نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۵، شماره ۲، سال ۱۳۹۷، صفحه ۲۰۳ تا ۲۱۸

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

یادداشت فنی: استفاده از دیوار متال‌فوم به‌منظور پاسخ به ریسک سازه‌های قاب فولادی سبک (ال‌اس‌اف)

علی یگانه[۱]، هاشم شریعتمدار[۲]*

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

چکیده

سیستم قاب سبک فولادی راکه به اختصار LSF[۱] (ال‌اس‌اف) می‌نامند، یک سیستم ساختمانی است، که برای اجرای ساختمان‌های عمدتاً کوتاه‌مرتبه و میان‌مرتبه (حداکثر تا ۵ طبقه) استفاده می‌شود. اگرچه این سیستم از مزایای قابل‌توجهی برخوردار می‌باشد، اما در ایران با استقبال زیادی مواجه نشده‌است. به‌همین‌سبب در این پژوهش سازه‌های ال‌اس‌اف از مرحله‌ی طراحی، اجرا تا بهره‌برداری بررسی‌می‌گردد و ریسک‌های آن‌ها به‌طور دقیق شناسایی و توسط روشی که بر پایه‌ی تکنیک FMEA[۲] و تئوری فازی استوار می‌باشد، ارزیابی می‌شوند و ایده‌ی جدیدی برای اجرای سازه‌های ال‌اس‌اف بیان می‌گردد که ضمن بهینه‌سازی زمان، هزینه و وزن سازخ، می‌تواند پاسخ دیگری به تعدادی از ریسک‌های شناسایی‌شده باشد. این ایده، سیستم دیوارهای متال‌فوم نام دارد که جزو سیستم‌های مورد تأیید مرکز تحقیقات، راه، مسکن و شهرسازی می‌باشد. در این پژوهش پس از معرفی این سیستم، به بررسی ترکیب این سیستم و سازه‌های ال‌اس‌اف پرداخته می‌شود و نتایج آن از نظر هزینه، زمان اجرا، وزن سازه و شرایط اجرایی تشریح می‌گردد. هم‌چنین نتایج مقایسه‌ی بین هزینه، زمان اجرا و وزن سازه توسط تحلیل سلسله مراتبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج این مقایسه امتیاز ۵۲ را برای ترکیب سیستم متال‌فوم و ال‌اس‌اف درمقابل امتیاز ۴۸ نسبت به سیستم معمول اجرایی سازه‌های ال‌اس‌اف نشان داد.

کلمات کلیدی: طیف انرژی، نسبت میرایی، شکل‌پذیری تغییرمکانی، انرژی ورودی نسبی، انرژی ورودی بر واحد جرم.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/jsce.2017.70853.1111 :doi
۱۳۹۵/۱۲/۱۶	۱۳۹۶/۰۳/۲۷	۱۳۹۶/۰۴/۱۰	۱۳۹۶/۰۴/۱۰	۱۳۹۷/۰۵/۳۰	http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017. 70853.1111

*نویسنده مسئول: هاشم شریعتمدار

پست الکترونیکی: shariatmadar@um.ac.ir

[1] Light Steel Frame
[2] failure modes and effects analysis

Technical note: Use of Metalfoam Wall to respond to Light Steel Frame (LSF) structures Risks

Ali Yeganeh[1], Hashem Shariatmadar[*2]

1- M.Sc. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Associated professor, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

ABSTRACT

Light Steel Frame System that is briefly called LSF is a building system which is used for implying of short-rise and mid-rise buildings (up to five floors). This system gets significant benefits, although in our country it is not much used. So in this article, are tryed to study LSF structures from the design and implementation stage to the operation one and identify its risks exactly and evaluate them with combination technique which used failure modes and effects analysis technique (FMEA) and fuzzy method. Then express new idea for implementation of LSF structures that optimizes time, cost and quality and can be respond of many Identified risks. This idea named Metalfom Walls that included in systems verificated BHRC. In this article are explained this system first, then combination of Metalfom and LSF system are discussioned. The result of this combonation in aspect of cost, time, weight of structure and conditions of implementation are explained. Comparison of results in aspect of cost, time and weight of structure by Analytic hierarchy process technique (AHP) are evaluated. Results of this evaluation show that combination of Metalfom system and Light Steel Frame System (LSF) earns 54 score and LSF system that implementated in common way earns 46 score.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Received: 06/03/2017
Revised: 17/06/2017
Accepted: 1/07/2017

Keywords:

LSF structures
Risk managment
Risk Identification
Metalfom Wall
Risk Responses

doi: 10.22065/jsce.2017. 70853.1111

*Corresponding author: Hashem Shariatmadar
Email address: Shariatmadar@um.ac.ir

۱- مقدمه

سیستم ساختمانی فولادی سبک سردنورد شده از جمله سیستم‌هایی است که گرچه پیدایش آن ریشه در دغدغه‌های زیست‌محیطی و به تبع 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 توسعه صنعتی‌سازی ساختمان در کشور، انجام پروژه‌های تک‌سازی و انبوه‌سازی با قطعات فولادی سبک سردنوردشده 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 تولید سریع باعث شده‌است که ساختمان‌های فولادی سبک سردنورد گزینه‌ای قابل‌اعتنا در صنعت ساختمان‌سازی کشور شود[۱]. با وجود مزایای فوق، استقبال از این سیستم ساختمانی در ایران قابل قبول نبوده‌است.

بیشتر پژوهش‌ها در این زمینه، ال‌اس‌اف را از نظر سازه‌ای و زیست‌محیطی و هم‌چنین مقایسه با سازه‌های سنتی بررسی کرده‌است. به‌عنوان مثال دوداس[۳] از جنبه‌ی زیست‌محیطی به این سازه‌ها توجه نمود. او سازه‌های ال‌اس‌اف را در سه مرحله‌ی تولید، استفاده و تخریب مورد بررسی زیست‌محیطی قرارداد و در نهایت نتیجه‌گرفت که این سازه‌ها برای محیط‌زیست مشکل‌ساز نمی‌باشند [۲]. فلاح[۴] به بررسی سازه‌های ال‌اس‌اف از منظر توسعه‌ی پایدار پرداخت و نشان داد که فولاد و مشتقات آن از این منظر گزینه‌ی بسیار مناسبی به‌حساب‌می‌آید [۳]. تروواسان[۵] و پیرس[۶] به مقایسه‌ی کاهش‌صدا در دیوارهای ال‌اس‌اف در کشور نیوزلند پرداختند. آن‌ها بر روی ۱۲ دیوار آزمایش کاهش‌صدا را انجام دادند و نتیجه را با جدول‌های موجود مقایسه نمودند. اختلاف قابل قبولی بین جداول و نتایج موجود، مشاهده‌نشد [۴]. مورتینو[۷] یک طرح کلی پلان معماری قابل‌اجرای سریع ، مدولار و بهینه ی انرژی را برای ساختمان‌های چندطبقه مسکونی ال‌اس‌اف ارائه‌داد. طرح او به‌گونه‌ای بود که فضاهای خالص، بهینه، قابل اجرا و شامل قطعات مدولار بودند [۵]. مهدوی نژاد[۸] و هم‌کاران به بررسی اقتصادی سازه‌های ال‌اس‌اف در ایران پرداختند. هدف آن‌ها پاسخ به این سؤال که، "آیا استفاده از سیستم ال‌اس‌اف هزینه‌های ساخت را کاهش می دهد؟"، بود. آن‌ها مطالعه موردی بر روی سازه‌هایی در شهرهای قم، کاشان، اصفهان و تهران انجام دادند. آن‌ها استفاده از سازه‌های ال‌اس‌اف را بسیار اقتصادی ارزیابی نمودند و برای کشورهای درحال‌توسعه مناسب دانستند [۶]. مهدوی نژاد و همکاران هم‌چنین به بررسی سازه‌های ال‌اس‌اف در شهر پرندایران پرداختند(مجتمع ۵۵۰ واحدی پرند). هدف آن‌ها علاوه بر معرفی سیستم تولید و اجرا، پیشنهاد مدل بهینه‌ای برای فرآیند ساخت و اجرا بود. آن‌ها به بیان نقاط ضعف و قوت سیستم پرداختند. نکات منفی سیستم شامل کمبود نیروی کار حرفه‌ای، عدم انطباق اندازه‌های نقشه‌های معماری با قطعات پیش‌ساخته، ضعف کارخانه در تولید قطعات به ابعاد و اشکال مختلف، می‌باشد [۷]. آریاناجام[۹] و هم کاران به بررسی مقاومت در برابر آتش، دیوارهای ال‌اس‌اف پرداختند. آن‌ها به روش اجزای محدود سازه را مدل نمودند و علاوه بر آن به آزمایش‌های واقعی نیز بر روی نمونه‌های ساخته‌شده انجام دادند. آن‌ها در پژوهش خود توانایی بالای روش اجزای محدود در مدل‌سازی عمل‌کرد سازه‌های ال‌اس‌اف در برابر حریق و هم‌چنین قابلیت بالای مقاومت در برابر حریق این سازه‌ها را تأیید کرند[۸]. آنجلیس[۱۰] و سرا[۱۱] به بررسی عملکرد حرارتی دیوارهای ال‌اس‌اف پرداختند. آن‌ها حالت‌های مختلف دیوار و هسته‌ی عایق را مدل‌سازی نمودند. به‌دلیل وجود چندین نوع مصالح در این دیوارها مدل‌سازی عملکرد حرارتی آن‌ها با مشکلاتی همراه است. آن‌ها برای بدست‌آوردن مقاومت حرارتی نمونه‌ها به دلیل پیچیدگی از روش‌های استاندارد ، استفاده نکردند و فرمول جدیدی را پیشنهاد کردند. روش آن‌ها برای استفاده در نرم‌افزارها نیز مناسب است [۹]. گرامی[۱۲] و هم‌کاران تحقیقات جدیدی در خصوص رفتار لرزه‌ای سازه‌های ال‌اس‌اف ارائه‌کردند که نشان‌داد استفاده از این سازه‌ها در مناطق با لرزه‌خیزی شدید، موجب بهبود رفتار لرزه‌ای می‌شود[۱۰]. اسماعیلی نیاری[۱۳] و هم‌کاران به بررسی رفتار برشی سازه‌های ال‌اس‌اف پرداختند. آن‌ها با آزمایش بر روی تعدادی ورق‌های برشی و ضخامت آن‌ها، بین روابط تئوری و آزمایشگاهی به مقایسه پرداختند[۱۱].

[3] DUDÁS
[4] Fallah
[5] Trevathan
[6] Pearse
[7] Murtinho
[8] Mahdavinejad
[9] Ariyanayagam
[10] Angelis
[11] Serra
[12] Gerami
[13] EsmaeiliNiari

پاول[14] و هم‌کاران به بررسی ضریب کاهش صدا در دیوارهای ال‌اس‌اف پرداختند. آن‌ها برای پوشش بیرونی دیوارها، مصالحی هم‌چون سمنت-برد، پانل‌های رزینی و پانل‌های پی‌وی‌سی[15] را آزمایش نمودند. هم‌چنین تأثیر استفاده از نواردرزگیر بین پانل‌ها و زیر رانرها را بررسی نمودند [۱۲].

با بررسی مطالعات صورت‌گرفته، سیستم ال‌اس‌اف دارای معایبی هم‌چون مقاومت پایین در برابر آتش‌سوزی هسته‌ی عایق دیوار [۸]، پیچیدگی مدل‌سازی عملکرد حرارتی به دلیل وجود چندین نوع مصالح [۹]، ضعف در مقابل باد شدید، کمبود نیروی اجرایی متخصص، خطر ایجاد صدا در زمان انبساط و انقباض سازه [۶]، ناشناخته‌بودن رفتار سازه‌ای سیستم در کشور [۵]، قیمت بالاتر نسبت به مصالح سنتی در کشورهایی که هنوز این سیستم رواج پیدا نکرده و محدودیت ارتفاع می‌باشد [۷].

هم‌چنین می‌توان نتیجه‌گرفت که در زمینه‌ی مدیریت ریسک در سازه‌های ال‌اس‌اف پژوهش خاصی صورت نگرفته‌است. به‌همین-سبب در این پژوهش به بررسی ریسک‌ها و راه‌کارهای آن‌ها در این سازه‌ها پرداخته می شود.

۲- معرفی مدل اجرای فرآیند مدیریت ریسک[۱۳]

۲-۱ روابط محاسباتی مدل

در این پژوهش از مدل مرجع [۱۳] استفاده می‌شود که بر پایه ی تئوری فازی و تکنیک FMEA[16] استوار است. در این مدل سه معیار هزینه، زمان و کیفیت دارای ارجحیت نسبی می‌باشند. ارزش این معیارها به صورت کیفی از طریق پرسش‌نامه توسط پاسخ‌دهندگان تعیین می‌گردد. سه شاخص wc، wq، wt به ترتیب ارجحیت نسبی هزینه، کیفیت و زمان می‌باشند.

پیامد هر ریسک بر هزینه، کیفیت و زمان به ترتیب با Cc، Cq و Ct مشخص و از طریق پرسش‌نامه‌ها از افراد سؤال می‌گردد. سپس با توجه به اطلاعات بدست‌آمده از پرسش‌نامه‌ها و محاسبات، دو شاخص RCN[17] و RF[18] به‌دست می‌آیند که شاخص اول مبنای اولویت‌بندی ریسک‌ها می باشد و شاخص دوم در فرآیند پاسخ به ریسک به کار می‌رود.

$$RCN = C * P * N \quad (1)$$

$$RF = (P + C) - (P * C) \quad (2)$$

برای هر ریسک به صورت جداگانه شاخص‌های RCN و RF محاسبه خواهندشد. برای محاسبه شاخص C که وزن نسبی اهمیت زمان، هزینه و کیفیت می‌باشد، ابتدا Cc، Ct و Cq با توجه به اطلاعات پرسش‌نامه‌ها محاسبه می‌گردند. سپس با اعمال شاخص‌های wc، wq و wt و هم چنین وزن متخصصین، مقدار C، مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$C = Cq * wq + Ct * wt + Cc * wc \quad (3)$$

شاخص P که نشان‌گر احتمال رخداد ریسک می‌باشد، به طور مستقیم از پرسش‌نامه‌ها استخراج می‌گردد. در آخر نیز شاخص CN[19] یا عددکنترل ریسک با توجه به اطلاعات پرسش‌نامه‌ها محاسبه می‌شود. تأثیر این شاخص، عکس سایر شاخص‌ها محاسبه می‌گردد؛ زیرا هرچه میزان کنترل یک ریسک بالاتر باشد، شدت تأثیر آن کمتر می‌شود.

[14] Paul
[15] PVC
[16] failure modes and effects analysis
[17] Risk Critical Number
[18] Risk Factor
[19] Control number

۲-۲ شناسایی ریسک

روش‌های مختلفی برای شناسایی ریسک از جمله مصاحبه، طوفان فکری، آنالیز درخت تصمیم و روش‌های دیگر وجود دارد. از بین روش‌های اشاره‌شده روش مصاحبه و پرسش‌نامه برای این پژوهش کار گرفته شد. سایر تکنیک‌ها به دلایلی هم‌چون عدم وجود تیم مدیریت پروژه، عدم نیاز به اتفاق نظر و عدم نیاز به مخفی ماندن اطلاعات شخص مصاحبه‌شونده به کار گرفته نشد [۱۳،۱۴،۱۵]. پس از شناسایی ریسک‌ها توسط مصاحبه، شاخص‌های محاسباتی مدل که در بخش ۲-۱ معرفی شدند، از طریق پرسش‌نامه از افراد مورد مصاحبه، سؤال می‌شود.

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.

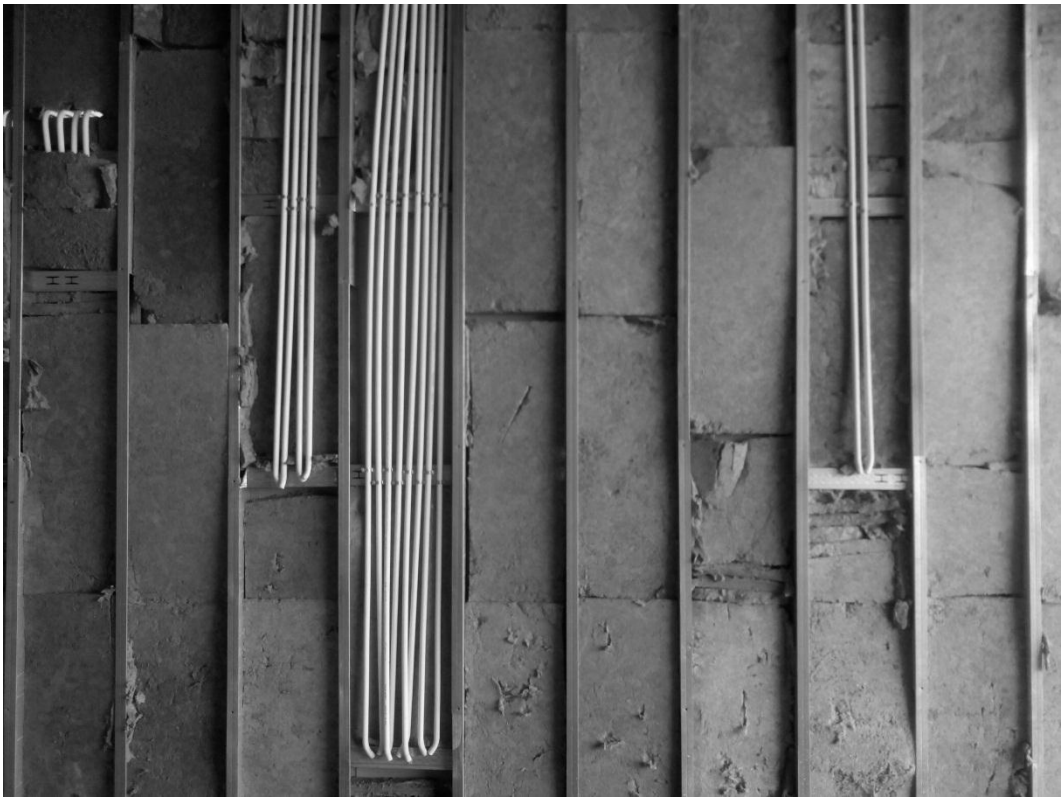
لیست ریسک‌های شناسایی‌شده، به‌همراه شاخص‌های محاسباتی مدل در جدول ۱ آمده است. مرتب‌سازی جدول برمبنای شاخص RCN که درجه شدت ریسک می‌باشد، به صورت صعودی اعمال شده‌است که نشان از بحرانی‌تربودن ریسک‌های انتهای جدول دارد.

جدول۱ : لیست ریسک‌های شناسایی‌شده

ریسک	مرحله ریسک	RCN	R.F	C.N
عدم پیش‌بینی کولر آبی و گازی	طراحی	۴۵,۶۶	۵,۸۱	۴,۱۳
گرمای بیش از حد داخل ساختمان	بهره‌برداری	۵۴,۳۵	۵,۹۶	۴,۲۶
عدم رتبه‌بندی پیمان‌کاران اجرایی	اجرا	۶۴,۸۳	۵,۸۴	۵,۵۳
اجرای سرامیک دیواری با چسب	بهره‌برداری	۶۹,۳۷	۶,۵۹	۴,۰۱
تخریب‌پذیری نمای خشک	بهره‌برداری	۷۰,۷۵	۵,۸۴	۶,۰۰
عدم وجود نظارت تخصصی	اجرا	۷۵,۸۷	۵,۸۵	۶,۱۹
عدم پیش‌بینی لوله‌کشی گاز	طراحی	۷۹,۲۵	۷,۵۵	۳,۹۸
عدم ثبات شغلی نیروهای اجرایی	اجرا	۸۴,۱۸	۵,۹۴	۶,۷۷
پشتوانه‌ی علمی ناکافی آئین‌نامه‌های طراحی	طراحی	۸۵,۴۷	۷,۷۶	۳,۳۱
محدودیت در طراحی ساختمان با طبقات بالا، دستک‌ها.	طراحی	۸۵,۵۳	۷,۴۳	۳,۸۹
عدم وجود راه‌پله به پشت‌بام	بهره‌برداری	۹۱,۸۲	۶,۸۷	۵,۲۲
آب‌بندی ضعیف پنجره‌ها	بهره‌برداری	۹۸,۹۰	۷,۵۵	۳,۹۲
ترک‌خوردن دیوار در محل لوله‌های برق	بهره‌برداری	۱۱۱,۶۲	۶,۸۹	۵,۷۶
در نظرگرفتن اتصالات پیچ و مهره به‌صورت مفصلی	طراحی	۱۱۳,۸۶	۷,۶۰	۴,۷۳
عدم احساس استقامت سازه‌ها(روانی)	بهره‌برداری	۱۱۵,۵۰	۷,۹۸	۳,۸۶
مشکل سرمایش در واحدهای بزرگ	طراحی	۱۱۷,۵۳	۸,۰۰	۳,۸۵
اجرای غلط کانال انتقال آب و شکستن آن در هنگام برف سنگین	اجرا	۱۲۳,۲۱	۷,۸۱	۴,۴۶
اجرای ناهماهنگ سرامیک چسبی	اجرا	۱۲۴,۷۰	۷,۲۱	۵,۶۹
اشکال در طراحی فلاشینگ‌ها	طراحی	۱۲۸,۵۲	۷,۴۰	۵,۵۴
اجرای غلط شیب کانال انتقال آب	اجرا	۱۳۰,۰۸	۷,۷۷	۴,۷۰
سفت‌شدن پنجره‌ها به مرور زمان	بهره‌برداری	۱۴۸,۱۹	۸,۱۸	۴,۵۸
صدا دادن دیوارها	بهره‌برداری	۱۵۰,۱۵	۸,۰۵	۵,۴۱
اشکال در اجرای فلاشینگ	اجرا	۱۶۳,۷۹	۷,۵۲	۶,۷۶
اشکال در عایق‌بندی نماهای خشک	بهره‌برداری	۱۶۵,۴۲	۸,۳۸	۴,۶۷
شکستن گچ‌برگ‌ها در اثر برخورد دانش‌آموزان با دیوار	بهره‌برداری	۱۷۸,۰۵	۸,۵۳	۴,۸۷
عایق صوتی دیوارها	بهره‌برداری	۱۷۸,۵۵	۸,۶۰	۴,۶۷
آسیب‌پذیری عایق رطوبتی در پروژه‌های اضافه‌طبقه	بهره‌برداری	۱۸۰,۳۱	۷,۹۳	۶,۰۷
خطر آتش‌سوزی هسته‌ی عایق	اجرا	۱۸۸,۳۸	۸,۰۵	۶,۴۱
نصب اشیا سنگین بر روی دیوارها	بهره‌برداری	۲۷۱,۵۲	۸,۴۶	۷,۴۱

همان‌طور که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد، سهم ریسک‌های مرحله‌ی طراحی، اجرا و بهره‌برداری به‌ترتیب ۲۴,۱، ۲۷,۶ و ۴۸,۳ درصد می‌باشد. هم‌چنین شاخص RCN که نشان‌دهنده درجه بحرانی‌بودن ریسک می‌باشد، در ریسک‌های بهره‌برداری مقدار بیش‌تری دارد که نشان‌دهنده اهمیت این ریسک‌ها در نظر افراد مصاحبه می‌باشد. شاخص‌های RF و CN در این پژوهش استفاده نشده‌اند و در روش پاسخ به ریسک اثر خواهندداشت.

مهم‌ترین و بحرانی‌ترین ریسک معرفی‌شده در جدول ۱ ریسک "نصب اشیا سنگین بر روی دیوارها" می‌باشد. به‌دلیل نصب گچ‌برگ بر روی دیوار ال‌اس‌اف و خالی‌بودن پشت گچ‌برگ‌ها، در نصب اشیای سنگین با محدودیت روبه‌رو هستیم. راه‌کارهایی هم‌چون استفاده از پیچ پروانه‌ای، استفاده از سازه اضافه، استفاده از گچ‌برگ دوبل و استفاده از بست‌های لوبیایی پیشنهاد شده‌است [۱۶].



شکل ۱: وجود فضای خالی بین دیوار ال‌اس‌اف

هدف اصلی این پژوهش ارائه‌ی راه‌کاری جدید برای پاسخ به این ریسک می‌باشد. این راه‌کار علاوه براین‌که به ریسک‌های دیگری نیز پاسخ می‌دهد، سازه را از نظر هزینه، زمان اجرا و وزن بهینه‌سازی می‌نماید.

۳- معرفی سیستم جدید برای سازه‌های ال‌اس‌اف

ریسک "نصب اشیا سنگین بر روی دیوارها" بحرانی‌ترین ریسک شناسایی‌شده توسط الگوریتم مرجع [۱۳] بود، به‌همین‌سبب سعی شد، به جای ارائه راه‌کارهای موضعی و مقطعی، روش جدید اجرایی برای سازه‌های ال‌اس‌اف معرفی شود.

به‌دلیل اینکه در سیستم ال‌اس‌اف فضای مابین استادها خالی می‌باشد و بر روی استادها گچ‌برگ نصب می‌گردد، از نظر روانی و بهره‌برداری تأثیر خوبی را بر کاربران نمی‌گذارد [۱۶].

علاوه بر ایجاد مشکل، در نصب اشیا بر روی دیوارها، وجود گچ‌برگ بر روی دیوار و هم‌چنین فضای خالی بین استادها، باعث می‌شود که در صورت برخورد اجسام با دیوار، صدای پوکی در دیوار ایجادشود که حس نامطلوبی را ایجاد می‌کند. به‌علاوه از نظر اجرای تأسیسات و نما هم محدودیت‌هایی را ایجاد می‌نماید.

به‌همین‌سبب ترکیب سیستم دیوارهای متال‌فوم با سازه‌ی ال‌اس‌اف پیشنهاد می‌شود. سیستم متال‌فوم جز سیستم‌های مورد تأیید مرکز تحقیقات‌راه، مسکن و شهرسازی می‌باشد و در سایت این مرکز در قسمت سیستم‌های دیوارهای غیربابر معرفی شده‌است.

شکل۲: معرفی دیوار متال‌فوم در سایت مرکزتحقیقات

۳-۱ معرفی سیستم متال‌فوم

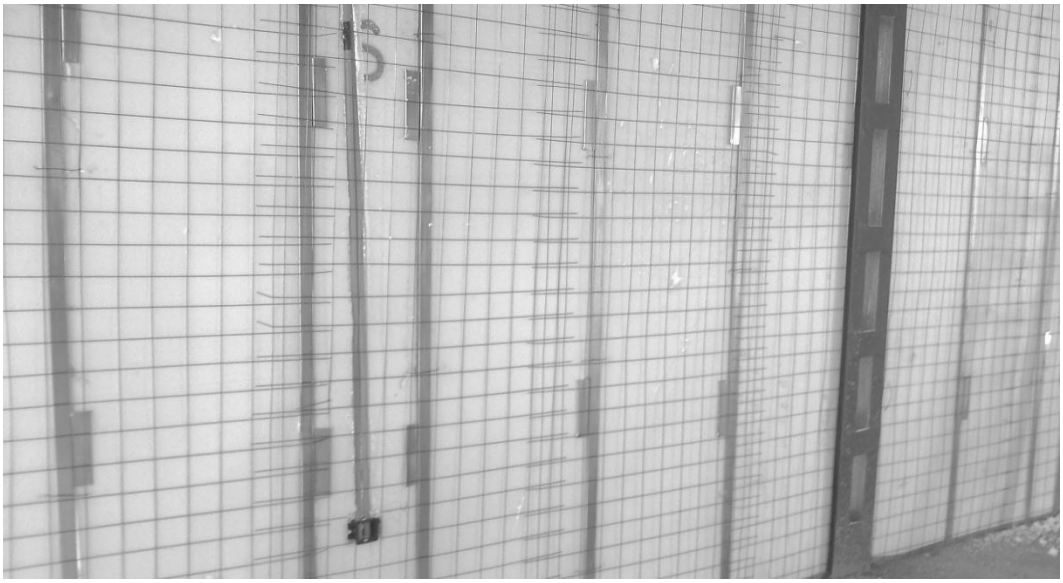
متال‌فوم به‌عنوان نسل دوم پانل‌های پیش‌ساخته سبک سه‌بعدی همانند نسل اول خود (دیوارهای تری دی پانل[۲۰]) بر پایه صفحه‌ی پلی‌استایرن و شبکه فولادی تولیدی ارائه می‌شود. در این سیستم قاب‌های سبک نوردشده فلزی (استاد[۲۱] و رانر[۲۲]) به عنوان چهارچوب و مهاربندی افقی و عمودی، ضمن تأمین مقاومت ایستایی و بهبود بسیار عالی شرایط اجرایی، نقش انتقال نیروهای برشی ناشی از نیروهای جانبی را عهده‌دار می‌باشند. لازم به ذکر است که این سیستم مورد تأیید مرکزتحقیقات مسکن می‌باشد و مشخصات فنی آن در سایت مرکز تحقیقات مسکن آمده‌است [۱۷]. در شکل ۲ نمونه‌ی اجراشده‌ی این سیستم نشان داده‌شده‌است.

شکل۳: دیوار متال‌فوم

[20] 3D Panel
[21] Stud
[22] Runner

۳-۲ شیوه‌ی اجرای دیوار متال‌فوم

در سیستم متال‌فوم، اجرای دیوارهای جانبی و داخلی بر پایه‌ی ایجاد یک شبکه‌ی قاب مهاربندی‌شده فلزی صورت می‌گیرد. این شبکه در بین ستون‌های فلزی یا بتنی و بر اساس نقشه‌های معماری ساختمان پیاده‌سازی می‌شود؛ به‌نحوی که این قاب فلزی با اتصالات میخی با پروفیل یو[۲۳] شکل رانر به کف و سقف ساختمان یا ستون‌های کناری متصل می‌گردد. در مرحله‌ی بعد، اتصالات یو شکل استاد در فواصل مشخص و بر اساس نیاز فضای معماری و بدون هیچ‌گونه محدودیت ابعادی تعبیه می‌گردد. سپس بر اساس نقشه تهیه‌شده از فضای معماری، عناصر مربوط به دیوارها و بازشوها و فریم‌های مربوطه، توزیع و در محل خود به سازه‌های قاب فلزی متصل می‌شوند و در مرحله آخر متال‌فوم در فضای مذکور جاگذاری می‌گردد و پس از نصب مش، عملیات بتن پاشی یا شات‌کریت[۲۴] در دو طرف دیوار انجام می‌گیرد [۱۷]. در شکل ۳ دیوار متال‌فوم به‌همراه مش (آماده‌ی اجرای شات‌کریت) نشان داده‌شده‌است.



شکل۴: دیوار متال‌فوم به‌همراه شبکه‌ی مش (آماده‌ی اجرای شات‌کریت)

۳-۳ ترکیب سیستم متال‌فوم و ال‌اس‌اف

در سیستم ال‌اس‌اف معمولاً ابتدا استادها با توجه به نقشه‌ی اجرایی سازه، اجرا می‌گردند. به‌همین‌سبب می‌بایست تک‌تک استادها به صورت شاغول اجرا گردند. سپس در صورت نیاز هسته‌ی عایق دیوار که معمولاً ازجنس پشم‌شیشه یا پشم‌سنگ می‌باشد، بین دیوار قرار می‌گیرد و پس از آن گچ‌برگ‌ها در دو طرف دیوار اجرا می‌گردد [۱۸].

در این پژوهش پیشنهاد می‌شود که در دیوارهای سازه‌ی ال‌اس‌اف، سیستم متال‌فوم استفاده گردد. یعنی بین هر دو استاد، یک ورق فوم پلی‌استایرن به ضخامت استاد قرار گیرد و سپس دو طرف دیوار شبکه مش نصب گردد. سپس بر روی دیوار سیمان‌پاششی شمشه‌کش (شات‌کریت) و یا گچ پاششی زیر کار اجرا گردد و در نهایت روی دیوار، گچ رویه اجرا گردد و دیوار آماده‌ی رنگ شود.

در ادامه مزایای این ترکیب سیستم‌ها از منظر هزینه، زمان اجرا، وزن سازه و هم‌چنین نکات اجرایی سیستم بیان می‌گردد.

۴- مقایسه سیستم‌های دیوار متال‌فوم و ال‌اس‌اف

در این بخش دو سیستم را از نظر هزینه، زمان اجرا و وزن سازه مقایسه می‌شود.

[23] U
[24] Shotcrete

۴-۱ مقایسه از نظر هزینه

این هزینه بر مبنای قیمت‌های فهرست بهای ابنیه سال ۱۳۹۵ اعمال شده است. در سیستم متال‌فوم پس از نصب فوم‌ها و مش، عملیات شات‌کریت سیمان یا گچ پاششی انجام می‌شود و دیوار آماده‌ی رنگ می‌شود. اما در سیستم ال‌اس‌اف پس از نصب گچ‌برگ، می‌بایست دیوار را بتونه نمود تا آماده ی رنگ شود. هزینه تمام شده سیستم متال‌فوم در جدول ۲ آورده شده‌است.

جدول۲ : هزینه تمام‌شده سیستم متال‌فوم

هزینه تمام‌شده سیستم دیوار متال‌فوم			
ردیف	مصالح مورد استفاده	قیمت مترمربع(تومان)	قیمت تجمعی(تومان)
1	فوم پلی‌استایرن به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر	13000	13000
2	شبکه مش ۵ در ۵ با مفتول ۲،۵ میلی‌متر دو طرف	7000	20000
3	اجرت نصب فوم و مش	4000	24000
4	شات‌کریت دو طرف	6000	30000
5	اجرای گچ زیرکار و رویه دو طرف	15000	45000
6	هزینه ملات گچ زیرکار و رویه	1000	46000

هزینه تمام‌شده سیستم ال‌اس‌اف بر مبنای استعلام قیمت از شرکت‌های مجری ال‌اس‌اف، در جدول ۳ آورده شده‌است.

جدول۳ : هزینه تمام‌شده سیستم ال‌اس‌اف

هزینه تمام‌شده سیستم دیوار ال‌اس‌اف			
ردیف	**مصالح مورد استفاده**	**قیمت متر مربع(تومان)**	**قیمت تجمعی(تومان)**
1	هسته عایق پشم‌شیشه	3500	3500
2	سازه اتصال اف۴۷ برای قرارگیری پشم‌شیشه در بین استادها	3000	6500
3	اجرت نصب پشم‌شیشه	1000	7500
4	گچ‌برگ ۱۲،۵ میلی‌متری دو طرف	32400	39900
5	نصب گچ‌برگ دو طرف دیوار	8000	47900
6	هزینه بتونه دیوار دو طرف	5000	52900

همان‌طور که مشاهده می‌شود سیستم ال‌اس‌اف ۱۳ درصد گران‌تر تمام می‌شود. عامل اصلی افزایش هزینه در سیستم ال‌اس‌اف نسبت به متال‌فوم، هزینه بیش‌تر گچ‌برگ نسبت به گچ سنتی می‌باشد. در سیستم ال‌اس‌اف به‌دلیل وجود فضای خالی در دیوار امکان استفاده گچ سنتی مقدور نمی‌باشد اما در سیستم متال‌فوم می‌توان گچ سنتی را بر روی شات‌کریت اجرا نمود.

۴-۲ مقایسه از نظر زمان اجرا

در این قسمت زمان اجرای ۱۰۰ متر مربع دیوار یک‌پارچه محاسبه شده‌است. منظور از دیوار یک‌پارچه این است که دیوارها بدون در و پنجره در نظر گرفته شده‌است. این اطلاعات بر مبنای داده‌های نیروهای اجرایی تهیه شده‌است. زمان اجرای ۱۰۰ مترمربع دیوار متال‌فوم در جدول4 آورده شده‌است.

جدول۴ : زمان اجرای ۱۰۰ مترمربع دیوار متال‌فوم

زمان اجرای ۱۰۰ مترمربع دیوار متال‌فوم			
ردیف	عملیات اجرایی	زمان(روز)	زمان تجمعی(روز)
1	نصب رانر و استاد و فوم	1	1
2	نصب شبکه‌ی مش دو طرف	1	2
3	اجرای شات‌کریت یا گچ پاششی زیر-کار دو طرف	1	3
4	اجرای گچ رویه دو طرف	1	4

زمان اجرای ۱۰۰ مترمربع دیوار ال‌اس‌اف در جدول5 آورده شده‌است.

جدول ۵ : زمان اجرای ۱۰۰ مترمربع دیوار ال‌اس‌اف

زمان اجرای ۱۰۰ متر مربع دیوار ال‌اس‌اف			
ردیف	عملیات اجرایی	زمان(روز)	زمان تجمعی(روز)
1	نصب رانر و استاد	1	1
2	نصب پشم‌شیشه و سازه‌ی اتصال اف ۴۷[25]	2	3
3	نصب گچ‌برگ دو طرف دیوار	3	6
4	اجرای بتونه‌ی دیوار	1	7

تفاوت زمان اجرای دو سیستم به این علت می‌باشد که در سیستم متال‌فوم هم‌زمان با نصب استادها، فوم پلی‌استایرن نیز نصب می‌گردد و سرعت‌کار افزایش می‌یابد، اما در سیستم ال‌اس‌اف می بایست ابتدا تمامی استادها اجرا گردند و سپس سازه اتصال اف۴۷ بین استادها نصب گردد و پشم‌شیشه بر روی سازه اتصال نصب شود. دیوار ال‌اس‌اف به‌همراه سازه اتصال اف۴۷ (آماده‌ی نصب پشم‌شیشه) در شکل ۴ نشان داده‌شده‌است.

[25] F47

شکل۵: اجرای تمامی استادها در سیستم ال‌اس‌اف

همان‌طور که مشاهده می‌شود سیستم متال‌فوم ۷۵ درصد در زمان صرفه‌جویی می‌نماید.

۳-۴ مقایسه از نظر وزن

مقایسه وزن برای یک مترمربع از هر سیستم در نظر گرفته شده‌است. اطلاعات این قسمت بر اساس جداول مهندسی تهیه شده است که ممکن است با وزن‌های اجرایی موجود در بازار انطباق نداشته‌باشد. وزن ۱ مترمربع دیوار متال‌فوم در جدول ۶ آورده شده‌است.

جدول۶ : وزن ۱ مترمربع دیوار متال‌فوم

وزن ۱ مترمربع دیوار متال‌فوم				
ردیف	مصالح	مقدار مورد استفاده	وزن(کیلوگرم)	وزن تجمعی(کیلوگرم)
1	استاد و رانر	۵ متر طول	6	6
2	فوم پلی‌استایرن به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر	۱ متر مربع	1.5	7.5
3	شبکه‌ی مش دو طرف	۲ متر مربع	3	10.5
4	شات‌کریت یا گچ-پاششی به ضخامت هر طرف ۲ سانتی‌متر	هر مترمربع به ضخامت ۱ سانتی-متر ۲۰ کیلوگرم	80	90.5
5	گچ رویه به ضخامت ۱ میلی‌متر	هر مترمربع به ضخامت ۱ میلی-متر ۲ کیلوگرم	4	94.5

وزن ۱مترمربع دیوار ال‌اس‌اف در جدول 7 آورده شده‌است.

جدول ۷ : وزن ۱ مترمربع دیوار ال‌اس‌اف

وزن ۱ مترمربع دیوار ال‌اس‌اف				
ردیف	مصالح	مقدار مورد استفاده	وزن(کیلوگرم)	وزن تجمعی(کیلوگرم)
1	استاد و رانر	۵ متر طول	6	6
2	سازه اف۴۷ برای اتصال پشم‌شیشه	هر مترمربع ۳ متر طول استفاده می‌شود	3	9
3	پشم‌شیشه	۱ مترمربع	1	10
4	گچ‌برگ ۱۲٫۵ میلی‌متر به صورت دوبل هر طرف	وزن هر مترمربع ۱۰٫۲ کیلوگرم	40.8	50.8

بر خلاف دو آیتم قبلی در این مورد، عمل‌کرد دیوار ال‌اس‌اف ۶۳ درصد بهتر می‌باشد. علت اصلی افزایش وزن در سیستم متال‌فوم استفاده از شات‌کریت و گچ‌پاششی به‌جای گچ‌برگ می‌باشد. علاوه‌براین‌که وزن واحد گچ‌برگ از گچ‌پاششی یا شات‌کریت کم‌تر می‌باشد، به دلیل ساخت در کارخانه، ضخامت تمام‌شده کم‌تری هم دارد.

۴-۴ مقایسه ازطریق تحلیل سلسله مراتبی

برای اعمال تحلیل سلسله مراتبی از نرم‌افزار اکسپرت چویس۱۱[26] استفاده گردید. وزن‌دهی این شاخص‌ها در پژوهش‌های گوناگون بررسی شده‌است که سه وزن ۰٫۳۹، ۰٫۳۱ و ۰٫۳ به‌ترتیب برای هزینه، زمان و وزن سازه استفاده شد [۲۰]. میزان اهمیت این معیارها برای دو سیستم مطابق جدول ۸ است.

جدول ۸ : ضرایب تأثیر روش تحلیل سلسله مراتبی[۲۰]

معیار	ضریب
هزینه	0.39
زمان	0.31
وزن	0.3

نتایج تحلیل پس از اعمال فرآیند در جدول ۹ خلاصه شده‌است.

جدول ۹: نتایج تحلیل سلسله مراتبی

ضریب تأثیر	0.17	0.33	0.50	
نوع سازه	کیفیت	زمان	هزینه	نتیجه نهایی
دیوار ال‌اس‌اف	0.62	0.36	0.47	0.48
دیوار متال‌فوم	0.38	0.64	0.53	0.52

[26] expert choice 11

همان‌طور که ملاحظه می‌شود نمره‌ی دیوار ال‌اس‌اف ۴۸ و نمره‌ی دیوار متال‌فوم ۵۲ بدست آمده‌است. این تحلیل با توجه به ضرایب استفاده‌شده برتری سیستم متال‌فوم را نشان می‌دهد. باید توجه کرد که در صورتی که ضریب تأثیر وزن سازه که در آن ال‌اس‌اف عملکرد بهتری دارد را افزایش دهیم، نمره دیوار ال‌اس‌اف افزایش خواهد یافت.

۵- مزایای استفاده از دیوار متال‌فوم به جای دیوار ال‌اس‌اف

دیوارهای متال‌فوم علاوه بر نمره‌ی بالاتر بدست‌آمده در تحلیل سلسله مراتبی در بخش ۴-۴، مزایای دیگری هم دارند که در این بخش به آن‌ها اشاره می‌گردد. در ادامه مشخص خواهدشد که ۱۱ ریسک از ۲۹ ریسک شناسایی‌شده در این پژوهش، (۳۷,۹۳ درصد) با ایده‌ی مطرح‌شده، مرتبط می‌باشند. در قسمت ۵-۱ تا ۵-۵ این موارد به‌طور دقیق بررسی شده‌است.

۵-۱ قابلیت اجرای کاشی و سرامیک با ملات

در سیستم ال‌اس‌اف به دلیل وجود گچ‌برگ در دیوارها، می‌بایست حتماً کاشی و سرامیک داخل ساختمان را به صورت چسبی اجرا نمود. هم‌چنین عایق‌های‌رطوبتی ایزوگام و قیرگونی هم بر روی گچ‌برگ‌ها قابل اجرا نمی‌باشد. کم‌بودن نیروی اجرایی متخصص اجرای کاشی و سرامیک چسبی و هم‌چنین تصور عموم از منظر عدم استحکام اجرای کاشی با چسب، می‌تواند مشکلاتی را ایجاد نماید. در سیستم متال‌فوم به‌دلیل حذف گچ‌برگ، می‌توان کاشی و سرامیک را به صورت چسبی اجرا کرد. ریسک ردیف ۴ و ۱۸ از جدول ۱ مرتبط با این بخش می‌باشد.

۵-۲ قابلیت اجرای نمای سنگ با ملات

در سیستم ال‌اس‌اف معمولاً نمای بیرون به صورت نمای خشک اجرا می‌گردد. اجرای نمای خشک اگرچه به سبک‌سازی ساختمان کمک می کند ولی از نظر امنیت و استحکام و ایمنی از نمای سنگ اجراشده با ملات، ضعیف‌تر است. در سیستم ال‌اس‌اف به‌دلیل وجود فضای خالی بین استادها اجرای نمای سنگ با مشکلاتی همراه است؛ اما درسیستم متال‌فوم قابلیت اجرای هر نوع نمایی امکان‌پذیر است. ریسک ردیف‌های ۵، ۲۱ و ۲۴ از جدول ۱ مرتبط با این بخش می‌باشد.

۵-۳ عدم احساس استقامت سازه‌ها

در سازه‌های ال‌اس‌اف به‌دلیل نصب گچ‌برگ بر روی دیوارها و خالی‌بودن فضای داخل دیوار، در هنگام برخورد با دیوار و یا ضربه‌زدن به دیوار صدا ایجاد می‌شود و حس ناایمن‌بودن سازه در کاربر،ایجاد می‌شود. اگرچه این امر بیش‌تر جنبه روانی دارد، اما می‌تواند مشکلاتی را ایجاد نماید. در سیستم متال‌فوم به‌دلیل پربودن فضای دیوار با فوم پلی‌استایرن این مشکل کمتر مشاهده‌می شود. ریسک ردیف‌های ۱۵ و۲۲ از جدول ۱ مرتبط با این بخش می‌باشد.

۵-۴ اجرای تأسیسات برقی و میکانیکی

در سیستم ال‌اس‌اف به‌دلیل وجود فضای خالی در دیوار، می‌بایست لوله‌های تأسیساتی برق، آب و گاز را به سازه مهار نمود که سبب سخت‌ترشدن کار اجرایی نیروهای تأسیسات می‌گردد. اما در سیستم متال‌فوم با شیار زدن فوم‌ها توسط سشوارهای صنعتی، می‌توان لوله‌ها را جاگذاری نمود و سپس با نصب مش بر روی دیوار، لوله‌ها را محکم نمود و نیازی به سازه‌ی مهار اضافی برای تأسیسات نمی‌باشد. ریسک ردیف‌های ۱۲، ۱۳و ۲۵ از جدول ۱ مرتبط با این بخش می‌باشد.

۵-۵ نصب اشیا بر روی دیوار

همان‌طور که در بخش ۳ مشخص شد، بحرانی‌ترین ریسک شناسایی‌شده در این پژوهش، "نصب اشیا سنگین بر روی دیوار" می‌باشد. در ایران، می‌توان مهم‌ترین دلیل مخالفت با دیوارهای‌خشک را همین عامل دانست. اگرچه راه‌کارهای مختلفی برای این ریسک ارائه شده‌است [۱۶،۱۹]، اما هنوز هم دید منفی نسبت به این موضوع در ذهن افراد وجود دارد.

در سیستم ال‌اس‌اف، استادها علاوه بر تحمل نیروی برشی[۱۰]، قابلیت تحمل وزن اشیا را نیز دارا هستند اما پس از این‌که گچ‌برگ بر روی دیوار نصب شود، نمی‌توان دقیقاً متوجه‌شد که استاد در چه محلی قرار دارد. به‌همین‌سبب در نصب اشیا بر روی دیوار، مشکلاتی ایجاد می‌شود.

در سیستم متال‌فوم به‌علت این‌که بر روی دیوار شات‌کریت یا گچ‌پاششی اجرا می‌گردد، این مشکل برطرف شده‌است و به‌راحتی می‌توان مانند سایر دیوارهای سنتی، هر جسمی را نصب نمود. ریسک ردیف ۲۹ از جدول ۱ مرتبط با این بخش می‌باشد.

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش ۲۹ ریسک در سه مرحله‌ی طراحی، اجرا و بهره‌برداری سازه‌های ال‌اس‌اف شناسایی شد که سهم هر دسته به‌ترتیب ۲۴,۱، ۲۷,۶ و ۴۸,۳ درصد می‌باشد.

بررسی لیست ریسک‌های شناسایی‌شده مرتب‌شده بر مبنای شاخص RCN نشان می‌دهد که علاوه بر ریسک "نصب اشیا سنگین بر روی دیوارها" که بحرانی‌ترین ریسک شناسایی شده می باشد، ۳۷,۹۳ درصد ریسک‌های شناسایی‌شده به‌طور مستقیم و غیرمستقیم مرتبط به ساختار دیوارهای سازه‌های ال‌اس‌اف می‌باشند. به‌دلیل این‌که در سیستم ال‌اس‌اف فضای مابین استادها خالی می‌باشد و بر روی استادها گچ‌برگ اجرا می‌گردد، از نظر روانی و بهره‌برداری تأثیر مثبت بر کاربران ندارد.

علاوه بر ایجاد مشکل، در نصب اشیا بر روی دیوارها، وجود گچ‌برگ بر روی دیوار و هم‌چنین فضای خالی بین استادها، باعث می‌شود که در صورت برخورد با دیوار، صدای پوکی در دیوار ایجاد شود که حس نامطلوبی را ایجاد می‌کند. به‌علاوه از نظر اجرای تأسیسات و نما هم محدودیت‌هایی را ایجاد می‌نماید. به‌همین‌سبب ترکیب سیستم دیوارهای متال‌فوم با سازه‌ی ال‌اس‌اف پیشنهاد شد.

این دو سیستم از سه منظر هزینه، زمان و و وزن مقایسه‌شدند. مشاهده‌شد که سیستم ال‌اس‌اف ۱۳ درصد گران‌تر تمام می‌شود. هم‌چنین سیستم متال‌فوم ۷۵ درصد در زمان صرفه‌جویی ایجاد می‌نماید ولی بر خلاف دو آیتم قبلی در مورد وزن، عملکرد دیوار ال‌اس‌اف ۶۳ درصد بهتر می‌باشد. این سه آیتم توسط تحلیل سلسله مراتبی مقایسه‌شدند و نمره‌ی دیوار ال‌اس‌اف ۴۸ و نمره‌ی دیوار متال‌فوم ۵۲ بدست آمد.

از منظر اجرایی نیز استفاده از دیوار متال‌فوم به‌جای سیستم دیوار ال‌اس‌اف، مزایایی هم‌چون قابلیت اجرای کاشی و سرامیک با ملات، قابلیت اجرای نمای سنگ با ملات، عدم‌احساس استقامت سازه‌ها، اجرای راحت‌تر تأسیسات برقی و میکانیکی و نصب اشیا بر روی دیوار را سبب می‌شود.

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] Annamária DUDÁS. (2003). LIGHT STEEL STRUCTURES IN RESIDENTIAL HOUSE CONSTRUCTION. *PERIODICA POLYTECHNICA SER*, V 47, NO. 1, PP(133–136).

[3] Fallah,M,H. (2005). SUSTAINABLE BUILDING CONSTRUCTION. *World Sustainable Building Conference*, Tokyo, Pages(2645-2652).

[4] Trevathan, J,W. Pearse, J.R. (2008). The effect of workmanship on the transmission of airborne sound through light framed walls. *Applied Acoustics*, V 69, Pages(127–131).

[5] Murtinho,V. Ferreira, H.(2010). Architectural concept for multi-storey apartment building with light steel framing. *Steel construction*, V3, pages(163-168).

[6] 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).

[7] Mahdavinejad, M. Hajian, M. Doroodgar A. (2012). Modeling of LSF Technology in Building Design & Construction Case-study: Parand Residential Complex Iran. *Advanced Materials Research*, Volumes 341-342, pages(447-451).

[8] 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*, V78, pages(148-170).

[9] de Angelis, E. Serra, E. (2014). Light steel-frame walls: thermal insulation performances and thermal bridges. *Energy Procedia*, V45, pages(362-371).

[10] 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)*, V7, Pages(181-209).

[11] EsmaeiliNiari, S. Rafezy, B. Karim, A. (2015). Seismic behavior of steel sheathed cold-formed steel shear wall: Experimental investigation and numerical modelling. *Thin-WalledStructures*, V96, Pages(337–347).

[12] Paul, S. Radavelli, G. da Silva, Andrey R. (2015). Experimental evaluation of sound insulation of light steel frame façades that use horizontal inter-stud stiffeners and different lining materials. *Building and Environment*, V94, Pages(829-839).

[13] 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).

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

[15] 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).

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

[17] www.aryasazehmehr.com, (1388). (سایت شرکت آریا سازه‌ی مهر مبتکر سیستم دیوارهای متال‌فوم)

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

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

[20] Monghasemi, S. Nikoo, M, R. Khaksar Fasaee, M. A. Adamowski, J. (2015). A novel multi criteria decision making model for optimizing time-cost-quality trade-off problems in construction projects. *Expert Systems with Applications*, V42, Pages(3089-3104).