه طراحی از جمله محل قرار گیری، شرایط باد مشابه، شرایط ساختار مشابه، و پلان مشابه مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان می دهد استفاده از سیستم LSF به دلیل دارا بودن قابلیت های کاهش تغییر مکان نسبی، کاهش وزن سازه تا حدود 40 درصد نسبت به سیستم فلزی رایج، کاهش مصرف بتن تا حدود 60 درصد نسبت به سازه های بتنی رایج و 30 درصد نسبت به سیستم فلزی رایج، دارای عملکرد مناسب لرزه ای می باشد. با بررسی اختلاف های عددی معیارهای طراحی بین سیستم LSF و سیستم های رایج ساخت و ساز کشور، مؤید این نکته است که برای حصول به سبک سازی مؤثر و استفاده از مزایای آن،

سیستم LSF دارای قابلیت بسیار مناسب و در عین حال ایمن می باشد، که استفاده صحیح همراه با بومی سازی آن و آموزش این سیستم در بخشهای مختلف تصمیم گیری از جمله مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن توصیه می شود.

واژه های کلیدی: سیستم قاب فولادی سبک (LSF)، مقاطع فولادی سرد نورد شده فولادی (CFS)، ساخت و ساز سریع

1. مقدمه

استفاده از سیستم LSF¹ به دلیل مزایای فراوان از جمله سرعت و کیفیت بالای ساخت و عملکرد لرزه ای مناسب در سال های اخیر در بسیاری از کشورهای دنیا رواج قابل توجهی یافته است. سیستم LSF که از اعضای فولادی با مقاطع CFS² ساخته می شود از سال 1946 در صنعت ساختمان وارد شد³ [1]، اما به دلیل اقتصادی نبودن کاربرد محدودی یافت. از سال 1990 به دلایل زیاد از جمله افزایش قیمت چوب و محدود بودن منابع تهیه آن، مشکلات زیست محیطی، نیاز به تولید سریع و انبوه مسکن و ضرورت استفاده از پیش ساخته سازی، سیستم LSF کاربرد وسیعی یافت، به طوریکه امروزه این سیستم در آمریکا، کانادا، استرالیا، ژاپن و بسیاری از کشورهای دیگر در احداث ساختمان های تجاری و مسکونی کوتاه مرتبه و میان مرتبه کاربرد زیادی دارد [2].

در سال 1995 داویس و همکاران⁴ استفاده از فولاد جدار نازک را در ساختمان های مدولار کوتاه و متوسط بررسی کرده اند [3]. در سال 1996 سرت و همکاران⁵ عملکرد دینامیکی دیوارهای برشی را در قابهای سبک فولادی مورد بررسی قرار داده است [4]. در همان سال داویس و همکاران⁶ رفتار برشی اتصالات فشرده را در سازه های با قاب سبک فولادی بررسی کرده اند [5]. در سال 1997 درایور و همکاران⁷ رفتار لرزه ای را در دیوارهای برشی فولادی مورد بررسی قرار داده اند [6]. در سال 1998 پی و کینی⁸ مقاومت برشی را در اتصالات فشرده فولادی مورد بررسی قرار داده اند [7]. در همان سال لئون و همکاران⁹ به مقایسه تعدادی از اتصالات مکانیکی در فولاد نورد سرد پرداخته اند [8]. در همان سال الگالی و همکاران¹⁰ به تحلیل رفتار دیوارهای برشی فولادی نازک پرداخته است [9]. در سال 1999 لاوسون¹¹ ساخت مدولار را با استفاده از قاب سبک فولادی بررسی کرده است [10]. در سال 2000 لوبل و همکاران¹² عملکرد دیوارهای برشی سخت نشده را تحت بارگذاری متناوب بررسی کرده اند [11]. در سال 2004 دوینا¹³ به بررسی عملکرد پانلهای برشی دیوارهای استادی نورد سرد تحت بارگذاری یکنوا و متناوب پرداخته است [12]. در همان سال تیان و همکاران¹⁴ به بررسی مقاومت گسیختگی و سختی قابهای دیوارهای فولادی نورد سرد پرداخته اند [13]. در سال 2005 پاستور و رودریگز¹⁴ به مدلسازی پس ماند دیوارهای برشی با مهاربندی X شکل در دیوارهای نازک سازه ها پرداخته اند [14].

¹ - Light Weight Steel Frame

² - Cold Formed Steel

³ - J.Micheal Davies

⁴ - Serrette

⁵ - J.Micheal Davies

⁶ - R.G.Driver

⁷ - W.Fei-C.Kinney

⁸ - R.Lemon et al

⁹ - M.Elgaaly et al

¹⁰ - R.M. Lawson

¹¹ - A.S. Lubell et al

¹² - D.Dubina et al

¹³ - Tian et al

¹⁴ - N.Pastor & Rodriguez-Ferran

همان سال الخراط و راجرز¹ مدل آزمایشگاهی قاب فولادی سبک که بوسیله دیوارهای مهاربندی تقویت شده اند پرداخته اند [15]. در سال 2006 ولکویچ و یوهانسون² مدل طراحی سنتی در دیوارهای با صفحات گچی تک لایه و منبسط شونده با دو لایه که در مقابل آتش مقاوم می باشند را بررسی نموده اند [16]. در همان سال گورگلووسکی³ یک روش ساده را برای محاسبه شاخص U-Value در قابهای سبک ارائه نموده است. این روش جدید بر اساس تحقیقات انجام شده بوسیله بازگشت به اصول اولیه در استفاده از مدلسازی المان محدود در تحلیل سیالهای حرارتی در میان ساخت قاب سبک می باشد [17]. در همان سال کاسافت و همکاران⁴ آزمایشات آزمایشگاهی گره ها را در طراحی لرزه ای سازه های سبک پرداخته اند [18]. در همان سال بلاژ⁵ به بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی پانل دیوارهای برشی 9 mm قاب فولادی سبک پرداخته است [19]. در همان سال دینا و همکاران⁶ عملکرد لرزه ای خانه های با قاب سبک فولادی بررسی کرده اند [20]. در همان سال لاندولفو و همکاران⁷ به مطالعه آزمایشگاهی و نظری عملکرد لرزه ای قابهای سبک فولادی نورد سرد در ساختمانهای کوتاه پرداخته اند [21]. در همان سال رکاس⁸ پانل دیوارهای برشی فولادی سبک را مورد آزمایش قرار داده است [22]. در سال 2007 فیورینو و همکاران⁹ آزمایشاتی را بر روی اتصالات پیچ شده (SCREWE) میان پانلهای بر پایه گچ یا چوب و پروفیلهای استاد در خانه سازی با قاب سبک فولادی سبک انجام داده است [23]. در همان سال هانگ و همکاران¹⁰ به بررسی آزمایشهای متناوب اتصالات پیچی قاب خمشی فولادی ویژه سازه های نورد سرد شده پرداخته اند. در این نمونه ها پاسخ سه مود گسیختگی - گسیختگی اتصالات، کماتش بال و کماتش ستون مورد بررسی قرار گرفته است [24]. در همان سال لاندولفو و همکاران¹¹ پاسخ لرزه ای قاب های فولادی نورد سرد را در ساختمانهای کوتاه مورد بررسی قرار داده اند [25]. در سال 2008 رونق و مقیمی¹² به بررسی مدهای گسیختگی سیستم های مختلف و ضرائب موثر محاسباتی در پاسخ شکل پذیری دیوارهای CFC پرداخته اند. [26].

1-1- معرفی سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک (LSF)

قطعات CFS که اعضای اصلی تشکیل دهنده سیستم LSF می باشند معمولاً از ورق فولادی گالوانیزه بر اساس استاندارد BS 2989 تهیه و بکار گرفته می شوند و در حال حاضر بر اساس استاندارد اروپائی در قاره اروپا BS EN 10142 10147 تولید می شوند. این نوع ورق های فولادی معمولاً در عرض های 1/5 متر در کارخانجات ذوب آهن تولید شده و در کارخانجات مخصوص دیگری به صورت رولی و پرسی فرم داده می شوند تا به اشکال مورد نظر در آیند. اندازه قطعات در جان اعضای CFS معمولاً بین 50 تا 300 میلیمتر می باشد. معمول ترین ضخامت ورق فولادی گالوانیزه شده برای تولید قطعاتی که در سازه LSF به کار می روند 1/2 تا 3/2 میلی متر می باشد [2]. برای فرم دادن ورق فولادی، آن را به صورت نواری از بین یک سری غلتک ها عبور می دهند، این حرکت در بین غلتک ها سبب تغییر شکل ورق ها می شود و تعداد غلتک های به کار رفته بستگی به پیچیدگی قطعات دارند. این قطعات را می توان قبل یا بعد از عبور دادن

¹ - M. Al-Kharat et al

² - M. Veljkovic & B. Johansson

³ - M. Gorolewski

⁴ - M. Casafont et al

⁵ - C. Blais

⁶ - D. Dubina et al

⁷ - R. Landolfo et al

⁸ - R. Rokas

⁹ - L. Fiorino et al

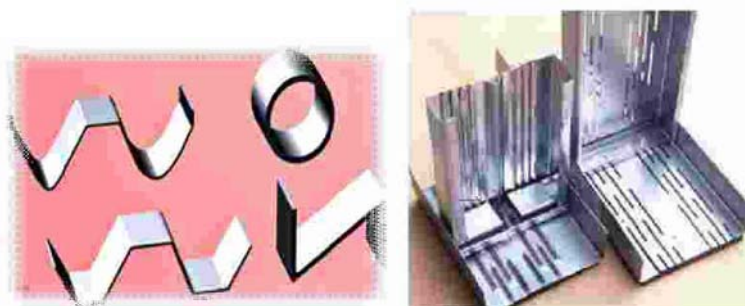
¹⁰ - J.K. Hong et al

¹¹ - R. Landolfo et al

¹² - H. Moghimi & H. R. Ronagh

در بین غلتک‌ها برش داد. این شیوه عمل معمولاً در سطح بالا و با دقت زیاد، توسط کامپیوتر کنترل می‌شود. قطعات با طول‌های کوتاه و مقدار محدود را می‌توان به وسیله پرس فرم داده و یا خم کرد. این تکنیک معمولاً برای قطعات ساده (مانند نبشی و C شکل) مناسب می‌باشد. سوراخ کاری‌هایی نیز در مرحله فرم دادن ورق‌های فولادی انجام می‌شود که برای کارگذاری تأسیسات در بنا انجام می‌شود.

سیستم‌های ساختمانی با اعضای سبک فولادی، پلاسترهای گچی و پشم سنگ بطور گسترده در ایالات متحده، استرالیا و ژاپن و در برخی از کشورهای اروپایی گسترش یافته است. در این کشورها قاب فولادی سبک بعنوان یک سیستم مهم در امر اسکان می‌باشد. این سیستم اغلب از دیوارهای باربر و کف با پروفیل‌های سبک فولادی یا بتن درجا می‌باشند. استاد‌های باربر از ناودانی‌های لبه دار با ضخامت 1-3 میلی متر تولید می‌شوند. در ایالات متحده برای سرهم بندی و مونتاژ معمولاً از جوشکاری در محل استفاده می‌شود. از این سیستم برای ساختمان‌های تا هشت طبقه مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمونه‌ای از اشکال سرد نورد شده در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1- استاد‌های شیاردار و تراکها با عملکرد حرارتی بهتر مورد استفاده در دیوارهای

خارجی

در اروپا سیستم های مشابهی توسعه یافته اند اما معمولاً این سیستم ها در ساختمانهای بلند در ایالات متحده مورد استفاده قرار نمی گیرند. در سوئد و فنلاند بدلیل اینکه انرژی ارزش بالاتری نسبت به امریکا دارد و اقلیم آب و هوایی بسیار سرد است به منظور بقای انرژی و جلوگیری از ایجاد پل سرمایی توسط فولاد برای بازدهی و کارایی بیشتر حرارتی، استادها با جانهای شیاردار توسعه یافته اند. این استادها در دیوارهای خارجی ساختمان با پشم سنگ پوششی در فضای میان استادها استفاده می شوند. استادها معمولاً عمقی بین 200 یا 170 میلی متر دارند که شاخص حرارتی آنها تقریباً $0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ بدون داشتن عایق خارجی می باشند، که مشابه دیوارهای با استادهای چوبی می باشند. اگر از عایق بیرونی استفاده شود شاخص ضریب انتقال حرارت را می توان به پایین تر از $0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ کاهش داد. این نوع از استادها را می توان در دیوارهای یکپارچه ۲۷ و همچنین در دیوارهای برابر در ساختمانهای 3 یا 4 طبقه استفاده نمود. شیارهای جان در این مقاطع مقاومت جان را در برابر برش کاهش می دهند. روشهای طراحی برای استادهای شیاردار گسترش یافته اند ولی تاکنون در آیین نامه ها ارائه نشده است. روشهای طراحی صفحات گچی تک لایه توسط کالاسر و آکرلند توسعه یافته اند و تاکنون از این روش در سوئد استفاده می شود. همچنین از این روش می توان برای طراحی دیوارهای با استاد فولادی استفاده نمود.

1-2- پیش ساختگی در محل تولید

پیش ساختگی توسط ساخت خارج از محل (OSM) منجر به سریع تر شدن کار ساخت و سازی می شود و کیفیت را بهبود بخشیده و پرت و پسماند های ساختمانی را کاهش می دهد. اگرچه پیش سازی امری مهم است، اما سیستم ذکر شده فرایند ساخت و تأمینی را بهبود می بخشد که در آن بخش های اصلی یک ساختمان به صورت انبوه در شرایط کارخانه ای تولید می شود، تا در محل کار روش های به اصطلاح مدرن ساخت و ساز (MMC) با پیشرفتهایشان برحسب اهدافی که تعریف شده انجام شود. در ساخت ساختمان فولادی تا اندازه ای از پیش ساختگی استفاده می شود، اما استفاده نوین از این فن آوری در پاسخ به تقاضای بازار برای سطوح بیشتر پیش سازی ایجاد شده است. کاربردهای سیستم های ساختمان پیش ساخته تا حد زیادی توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که تکنولوژی فولاد چگونه طی 5 سال اخیر گسترش یافته است و چگونه اطلاعات تحقیقاتی اصلی برای حمایت از این پیشرفت های جدید بدست آمده است. MMC در خانه سازی و ساختمان های مسکونی کاربرد دارد و همچنین شامل وسایل آسایش و استراحت (تطبیق طرز زندگی با محیط) برای یک مسکن مقرون به صرفه بخصوص در شهرهای توریستی و مسافرتی ایجاد می نمایند. در بخش مسکونی با ارتفاع متوسط مانند آپارتمان ها، هتل ها و اقامتگاه های دانشجویی از تکنولوژی ها کامپوزیت (مرکب) و فولادی مشابهی، اگرچه در در سطح کمتری، استفاده می شود ولی دارای کارایی بهتری می باشد. ساختمان پیش ساخته (مدولی) یک نمونه از OSM دارای فن آوری بالا است، که فرصت هایی نیز برای تکنولوژی های حجمی و سطحی دو گانه یا ترکیبی ایجاد می نماید. این امر بحث مهندسی ارزش در صنعت ساختمان را بهینه می کند. سیستم های ساختمانی دارای عملکرد باز دارای فن آوری بالا می باشد و مبادله اجزای سازنده در آنها براحتی صورت می گیرد. این امر شکل های ساختمانی انعطاف پذیری را ایجاد می کنند که در

1- Curtain Wall

28 - Off-site manufacture

29 - Modern method of construction

ساختمانهای کاملاً پیش ساخته قابل دسترسی می باشند. در این حوزه پیشرفتهای مناسبی امکان پذیر می باشد و یک گروه کاری حرفه ای در حال حاضر سیستم های ساختمان باز را در سطح بین المللی بررسی می کنند. ساختمان های بزرگ پیش ساخته دنیا که در اقصی نقاط دنیا قرار دارند و از تکنولوژی مشابهی براساس سیستم قابهای سبک استفاده می کنند یک شکل ابداعی و جدید، ساختمان با پوسته فشرده می باشند. اقتصاد و زیربنائی ساخت خارج از محل بصورت پیش ساخته کاملاً پیچیده است و به میزان تولید قابل توجهی از اجرای سازنده قابل تکرار و مقرون به صرفه بودن بستگی دارد. OSM به سرمایه گذاری ثابت در زیر بنای تولید کارخانه، توسعه طرح، آزمایش محصول و گواهی تایید و هزینه های بالاسری تسهیلات ثابت و فضای کارخانه نیاز دارد. ساختمان های نوع سلولی، مانند هتل ها و اقامتگاه های دانشجویان که دارای واحد های مشابه چند گانه ای از انواع پروژه هایی هستند که OSM در آنها موفق عمل کرده است. پیشرفت OSM در بخش مسکونی بطور وسیع هنوز در مراحل اولیه است. کارخانه های مدرن تولید واحدی، (مدولی پیش ساخته) 21 میلیارد تومان می باشد. اگرچه برای ایجاد خط تولید خود کار جدید به 100 میلیون یورو نیاز است، اما این هزینه ها برای تولید سالانه 2000-1000 واحد در یک بازار ساخت و ساز قابل تغییر توزیع می شوند، که با تولید سالانه 50000 مدل ماشینی طراحی یک دوره 7 ساله قابل مقایسه است. ایجاد توازن در برابر این هزینه ها سرمایه گذاری ثابت باعث تولید پس انداز و صرفه جویی می شود، که بعلاوه تکنولوژی های تولید موثرتر است و هزینه های ساخت محل کاهش می یابد و باعث کیفیت بهتر سطوح شده و بعلاوه سرعت ساخت و ساز در وقت نیز صرفه جویی می شود. اگرچه تشخیص داده می شود که صرفه جویی در وقت 30 تا 50٪ در کل زمان ساخت این توان با OSM مدرن بدست آورده و ارزش اقتصادی این تکمیل اولیه به عملیات تجاری یا درآمد حاصل از فروش اولیه بستگی دارد. این را می توان برای هتلهای زنجیره ای یا عملیات ساختمانی با زمان محدود تعیین کرد مانند یک دانشگاه اما برای سازنده خانه در یک بازار سود اگر کمتر به چشم می خورد. هزینه های اضافی یک کارخانه دائمی را باید در برابر پس اندازها در عملیات پیچیده و ناکارآمد محل متعادل کرد. بیشتر پروژه های OSM به نسبت کار محل مربوط می شوند، که در هزینه های گسترده ای در این شکل منعکس می شوند. اگرچه OSM منجر به ایجاد بازدهی هایی در استفاده از مواد و کاهش ضایعات می شود، اما بیشتر اجزا به صورت از پیش تمام شده خریداری می شوند که این باعث افزایش هزینه می شود. پروژه های کوچک OSM ممکن است منجر به ایجاد صرفه جوئی های قابل توجهی نشوند، مگر اینکه شکل یکسان ساختمان در تعدادی از پروژه های مشابه تکرار می شود. در هر حال پروژه های بزرگ OSM می توانند منجر به صرفه جوئی در هزینه ها تا 10-20٪ علاوه بر صرفه جویی در وقت بشوند و هزینه های زیر بنایی محل را کاهش داده و قابلیت تولید و قابلیت اطمینان را افزایش دهند. مبنای کار و علت اساسی گسترش OSM به سرمایه گذاری در ماشینی آلات کنترل شده از حیث عدد و نرم افزار مجتمع CAD/CAM بستگی دارد.



شکل 2-ب- سیستم مدولار نما بصورت دوپارچه LSF

شکل 2-الف- سیستم نمای درجا LSF



شکل 3-الف- دیوارهای یکپارچه نیم پیش ساخته در محل شکل 3-ب- نصب مدولها در گوشه
های ستونهای SHS

2- روش تحقیق

طراحی چندین پروژه با استفاده از نرم افزارهای SAP2000 و ETABS2000

به منظور مشخص شدن تفاوت های سیستم LSF با سیستم های سستی رایج در کشور در ساخت ساختمان های کوتاه مرتبه و میان مرتبه، در این قسمت چندین پروژه ی مختلف با استفاده از سیستم سازه ی فولادی معمولی، سازه ی بتنی و سیستم LSF طراحی شده و نتایج به دست آمده با یکدیگر مقایسه شده است. پروژه های انجام شده شامل 3 ساختمان دوطبقه، سه طبقه و پنج طبقه است که با استفاده از هر سه روش طراحی شده و مقایسه ی نسبتاً جامعی از نتایج به دست آمده ارائه شده است. در جدول (1) مشخصات پروژه های طراحی شده ملاحظه می شود.

جدول 1- مشخصات پروژه‌ها

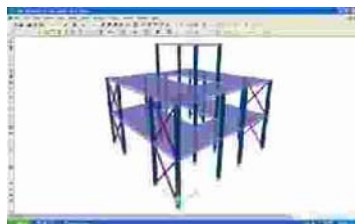
مشخصات تعداد طبقات	سیستم ساختمانی	سیستم سازه		سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی		سیستم سقف
		جهت X	جهت Y	جهت X	جهت Y	
2	فولادی	قاب خمشی	قاب ساده	قاب خمشی متوسط	قاب مهاربندی شده	تیرچه بلوک
	بتنی	قاب خمشی		قاب خمشی متوسط		تیرچه بلوک
	LSF	قاب ساده		سیستم مهاربندهای کششی		کامپوزیت
3	فولادی	قاب خمشی	قاب ساده	قاب خمشی متوسط	قاب مهاربندی شده	تیرچه بلوک
	بتنی	قاب خمشی		قاب خمشی متوسط		تیرچه بلوک
	LSF	قاب ساده		سیستم مهاربندهای کششی		کامپوزیت
5	فولادی	قاب خمشی	قاب ساده	قاب خمشی متوسط	قاب مهاربندی شده	تیرچه بلوک
	بتنی	قاب خمشی		سیستم دو گانه متوسط		تیرچه بلوک
	LSF	قاب ساده		دیوار برشی بتنی متوسط		کامپوزیت

1-2- طراحی ساختمان دو طبقه با استفاده از سیستم‌های فولادی، بتنی و LSF

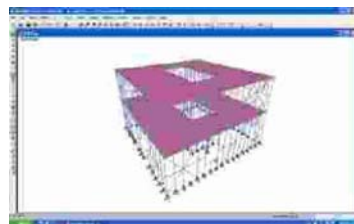
استفاده از سیستم LSF در ساخت انواع ساختمان‌های 1 و 2 طبقه مسکونی، ویلایی، اداری، دفاتر تجاری کوچک، آموزشی و واحدهای صنعتی به دلیل مزایای فراوان از جمله سبک بودن، اقتصادی بودن، مصرف کم مصالح ساختمانی، افزایش فضای مفید داخلی، عملکرد صوتی مطلوب و اتلاف کم انرژی در بسیاری از کشورهای دنیا مرسوم می‌باشد [11]. در این بخش یک ساختمان مسکونی دو طبقه با مساحت زیربنای 92 متر مربع در هر طبقه که در منطقه‌ای با خطر لرزه‌خیزی زیاد قرار دارد، با استفاده از روش‌های مورد نظر در این مقاله طراحی شده و نتایج حاصل از روش‌های مختلف ساخت با یکدیگر مقایسه شده است. در شکل (4) تصاویر مربوط به مدل سازه‌ای روش‌های مختلف مشاهده می‌شود.



شکل 4-ج) پروژه طراحی شده
با سیستم سازه بتن آرمه با استفاده
از نرم افزار ETABS



شکل 4-ب) پروژه طراحی شده
با سیستم سازه فولادی معمولی با
استفاده از نرم افزار ETABS



شکل 4-الف) پروژه طراحی
شده با سیستم LSF با استفاده از
نرم افزار SAP2000

نتایج به دست آمده از طراحی این پروژه در جدول شماره 2 ارائه شده است. لازم به ذکر است که در محاسبه ی مقادیر مندرج در جدول شماره 2، 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.

جدول 2- نتایج به دست آمده از مقایسه ویژگی‌هایی سیستم LSF با سیستم ساختمان فولادی و بتنی

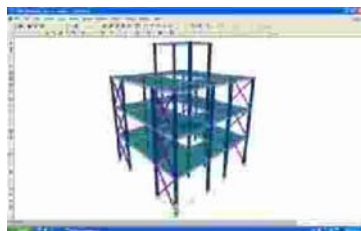
سیستم سازه بتنی	سیستم سازه فولادی		سیستم LSF	پارامترهای مهم
	جهت Y	جهت X		
33.25	55		25.12	مقدار فولاد و آرماتور مصرفی (Kg/m ²)
1140.4	546.5		240.4	مقدار بتن مصرفی (Kg/m ²)
112.25	10.25		4.53	وزن اسکلت ساختمان (Ton)
317.6	209.18		86.4	وزن کل ساختمان (Ton)
36.2	26	24	16.1	برش پایه ساختمان در زلزله (Ton)
1.78	0.26	1.67	0.78	بیشترین تغییر مکان مرکز جرم پشت بام (cm)
75	60		25	زمان صرف شده برای سفت کاری (day)
120	120		35	زمان صرف شده برای نازک کاری (day)
150	100		2	پرت مصالح (Kg/m ²)

2-2- طراحی ساختمان سه طبقه با استفاده از سیستم‌های فولادی، بتنی و LSF

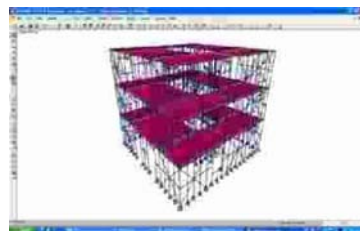
در این بخش ساختمان مسکونی سه طبقه‌ای که دارای مساحت زیربنای 92 مترمربع در هر طبقه می‌باشد با استفاده از روش‌های یاد شده، طراحی شده که در شکل (5) تصاویر مربوط به مدل نرم‌افزاری هر یک از سیستم‌ها ارائه شده است.



شکل 5-ج) پروژه طراحی شده با سیستم سازه بتن آرمه با استفاده از نرم افزار ETABS



شکل 5-ب) پروژه طراحی شده با سیستم سازه فولادی معمولی با استفاده از نرم افزار ETABS



شکل 5-الف) پروژه طراحی شده با سیستم LSF با استفاده از نرم افزار SAP2000

انتخاب روش های مختلف برای اجرای این پروژه منجر به بروز نتایج متفاوتی می گردد که مهمترین این نتایج در جدول شماره 3 ارائه شده است. مانند پروژه قبلی مشاهده می شود که به کارگیری سیستم LSF در ساخت و سازهای کوتاه مرتبه منجر به صرفه جویی قابل ملاحظه در زمان و مصالح می گردد و به دلیل اتلاف بسیار کم مصالح مصرفی علاوه بر سازگاری مناسب با محیط زیست در حفظ سرمایه های ملی بسیار مؤثر خواهد بود.

جدول 3- نتایج به دست آمده از مقایسه ویژگی هایی سیستم LSF با سیستم ساختمان فولادی و بتنی

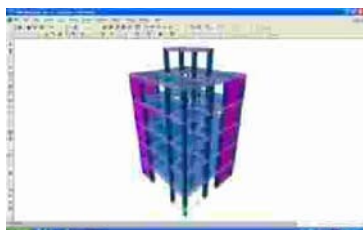
سیستم سازه بتنی	سیستم سازه فولادی معمولی		سیستم LSF	پارامترهای مهم
	جهت X	جهت Y		
33.25	60.25		25.74	مقدار فولاد و آرماتور مصرفی (Kg/m^2)
1140.4	521.4		240.4	مقدار بتن مصرفی (Kg/m^2)
16.4	16.3		6.96	وزن اسکلت ساختمان (Ton)
317.6	303.6		117.28	وزن کل ساختمان (Ton)
55.6	33.8	36.2	24.3	برش پایه ساختمان در زلزله (Ton)
3.3	3.18	1.78	2.33	بیشترین تغییر مکان مرکز جرم پشت بام (cm)
75	75		25	زمان صرف شده برای سفت کاری (day)
120	120		35	زمان صرف شده برای نازک کاری (day)

پرت مصالح (Kg/m^2)	2	100	150
-------------------------------	---	-----	-----

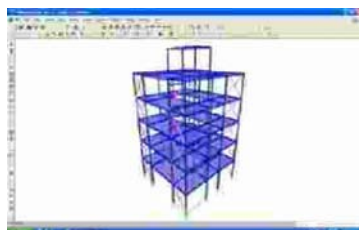
نتایج ارائه شده در جدول شماره 3 نشان می‌دهد وزن اسکلت سازه LSF نسبت به سازه فولادی در حدود 40٪ و نسبت سازه بتنی در حدود 95٪ سبک‌تر می‌باشد که این مسئله علاوه بر کاهش نیروهای لرزه‌ای سبب می‌شود آماده سازی و نصب اجزاء سیستم LSF به سادگی و بدون نیاز به استفاده از تجهیزات خاصی میسر گردد. در مقایسه با ساختمان فولادی معمولی استفاده از سیستم LSF مصرف فولاد و بتن مورد نیاز را به ترتیب در حدود 55٪ و 50٪ کاهش می‌دهد. بر اساس نتایج موجود در جدول شماره 3، سیستم LSF به دلیل مواجه شدن با نیروهای لرزه‌ای به مراتب کمتر نسبت به دیگر سیستم‌ها دارای عملکرد لرزه‌ای مناسبی می‌باشد.

3-2- طراحی ساختمان پنج طبقه با استفاده از سیستم‌های فولادی، بتنی و LSF

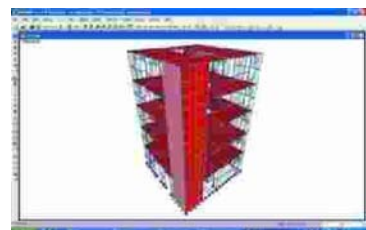
با توجه به اینکه ساختمان‌های میان‌مرتبه بخش قابل توجهی از ساخت و ساز کشور را شامل می‌شوند، به منظور روشن شدن مزایای استفاده از سیستم LSF در ساخت و سازهای میان‌مرتبه در این بخش پروژه‌ای که مربوط به اجرای یک ساختمان 5 طبقه مسکونی در منطقه‌ی با خطر لرزه‌ای زیاد می‌باشد با استفاده از سه روش گفته شده طراحی شده که مدل نرم‌افزاری مربوط به هر روش در شکل (6) مشاهده می‌شود.



شکل 6-ج) پروژه طراحی شده با سیستم سازه بتن آرمه با نرم‌افزار ETABS



شکل 6-ب) پروژه طراحی شده با سیستم سازه فولادی معمولی با نرم‌افزار ETABS



شکل 6-الف) پروژه طراحی شده با سیستم LSF با نرم‌افزار SAP2000

برای تامین پایداری سیستم LSF در برابر نیروهای جانبی از سیستم دیوار برشی بتنی استفاده شده است. در جدول شماره 4 نتایج حاصل از مقایسه‌ی سیستم LSF با سیستم‌های فولادی و بتنی ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود استفاده از سیستم LSF به جای ساختمان بتنی و فولادی نیروهای لرزه‌ای را به ترتیب 40٪ و 30٪ کاهش می‌دهد.

جدول 4- نتایج به دست آمده از مقایسه ویژگی‌هایی سیستم LSF با سیستم ساختمان فولادی و بتنی

سیستم سازه بتنی	سیستم سازه فولادی		سیستم LSF	پارامترهای مهم
	معمولی	جهت X جهت Y		
45	72.4		35	مقدار فولاد و آرماتور مصرفی (Kg/m ²)
1309.8	519		254.2	مقدار بتن مصرفی (Kg/m ²)
311.4	31.6		9.7	وزن اسکلت ساختمان (Ton)
822.156	509.9		278.3	وزن کل ساختمان (Ton)
79.2	69.6	59.8	45.9	برش پایه ساختمان در زلزله (Ton)
1.11	2.6	4.6	0.45	بیشترین تغییر مکان مرکز جرم پشت بام (cm)
90	75		25	زمان صرف شده برای سفت کاری (day)
180	150		35	زمان صرف شده برای نازک کاری (day)
200	150		5	پرت مصالح (Kg/m ²)

3- نتایج

در این قسمت مقایسه اقتصادی از سیستم LSF با سیستم‌های 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 سیستم‌های تأسیساتی، زمان کم توقف و پیش ساخته بودن، به طور کلی استفاده از این سیستم منجر به کاهش پنجاه درصدی در زمان ساخت سیستم خواهد شد. در جدول 5 زمان لازم برای ساخت سیستم سنتی و سیستم LSF با یکدیگر مقایسه شده است.

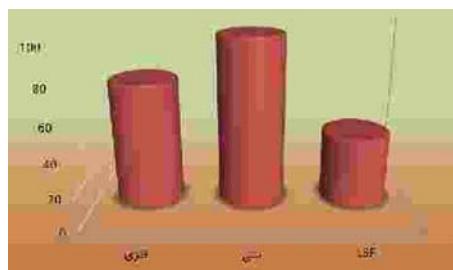
جدول 5- مقایسه زمان ساخت سیستم LSF با سیستم‌های سنتی

زمان اجرای مورد نیاز		تعداد کارگر مورد نیاز به روز (8) ساعت کار)	ساعت کار مورد نیاز برای هر متر مربع	روش ساخت
نازک	سفت کاری (ماد)			
5.3	3.6	3.9	31	سیستم سنتی
3.3	1.5	1.75	12.5	سیستم LSF

همانطور که در مقدمه اشاره شد استفاده از سیستم LSF منجر به کاهش قابل ملاحظه در میزان مصرفی برای ساخت می گردد. در اشکال (7) و (8) به ترتیب مقدار مصرف فولاد و بتن در سیستم های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل 7- مقایسه مصرف فولاد در سیستم های مختلف نسبت به سیستم فلزی.



شکل 8- مقایسه مصرف بتن در سیستم های مختلف نسبت به سیستم بتنی.

در شکل (9) 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.



شکل 9 - مقایسه هزینه ساخت در سیستم‌های مختلف

4. بحث

امروزه از فناوری‌های مختلف به منظور ایجاد آسایش و امنیت بیشتر و صرفه جویی در هزینه‌ها به‌خصوص 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 از این مقاله به دست می‌آید:

- نیاز شدید 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 فناوری در این بخش اجتناب ناپذیر می‌باشد. روشهای نوینی که در صنعت ساختمان مطرح است، سیستم‌های ساختمانی با پتانسیل‌های تولید صنعتی و پیش ساختگی می‌باشد که نیازهای کمی و کیفی صنعت ساختمان سازی را می‌تواند برآورده نماید. یکی از این سیستم‌ها، سیستم قاب سبک فلزی می‌باشد که نه تنها امکان تولید صنعتی و پیش ساختگی آن وجود دارد، بلکه بعلا سبک بودن سیستم در هنگام زمین لرزه آسیب پذیری ساختمانها را به حداقل می‌رساند. در این مقاله تلاش شده است نیاز کشور از نظر کمی و کیفی برای استفاده از فناوری در بخش ساختمان مورد بررسی قرار گیرد و همچنین مشخصات تئوری، فنی، ارزیابی کمی و کیفی سیستم قاب سبک فلزی برای افزایش بهره‌وری در صنعت ساختمان نیز عنوان گردد.

- 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.

- با توجه به نیاز روزافزون به ایجاد سازه‌های مورد نیاز با کاربری‌های گوناگون که دارای مقاومت و کیفیت مطلوب باشند لازم است از سیستم‌های نوین با قابلیت پیش ساختگی استفاده نمود که در این بین سیستم LSF به دلیل مزایای فراوان که در قسمت‌های قبلی به آن پرداخته شد دارای کاربرد زیاد و مؤثری در انجام ساخت و سازهای سریع بدون ایجاد وقفه در کاربری‌های مختلف خواهد شد.

- نتایج نشان می‌دهند که میزان برش پایه در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح 55.5 درصد و در مقایسه با سیستم فلزی 38.1 درصد کاهش می‌یابد. میزان بیشترین تغییر مکان مرکز جرم پشت بام در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح 56.2 درصد و در مقایسه با سیستم فلزی 38.1 درصد کاهش می‌یابد. میزان وزن کل ساختمان در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح 72.8 درصد و در مقایسه با سیستم فلزی 58.7 درصد کاهش می‌یابد. میزان

وزن اسکلت ساختمان در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح 72.4 درصد و در مقایسه با سیستم فلزی 55.8 درصد کاهش می یابد. میزان مقدار بتن مصرفی در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح 78.9 درصد و در مقایسه با سیستم فلزی 56.0 درصد کاهش می یابد. میزان مقدار فولاد و آرماتور مصرفی در سیستم LSF در مقایسه با سیستم بتن مسلح 24.5 درصد و در مقایسه با سیستم فلزی 54.3 درصد کاهش می یابد.

تلاش در جهت ترویج بکارگیری این نوع ساخت و سازها می تواند راهکاری برای صنعتی کردن ساختمان سازی باشد و این تاثیر بسیاری در تقلیل مصرف مصالح ساختمانی و انرژی نیز میگذارد. صنعت ساختمان سازی کشور می باید توجه خاصی به این سیستم نموده و از پتانسیل های متعدد آن برای پاسخگویی به فن اوری مورد نیاز از آن جمله برای ساخت دیوارهای دوجداره بهره برداری مناسب بنماید.

5. مراجع

- [1] Winter, G., "Development of Cold-Formed Light Gauge Steel Structures", AISI regional technical paper, 1959.
- [2] SCI, "Building design using cold formed steel section", Publication No.260, 1998.
- [3] Davies JM, Leach P, Kelo E. The use of light gauge steel in low and medium rise modular buildings. In: Proc. 3rd Int. Conf. on Steel and Aluminium Structures, ICSAS '95. Istanbul, 1995.
- [4] Serrette R, Hall G, Nguyen H. Dynamic performance of light gauge steel framed shear walls. In: Proceedings of the 13th international specialty conference on cold-formed steel structures. St. Louis, 1996b, p. 487-98.
- [5] Davies R, Pedreschi R, Sinha BP. The shear behaviour of press-joining in cold-formed steel structures. Thin-Walled Structures 1996;25(3):153-70.
- [6] Driver RG, Kulak GL, Kennedy DJL, Elwi AE. Seismic behavior of steel plate shear walls. Structural engineering report no. 215, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada; 1997.
- [7] Pei W, Kinney C. Shear strength of press-joint connections of light gauge steel. In: 1st international conference on steel in green building construction, Orlando, FL; March, 1998.
- [8] Lennon R, Pedreschi R, Sinha BP. Comparative study of some mechanical connections in cold-formed steel. Scotland: The University of Edinburgh; 1998;
- [9] Elgaaly M. Thin steel plate shear walls behavior and analysis. Thin Walled Struct 1998;32:151-80.
- [10] Lawson RM, Grubb PJ, Prewer J, Trebilcock PJ. Modular construction using light steel framing: an architect's guide. The Steel Construction Institute, P-271, Ascot, UK; 1999.
- [11] Lubell AS, Prion HGL, Ventura CE, Rezai M. Unstiffened steel plate shear wall performance under cyclic loading. J Struct Eng ASCE 2000;126(4):453-60.

- [12] Fulop LA, Dubina D. Performance of wall-stud cold-formed shear panels under monotonic and cyclic loading. Part I: Experimental research. *Thin Walled Structures* 2004;42:321–38.
- [13] Tian YS, Wang J, Lu TJ. Racking strength and stiffness of cold-formed steel wall frames. *Journal of Constructional Steel Research* 2004;60:1069–93.
- [14] Pastor N, Rodríguez-Ferran A. Hysteretic modelling of x-braced shear walls. *Thin Walled Structures* 2005;43:1567–88.
- [15] 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.
- Light steel framing for residential buildings [16] Milan Veljkovic, Bernt Johansson. *Thin-Walled Structures* 44 (2006) 1272–1279.
- Developing a simplified method of calculating U-values in light steel framing [17] Mark Gorgolewski. *Building and Environment* 42 (2007) 230–236.
- [18] Casafont M, Arnedo A, Roure F, Rodríguez-Ferran A. Experimental testing of joints for seismic design of lightweight structures. Part 1. Screwed joints in straps. *Thin Walled Structures* 2006;44:197–210.
- [19] Blais C. Testing and analysis of light gauge steel frame/9mm OSB panel shear walls. M.Eng. thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Canada. 2006.
- of cold-formed steel performance Seismic Nagy Zs. Demetriu S, A, Aldea [20] Dubina D, Fulop LA, conference on Proceedings of the 5th international houses, framed formed steel areas (STESSA), Yokohama, 2006. in seismic structures steel of behavior
- [21] Landolfo R, Della Corte G, Fiorino L, Di Lorenzo G. Theoretical and experimental study on the seismic performance of lightweight cold-formed steel low-rise residential buildings. In: Mazzolani FM, editor. *Innovative steel structures for seismic protection of buildings—PRIN 2001*. Italy: Polimetrica Publisher; 2006. p. 209–300.
- [22] Rokas, R. Testing of light gauge steel panel shear walls. M.Eng. Project, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Canada. 2006.
- Experimental tests on typical screw [23] L. Fiorino, G. Della Corte, R. Landolfo, *Engineering Structures* 29 (2007) connections for cold-formed steel housing 1761–1773
- Cyclic [24] Jong-Kook Hong¹, Atsushi Sato², Chia-Ming Uang³, and Ken Wood⁴. *Testing of Cold-Formed Steel Special Bolted Moment Frame Connections*, (2007)
- Landolfo R, Fiorino L, Della Corte G. Seismic response of lightweight cold- [25] test connection screw on based modeling buildings: formed steel low rise residential protection structures for seismic steel Innovative M, editor. Mazzolani F In: results. methodologies—PRIN 2003. Italy: and criteria design buildings: of Polimetrica Publisher; 2007. p. 203–50

_Better connection details for strap-braced , [26] Hassan Moghimi 1, HamidR.Ronagh
.Thin-Walled Structures 47 (2009) 122–135.CFS stud walls in seismic regions