یادداشت فنی: شناسایی ریسک‌های مراحل طراحی، اجرا و ساخت در سازه‌های LSF

علی یگانه[1]، هاشم شریعتمدار[2*]

۱- کارشناس ارشد مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

سیستم قاب سبک فولادی راکه به اختصار LSF (ال‌اس‌اف) می‌نامند، یک سیستم ساختمانی است، که برای اجرای ساختمان‌های عمدتاً کوتاه‌مرتبه و میان‌مرتبه (حداکثر تا ۵ طبقه) استفاده می‌شود و یکی از سیستم‌های ساختمانی مورد قبول مهندسان عمران (از منظر باربری ثقلی و جانبی)، در کشورهای توسعه‌یافته و مدرن می‌باشد. اگرچه این سیستم از مزایای قابل توجهی برخوردار می‌باشد، اما در ایران با استقبال زیادی مواجه نشده‌است که دلایلی هم‌چون عدم تطابق با فرهنگ مردم، قیمت بالاتر، عدم وجود نیروی‌کار ماهر و اشکالات اجرایی برای آن ذکر می‌شود. در این پژوهش ابتدا سازه‌های ال‌اس‌اف معرفی خواهندشد. سپس این سازه‌ها از مرحله‌ی طراحی، اجرا تا بهره برداری بررسی می‌گردند و ریسک‌های آن‌ها به طور دقیق شناسایی خواهدشد و در نهایت برای هر ریسک راه‌کار ارائه می‌گردد. فرآیند شناسایی ریسک از روش مصاحبه و در سطح شهر مشهدوحومه صورت‌گرفت. درمجموع در این پژوهش ۵۶ پروژه شامل ساختمان‌های مسکونی، ویلایی، اضافه طبقات، مدارس، اداری، تجاری، فست‌فود، سازه‌های صنعتی و دیوارهای غیرباربر ال‌اس‌اف مورد بررسی قرارگرفت. تمامی پروژه‌های مذکور در شهر مشهد مقدس اجرا شده‌اند یا در آینده اجرا خواهندشد. در تمامی پروژه‌ها با طراحان، مجریان و کارفرمایان به صورت حضوری مصاحبه صورت‌گرفت. با توجه به جدیدبودن این سیستم در ایران و ناشناخته‌بودن ریسک‌های آن، این پژوهش می‌تواند در تصمیم‌گیری‌مدیران پروژه و مهندسان اجرایی برای انتخاب سیستم ساختمانی مناسب برای پروژه‌های انبوه‌سازی و تک‌سازی و هم‌چنین اتخاذ راه‌کار مناسب جهت جلوگیری از این ریسک‌ها مفید باشد.

کلمات کلیدی: سازه‌های ال‌اس‌اف، شناسایی ریسک، ریسک‌های مرحله طراحی، ریسک‌های مرحله اجرا، ریسک‌های مرحله بهره‌برداری، پاسخ به ریسک.

***نویسنده مسئول: هاشم شریعتمدار**
پست الکترونیکی: shariatmadar@um.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۰۷، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۲۴

شناسه دیجیتال DOI: 10.22065/jsce.2017.80905.1125
http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.80905.1125

۱- مقدمه

ایجاد ساختمان‌های ایمن که تأمین‌کننده آسایش، بهداشت و صرفه‌ی اقتصادی فرد و جامعه باشد از اهداف اصلی مهندسان است. انتخاب صنعتی‌سازی ساختمان‌ها به عنوان روشی تجربه‌شده و نظام‌مند جهت نیل به این هدف، مدنظر عوامل دخیل در ساختمان‌سازی بوده‌است. دست‌یابی به گزینه‌ای که علاوه بر رعایت مقررات ملی و ضوابط فنی از مشخصه سرعت و دقت کافی در اجرا برخوردار باشد، مطلوب و مناسب با نیازهای رو به تزاید مسکن است. از میان سیستم‌های ساختمانی برخی متناسب و هم‌خوان با روش‌های تولید صنعتی بوده و مؤلفه‌های اجرایی آن‌ها در بستر مزبور توسعه یافته است. یکی از سیستم‌های ساختمانی که در سالیان اخیر توسعه مناسبی در سطح جهانی داشته‌است، سیستم ساختمانی فولادی سبک سرد نوردشده می باشد [۱].

سیستم ساختمانی فولادی سبک سرد نوردشده از جمله سیستم‌هایی است که گرچه پیدایش آن ریشه در دغدغه‌های زیست‌محیطی و به‌تبع آن، تعریف گزینه جایگزین برای ساختمان‌های چوبی داشته‌است، اما به تدریج جایگاه ویژه‌ای در میان سیستم‌های دارای ظرفیت تولید صنعتی یافته‌است. هم‌گام با میل به توسعه‌ی صنعتی‌سازی ساختمان در کشور، انجام پروژه‌های تک‌سازی و انبوه‌سازی با قطعات فولادی سبک سرد نوردشده نیز رواج یافته و با توجه به ظرفیت بالای تولید فولاد در کشور و مزیت‌هایی هم‌چون انعطاف بالا، وزن کم سازه و متعلقات و روش تولیدسریع، باعث شده‌است که ساختمان‌های فولادی سبک سرد نورد به گزینه‌ای قابل اعتنا در صنعت ساختمان‌سازی کشور تبدیل شود [۲].

۲- معرفی سیستم قاب سبک فولادی

۲-۱- روش تولید

سیستم قاب سبک فولادی با نام اختصاری "ال‌اس‌اف"[1]از مقاطع سرد نوردشده فولادی یا "سی‌اف‌اس"[2]ساخته می‌شود. این سیستم در صنعت ساختمان‌سازی کاربردهای متنوعی چون ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه، میان‌مرتبه، طبقاتی و اضافه طبقه دارد.

اجزای مورداستفاده در این سیستم، نیم‌رخ‌های فلزی حاصل از نورد سرد ورق‌های فولادی با ضخامت‌های 0.45 تا 2.5 میلی‌متر می‌باشد. جهت محافظت این عناصر در مقابل زنگ‌زدگی و خوردگی از آلیاژ روی به ضخامت ۴۰ تا ۱۲۰میکرون استفاده می‌شود. سیستم قاب سبک فولادی، در قالب کلی سیستم‌های دیوار باربر قرار می‌گیرد.

عناصر باربر ثقلی متشکل از مقاطع منفرد و یا ترکیبی و عمدتاً سی[3]یا یو[4]شکل و یا ترکیب این مقاطع می‌باشند .دیوارها از آرایش اجزای عمودی سی شکل(استاد)، که در بالا و پایین در داخل اجزای افقی یو شکل(رانر یا تراک) مهار شده‌اند، تشکیل می‌شود. اجزای باربر سقف نیز عمدتاً با استفاده از مقاطع منفرد و یا ترکیبی سی، یو و زد[5]شکل می‌باشد. سقف طبقه آخر نیز غالباً به صورت شیب‌دار و با استفاده از خرپاهای متشکل از پروفیل‌های سردنورد اجرا می‌گردد.

اتصالات در سیستم قاب سبک فولادی معمولاً به صورت سرد و با پیچ‌های خودکار سرمته‌ای انجام می‌شود. در موارد محدود امکان استفاده از انواع اتصالات دیگر مثل پیچ و مهره، پرچ یا جوش نیز مقدور می‌باشد [۳].

1 LSF
2 CFS = Cold Formed Steel
3 C
4 U
5 Z

۲-۲- مراحل اجرای قاب سبک فلزی

این مراحل به‌طورکلی شامل اجرای پی، اجرای اسکلت ساختمان، اجرای پوشش سقف و نصب پانل‌های پوشش خارجی، نصب لایه‌ی عایق حرارتی، رطوبتی و صوتی و نصب پانل‌های پوششی داخلی، اجرای عملیات تأسیسات الکترونیکی و مکانیکی و در نهایت عملیات نازک‌کاری می‌باشد [۴].

۲-۳- مزایای سیستم

سیستم ال‌اس‌اف دارای مزایای سرعت اجرای زیاد، سبکی وزن ساختمان، مقاومت در برابر زلزله، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، سهولت نگهداری و تعمیرات، وجود مواد اولیه در داخل کشور، امکان مدولار و استانداردکردن، امکان پیش‌ساخته کردن پانل‌ها، امکان تولید قطعات در محل اجرا، سهولت اجرای تأسیسات برقی و مکانیکی، تطابق با آیین‌نامه‌های رایج ساختمانی، محاسبات سازه‌ای دقیق نیروها، رعایت کلیه مسائل اتلاف انرژی حرارتی و برودتی، تنوع طراحی و تولید بنا با نماهای متفاوت به درخواست کارفرما و هماهنگ با معماری محل، استفاده دائم به عنوان ساختمانی با طول عمر بالا و مشابه با ساختمان‌های سنتی، بازگشت سریع سرمایه اولیه، سازگاری با محیط زیست و رعایت اصول ساخت و ساز پایدار، دوام و پایداری سازه و افزایش عمر مفید ساختمان می‌باشد [۵].

تحقیقات جدید در خصوص رفتار لرزه‌ای سازه‌های ال‌اس‌اف نشان می‌دهد که استفاده از این سازه‌ها در مناطق با لرزه‌خیزی شدید، موجب بهبود رفتار لرزه‌ای می‌شود [۶].

۲-۴- معایب سیستم LSF

سیستم ال‌اس‌اف دارای معایبی هم‌چون مقاومت پایین در برابر آتش‌سوزی هسته عایق دیوار [۷]، پیچیدگی مدل‌سازی عملکرد حرارتی به دلیل وجود چندین نوع مصالح [۸]، ضعف در مقابل باد شدید، کمبود نیروی اجرایی متخصص، خطر ایجاد صدا در زمان انبساط و انقباض سازه، ناشناخته‌بودن رفتار سازه‌ای سیستم در کشور، قیمت بالاتر نسبت به مصالح سنتی در کشورهایی که هنوز این سیستم رواج پیدا نکرده و محدودیت ارتفاع می‌باشد [۹].

۳- شناسایی ریسک در سازه‌های ال‌اس‌اف

در تمامی صنایع، خطرها یا عوامل ریسکی وجود دارند که عواملی هم‌چون دانش قبلی، مهارت‌ها و تجربه‌ی فردی، می‌توانند در تشخیص چنین خطرهایی کمک کنند. با توجه به اینکه اطلاعات از چه راهی جمع‌آوری شده‌اند و چه طیفی از افراد در جمع‌آوری آن درگیر بوده‌اند، نتایج تغییر می‌کنند. اطلاعات مورد استفاده در فرآیند شناسایی ریسک ممکن است دربرگیرنده‌ی مواردی چون اطلاعات تاریخی، تجزیه و تحلیل تاریخی، نظرهای تیم پروژه و نگرانی‌های ذینفعان باشد [۱۰].

روش‌های مختلفی برای شناسایی ریسک وجود دارد. از بین روش‌های موجود، روش مصاحبه برای این پژوهش به‌کار گرفته‌شد. سایر تکنیک‌ها به دلایلی هم‌چون عدم وجود تیم مدیریت پروژه، عدم نیاز به اتفاق نظر و عدم نیاز به مخفی ماندن اطلاعات شخص مصاحبه-شونده به‌کار گرفته‌نشد. هم‌چنین برای پروژه‌های ساخت و پروژه‌های دارای عدم‌قطعیت، مانند سازه‌های نوین که اطلاعات کافی در مورد آن‌ها وجود ندارد، کارآیی روش مصاحبه مورد تأیید قرارگرفته است [۱۲،۱۱].

در این پروژه‌ها سعی شده‌است فرد یا افرادی مورد مصاحبه واقع شوند که بیشترین درگیری را با سازه‌های اجراشده دارا باشند؛ به‌عنوان مثال در پروژه‌های نوسازی مدارس یکی از افرادی که کمک بسیاری در جمع‌آوری اطلاعات می‌نماید، مستخدم(فراش) مدرسه می باشد؛ زیرا در طول دوره‌ی بهره‌برداری از سازه، به تمامی نکات مثبت و منفی آن رسیده‌است. هم‌چنین برای بررسی ریسک در مرحله‌ی اجرا، سرپرست اجرایی حاضر در محل اجرای پروژه، می‌تواند کمک بیشتری از مهندس اجرایی هماهنگ کننده مستقر در دفتر مرکزی یا مدیرعامل شرکت، بنماید [۱۰].

معمولاً در ایران سازه‌های ال‌اس‌اف در مقیاس کلان اجرا نمی‌شوند. به عنوان مثال در شهر مشهد و حومه تنها دو پروژه‌ی انبوه‌سازی در بینالود و قرقی به روش ال‌اس‌اف اجرا شده‌است و سایر پروژه‌ها معمولاً دارای زیربنای قابل‌توجهی نمی‌باشند. به همین‌سبب در این پژوهش برای افزایش دقت و اعتبار داده‌ها، سعی شده‌است موارد مطالعه افزایش یابد. این بدان معنی است که اگر چه هر پروژه زیربنای قابل‌توجهی ندارد، اما مجموع زیربنای بررسی‌شده، قابل‌اعتماد است. در مجموع در این پژوهش ۵۶ پروژه مورد بررسی قرارگرفت که مجموعاً دارای زیربنای ۷۹۵۰ مترمربع می‌باشند.

بسیاری از پروژه‌ها از نظر شناسایی ریسک مشابه‌به‌هم می‌باشند. در این پژوهش سعی شد پروژه‌های انتخابی انواع مختلف را شامل گردد. به‌عنوان مثال پروژه‌های نوسازی مدارس در سطح شهر مشهد بیش از ۵ پروژه می‌باشد که در اینجا فقط ۳ پروژه مورد بررسی قرار گرفت.

پروژه‌های موردمطالعه در این پژوهش شامل طبقه‌بندی زیر می‌باشند؛ ساختمان‌های مسکونی، ویلایی، اضافه طبقات، مدارس، اداری، تجاری، فست‌فود، سازه‌های صنعتی و دیوارهای غیرباربر ال‌اس‌اف. تمامی پروژه‌های بررسی‌شده، در شهر مشهد مقدس اجرا شده‌اند یا در آینده اجرا خواهندشد. در تمامی پروژه‌های فوق با طراحان، مجریان و کارفرمایان به صورت حضوری مصاحبه انجام شد.

تعداد افراد مصاحبه‌شونده‌ی این پژوهش، ۷۲ نفر بوده‌است که بر اساس سمت اجرایی، سابقه‌کار و تحصیلات امتیازبندی شده‌اند. در مجموع این افراد ۰،۵۸ کل امتیازها را بدست آورده‌اند که نشان‌دهنده اعتبار نسبی جایگاه افراد مصاحبه‌شونده می‌باشد.

در مجموع پس از پایان فرآیند مصاحبه و جمع‌آوری اطلاعات و با توجه به مصاحبه‌های انجام‌شده، ریسک‌های برجسته و مؤثر استخراج شد. تعدادی از ریسک‌ها، در چندین پروژه مشاهده شده‌اند که از تکرار آن‌ها صرف‌نظر شد. به منظور کاهش حجم این پژوهش، سعی شده‌است فقط موارد مهم‌تر به همراه تصویر تشریح شوند. پس از بیان هر ریسک راه‌کار اجرایی رفع آن نیز، با توجه به نظرات افراد خبره و متخصص ارائه شده‌است.

۳-۱- ریسک‌های شناسایی‌شده و ارائه راه‌کار آن‌ها

۳-۱-۱- عدم پیش‌بینی لوله‌کشی گاز

در چند مورد از پروژه‌ها پیش بینی لوله‌کشی گاز در ساختمان نشده‌بود و فقط برای پکیج گاز برده شده‌بود. این امر در صورت خراب‌شدن پکیج در زمستان، می‌تواند مشکل‌زا باشد. یکی از دلایلی که می‌توان برای این مطلب ذکر نمود، وجود پشم‌شیشه در دیوارها می‌باشد که احتمال بروز آتش‌سوزی و یا تشدید آن را در ذهن طراح تداعی می‌کند. در محل‌های وجود بخاری و لوله‌ی گاز می‌توان از عایق‌های ضد آتش استفاده نمود [۱۳].

۳-۱-۲- عدم پیش‌بینی کولر آبی و گازی

از مشکلاتی که در یکی از پروژه‌های نوسازی مدارس مشاهده شد، عدم پیش‌بینی سیستم سرمایشی بود؛ به این معنی که لوله‌کشی کولرگازی و کانال‌کشی کولر آبی انجام نشده‌بود. از این رو طراح می‌بایست در دیوارها، محلی را برای عبور کانال‌ها در نظر بگیرد.

۳-۱-۳- اشکال در طراحی فلاشینگ‌ها

فلاشینگ‌ها کانال‌های انتقال آب باران در سازه‌های ال‌اس‌اف می‌باشند. در سقف‌های شیب‌دار آب باران به این کانال‌ها هدایت می‌شود و توسط کف‌شورها به چاه منتقل می‌شوند. طراحی این کانال‌ها می‌بایست بر مبنای حداکثر دبی باران باشد. در یکی از پروژه‌ها مشاهده شد که به دلیل بارندگی شدید آب از کانال‌ها بیرون زده‌بود و سبب تغییر شکل کانال و هم‌چنین کثیف‌نمودن نما شده‌بود. در شکل ۱ این مورد نشان داده‌شده‌است.

شکل۱: تغییر شکل فلاشینگ.

۳-۱-۴- مشکل سرمایش در واحدهای بزرگ

یکی از مشکلات فضاهای بزرگ در معرض رفت‌وآمد، تأمین سرمایش و گرمایش آن‌هاست. در یکی از پروژه‌ها که به منظور فضای اضافه‌طبقه با کاربری رستوران به مساحت ۶۰۰ مترمربع ایجاد شده‌بود، سیستم سرمایش جواب‌گوی فضا نبود. اگرچه دیوارهای ال‌اس‌اف دارای هسته‌ی عایق می‌باشد ولی در طراحی سیستم سرمایش و گرمایش می‌بایست به رطوبت محیط، حداقل و حداکثر دما و شرایط جوی توجه نمود. در این‌گونه واحدها می‌بایست عایق‌های کف و سقف ساختمان به‌درستی اجرا شوند و از سیستم کولر آبی و گازی با توجه به فصول مختلف استفاده شود.

۳-۱-۵- پشتوانه‌ی علمی ناکافی آئین‌نامه‌های طراحی

آئین‌نامه‌ی سازه‌های ال‌اس‌اف در مقایسه با آئین‌نامه‌ی سازه‌های بتنی و فولادی، پشتوانه‌ی علمی کمتری دارند که این امر باعث عدم‌اعتماد کمتری در طراح می‌شود. عملکرد سازه‌های بتنی و فولادی در طی سالیان زیاد، مورد بحث قرار گرفته‌است. هم‌چنین رفتار این سازه‌ها در پدیده‌های طبیعی مانند زلزله، طوفان و سیل مشاهده شده‌است و برمبنای این مشاهدات و آزمایش‌ها آئین‌نامه‌های طراحی آن‌ها به‌روزرسانی شده‌اند. از آن‌جایی که سازه‌های ال‌اس‌اف در مقایسه با سازه‌های بتنی و فولادی نوظهور محسوب می‌شوند، آئین‌نامه‌های طراحی آن‌ها نیز در مقایسه با آن‌ها ناقص محسوب می‌شوند. با این وجود کارهای پژوهشی قابل توجهی در دنیا بر روی عملکرد این سازه‌ها از نظر لرزه‌ای، حرارتی، صوتی و بارگذاری در حال انجام می‌باشد که نویدبخش نتایج خوبی در آینده خواهدبود.

در حال حاضر در کشور ما نشریه ۶۱۲ و ۶۱۳ مرکزتحقیقات مسکن از مراجع اصلی طراحی سازه‌های ال‌اس‌اف می‌باشند. هم‌چنین به تازگی کتاب "دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم ساختمانی سبک فولادی" توسط کمیته‌ی تدوین آئین نامه ی ۶۱۲ و ۶۱۳ چاپ شده‌است.

۳-۱-۶- محدودیت در طراحی ساختمان با طبقات بالا، بادبندها و دستک‌ها

مطابق آئین‌نامه‌های سازه‌های ال‌اس‌اف، در طراحی تعداد طبقات زیاد، محدودیت وجود دارد. هم‌چنین به دلیل ساختار دیواربابر، در اجرای بادبند و دستک در عرض‌های بالای یک متر نیز محدودیت وجود دارد. یکی از راه‌کارهای ارائه‌شده برای افزایش تعداد طبقات استفاده از دیواربرشی می‌باشد [۱،۳،۴]. این محدودیت‌ها سبب ایجاد مشکلاتی برای طراحان سازه می‌گردد که توضیح بیشتر آن‌ها به این بحث مرتبط نمی‌باشد.

۳-۱-۷- در نظر گرفتن اتصالات پیچ و مهره به صورت مفصلی

در طراحی سازه‌های ال‌اس‌اف اتصالات پیچ و مهره‌ای به صورت مفصلی مدل می‌شوند که با معیارهای اتصالات پیچ و مهره‌ای مفصلی سازه‌های فولادی مغایرت‌هایی دارند. البته اهمیت این مسئله و درجه بحرانی‌بودن آن برای متخصصین هنوز مشخص نیست [۴].

۳-۱-۸- اجرای غلط کانال انتقال آب و شکستن آن در هنگام برف سنگین

در یکی از مدارس کانال انتقال آب به صورت روی‌کار، اجرا شده‌بود که در اثر برف سنگین این کانال تخریب شد. علت این امر ضعیف‌بودن اتصالات ذکر شده‌است.

۳-۱-۹- اجرای غلط شیب کانال انتقال آب

در پروژه‌ای دیگر کانال انتقال آب با شیب مناسب اجرا نشده‌بود و که سبب جمع‌شدن آب در کانال در هنگام بارندگی شدید، می‌شد.

۳-۱-۱۰- خطر آتش‌سوزی هسته‌ی عایق

تا قبل از اینکه پوشش نهایی دیوار اعم از گچ برگ، گچ پاششی، سیمان پاششی و سایر پوشش‌ها بر روی سازه‌های ال‌اس‌اف اجراگردد، به دلیل قابل‌اشتعال‌بودن مواد عایق هسته‌ی دیوار از قبیل پشم‌شیشه، پشم‌سنگ، فوم پلی‌استایرن و فوم پلی‌اورتان پاششی، احتمال بروز آتش‌سوزی وجود دارد. استفاده از مواد کندسوز و دارای استاندارد می‌تواند خطر بروز آتش‌سوزی را کاهش دهد.

۳-۱-۱۱- اجرای ناهماهنگ سرامیک چسبی

اجرای سرامیک برروی گچ‌برگ‌ها به صورت چسبی می‌باشد و به دلیل سخت‌تربودن اجرای چسبی نسبت به ملاتی ممکن است اشکالاتی در اجرا به‌وجودآید. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده‌شده‌است، در یکی از پروژه‌های نوسازی مدارس، جلوعقب‌بودن سرامیک‌ها مشاهده می‌شد. استفاده از دیوارپوش‌های طرح سرامیک و هم‌چنین به‌کارگیری نیروی اجرایی مجرب می‌تواند مفید باشد.

شکل۲ : اجرای ناهماهنگ سرامیک چسبی.

۳-۱-۱۲- اشکال در اجرای فلاشینگ

در بعضی از پروژه‌ها کانال‌های فلاشینگ اجراشده، دارای اعوجاج می‌باشند. به دلیل انبساط و انقباض شدید این کانال‌ها، می‌بایست آن‌ها را شاسی‌کشی نمود تا این اعوجاج‌ها به حداقل برسد. هم‌چنین در برخی موارد، تعداد پیچ‌های به کار رفته در اجرای کانال کافی‌نبود.

۳-۱-۱۳- عدم ثبات شغلی نیروهای اجرایی

به‌علت اینکه تعداد پروژه‌های ال‌اس‌اف زیاد نمی‌باشد نیروهای متخصص این رشته زیاد نمی‌باشند و همان نیروهای اندک نیز همیشه دارای کار نیستند. آن‌ها در صورت نبود پروژه‌ی اجرایی رو به کارهای دیگر می‌آورند که این امر هم سبب تضعیف روحیه آن‌ها و هم فراموش‌کردن تخصص خود به مرور زمان می‌شود. به علاوه اگر آن‌ها به کار اجرایی دیگری در حوزه‌ی ساختمان مشغول شوند در صورت فراهم‌شدن موردی کار اجرای ال‌اس‌اف ، به دلیل اینکه به کار دیگری مشغول هستند، نمی‌توانند به اجرای ال‌اس‌اف بپردازند که ممکن است پروژه‌ی ال‌اس‌اف نیز از دست برود.

۳-۱-۱۴- عدم رتبه‌بندی پیمان‌کاران اجرایی

پیمان‌کاران اجرایی در پروژه‌های حوزه‌های مختلف دارای رتبه‌بندی(گرید) می‌باشند که با توجه به آن رتبه، صلاحیت آن‌ها برای پروژه‌ها مشخص می‌شود. پیمان‌کاران مجری ال‌اس‌اف دارای رتبه‌بندی نیستند که این امر می‌تواند در تشخیص پیمان‌کار دارای صلاحیت لازم، مشکلاتی را ایجاد نماید.

۳-۱-۱۵- عدم وجود نظارت تخصصی

برای پروژه‌های ال‌اس‌اف ، ناظران تخصصی در نظر گرفته نمی‌شود و مهندسان عمران با پروانه‌ی نظارت، این سازه‌ها را نیز کنترل می‌کنند. به دلیل جدیدبودن این سازه‌ها معمولاً مهندسان اطلاعات کافی در این زمینه‌ها ندارند که می‌تواند سبب بروز مشکل گردد. می‌توان برای کنترل نظارت‌ها کمیته تخصصی در نظام مهندسی تشکیل گردد.

۳-۱-۱۶- عدم احساس استقامت سازه‌ها(از نظر روانی)

یکی از مهم‌ترین مواردی که در پروژه‌های نوسازی مدارس به آن اشاره شد، عدم استقامت دیوارهای ال‌اس‌اف بود؛ علت اصلی این امر را می‌توان در مواردی هم‌چون خالی‌بودن فضای بین دیوارها و نصب گچ‌برگ‌ها که موجب تولید صدا در دیوارها می‌شود، تحرک زیاد دانش‌آموزان و هم‌چنین باور سنتی مردم جستجو کرد. برای حل این موضوع می‌توان گچ‌برگ‌ها را به‌صورت دوبل یا سوبل اجرا نمود.

۳-۱-۱۷- عدم وجود راه‌پله به پشت‌بام

به دلیل اجرای سقف شیب‌دار، در بسیاری از موارد راه دسترسی به پشت‌بام تعبیه نمی‌شود. این امر در بعضی از پروژه‌ها مشکلاتی برای نصب کولرهای آبی و هم‌چنین دسترسی برای برداشتن اشیایی که بر روی سقف می‌افتند(مانند توپ فوتبال) ایجاد می‌نماید. یکی از راه‌کارها اجرای پله از بیرون ساختمان(اکسپوز) می‌باشد. در شکل ۳ سقف شیب‌دار بدون راه دسترسی نشان داده‌شده‌است.

شکل۳ : اجرای سقف شیب‌دار و عدم تعبیه راه دسترسی.

۳-۱-۱۸- نصب اشیا سنگین بر روی دیوار

از مشکلات معمول سازه‌های ال‌اس‌اف، نصب اشیا سنگین می‌باشد. به عنوان مثال می‌توان به تخته سیاه، کولرگازی، تابلو اعلانات و تابلوفرش اشاره نمود. برای حل این مشکل راه‌کارهایی از جمله استفاده از پیچ‌های پروانه‌ای، دستک‌های پلاستیکی، تعیین محل استادها و راه‌کارهای مشابه توصیه می‌شود [۱۴،۱۵]. در شکل ۴ تخته‌سیاه مدرسه، نصب‌شده بر روی دیوار ال‌اس‌اف نشان داده‌شده‌است.

شکل۴ : نصب تخته‌سیاه مدرسه بر روی دیوار ال‌اس‌اف.

۳-۱-۱۹- اجرای سرامیک دیواری با چسب

به دلیل نصب گچ‌برگ برروی دیوارهای ال‌اس‌اف، کاشی، سرامیک و عایق‌های رطوبتی در این دیوارها به صورت چسبی اجرا می شود. اجرای چسبی در تمام دنیا مرسوم می‌باشد اما در ایران هنوز به صورت گسترده اجرا نمی‌شود. این باور وجود دارد که مقاومت چسب کمتر از ملات‌های سنتی می‌باشد.

۳-۱-۲۰- گرمای بیش از حد داخل ساختمان

از مشکلاتی که در یکی از مدارس مشاهده شد، گرمای زیاد داخل راهروها بود. علت این امر نبود سیستم سرمایشی در راه‌روها و هم‌چنین عایق‌بودن تمامی دیوارها می‌باشد که سبب می‌شود سرما از داخل کلاس‌ها به راه‌روها ورود پیدا نکند. می‌توان دیوارهایی را که با محیط بیرون در ارتباط نیستند را بدون عایق اجرا نمود.

۳-۱-۲۱- شکستن گچ‌برگ‌ها در اثر برخورد دانش‌آموزان با دیوار

از مشکلاتی که در یکی از مدارس مشاهده شد، شکسته‌شدن قسمتی از دیوار در اثر برخورد دانش‌آموزان با آن‌ها بود که در شکل ۵ نشان داده‌شده‌است. علت این امر ضعف مقاومتی گچ‌برگ و خالی‌بودن بین دیوارها می‌باشد. علاوه بر راه‌کارهای ریسک شماره ۱۶، اجرای سرامیک تا ارتفاع بیشتر و یا استفاده از سازه اضافه در پشت گچ‌برگ، کارساز می‌باشد.

شکل۵ : شکسته‌شدن گچ‌برگ‌ها در اثر برخورد افراد.

۳-۱-۲۲- سفت‌شدن پنجره‌ها به مرور زمان

در سازه‌های ال‌اس‌اف در صورتی که پنجره‌های یو پی وی سی[6] بر روی استادها پیچ شوند و از فریم آهنی برای آن‌ها استفاده نشود، به مرور زمان احتمال سفت‌شدن آن‌ها وجود دارد. در یکی ازمدارس که سه سال از بهره‌برداری آن می‌گذشت، مشاهده شد که بعضی از پنجره‌ها باز نمی‌شوند. علت این امر نصب پنجره‌ها بر روی استادها می‌باشد. از آن جایی که استادها انبساط و انقباض زیادی از خود نشان‌می‌دهند بر روی پنجره‌ها اثر می‌گذارند. برای حل این مشکل می‌توان همانند ساختمان‌های دیگر برای پنجره‌ها فریم آهنی یا استاد دوبل پیش‌بینی نمود.

۳-۱-۲۳- اشکال در عایق‌بندی نماهای خشک

برای نمای سازه‌های ال‌اس‌اف معمولاً از نماهای خشک استفاده می‌شود. جنس این نماها معمولا صفحات سیمانی (سمنت‌بورد[7]) یا چوب می‌باشد. این محصولات به وسیله‌ی پوشش عایقی که بر روی آن‌ها اجرا می‌شود در برابر رطوبت، عایق می‌شوند. اگرچه این پوشش سطح محصولات را عایق می‌کند ولی درزهای آن‌ها در برابر باران‌های شدید آسیب‌پذیر است. یکی از مشکلات مشاهده‌شده مطابق شکل ۶،

6 UPVC = Unplasticized Poly Vinyl Chloride
7 Cement Board

باد کردن سمنت‌بوردها بود که نمای ساختمان را به شدت زشت نشان‌می‌داد. علت این امر نفوذ آب باران از بین درزهای سمنت‌بوردها می‌باشد. برای حل این مشکل می‌توان از سقف‌های متحرک در هنگام باران استفاده نمود.

شکل۶ : بادکردن نمای خشک در اثر نفوذ آب.

۳-۱-۲۴- تخریب‌پذیری نمای خشک

همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده‌شده‌است در یکی از پروژه‌های نوسازی مدارس، دانش‌آموزان با پرتاب نارنجک و موادمنفجره به سمت سمنت‌بوردها، سبب تخریب آن‌ها شده‌بودند. این پدیده را نیز می‌توان یکی از ضعف‌های اجرای نمای خشک تلقی نمود.

شکل۷ : تخریب نمای خشک در اثر برخورد موادمنفجره.

۳-۱-۲۵- صدادادن دیوارها

در سازه‌های ال‌اس‌اف به دلیل وجود فضای خالی در داخل دیوارها و استفاده از گچ‌برگ، دیوارها دارای صدا هستند و با برخورد دست به آن‌ها، صدا تولید می‌شود که آزاردهنده می‌باشد. در یکی از پروژه‌های مسکونی که دو واحد در یک طبقه ساخته شده‌بود، در صورت

برخورد با دیوارهای مشترک بین واحدها، صدا در واحد دیگر نیز ایجاد می‌شد که یک امتیاز منفی محسوب می‌شود. یکی از راه‌کارهای حل این مشکل اجرای دو دیوار در بین واحدها می‌باشد.

۳-۱-۲۶- عایق صوتی دیوارها

اگرچه در سازه‌های ال‌اس‌اف از هسته‌ی عایق پشم‌شیشه، پشم‌سنگ، فوم پلی‌استایرن و یا پلی‌اورتان استفاده می‌شود اما در بعضی از پروژه‌ها نارضایتی از عایق صوتی دیوارها مشاهده می‌شد. مطابق شکل ۸ که از مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان استخراج شده‌اشت، می‌توان نتیجه‌گرفت که افزایش دانسیته و ضخامت عایق، تأثیر محسوسی در عایق صوتی دیوار ندارد بلکه ضخامت و جنس رویه‌ی دیوار اعم از گچ، سیمان، بتن و سایر مصالح مشابه در شاخص کاهش صدا موثر هستند [۱۶].

نوع دیوار دو جداره	ضخامت دیوار به سانتیمتر	شاخص کاهش صدای وزن یافته به دسی بل
جدار اول از صفحات گچی ۶ سانتیمتری لایه وسط از پشم سنگ ۲ سانتیمتری جدار دوم از صفحات گچی ۵ سانتیمتری	۱۳	۴۰
جدار اول از صفحات گچی ۶ سانتیمتری لایه وسط از پشم سنگ ۲ سانتیمتری جدار دوم از صفحات گچی ۱/۵سانتیمتری	۹/۵	۴۷
جدار اول از صفحات گچی ۶ سانتیمتری لایه وسط از پشم سنگ ۲ سانتیمتری جدار دوم از صفحات گچی ۲/۵ سانتیمتری	۱۰/۵	۴۸
جدار اول از صفحات گچی ۸ سانتیمتری لایه وسط از پشم سنگ ۲ سانتیمتری جدار دوم از صفحات گچی ۴ سانتیمتری	۱۴	۵۰
جدار اول از صفحات گچی ۱۵ سانتیمتری لایه وسط از پشم سنگ ۲ سانتیمتری جدار دوم از صفحات گچی ۱/۲ سانتیمتری	۱۸/۲	۵۲

شکل۸ : شاخص کاهش صدا برای دیوارهای مختلف[۱۵].

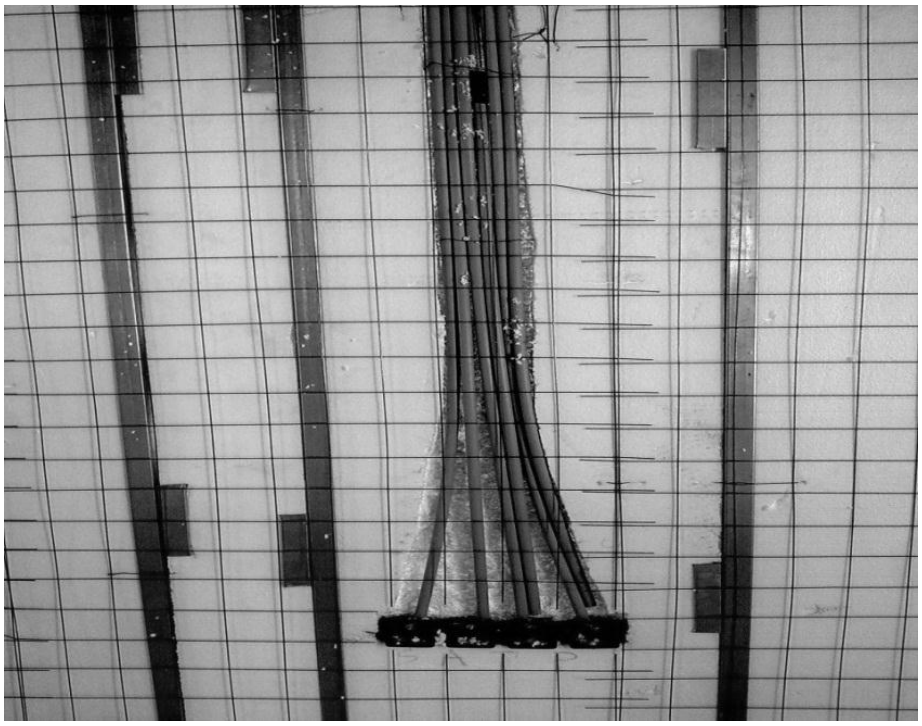
۳-۱-۲۷- آب‌بندی ضعیف پنجره‌ها

به دلیل استفاده از نمای خشک، معمولاً درزهای پنجره‌ها به طور کامل پوشانده نمی‌شود و در هنگام بارندگی‌های شدید مشکلاتی ایجاد می‌کند. در یکی از پروژه‌های اضافه‌طبقه که کاربری رستوران داشت این مشکل نمود پیدا می‌کرد. به دلیل اینکه تراس بزرگی برای این مجموعه پیش‌بینی شده‌بود، در هنگام باران شدید، آب به‌راحتی می‌توانست پشت پنجره‌ها جمع شود و چون نمای خشک در پشت پنجره‌ها کار شده‌بود و معمولاً این نماها دارای درزهایی هستند، آب باران از درز پنجره‌ها به درون سالن نفوذ می‌کرد. برای جلوگیری از آب‌دادن پنجره‌ها می‌بایست از مواد آب‌بند با کیفیت بالا استفاده شود. در شکل ۹ این مورد نشان داده‌شده‌است.

شکل ۹: وجود درز در نمای خشک.

۳-۱-۲۸- ترک‌خوردن دیوار در محل لوله‌های برق

درصورتی که برای دیوارها از شبکه‌ی مش و سیمان‌پاششی (شات‌کریت) استفاده شود، می‌بایست مش، روی لوله‌های برق را بپوشاند. در بعضی موارد ابتدا مش و شات انجام می‌شود و سپس بر روی دیوار شیارزنی صورت‌گرفته و لوله‌های تأسیسات کارگذاری می‌شوند که به دلیل مسلح نبودن لوله‌ها، پس از گذشت چند ماه بر روی گچ دیوار، ترک مشاهده می‌شود. برای این منظور می‌بایست لوله‌های برق را قبل اجرای گچ‌برگ یا مش و شات اجرا نمود. در شکل ۱۰ مسلح‌شدن لوله‌های برق قبل از اجرای گچ بر روی دیوار نشان داده‌شده‌است.



شکل۱۰ : مسلح‌شدن لوله‌های برق جهت جلوگیری از ترک گچ.

۳-۱-۲۹- آسیب‌پذیری عایق رطوبتی در پروژه‌های اضافه‌طبقه

در پروژه‌های اضافه‌طبقه، رانرهای دیوارهای باربر بوسیله‌ی بولت به کف مهار می‌شوند. از آن جایی که معمولاً کف موجود، کف بام سازه بوده‌است، دارای عایق رطوبتی مانند ایزوگام یا قیرگونی می‌باشد، که در محل اتصال رانرها و بولت‌ها، این عایق آسیب می‌بیند. اگر عملیات اجرا در فصل بارندگی باشد از این محل‌ها احتمال نفوذ آب به طبقات پایین وجود دارد. لذا می‌بایست هر چه سریع‌تر اقدام به نصب سقف و پوشش، برای این قسمت‌ها نمود. در شکل ۱۱ تخریب عایق رطوبتی سقف طبقه‌ی آخر نشان داده‌شده‌است.

شکل۱۱ : تخریب عایق رطوبتی جهت اجرای اضافه‌طبقه.

۳-۲- جدول ریسک‌های شناسایی‌شده

همان‌طور که اشاره‌شد، ۲۹ ریسک معرفی‌شده، تمامی ریسک‌های بیان‌شده توسط افراد مصاحبه‌شونده نمی‌باشد؛ بلکه موارد خلاصه-شده و مهم‌تر می‌باشند. در جدول ۱ این ریسک‌ها به همراه مرحله‌ی اجرایی ریسک و راه‌کار ارائه‌شده توسط افراد خبره آورده شده‌است. این پاسخ‌ها می‌تواند در تصمیم‌گیری مدیران پروژه برای انتخاب سیستم بهینه و هم‌چنین برای مهندسان اجرایی در جهت ارائه راه‌کار مناسب برای جلوگیری از وقوع این خطرات موثر باشد.

۳-۳- طبقه‌بندی ریسک‌های شناسایی‌شده از نظر مرحله‌ی اجرایی پروژه

از ۲۹ ریسک شناسایی‌شده در این پژوهش می‌توان ۷ ریسک را مربوط به مرحله‌ی طراحی، ۸ ریسک را مربوط به مرحله‌ی اجرا و ۱۴ ریسک را مربوط به مرحله‌ی بهره‌برداری درنظر گرفت. درنتیجه ۲۴,۱ درصد ریسک‌ها مربوط به دوره‌ی طراحی، ۲۷,۶ ریسک‌ها مربوط به اجرا و ۴۸,۳ درصد مربوط به دوره‌ی بهره‌برداری می‌باشند. در جدول ۲ طبقه‌بندی ریسک‌های شناسایی‌شده، برحسب مرحله‌ی اجرایی مشخص شده‌است.

جدول۱: جدول ریسک‌های شناسایی‌شده

ردیف	ریسک	محدوده	پاسخ
۱	عدم پیش‌بینی لوله‌کشی گاز	طراحی	استفاده از عایق‌های ضد آتش
۲	عدم پیش‌بینی کولر آبی و گازی	طراحی	-
۳	اشکال در طراحی فلاشینگ‌ها	طراحی	محاسبه‌ی دقیق دبی آب کانال و اتصالات کانال
۴	مشکل سرمایش در واحدهای بزرگ	طراحی	استفاده از عایق‌های کف و سقف ساختمان - استفاده از سیستم کولر آبی و گازی برای فصول مختلف
۵	پشتوانه‌ی علمی ناکافی آئین نامه‌های طراحی	طراحی	-
۶	محدودیت در طراحی ساختمان با طبقات بالا، بادبندها و دستک‌ها	طراحی	استفاده از دیوار برشی در سازه
۷	در نظر گرفتن اتصالات پیچ و مهره به صورت مفصلی	طراحی	-
۸	اجرای غلط کانال انتقال آب و شکستن آن در هنگام برف سنگین	اجرا	محاسبه ی دقیق دبی آب کانال و اتصالات کانال
۹	اجرای غلط شیب کانال انتقال آب	اجرا	محاسبه‌ی دقیق دبی آب کانال و شیب کانال
۱۰	خطر آتش‌سوزی هسته‌ی عایق	اجرا	استفاده از مواد کندسوز
۱۱	اجرای ناهماهنگ سرامیک چسبی	اجرا	اجرای دیوارپوش طرح سرامیک - استفاده از نیروی اجرایی مجرب
۱۲	اشکال در اجرای فلاشینگ	اجرا	شاسی‌کشی و استفاده از پیچ‌های کافی برای اجرا
۱۳	عدم ثبات شغلی نیروهای اجرایی	اجرا	-
۱۴	عدم رتبه‌بندی پیمان‌کاران اجرایی	اجرا	-
۱۵	عدم وجود نظارت تخصصی	اجرا	تشکیل کمیته نظارت تخصصی
۱۶	عدم احساس استقامت سازه‌ها(روانی)	بهره‌برداری	استفاده از گچ‌برگ دوبل و سوبل
۱۷	عدم وجود راه‌پله به پشت‌بام	بهره‌برداری	پیش‌بینی پله‌ی اکسپوز
۱۸	نصب اشیا سنگین بر روی دیوارها	بهره‌برداری	استفاده از بست‌های پروانه‌ای - تهیه نقشه‌های دیوار در محل استادها
۱۹	اجرای سرامیک دیواری با چسب	بهره‌برداری	اجرای دیوارپوش طرح سرامیک - استفاده از نیروی اجرایی مجرب
۲۰	گرمای بیش از حد داخل ساختمان	بهره‌برداری	اجرای دیوارهای داخلی بدون عایق
۲۱	شکستن گچ‌برگ‌ها در اثر برخورد دانش‌آموزان با دیوار	بهره‌برداری	استفاده از گچ‌برگ دوبل و سوبل - استفاده از سازه دوبل - اجرای سرامیک تا ارتفاع بیش‌تر
۲۲	سفت‌شدن پنجره‌ها به مرور زمان	بهره‌برداری	استفاده از استاد دوبل یا فریم آهنی در محل پنجره‌ها
۲۳	اشکال در عایق‌بندی نماهای خشک	بهره‌برداری	ایجاد سقف متحرک برای نما
۲۴	تخریب‌پذیری نمای خشک	بهره‌برداری	-
۲۵	صدا دادن دیوارها	بهره‌برداری	استفاده از گچ‌برگ دوبل و سوبل - استفاده از پلی‌اورتان پاششی
۲۶	عایق صوتی دیوارها	بهره‌برداری	اجرای دو دیوار
۲۷	آب‌بندی ضعیف پنجره‌ها	بهره‌برداری	استفاده از مواد آب‌بندی با کیفیت بالا
۲۸	ترک خوردن دیوار در محل لوله‌های برق	بهره‌برداری	رد کردن لوله‌های برق قبل از نصب گچ برگ
۲۹	آسیب‌پذیری عایق رطوبتی در پروژه‌های اضافه‌طبقه	بهره‌برداری	اجرای سریع پروژه پس از تخریب و ترمیم سریع محل

جدول ۲ : طبقه بندی ریسک‌های شناسایی‌شده

ردیف	تعداد کل ریسک‌ها	ریسک‌های طراحی	ریسک‌های اجرا	ریسک‌های بهره‌برداری
تعداد	۲۹	۷	۸	۱۴
درصد	۱۰۰	۲۴,۱	۲۷,۶	۴۸,۳

۴- نتیجه‌گیری

علی‌رغم این‌که سازه‌های ال‌اس‌اف در دهه‌ی گذشته در کشور ما رشد نسبتاً چشم‌گیری داشته‌است، از لحاظ اجرایی و فنی مطالعات قابل قبولی در این زمینه چه در کشور ما و چه در خارج از کشور انجام نشده‌است. بیشتر پژوهش‌ها در این زمینه، ال‌اس‌اف را از نظر سازه‌ای و هم‌چنین در مقایسه با سازه‌های سنتی بررسی کرده‌است [۴،۶،۷،۸]. ولی در زمینه‌ی شناسایی ریسک در سازه‌های ال‌اس‌اف پژوهش خاصی

صورت نگرفته‌بود. به‌همین‌سبب در این پژوهش سازه‌های ال‌اس‌اف را از مرحله‌ی طراحی، اجرا تا بهره‌برداری بررسی شد و ریسک‌های آن‌ها شناسایی گردید و با توجه به نظر افراد خبره برای آن‌ها راه‌کار ارائه شد.

این پژوهش نشان‌داد که ۲۴,۱ درصد ریسک‌ها مربوط به دوره‌ی طراحی، ۲۷,۶ ریسک‌ها مربوط به اجرا و ۴۸,۳ درصد مربوط به دوره‌ی بهره‌برداری می‌باشند. پاسخ‌ها و راه‌کارهای اجرایی مربوط به هر ریسک، مطابق نظر افراد خبره برای هر ریسک بیان شده‌است.

هم چنین این پژوهش می‌تواند در تصمیم‌گیری مدیران پروژه برای انتخاب سیستم اجرایی پروژه و برای مهندسان اجرایی جهت پیش‌بینی ریسک‌های احتمالی مؤثر واقع‌شود.

مراجع

[۱] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. (۱۳۹۱). آیین نامه طراحی و اجرای سازه‌های فولادی سرد نورد(بخش سازه). نشریه شماره۶۱۲.

[2] Mahdavinejad, M. Hajian, M. Doroodgar A. (2011). Role of LSF technology in economic housing for urban Sustainability; case of Iran. Procedia Engineering, Vol 21, Pages (2-7).

[۳] کمیته ی تدوین آیین نامه ی ۶۱۲ و ۶۱۳ سازمان نظام فنی و اجرایی کشور، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. (۱۳۹۳). دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم ساختمانی سبک فولادی. انتشارات دانشگاه شیراز.

[4] Ubejd Mujagic, J. R. Dolan, J. Daniel. Chukwuma G. Ekwueme. Fanella, David . LaBoube, Roger A. (2012). Structural Design of Low-Rise Buildings in Cold-Formed Steel, Reinforced Masonry, and Structural Timber. McGraw-Hill Education. ISBN 978-0-07-176792-7. Page(121-143).

[5] Canadian Sheet Steel Building Inistitute. (2002). Light Steel Framing Architectural Design Guide. Canadian Sheet Steel Building Inistitute. ISBN 1-895535-33-6.

[6] Gerami, M. Lotfi, M.Nejat R. (2015). Inelastic behavior of cold-formed braced walls under monotonic and cyclic loading. International Journal of Advanced Structural Engineering (IJASE), Vol 7, Issue 2, Pages(181-209).

[7] Ariyanayagam,A,D. Mahendran,M. (2014). Numerical modeling of load bearing light gauge steel frame wall systems exposed to realistic design fires. Thin-Walled Structures, Vol 8, Pages(148-170).

[8] Angelis,E. Serra, E. (2014). Light steel-frame walls: thermal insulation performances and thermal bridges. Energy Procedia, Vol 45, Pages(362-371).

[9] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. (۱۳۹۲). آیین نامه طراحی و اجرای سازه‌های فولادی سرد نورد(بخش غیرسازه). نشریه شماره۶۱۳.

[10] Jeynes, J. (2011). Risk Management: 10 Principles. New York: Routledge, Page(13-47).

[11] Ahmadi, M. Behzadian, K. Ardeshir,A.Kapelan, Z. (2015). Comprehensive risk management using fuzzy FMEA and MCDA techniques in highway construction projects. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT, Page(300-310).

[12] Rahman MM. Kumaraswamy MM. (2002). Risk management trends in the construction industry: moving towards joint risk management. Eng Construct Archit Manage, 9(2), Pages(131–51).

[۱۳] دفتر امور مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۲) مبحث سوم مقررات ملی ساختمان حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق. وزارت مسکن و شهرسازی.

[14] Ferguson, M,R. (2012). Drywall Professional techniques for great results. 4th Edition. Taunton Press Inc. Page (62-82).

[15] Ferguson, M,R. (2005). Drywall : Hanging and taping. 4th Edition. Taunton Press Inc. Page (73-102).

[۱۶] دفتر امور مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۲). مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان عایق بندی و تنظیم صدا. وزارت مسکن و شهرسازی.