International Conference on Civil Engineering
Architecture and urban infrastructure
۲۹-۳۰ July ۲۰۱۵, Tabriz , Iran

بررسی سازه های ال اس اف و فولادی از منظر هزینه، زمان و کیفیت

علی یگانه[۱]*، مژگان سادات ممتاز درگاهی[۲]، هاشم شریعتمدار [۳]، محسن گرامی [۴]

۱- دانشجو کارشناسی ارشد مدیریت ساخت دانشگاه فردوسی مشهد
Ali.yeganeh@stu.um.ac.ir
۲-دانشجو کارشناسی ارشد سازه دانشگاه فردوسی مشهد
momtazdargahi.۱۹۹۱@stu.um.ac.ir
۳-دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد
shariatmadar@um.ac.ir
۴-دانشیار ومدیر گروه پژوهشی فناوری های نوین دانشگاه سمنان
mgerami@semnan.ac.ir

چکیده

سیستم قاب سبک فولادی راکه به اختصار LSF[۱] (ال اس اف) می نامند، یک سیستم ساختمانی است، که برای اجرای ساختمان های عمدتاً کوتاه مرتبه و میان مرتبه (حداکثر تا ۵ طبقه) استفاده می شود و یکی از سیستم های ساختمانی مورد قبول(از منظر باربری ثقلی و جانبی) مهندسان عمران، در کشورهای توسعه یافته و مدرن می باشد. اگرچه این سیستم از مزایای قابل توجهی برخوردار می باشد، اما در کشور ما با استقبال زیادی مواجه نشده است که دلایلی همچون عدم تطابق با فرهنگ مردم، قیمت بالاتر، عدم وجود نیروی ماهر، اشکالات اجرایی و... برای آن ذکر می شود.همچنین به دلایلی همچون مسائل اقتصادی، استفاده بهینه از مصالح ساختمانی، تکنیک های مناسب ساخت و ساز نیاز به تغییر نگرش در صنعت ساختمان احساس می شود. در این مقاله با مقایسه ی یک پلان واقعی از یک ساختمان ال اس اف و اسکلت فولادی، مقایسه ی نسبتاً جامعی بین این دو مورد انجام می پذیرد. معیارها با توجه به استاندارد PMBOK[۲] در سه حوزه ی هزینه، زمان و کیفیت صورت می گیرد. در نهایت بوسیله ی تحلیل سلسله مراتبی این معیارها به یکدیگر مرتبط شده و نتیجه گیری انجام می شود.

واژه‌های کلیدی: سازه های ال اس اف، مدیریت هزینه ، مدیریت کیفیت، مدیریت زمان، تحلیل سلسله مراتبی

۱- مقدمه

ایجاد ساختمان های ایمن که تأمین کننده آسایش، بهداشت و صرفه اقتصادی فرد و جامعه باشد از اهداف اصلی مهندسان است .انتخاب صنعتی سازی ساختمان ها به عنوان روشی تجربه شده و نظام مند جهت نیل به این هدف، مدنظر عوامل دخیل در ساختمان سازی بوده است .دستیابی به گزینه ای که علاوه بر رعایت مقررات ملی و ضوابط فنی از مشخصه سرعت و دقت کافی در اجرا برخوردار باشد، مطلوب و مناسب با نیاز های رو به تزاید مسکن است . از میان سیستم های ساختمانی برخی متناسب و همخوان با روش های تولید صنعتی بوده و مؤلفه های اجرایی آن ها در بستر مزبور توسعه یافته است . یکی از سیستم های ساختمانی که در سالیان اخیر توسعه مناسبی در سطح جهانی داشته است، سیستم ساختمانی فولادی سبک سرد نورد شده می باشد.

سیستم ساختمانی فولادی سبک سرد نورد شده از جمله سیستم هایی است که گرچه پیدایش آن ریشه در دغدغه های زیست محیطی و به تبع آن تعریف گزینه جایگزین برای ساختمان های چوبی داشته است، اما به تدریج جایگاه ویژه ای در میان سیستم های دارای ظرفیت تولید صنعتی یافته است .همگام با میل به توسعه صنعتی سازی ساختمان در کشور، انجام پروژه های تک سازی و انبوه سازی با قطعات فولادی سبک سرد نورد شده نیز رواج یافته و با توجه به ظرفیت بالای تولید فولاد در

[1] Light Steel Frame
[2] Project Management Body Of Knowledge

کشور و مزیت هایی همچون انعطاف بالا، وزن کم سازه و متعلقات و روش تولیدسریع باعث شده است که ساختمان های فولادی سبک سرد نورد گزینه ای قابل اعتنا در صنعت ساختما ن سازی کشور شود.

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در راستای وظایف اساسی خود و نظر به تحقیقات گسترده در خصوص این سیستم ساختمانی ضمن بررسی آئین نامه ها، دستورالعمل ها، استاندارد و ضوابط اجرایی معتبر بین المللی با رویکرد بومی سازی و ایجاد همانگی بین ضوابط طرح و اجرای این سیستم و مباحث مقررات ملی ساختمان به ویژه مبحث ششم و استاندارد ۲۸۰۰ ایران، با همکاری متخصصان ذیربط اقدام به تالیف و تدوین بخش سازه آئین نامه طراحی و اجرای ساختمان های فولادی سرد نورد کرده که با شماره نشریه ۶۱۲ توسط معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور ابلاغ شده است . همچنین بخش غیرسازه ای این آیین نامه در نشریه شماره ۶۱۳ ارائه شده است . [۱]

تحقیقات جدید در خصوص رفتار لرزه ای سازه های ال اس اف نشان می دهد که استفاده از این سازه ها در مناطق با لرزه خیزی شدید، موجب بهبود رفتار لرزه ای می شود[۲] [۳] [۴] [۵].

۲- معرفی سیستم قاب سبک فولادی

۲-۱ روش تولید[۶]

سیستم قاب سبک فولادی با نام اختصاری LSF از مقاطع سرد نورد شده فولادی یا CFS [3] ساخته می شود. این سیستم در صنعت ساختمان سازی کاربرد های متنوعی چون ساختمان های کوتاه مرتبه ، میان مرتبه ، طبقاتی ، اضافه طبقه و..دارد.

اجزای مورد استفاده در این سیستم ، نیمرخهای فلزی حاصل از نورد سرد ورق های فولادی با ضخامت های ۰,۴۵ تا ۲,۵میلیمتر می باشد. جهت محافظت این عناصر در مقابل زنگ زدگی و خوردگی از آلیاژ روی به ضخامت ۴۰ تا ۱۲۰میکرون استفاده می شود. سیستم قاب سبک فلزی ، در قالب کلی سیستم های دیوار باربر قرار می گیرد.

عناصر باربر ثقلی متشکل از مقاطع منفرد و یا ترکیبی و عمدتاً C یا U شکل و یا ترکیب این مقاطع می باشند .دیوار ها از آرایش اجزای عمودی C شکل(استاد)، که در بالا و پایین در داخل اجزای افقی U شکل(رانر یا تراک)مهار شده اند تشکیل می شود .اجزای باربر سقف نیز عمدتاً با استفاده از مقاطع منفرد و یا ترکیبی C ، U و Z شکل می باشد .سقف طبقه اخر نیز غالباً به صورت شیبدار و با استفاده از خرپاهای متشکل از پروفیل های سرد نورد اجرا می گردد .

اتصالات در سیستم قاب سبک فلزی معمولاً به صورت سرد و با پیچ های خودکار سر مته ای انجام می شود .در موارد محدود امکان استفاده از انواع اتصالات دیگر مثل پیچ و مهره، پرچ یا جوش نیز مقدور می باشد.

۲-۲ مراحل اجرای قاب سبک فلزی[۷]

این مراحل به طور کلی شامل اجرای پی، اجرای اسکلت ساختمان، اجرای پوشش سقف و نصب پانلهای پوشش خارجی، نصب لایه عایق حرارتی، رطوبتی و صوتی و نصب پانل های پوششی داخلی، اجرای عملیات تاسیسات الکترونیکی و مکانیکی و در نهایت عملیات نازک کاری می باشد.

۲-۳ مزایای سیستم LSF [۸]

سیستم ال اس اف دارای مزایای سرعت اجرای زیاد، سبکی وزن ساختمان، مقاوم در برابر زلزله، صرفه جویی در مصرف انرژی، سهولت نگهداری و تعمیرات، وجود مواد اولیه در داخل کشور، امکان مدولار و استاندارد کردن، امکان پیش ساخته کردن پانل ها، امکان تولید قطعات در محل اجرا، سهولت اجرای تاسیسات برقی و مکانیکی، تطابق با آیین نامه های رایج ساختمانی، محاسبات سازه ای دقیق جهت 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 ساختمان های 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 می باشد. به طور کلی این مزایا در جدول ۱ طبقه بندی شده است:

[3] Cold Formed Steel

جدول۱ - مزایای سازه های ال اس اف

ردیف	گروه‌ها	مزایا
۱	طراحان	انعطاف در طراحی - تنوع در مصالح نما - برآورده نمودن الزامات مربوط به استانداردهای ساختمان - طراحی یک سیستم مدرن ساختمانی - رعایت کامل مقررات مبحث ۱۹ به صورت خودکار
۲	سازندگان	سرعت در اجرای سیستم - کاهش هزینه نیروی کار - زمان کم توقف – فعالیت موازی و بدون وقفه در دیگر بخش‌های ساختمان- امکان انجام تعمیرات و مقاوم‌سازی سریع بدون ایجاد خلل در کاربری سهولت در نصب سیستم‌های تأسیساتی - نیاز کم به تجهیزات - نیاز به فضای کم کارگاهی - ایمنی در محل کارگاه - پیش‌ساختگی و تولید انبوه - سبک بودن سازه - کاهش هزینه‌ها
۳	استفاده کنندگان	هزینه‌های بهره‌برداری کمتر - عملکرد صوتی خوب - محیط داخلی سالم - مقاومت در برابر آتش - مقاومت در برابر زلزله و توفان‌های شدید - افزایش فضای مفید داخلی
۴	مسئولان و حامیان محیط زیست	مصالح کمتر و قابل بازیافت بودن - ترافیک کمتر و حمل و نقل - جلوگیری از اتلاف انرژی - پاکیزگی کارگاه ساختمانی- کاهش مصرف انرژی
۵	منابع ملی	نیاز به ماده‌ی اولیه به مراتب کمتر نسبت به سیستم‌های سنتی- امکان بازیافت ضایعات ساختمانی به طور کامل -

۲-۴ معایب سیستم LSF

سیستم ال اس اف دارای معایبی همچون مقاومت پایین در برابر آتش سوزی هسته عایق دیوار[۹]، پیچیدگی مدل سازی عملکرد حرارتی به دلیل وجود چندین نوع مصالح[۱۰]، ضعف در مقابل باد شدید، کمبود نیروی اجرایی متخصص، خطر ایجاد صدا در زمان انبساط و انقباض سازه، ناشناخته بودن رفتار سازه ای سیستم در کشور، قیمت بالاتر نسبت به مصالح سنتی در کشورهایی که هنوز این سیستم رواج پیدا نکرده و محدودیت ارتفاع می باشد.[۱۱]

۳- حوزه های بررسی

۳-۱ معرفی استاندارد پی ام باک

با توجه به اینکه اجرای آیین نامه اجباری و اجرای استاندارد اختیاری است؛ یادآور می گردد که پی ام باک یک استاندارد می باشد. این استاندارد را موسسه بین المللی و غیر انتفاعیPMI[۴] تهیه و ارائه کرده است. این موسسه استانداردهای متعددی در خصوص پروژه ارائه کرده است که معروف ترینِ آن ها همان پی ام باک است. این استاندارد شهرت جهانی دارد و هیچ استانداردیدیگری توانایی رقابت با آن را ندارد. موسسه PMI در سال ۱۹۶۹ تاسیس شد .

در پی ام باک دسته‌بندی فرایندها بر اساس حوزه‌های دانش است. حوزه‌های دانش فرایندها را بر اساس نوع مهارتی که نیاز دارند تقسیم می‌کنند. حوزه‌های دانش پی امباک نسخه پنجم در شکل ۱ نمایش داده شده است.

شکل ۱- حوزه های دانش مدیریت پروژه

[4] Project Management Inistitute

در هر حوزه یکی از موضوعات مدیریت پروژه، مدیریت می‌شوند. به عنوان مثال در حوزه مدیریت زمان شیوه مدیریت زمان مشخص می‌شود (شیوه برنامه‌ریزی، ارزیابی، گزارش‌دهی و ...)، برنامه زمان‌بندی تهیه می‌شود، وضعیت زمانی واقعی و برنامه‌ریزی شده پروژه مقایسه می‌شوند، در صورت وجود انحراف اقدامات اصلاحی و پیش‌گیرانه پیشنهاد می‌شوند [۱۱].

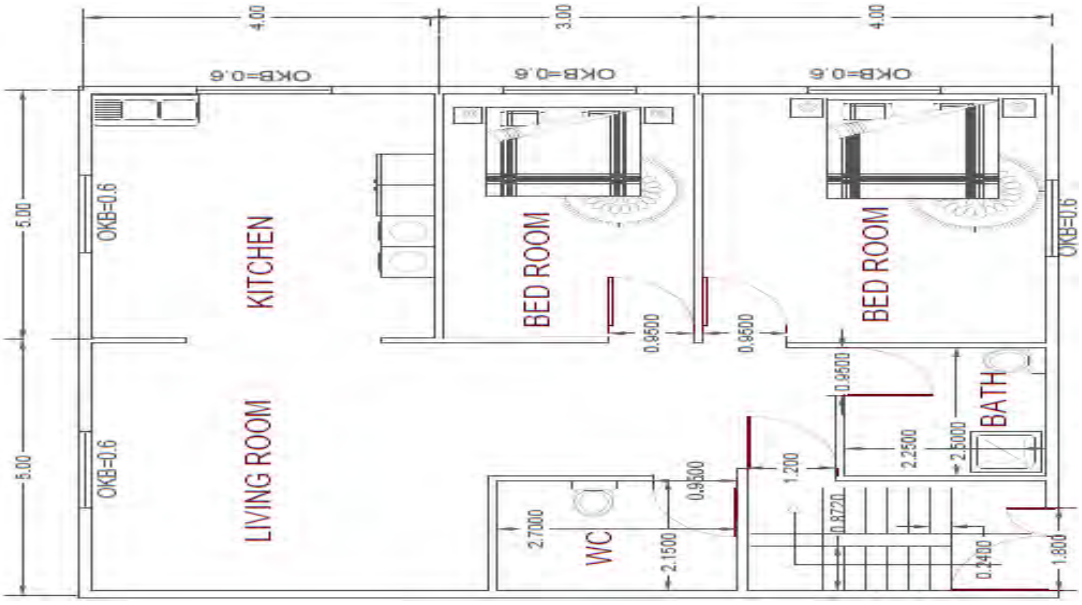
ما در این مقاله به مقایسه دو سازه در سه حوزه ی کیفیت، زمان و هزینه می پردازیم؛ زیرا برای انتخاب اولیه بین دو سیستم این عوامل از اهمیت بیشتری در کشور ما برخوردارند.

۳-۲ معرفی مطالعه موردی

مطالعه ی موردی ما یک ساختمان دو طبقه ی مسکونی واقع در شهر مشهد می باشد. این ساختمان با دوسیستم ال اس اف و اسکلت آهنی به همراه دیواربرشی بررسی می شود. برای یکسان سازی محاسبات تمامی ویژگی ها را تا حد امکان یکسان فرض نموده ایم. سقف های سازه در هر دو سیستم به صورت کامپوزیت می باشد. دیوارهای خارجی و داخلی نیز با هسته ی عایق پلی استایرن(به ضخامت ۱۵ سانتی متر) و شبکه ی مش و شات کریت سیمان شمشه کش از داخل و خارج فرض شده است(دیوارهای متال فوم[۱۲]) . نازک کاری داخل گچ رویه و نمای خارجی هر دو سیستم سیمان سفید می باشد.

۳-۳ مشخصات کلی پروژه

-زیر بنای ساختمان ۱۱۰ متر مربع و پلان طبقات به صورت تیپ و مطابق شکل ۲ می باشد.



شکل ۲ - پلان تیپ طبقات

- کاربری ساختمان در طبقات مسکونی است.
- ارتفاع هر طبقه ۳,۴ متر می باشد.
- سیستم سازه در ساختمان فولادی در دو جهت از نوع قاب فولادی ساده به همراه دیوار برشی متوسط و در سیستم LSF از نوع دیوار باربر با سیستم مقاوم جانبی مهاربند قطری است.
- مبانی آنالیز سازه به روش خطی ارتجاعی و روش تحلیل سازه در مقابل نیروهای جانبی روش تحلیل استاتیکی معادل مطابق آئین نامه زلزله ایران ویرایش سوم می باشد.
- مبانی طراحی انجام شده در ساختمان، روش تنش مجاز ASDو بر مبنای نشریه ۲۱۶ و آئین نامه طراحی مقاطع فلزی سبک سرد نوردAISI می باشد.
- جزئیات بارگذاری در جدول ۲ آمده است:

جدول ۲- بارگذاری سازه

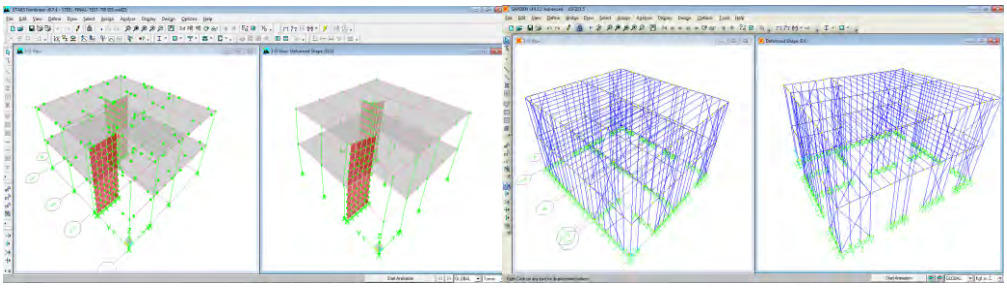
آیتم بارگذاری شده	بار مرده	بار زنده
کف طبقه	۳۰۰Kg/m	222Kg/m
کف بام	322Kg/m	152Kg/m
راه پله	022Kg/m	352Kg/m
دیوار جانبی	152Kg/m	-
دیوار داخلی	122Kg/m	-

۳-۴ آئین نامه های مورد استفاده

- آئین نامه حداقل باد وارده بر ساختمانها و ابنیه فنی (مبحث ششم مقررات ملی ساختمان)
- آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰
- آئین نامهASCE
- برای طراحی سازه سرد نورد و اتصالات لازمه از آئین نامهAISI و نشریه ۶۱۲ استفاده شده است.
- طراحی سازه فولادی به روش مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

۳-۵ تحلیل و طراحی سازه ها

برای تحلیل و طراحی سازه اصلی ساختمان فولادی از نرم افزار ETABS و برای سازه سرد نورد شده از نرم افزار SAP ۲۰۰۰ استفاه شده است.



شکل ۳ - تحلیل سازه ی ال اس اف در SAP و اسکلت آهنی درETABS

روش طراحی بر اساس مقاومت(تنش مجاز) صورت می گیرد سپس کنترل های لازم اعم از کنترل جابجایی سازه و واژگونی و.. صورت گرفته است. نتایج تحلیل در جدول ۲ آمده است:

جدول ۳- مشخصات تحلیلی سازه

پارامتر ها	سازه فولادی	سازه LSF
ماکزیم جابجایی طبقه اخر	۲۶,۰۰mm	۱۸,۹۹۶mm
ماکزیمم برش پایه	۲۵۶۴۲,۰۰ Kgf	۱۶۱۷۹,۷۹Kgf
وزن سازه	۲۱۷۴۸۹,۳۹۷ Kgf	۱۰۹۸۴۲,۴۳۰ Kgf

۴- بررسی در حوزه ی هزینه

در ابتدا هر دو سیستم، با توجه به پلان موجود، طراحی شدند. برای طراحی سازه ی ال اس اف از نرم افزار SAP۱۴,۲,۲ و سازه ی آهنی از نرم افزارETABS استفاده شد(طراحی ها تا حد امکان بهینه می باشند) . با توجه به نتایج طراحی، مقدار مصالح مصرفی در هر دو سازه بدست آمد. از آن جا که هزینه های نازک کاری در دو سیستم یکسان می باشد، مقایسه تا مرحله ی سفت کاری(اسکلت، سقف، دیوار، گچ و نما) انجام شد. توجه شود که در این مقاله هدف محاسبه ی قیمت تمام شده دقیق نمی باشد و فقط نسبت هزینه در دو سیستم اهمیت دارد به همین سبب هزینه ی اجرای فونداسیون، داربست،

ملات شات کریت ، مصالح و اجرای پله و مصالح گچ رویه در دو سیستم یکسان فرض شده است و در محاسبات نیامده است. هم چنین باید توجه شود که در محاسبات سود شرکت های مجری یا درصد مدیریت پیمان برای اجرا در نظر گرفته نشده است.

۴-۱- هزینه ی سازه ی ال اس اف

اطلاعات هزینه ی سازه ی ال اس اف در جدول ۴ آمده است(قیمت ها بر حسب تومان می باشد).

جدول ۴- ریزمتره و هزینه سازه ی ال اس اف

ردیف	توضیح	محصول	مقدار	قیمت واحد	واحد	قیمت محصول(تومان)	قیمت تجمعی(تومان)
			هزینه اسکلت LSF				
۱	مقاطع استاد و رانر(باربر و غیر باربر)	استاد ۰,۶-۸۰	۱۶۸,۱۰۲۸	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۵۰۴،۳۰۸	۵۰۴،۳۰۸
۲	مقاطع استاد و رانر(باربر و غیر باربر)	استاد ۱-۱۵۰	۱۳۴۲,۰۲۳۹۶	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۴،۰۲۶،۰۷۲	۴،۵۳۰،۳۸۰
۳	مقاطع استاد و رانر(باربر و غیر باربر)	استاد .۱,۵-۱۵۰	۷۵۷,۰۱	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۲،۲۷۱،۰۳۰	۶،۸۰۱،۴۱۰
۴	مقاطع استاد و رانر(باربر و غیر باربر)	استاد .۱,۵-۲۳۵	۲۴۷۵,۱۷۸۸	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۷،۴۲۵،۵۳۶	۱۴،۲۲۶،۹۴۷
۵	مقاطع استاد و رانر(باربر و غیر باربر)	رانر ۰,۶-۸۰	۴۸,۷۱۰۴	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۱۴۶،۱۳۱	۱۴،۳۷۳،۰۷۸
۶	مقاطع استاد و رانر(باربر و غیر باربر)	رانر ۰,۸-۱۰۰	۵۸۷,۴۴	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۱،۷۶۲،۳۲۰	۱۶،۱۳۵،۳۹۸
۷	مقاطع استاد و رانر(باربر و غیر باربر)	رانر ۱-۱۵۰	۵۲۵,۶۷۶۸	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۱،۵۷۷،۰۳۰	۱۷،۷۱۲،۴۲۸
۸	مها رعرضی استاد های باربر (در یک سوم طول دیوار)	F ۴۷	۷۵,۰۸۴۸	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۲۲۵،۲۵۴	۱۷،۹۳۷،۶۸۳
۹	اتصال ۴۷F به استاد ها	نبشی ۲۵	۱,۸۳۶	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۵،۵۰۸	۱۷،۹۴۳،۱۹۱
۱۰	مهار بند قطری	ورق ۱*۱۵۰	۳۴۵,۷۱۴	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۱،۰۳۷،۱۴۲	۱۸،۹۸۰،۳۳۳
۱۱	ورق اتصال مهاربند به رانر و استاد	ورق ۱*۴۰۰*۳۰۰	۷۵,۳۶	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۲۲۶،۰۸۰	۱۹،۲۰۶،۴۱۳

۱۲	هولدان(اتصال پای استاد دارای مهار به کف)	ناودانی ۸۰	۱۶۵,۸۸۸	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۴۹۷،۶۶۴	۱۹،۷۰۴،۰۷۷
۱۳	اتصال رانر پایینی به کف	استاد۱-۱۵۰	۸,۱۳۲	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۲۴،۳۹۶	۱۹،۷۲۸،۴۷۳
۱۴	ترن باکل(ایجاد کشش اولیه در مهار ها)	نبشی ۳۰	۱۰,۸۸	۳،۰۰۰	کیلوگرم	۳۲،۶۴۰	۱۹،۷۶۱،۱۱۳
۱۵	وزن تجمعی اسکلت سازه LSF	-	۶۵۸۷,۰۳۷۵۶				
۱۶	بر مبنای متر مربع زیر بنا	اجرا	۲۰۲,۷۲	۲۰،۰۰۰	مترمربع	۴،۰۵۴،۴۰۰	۲۳،۸۱۵،۵۱۳
			هزینه دیوار				
۱۷	شامل مترمربع کل دیوار ها	فوم پلی استایرن	۴۰۸	۱۲،۰۰۰	مترمربع	۴،۸۹۶،۰۰۰	۲۸،۷۱۱،۵۱۳
۱۸	شامل دو برابر مترمربع کل دیوار ها	شبکه مش	۸۱۶	۶،۰۰۰	مترمربع	۴،۸۹۶،۰۰۰	۳۳،۶۰۷،۵۱۳
۱۹	شامل دو برابر مترمربع کل دیوار ها	شات کریت سیمان	۸۱۶	۸،۰۰۰	مترمربع	۶،۵۲۸،۰۰۰	۴۰،۱۳۵،۵۱۳
۲۰	شامل متر مربع دیوار های خارجی	سیمان سفید نمای بیرون	۲۱۲,۱۶	۴،۰۰۰	مترمربع	۸۴۸،۶۴۰	۴۰،۹۸۴،۱۵۳
۲۱	شامل دو برابر متر مربع کل دیوار ها به استثنا متر طول دیوار های خارجی و سرویس ها	گچ داخل	۴۷۹,۴	۴،۰۰۰	مترمربع	۱،۹۱۷،۶۰۰	۴۲،۹۰۱،۷۵۳
۲۲	بر مبنای متر مربع زیر بنا	اجرا	۴۰۸	۳،۰۰۰	مترمربع	۱،۲۲۴،۰۰۰	۴۴،۱۲۵،۷۵۳
			هزینه مصالح سقف				
۲۳	بر مبنای متر مربع زیر بنا	ورق سینوسی	۲۰۲,۷۲	۱۲،۰۰۰	مترمربع	۲،۴۳۲،۶۴۰	۴۶،۵۵۸،۳۹۳

۲۴	شامل شبکه فولاد افت و حرارت در دو جهت	آرماتور	۳۹۵,۴۷۴	۱،۸۰۰	کیلوگرم	۷۱۱،۸۵۳	۴۷،۲۷۰،۲۴۶
۲۵	بر مبنای متر مکعب بتن مصرفی در سقف ها	بتن	۱۴,۱۹	۷۰،۰۰۰	مترمکعب	۹۹۳،۳۲۸	۴۸،۲۶۳،۵۷۴
۲۶	بر مبنای متر مربع زیر بنا	اجرا	۲۰۲,۷۲	۴،۰۰۰	مترمربع	۸۱۰،۸۸۰	۴۹،۰۷۴،۴۵۴
			هزینه اتصالات				
۲۸	بر مبنای متر مربع زیر بنا	اتصالات	۲۰۲,۷۲	۵،۰۰۰	مترمربع	۱،۰۱۳،۶۰۰	۵۰،۰۸۸،۰۵۴
			هزینه حمل				
۲۹	بر مبنای متر مربع زیر بنا	حمل مصالح پای کار	۲۰۲,۷۲	۵،۰۰۰	مترمربع	۱،۰۱۳،۶۰۰	۵۱،۱۰۱،۶۵۴
۳۰	کل هزینه سازه LSF						۵۱،۱۰۱،۶۵۴

۴-۲- هزینه ی سازه ی اسکلت فولادی

اطلاعات هزینه ی سازه ی اسکلت فولادی در جدول ۵ آمده است(قیمت ها بر حسب تومان می باشد)

جدول ۵- ریزمتره و هزینه ی سازه اسکلت آهن

ردیف	توضیح	محصول	مقدار	قیمت واحد	واحد	قیمت محصول	قیمت تجمعی
			هزینه اسکلت فولادی				
۱	تیر اهن ۱۴	اهن ۱۴۰	۱۳,۳۳۳۳۳۳۳۳	۲۶۴،۰۰۰	شاخه	۳،۵۲۰،۰۰۰	۳،۵۲۰،۰۰۰
۲	تیر اهن ۱۶	اهن ۱۶۰	۳,۳۳۳۳۳۳۳۳	۳۲۱،۰۰۰	شاخه	۱،۰۷۰،۰۰۰	۴،۵۹۰،۰۰۰
۳	تیر اهن ۱۸	اهن ۱۸۰	۰,۸۳۳۳۳۳۳۳	۳۷۸،۰۰۰	شاخه	۳۱۵،۰۰۰	۴،۹۰۵،۰۰۰
۴	ورق تقویت تیر	ورق ۰,۸*۱۰۰	۱۵۵,۴۳	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۲۸۷،۵۴۶	۵،۱۹۲،۵۴۶
۵	ورق تقویت تیر	ورق ۱*۱۰۰	۷۰,۶۵	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۱۳۰،۷۰۳	۵،۳۲۳،۲۴۸
۶	ورق تقویت تیر	ورق ۰,۸*۱۵۰	۱۷۶,۶۲۵	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۳۲۶،۷۵۶	۵،۶۵۰،۰۰۴
۷	ورق تقویت تیر	ورق ۱*۱۵۰	۱۳۲,۴۶۸۷۵	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۲۴۵،۰۶۷	۵،۸۹۵،۰۷۱
۸	ورق تقویت تیر	ورق ۱*۱۸۰	۱۰۵,۹۷۵	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۱۹۶،۰۵۴	۶،۰۹۱،۱۲۵
۹	اجزای اتصالات تیر ها	نبشی ۶*۶۰*۶۰	۲۶,۰۱۶	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۴۸،۱۳۰	۶،۱۳۹،۲۵۵

۱۰	اجزای اتصالات تیر ها	نبشی۸*۸۰*۸۰	۱۰۴,۰۰۴	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۱۹۲،۴۰۷	۶،۳۳۱،۶۶۲
۱۱	اجزای اتصالات تیر ها	نبشی ۱۰*۱۰۰*۱۰۰	۳۶	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۶۶،۶۰۰	۶،۳۹۸،۲۶۲
۱۲	اجزای اتصالات تیر ها	ورق ۸*۱۳۰*۶۰۰	۹,۷۹۶۸	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۱۸،۱۲۴	۶،۴۱۶،۳۸۶
۱۳	اجزای اتصالات تیر ها	ورق ۱۰*۱۵۰*۱۵۰	۷,۰۶۵	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۱۳،۰۷۰	۶،۴۲۹،۴۵۷
۱۴	اجزای کف ستون	ورق ۱۰*۱۰۰*۲۰۰	۸۱,۶۴	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۱۵۱،۰۳۴	۶,۵۸۰،۴۹۱
۱۵	اجزای کف ستون	ورق ۱۰*۲۰۰*۴۰۰	۱۷۵,۸۴	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۳۲۵،۳۰۴	۶،۹۰۵،۷۹۵
۱۶	اجزای کف ستون	ورق ۲۵*۵۰۰*۴۰۰	۵۴۹,۵	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۱،۰۱۶،۵۷۵	۷،۹۲۲،۳۷۰
۱۷	اجزای کف ستون	نبشی ۱*۱۰۰*۱۰۰	۳۶	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۶۶،۶۰۰	۷،۹۸۸،۹۷۰
۱۸	برشگیر	ناودانی ۶۰	۲۰۵,۹۶	۱،۸۵۰	کیلوگرم	۳۸۱،۰۲۶	۸،۳۶۹،۹۹۶
۱۹	بر مبنای وزن اسکلت	جوشکاری با مصالح	۴۵۱۵	۲۸۰	کیلوگرم	۱،۲۶۴،۲۰۰	۹،۶۳۴،۱۹۶
۲۰	وزن تجمعی اسکلت سازه LSF		۴۵۱۵				
			هزینه مصالح دیوار				
۲۱	بر مبنای متر مربع زیر بنا	اجرای دیوار متال فوم با مصالح	۴۰۸	۴۵،۰۰۰	مترمربع	۱۸،۳۶۰،۰۰۰	۲۶،۷۲۹،۹۹۶
۲۲	شامل دو برابر متر مربع کل دیوار ها	شات کریت سیمان	۸۱۶	۸،۰۰۰	مترمربع	۶،۵۲۸،۰۰۰	۳۳،۲۵۷،۹۹۶
۲۳	شامل متر مربع دیوار های خارجی	سیمان سفید نمای بیرون	۲۱۲,۱۶	۴،۰۰۰	مترمربع	۸۴۸،۶۴۰	۳۴،۱۰۶،۶۳۶
۲۴	شامل دو برابر متر مربع کل دیوار ها به استثنا متر طول دیوار های خارجی و سرویس ها	گچ داخل	۴۷۹,۴	۴،۰۰۰	مترمربع	۱،۹۱۷،۶۰۰	۳۶،۰۲۴،۲۳۶
			هزینه مصالح سقف				
۲۵	بر مبنای متر مربع زیر بنا	ورق متال دک به ضخامت ۱ میلی متر	۲۰۲,۷۲	۳۰،۰۰۰	مترمربع	۶،۰۸۱،۶۰۰	۴۲،۱۰۵،۸۳۶

۲۶	شامل شبکه فولاد افت و حرارت در دو جهت	آرماتور	۳۹۵,۴۷۴	۱،۸۰۰	کیلوگرم	۷۱۱،۸۵۳	۴۲،۸۱۷،۶۸۹
۲۷	بر مبنای متر مکعب بتن مصرفی در سقف ها	بتن	۱۴,۱۹۰۴	۷۰،۰۰۰	مترمکعب	۹۹۳،۳۲۸	۴۳،۸۱۱،۰۱۷
۲۸	بر مبنای متر مربع زیر بنا	اجرا	۲۰۳	۳،۰۰۰	مترمربع	۶۰۸،۱۶۰	۴۴،۴۱۹،۱۷۷
			هزینه دیواربرشی				
۲۹	بر مبنای متر مربع سطح دیوار های برشی	قالب بندی	۸۷	۷،۰۰۰	مترمربع	۶۰۹،۰۰۰	۴۵،۰۲۸،۱۷۷
۳۰	مطابق نتایج خروجی حاصل از طراحی دیوار برشی درنرم افزار	آرماتور	۶۲۶,۸۷	۱،۸۰۰	کیلوگرم	۱،۱۲۸،۳۵۹	۴۶،۱۵۶،۵۳۵
۳۱	بر مبنای متر مکعب بتن مصرفی در دیوار های برشی	بتن	۱۰,۸۸	۷۰،۰۰۰	مترمکعب	۷۶۱،۶۰۰	۴۶،۹۱۸،۱۳۵
			هزینه حمل				
۳۲	بر مبنای متر مربع زیر بنا	حمل مصالح پای کار و جرثقیل	۲۰۲,۷۲	۱۰،۰۰۰	مترمربع	۲،۰۲۷،۲۰۰	۴۸،۹۴۵،۳۳۵
۳۳	کل هزینه سازه فولا دی						۴۸،۹۴۵،۳۳۵

همان طور که مشاهده می شود سازه ی ال اس اف ۴ درصد هزینه ی تمام شده بیش تری دارد.

۵- بررسی در حوزه ی زمان

برای محاسبه ی زمان اجرای دو سازه تا مرحله ی سفت کاری، از داده های پروژه های گذشته ی اجرا شده هر دو سیستم استفاده شده است. این داده ها پس از میانگین گیری و حذف داده های با واریانس زیاد، در جدول ۶ خلاصه شده است.

جدول ۶- محاسبه ی زمان اجرای سازه در دو سیستم

ردیف	آیتم	زمان اجرا (روز)	زمان تجمعی (روز)
زمان اجرای سازه ی ال اس اف			
۱	طراحی و تولید و حمل	۱۰	۱۰
۲	اجرای فونداسیون	۷	۱۷

۳	اجرای اسکلت	۱۵	۳۲
۴	اجرای سقف	۱۰	۴۲
۵	اجرای دیوار	۵	۴۷
۶	گچ و نما	۲۰	۶۷
زمان اجرای سازه ی آهنی			
۱	طراحی و خرید و حمل	۵	۵
۲	اجرای فونداسیون	۱۰	۱۵
۳	اجرای اسکلت	۲۵	۴۰
۴	اجرای سقف و دیوار برشی	۱۴	۵۴
۵	اجرای دیوار	۱۰	۶۴
۶	گچ و نما	۲۰	۸۴

همان طور که مشاهده می شود سازه ی ال اس اف سبب صرفه جویی ۱۱ درصدی در زمان می شود.

۶- بررسی در حوزه ی کیفیت

مدیریت کیفیت پروژه دربرگیرنده ی فرایندهای موردنیاز برای حصول اطمینان از برآورده شدن نیازهایی است که پروژه به خاطر آنها متعهد شده است. کلیه ی فعالیت های کارکرد مدیریت عمومی را که خط مشی، اهداف و مسئولیت های کیفیت را تعیین نموده و آنها رابه وسیله ابزارهایی چون برنامه ریزی کیفیت، تضمین کیفیت، کنترل کیفیت و بهبود کیفیت در قالب سیستم کیفیت اجرا می نماید، شامل می شود. شکل ۴ کلیات فرایندهای اصلی مدیریت کیفیت پروژه را نشان می دهد[۱۳].

شکل ۴ - فرآیند مدیریت کیفیت در پی ام باک

در این مطالعه برای بررسی و مقایسه کیفیت دو سازه، به تعریف معیارهایی بر اساس فرآیندهای مدیریت کیفیت پی ام باک، اقدام گردید. این معیارها از جنبه ی مدیریتی به بررسی کیفیت دو سیستم می پردازند و به بررسی جزئی دو سازه پرداخته نمی شود؛ زیرا وجود خارجی ندارند. در اینجا مفهوم بعضی از معیارهای تعریف شده ، به اختصار توضیح داده شده است. سیستم نمره دهی به صورت درصد رضایت کارفرمایان و مهندسان ناظر و پیمان کار می باشد. نتایج بررسی ها در جدول ۷ آمده است:

جدول ۷- بررسی شاخص های کیفیت در دو سیستم

فرآیند	مرحله	ردیف	شاخص	نمره ی سازه ی ال اس اف	نمره ی سازه ی اسکلت آهن	توضیح
برنامه ریزی کیفیت	ورودی	۱	تعیین خط مشی کیفیت برای سازمان	۸۰	۷۳	توانایی تعیین چارچوب کیفیت
	ورودی	۲	کیفیت استانداردهای موجود	٦۰	۸۵	-
	تکنیک	۳	وجود پروژه های با کیفیت اجرای بالا برای الگوبرداری	٦۰	۸۰	-
	تکنیک	٤	طراحی آزمایش برای ارزیابی کیفیت	٦۰	۷۰	-
	تکنیک	٥	هزینه ی کیفیت	۸۰	۷۰	سهولت ارزیابی کیفیت
	خروجی	٦	تهیه چک لیست	۸۰	۷۵	-
تضمین کیفیت	ورودی	۷	نتایج اندازه گیری	۸۰	۷۰	قابل اعتماد بودن نتایج
	تکنیک	۸	ممیزی کیفیت	۸۵	۷۰	تشخیص راحت عیوب و نواقص
	خروجی	۹	بهبود کیفیت	۸۰	٦۵	قابل اصلاح بودن
برنامه ریزی کیفیت	ورودی	۱۰	برنامه مدیریت کیفیت	۷۰	٦۰	سهولت برنامه ریزی
	تکنیک	۱۱	بازرسی	۸۰	۵۰	سهولت بازرسی
	تکنیک	۱۲	نمونه گیری	۷۰	۷۵	-
	تکنیک	۱۳	جریان نمایی	٦۵	۷۵	امکان ایجاد رابطه عددی بین کیفیت و نواقص
	تکنیک	۱٤	تحلیل روند	۷۰	۷۵	پیش بینی عملکرد
	خروجی	۱۵	دوباره کاری	۷۵	۷۰	سهولت رفع عیب

میانگین	۷۳,۰	۷۰,۹	-

همان طور که مشاهده می می شود سازه ی ال اس اف ۲,۱ درصد عملکرد بهتری از خود نشان داده است.

۷- اعمال تحلیل سلسله مراتبی

برای اعمال تحلیل سلسله مراتبی از نرم افزار اکسپرت چویس ۱۱ (expert choice ۱۱) استفاده گردید. وزن دهی این موارد، نسبت به یکدیگر بر اساس نظر کارشناسان شرکت و کارفرمایان در منطقه مشهد، اعمال گردید. میزان اهمیت این معیارها برای دو سیستم سازه ای مطابق جدول ۸ است.

جدول۸ -نسبت ضرایب مقایسه دو سیستم

معیار	ضریب
هزینه	۳
زمان	۲
کیفیت	۱

اثر هر معیار برای دو سیستم نیز با توجه به اعداد بررسی های انجام شده در قسمت قبل، در جدول ۹ آمده است.

جدول۹ - درصد برتری هر معیار در دو سیستم

معیار	نسبت	سازه ی برتر
هزینه	$\frac{٤٨.٩}{٥١.١} = ٠.٩٦$	سازه ی اسکلت آهن
زمان	$\frac{٨٤}{٦٧} = ١.٢٥$	سازه ی ال اس اف
کیفیت	$\frac{٧٣}{٧٠.٩} = ١.٠٣$	سازه ی ال اس اف

نتایج تحلیل پس از اعمال فرآیند در جدول ۱۰ خلاصه شده است.

جدول۱۰ - نتیجه ی عملکرد نهایی دو سیستم پس از اعمال تحلیل سلسله مراتبی

ضریب تأثیر	۰,۱۷	۰,۳۳	۰,۵۰	
نوع سازه	**کیفیت**	**زمان**	**هزینه**	**نتیجه نهایی**
سازه ی ال اس اف	۰,۵۱	۰,۵۶	۰,۴۹	۰,۵۱
سازه ی اسکلت آهن	۰,۴۹	۰,۴۴	۰,۵۱	۰,۴۹

همان طور که ملاحظه می شود نمره ی سازه ی ال اس اف ۵۱ و نمره ی سازه ی اسکلت آهنی ۴۹ بدست آمده است.

۸- نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل سلسله مراتبی مقایسه ی دو سازه ی ال اس اف و اسکلت فولادی، می توان سازه های ال اس اف را به عنوان گزینه ی مناسبی مطرح نمود. از آن جا که عملکرد سازه های ال اس اف در برابر زلزله مناسب است یکی از گزینه های مناسب برای نواحی لرزه خیز می باشد.

اگرچه سازه های ال اس اف هزینه ی مستقیم بالاتری نسبت سازه های اسکلت فولادی دارند اما هم در هزینه های غیرمستقیم صرفه جویی می کنند و هم از منظرکیفیت و زمان عملکرد بهتری به شرح زیر دارند که در نهایت می توانند به عنوان گزینه ای قابل رقابت با اسکلت فولادی تلقّی شوند:

- هزینه ی سازه ی ال اس اف نسبت به اسکلت فولادی ۴ درصد بیش تر است.
- سازه ی ال اس اف سبب صرفه جویی ۱۱ درصدی در زمان اجرای پروژه می شود.
- سازه ی ال اس اف ۲,۱ درصد عملکرد بهتری از منظر کیفیت از خود نشان داده است.

۹- قدردانی

در پایان از شرکت انبوه سازان ایستا به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات اجرایی و فنی و هم چنین مشخصات و نظرات کارفرمایان، نهایت قدردانی را داریم.

مراجع

[۱] آیین نامه طراحی و اجرای سازه های فولادی سرد نورد(بخش سازه) ، نشریه شماره۶۱۲

[۲] محسن گرامی و همکاران، بررسی رفتار چرخه ای دیوار برشی فولادی با مقاومت بالا در قاب های فولادی سردنوردشده، اولین کنفرانس ملی سازه و فولاد ، ۱۳۹۰

[۳] محسن گرامی و محسن لطفی، آنالیز المان محدود غیرخطی ساده شده ای برای سازه های فولادی سردنورد شده با دیوار برشی، سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد، ۱۳۹۱

[۴] محسن گرامی و محسن لطفی و قاسم رحیمی اقدم ، ارزیابی سازه فولادی سردنورد شده با دیوار برشی تحت میز لرزان ، سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد، ۱۳۹۱

[5] Mohsen Gerami, Mohsen Lotfi & Roya Nejat , Inelastic behavior of cold-formed braced walls under monotonic and cyclic loading , International Journal of Advanced Structural Engineering (IJASE) , ۲۰۱۵

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

[۷]آرش مستاجران گورتانی ,حمیدرضا وثوقی فر, مریم تویسرکانی ، بررسی مزایای استفاده از سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک در صنعت ساختمان سازی کشور ، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران اردیبهشت ۱۳۸۸ , دانشگاه شیراز

[۸] Light Steel Framing Architectural Design Guide, Canadian Sheet Steel Building Inistitute

[۹] Anthony Deloge Ariyanayagam; Mahen Mahendran, Numerical modeling of load bearing light gauge steel frame wall systems exposed to realistic design fires , Thin-Walled Structures , ۲۰۱۴

[۱۰] Enrico de Angelis; Ermanno Serra, Light steel-frame walls: thermal insulation performances and thermal bridges , Energy Procedia , ۲۰۱۴

[۱۱] عبدالعلی رحمانی ، بررسی مزایا و معایب سازه های قاب فولادی سبک ، همایش ملی سازه- راه- معماری ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس ، اسفند۱۳۹۰

[۱۲]گواهی نامه ی شماره ی ۳-۳-۳ مرکز تحقیقات ، مسکن و شهرسازی(دیوارهای متال فوم)

[۱۳] نادر خرمی راد ، PMBOK به زبان ساده