

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت مسکن و شهرسازی

بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح
در پروژه‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی

سیستم قاب سبک فولادی LSF (Lightweight Steel Framing)

دکتر بهروز کاری، دکتر رسول احمدی

و همکاران

سیستم قاب سبک فولادی LSF (Lightweight Steel Framing)

تدوین : دکتر بهروز کاری، دکتر رسول احمدی

با همکاری

مهندس سعید بختیاری،

مهندس محمد جعفر هدایتی،

مهندس سمیرا نیکزاد،

مهندس مجتبی طیبی،

مهندس مسعود قاسم‌زاده،

مهندس امیرمازیار رئیس‌قاسمی،

مهندس آزاده رئیسیان

پیش‌گفتار

حرکت به سوی صنعتی شدن، به پیشرفت هم‌پای تمام صنایع نیاز دارد. در این میان، صنعت ساختمان، به عنوان یک صنعت کهن، که هر سال مبالغ هنگفتی از سرمایه‌های ملی در آن هزینه می‌شود و در مقایسه با دیگر صنایع پیشرفت قابل ملاحظه‌ای نداشته است، نیازمند توجه ویژه است.

بیش از ۳۰ سال است که در کشور برنامه‌هایی برای صنعتی شدن ساختمان‌سازی تعریف شده، اما موفقیت چندانی حاصل نشده است. دلیل آن را باید در این موضوع جستجو کرد که با وارد کردن چند کارخانه تولیدی که از نظر فناوری تا حد زیادی وابسته به کشورهای صنعتی است، و مقررات و دانش فنی متناسب با آن در کشور وجود ندارد، به هیچ وجه نمی‌توان به اهداف صنعتی شدن دست یافت. صنعتی شدن باید با بررسی دقیق سیستم‌ها و فناوری‌های مطرح روز دنیا و امکان‌سنجی بومی‌سازی آن و حصول اطمینان از قابلیت انطباق آن با الگوهای ساخت و ساز متداول در کشور آغاز شود و با فرهنگ‌سازی و تقویت صنایع مرتبط و ارائه آموزش‌های لازم، در جهت تضمین کیفیت تولید قطعات و اجرای سیستم‌های مختلف، گسترش یابد.

تجربه جهانی نشان داده است در زمان‌هایی که نیاز به ساخت تعداد زیادی ساختمان و مسکن وجود دارد، تنها انبوه‌سازی به شیوه‌های صنعتی با هدف‌گذاری، برنامه‌ریزی، مدیریت و رشد هماهنگ صنایع وابسته میسر است. صنعتی شدن فرآیندی نسبتاً زمان‌بر است که نیاز به تفکر مهندسی - فرهنگی درازمدت دارد و سیاستی است که همه باید برای گسترش آن همواره تلاش کنند.

برای صنعتی کردن ساختمان‌سازی در کشور، تحقیق، ارزیابی و امکان‌سنجی در خصوص بومی‌سازی سیستم‌های مطرح جهانی اولین گام است. به این منظور، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تعدادی از سیستم‌های مطرح تولید صنعتی ساختمان را شناسایی و مشخصات فنی آن‌ها را بررسی کرده است. مشخصات بررسی‌شده این سیستم‌ها، شامل سازه، ایمنی در برابر آتش، عملکرد حرارتی، آکوستیک، دوام، مصالح تشکیل دهنده و نقاط قوت و ضعف آن‌هاست.

به منظور آشنایی و بهره‌برداری دست‌اندرکاران صنعت ساختمان کشور و جلوگیری از استفاده ناآگاهانه از این سیستم‌ها در ساخت ساختمان، که می‌تواند مشکلات زیادی از نظر ایمنی و یا آسایش ساکنان آن ایجاد کند، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن نتایج بررسی‌ها و ارزیابی‌های صورت گرفته را، با ملاک قرار دادن مقررات و الزامات فنی ساختمان، در قالب این نشریات ارائه می‌کند.

امید است که مجموعه این نشریات به آشنایی بیشتر و بهتر دست‌اندرکاران ساختمان با سیستم‌های ساختمانی مختلف کمک کند، زمینه‌های رشد و توسعه کاربرد سیستم‌های نوین را در قالبی منطقی و فنی فراهم سازد، و بدین طریق در جهت توسعه کمی و کیفی ساخت و ساز در کشور مؤثر باشد.

دکتر سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

۱	فصل اول: معرفی سیستم
۵	فصل دوم: معرفی اجزای تشکیل دهنده
۵	۱-۲ شالوده
۵	۲-۲ دیوار
۱۰	۳-۲ سقف
۱۱	۴-۲ اتصالات
۱۲	۵-۲ عایق‌ها
۱۴	۶-۲ نما
۱۵	فصل سوم: ویژگی‌های فنی مصالح مورد استفاده
۱۵	۱-۳ قطعات فولادی
۱۵	۱-۱-۳ فولاد مصرفی
۱۶	۲-۱-۳ دوام قطعات فولادی
۱۶	۱-۲-۱-۳ پوشش‌های حفاظتی
۱۷	۲-۲-۱-۳ سطوح تمام شده
۱۷	۳-۱-۳ دوام اجزای فولادی گالوانیزه قاب
۱۸	۱-۳-۱-۳ تماس با مصالح غیرفلزی
۱۹	۲-۳-۱-۳ تماس با فلزات
۱۹	۴-۱-۳ رفتار قطعات فولادی در برابر آتش
۱۹	۲-۳ تخته‌های گچی
۲۰	۱-۲-۳ خواص فنی تخته‌های گچی و مقاومت آن‌ها در برابر آتش
۲۵	فصل چهارم: روش‌های اجرا
۲۵	۱-۴ نصب رانر به شالوده
۲۶	۲-۴ نصب تیر کلاف به شالوده
۲۶	۳-۴ اجرای قاب دیوار



- ۴-۴ اجرای تیر نعل درگاه..... ۳۰
- ۵-۴ روش‌های اجرای اتصال سقف به دیوار..... ۳۰
- ۶-۴ اجرای سقف..... ۳۱
- ۷-۴ عایق‌کاری حرارتی و صوتی..... ۳۳
- ۸-۴ اجرای مدارهای تأسیسات الکتریکی و مکانیکی..... ۳۵
- ۹-۴ اجرای نما..... ۳۶

فصل پنجم: بررسی رفتار سازه‌ای سیستم..... ۳۹

- ۱-۵ کلیات عملکرد سازه‌ای..... ۳۹
- ۲-۵ انواع سیستم‌های سازه‌ای..... ۴۳
- ۱-۲-۵ سیستم دهانه مهاربندی شده با اعضای قطری..... ۴۴
- ۲-۲-۵ سیستم دیوار برشی با ورق فولادی نازک..... ۴۴
- ۳-۲-۵ سیستم دیوار برشی با پوشش OSB..... ۴۵
- ۴-۲-۵ سیستم دیوار برشی بتن مسلح..... ۴۵
- ۳-۵ اتصالات..... ۴۶
- ۱-۳-۵ رفتار اتصالات در سیستم باربر ثقلی..... ۴۶
- ۱-۱-۳-۵ اتصال سقف به تیرچه..... ۴۶
- ۲-۱-۳-۵ اتصال تیرچه به تیر اصلی..... ۴۸
- ۳-۱-۳-۵ اتصال تیر اصلی به عضو فشاری..... ۴۹
- ۴-۱-۳-۵ اتصال اعضای فشاری به کف و یا شالوده..... ۵۰
- ۲-۳-۵ رفتار اتصالات در سیستم باربر جانبی..... ۵۱
- ۱-۲-۳-۵ اتصال عضو فشاری به کف و یا شالوده..... ۵۱
- ۲-۲-۳-۵ اتصال اعضای قطری به گره قاب..... ۵۲
- ۳-۲-۳-۵ اتصال اعضای قطری به اعضای فشاری..... ۵۳

فصل ششم: بررسی رفتار سیستم در برابر آتش..... ۵۵

- ۱-۶ کلیات..... ۵۵
- ۲-۶ خواص فنی تخته‌های گچی و مقاومت آن‌ها در برابر آتش..... ۵۶
- ۳-۶ مقاومت سیستم در برابر آتش و مقایسه آن با سایر سیستم‌ها..... ۵۷
- ۱-۳-۶ سیستم‌های دیوار باربر و غیرباربر..... ۵۷
- ۱-۱-۳-۶ جزئیات یک نمونه دیوار LSF با دو ساعت مقاومت در برابر آتش..... ۵۸
- ۲-۱-۳-۶ جزئیات یک نمونه دیوار LSF با سه ساعت مقاومت در برابر آتش..... ۵۸
- ۲-۳-۶ سیستم‌های کف و سقف..... ۶۲



فصل هفتم: بررسی عملکرد حرارتی سیستم.....	۶۵
۱-۷ مقدمه.....	۶۵
۲-۷ تحلیل عملکرد حرارتی سیستم.....	۶۶
۳-۷ اثر پلهای حرارتی بر روی ضریب انتقال حرارت سیستم.....	۶۷
۴-۷ عایقکاری حرارتی بخشهای مختلف ساختمان.....	۷۱
۱-۴-۷ سقف.....	۷۱
۲-۴-۷ کف.....	۷۱
۳-۴-۷ دیوار.....	۷۲
۵-۷ نقاط ضعف سیستم (از دید حرارتی) و روشهای رفع آنها.....	۷۲
۱-۵-۷ افزایش ضخامت و در نتیجه مقاومت حرارتی عایق حرارتی.....	۷۲
۲-۵-۷ قرار دادن یک لایه سیلیکون میان استاد(وادر) و پوشش خارجی.....	۷۳
۳-۵-۷ قراردادن یک لایه نازک عایق حرارتی به عنوان پوشش خارجی دیوار.....	۷۳
۴-۵-۷ کاهش انتقال حرارت در اجزای فلزی.....	۷۴
۵-۵-۷ امکان‌سنجی جوابگویی به ضوابط مبحث نوزدهم.....	۷۴
فصل هشتم: بررسی عملکرد آکوستیکی سیستم.....	۷۹
۱-۸ مقدمه.....	۷۹
۲-۸ اطلاعات و داده‌های موجود.....	۷۹
۱-۲-۸ نتیجه‌گیری در خصوص عملکرد دیوارهای سیستم LSF.....	۸۷
۲-۲-۸ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری در خصوص عملکرد آکوستیکی سقف‌های سیستم LSF.....	۹۱
فصل نهم: بررسی نقاط قوت و ضعف سیستم.....	۹۳
۱-۹ عوامل مربوط به هزینه.....	۹۳
۲-۹ عوامل مربوط به زمان.....	۹۳
۳-۹ عوامل مربوط به قابلیت‌های اجرایی.....	۹۴
۴-۹ عوامل مربوط به کیفیت و قابلیت‌های فنی.....	۹۴
فهرست اشکال.....	۹۷
فهرست جداول.....	۱۰۰
مراجع.....	۱۰۱

فصل اول

معرفی سیستم

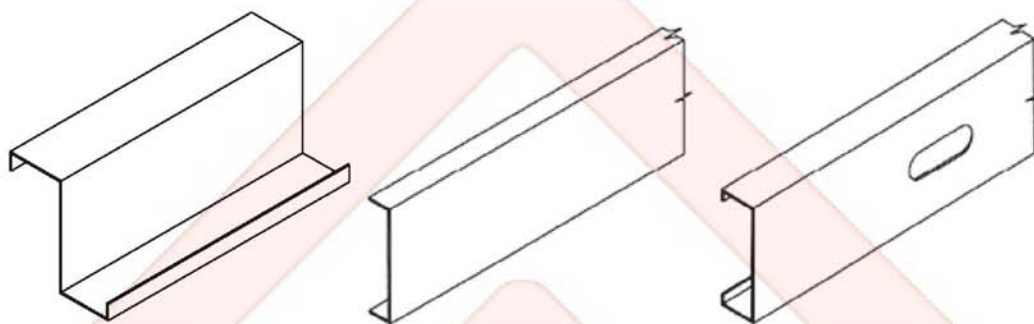
سیستم ساخت LSF^۱ یک سیستم ساختمان است، که برای اجرای ساختمان‌های عمدتاً کوتاه‌مرتبه و میان‌مرتبه (تا ۵ طبقه) استفاده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱ نمای خارجی و داخلی یک ساختمان در حال ساخت با سازه LSF

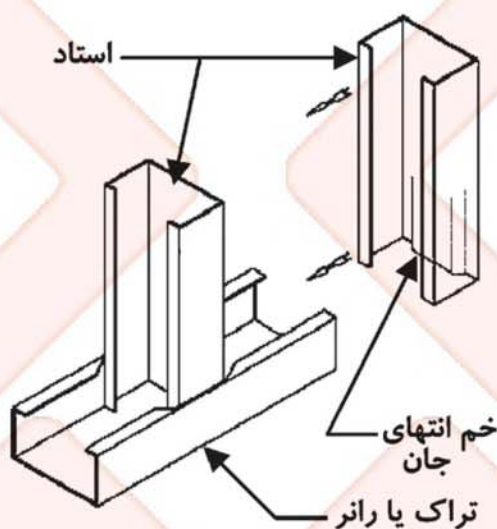
این سیستم که شباهت زیادی به روش‌های ساخت ساختمان‌های چوبی دارد، بر اساس کاربرد اجزایی به نام استاد^۲ (یا وادار) و تراک^۳ (یا رانر^۴) شکل گرفته است، و از ترکیب نیمرخ‌های فولادی گالوانیزه سرد نوردشده، ساختار اصلی ساختمان برپا می‌شود. مقاطع مورد استفاده در این سیستم U، C و Z است (شکل ۲)، که معمولاً با اتصالات سرد به یکدیگر متصل می‌شوند.

-
1. Lightweight Steel Framing
 2. Stud
 3. Track
 4. Runner



شکل ۲ پروفیل‌های C و U و Z شکل

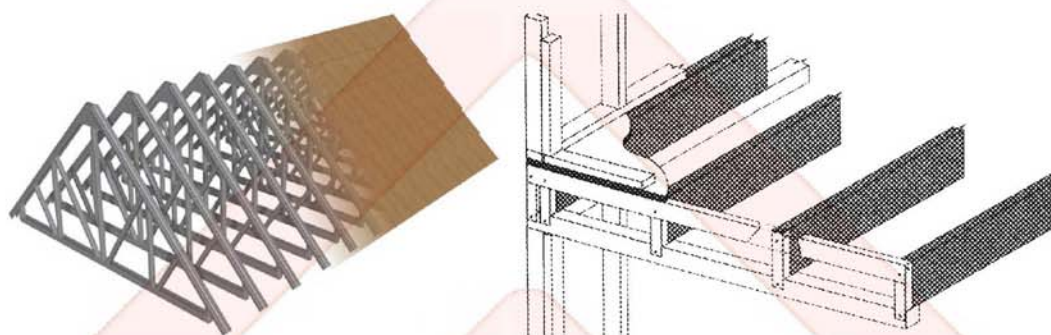
هر دیوار از تعدادی اجزای عمودی C شکل (استاد) به فواصل ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر، که در بالا و پایین به اجزای افقی ناودانی U یا C شکل (تراک یا رانر) متصل شده‌اند، تشکیل می‌شود. در صورتی که از مقاطع C شکل به عنوان تراک (رانر) استفاده شود، لازم است برش‌هایی در محل نصب استاد انجام گیرد (شکل ۳).



شکل ۳ نحوه قرارگیری استاداها در تراک (رانرها)

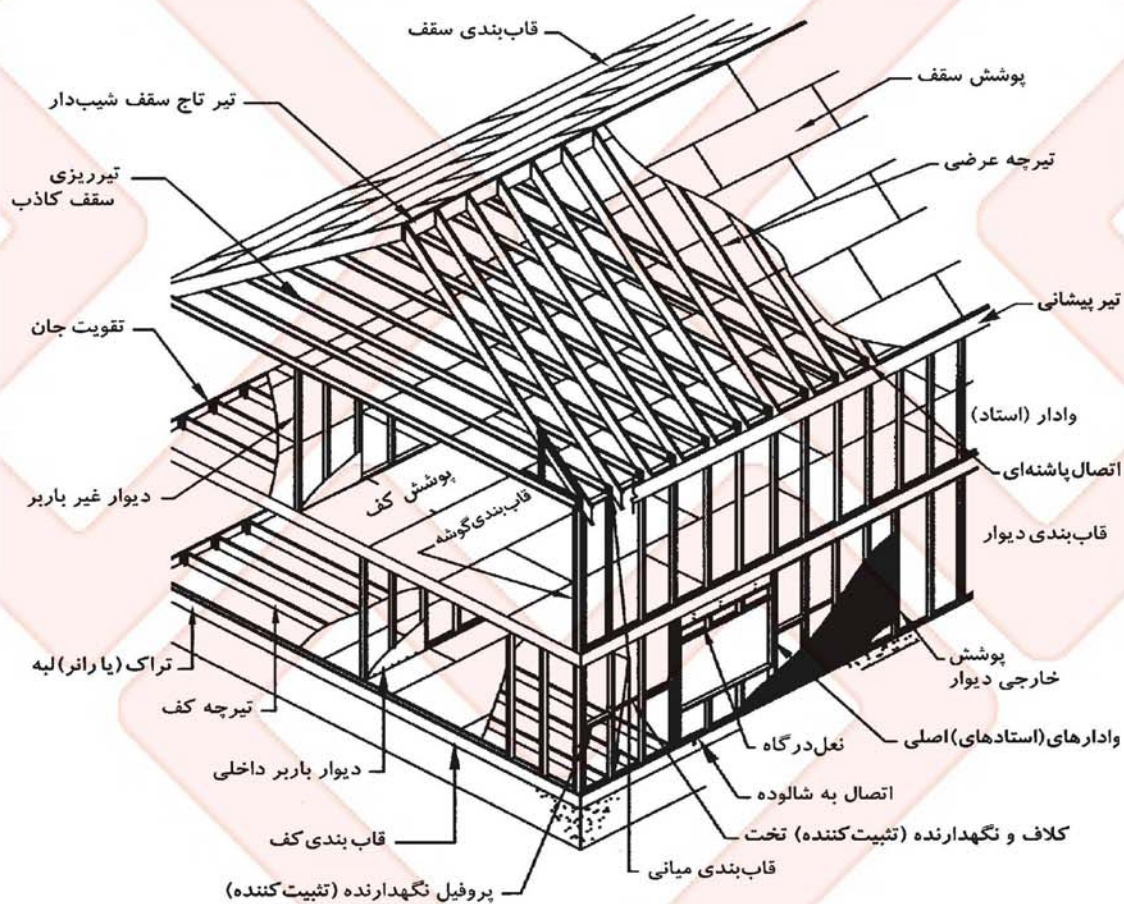
این سیستم در اکثر موارد با سقف سبک و به صورت موردی با انواع دیگر سقف اجرا می‌شود. تیر و تیرچه‌های این نوع سقف‌های سبک، همانند استاد و تراک‌های دیوارها است. سقف نهایی معمولاً از نوع شیب‌دار و با استفاده از خرپاهای فلزی ساخته شده از پروفیل‌های سرد نورد شده در نظر گرفته می‌شود (شکل ۴).

قسمت‌های دیگر ساختمان نیز با استفاده از پروفیل‌های سرد نورد شده اجرا می‌شوند و با انواع مختلف تخته (گچی، سیمانی، چوبی، ...) پوشیده می‌شوند (شکل ۵).



شکل ۴ جزئیات سقف مستوی یا شیب‌دار

پوشش نهایی این سیستم می‌تواند با انواع تخته‌های ساختمان از جمله، تخته سیمانی، چوب، تخته گچی و یا مصالح بنایی، سفال و آردواز صورت گیرد (شکل ۶).



شکل ۵ اجزای مختلف سیستم قاب فلزی سبک



قاب ساخته شده از پروفیل های سردنورد شده

تخته چندلای پیچ شده به قاب

لایه محافظ عایق در برابر حریق و رطوبت

شبكة تقویت کننده پیچ شده به تخته چندلا

اندود سیمانی

پوشش نهایی نما

شکل ۶ لایه ها و اجزای تشکیل دهنده یک نمونه جدار خارجی

فصل دوم

معرفی اجزای تشکیل دهنده

۱-۲ شالوده

شالوده مورد نیاز برای این سیستم، شالوده نواری است، که زیر دیوارهای باربر قرار می‌گیرد. در شرایطی که مقاومت خاک خیلی کم باشد، می‌توان از شالوده گسترده نیز استفاده کرد. استفاده از شالوده پیش‌ساخته نیز در بعضی موارد صورت می‌گیرد (شکل ۷). لازم به توضیح است سیستم LSF می‌تواند مستقیماً روی شالوده نصب شود، یا این‌که بخش مدفون یا نیمه مدفون ساختمان با سیستم دیگری (برای مثال ICF) اجرا شود و سیستم LSF روی سازه بتنی اجرا شده نصب شود.



شکل ۷ اجرای شالوده گسترده

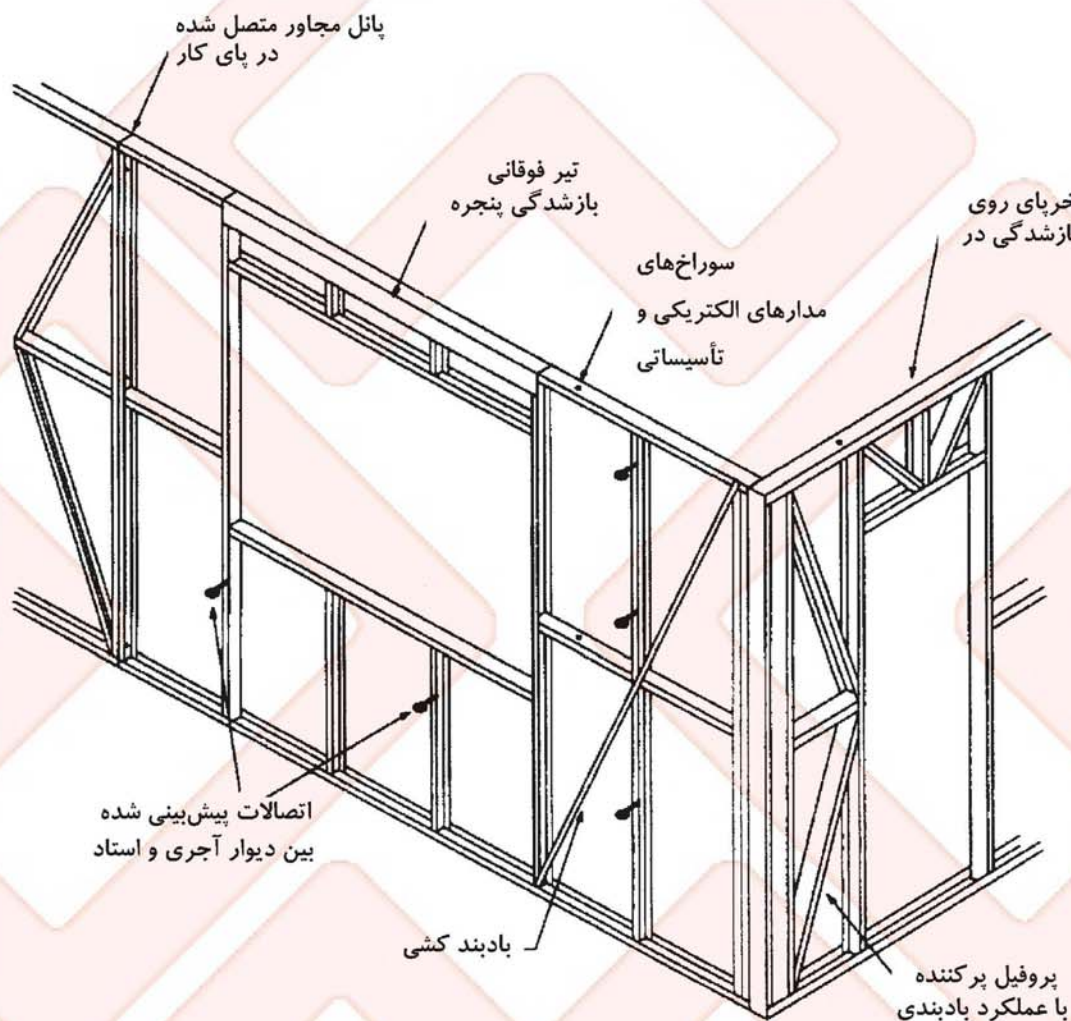
۲-۲ دیوار

معمولاً تمامی دیوارهای این سیستم به‌صورت باربر طراحی می‌شوند، ولی در صورت نیاز به دیوارهای جداکننده، امکان استفاده از دیوار خشک^۱ نیز وجود دارد. تمامی این دیوارها در پایین با یک ناودانی U شکل

1. Dry walls



(تراک یا رانر) به شالوده یا کف طبقه متصل شده، و در بالا نیز با یک رانر با مقطع U با سقف درگیر می‌شوند. بنابراین، استادهای یا عناصر عمودی، که معمولاً از مقاطع C هستند، در بین این دو رانر قرار می‌گیرند و با اتصالات سرد به آن‌ها متصل می‌شوند (شکل ۸).



شکل ۸ جزئیات اجزای تشکیل‌دهنده دیوار

اتصالات سرد قطعات، به سه روش زیر قابل اجراست:

- ۱- مونتاژ در پای کار: در این روش، مقاطع C و U و Z به صورت برش خورده و کدگذاری شده به سایت منتقل می‌شوند و در محل اجرا، با اتصالات سرد به یکدیگر نصب می‌شوند. می‌توان یک دیوار را به صورت خوابیده روی زمین درست کرد و سپس آن را بلند کرد و

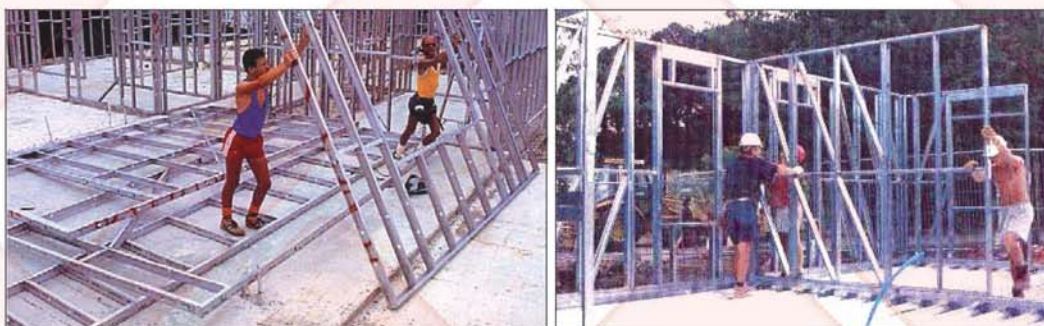


در محل خود نصب کرد (روش تیلت آپ^۱)، و یا قطعات را در محل نصب خودشان به هم وصل کرد، که روش اول از دقت اجرای بیش‌تری برخوردار است.

۲- سیستم پانلی^۲: در این روش، دیوارها و سقف‌ها به صورت صفحه‌هایی پیش‌ساخته، که در آن‌ها علاوه بر اتصالات سرد، گاهی از جوش نیز استفاده شده، به سایت منتقل می‌شوند و در کارگاه به وسیله اتصالات سرد به یکدیگر متصل می‌شوند (شکل ۹ و شکل ۱۰).



شکل ۹ نمونه قاب‌های مورد استفاده در روش پانلی



شکل ۱۰ نصب قاب‌ها در سیستم پانلی

۳- سیستم جعبه‌ای^۳: این روش معمولاً برای ساخت فضاهای کوچک ساختمان مانند سرویس‌ها و یا کانکس استفاده می‌شود. جعبه‌های پیش‌ساخته پس از انتقال به کارگاه، کنار هم چیده شده و به یکدیگر متصل می‌شوند (شکل ۱۱).

-
1. Tilt-Up
 2. Panel System
 3. Box System



شکل ۱۱ اجرای سیستم جعبه‌ای

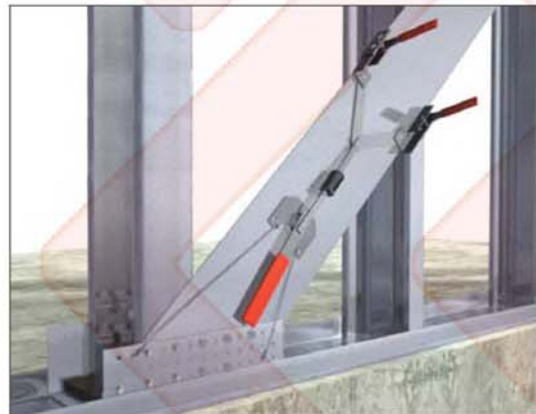
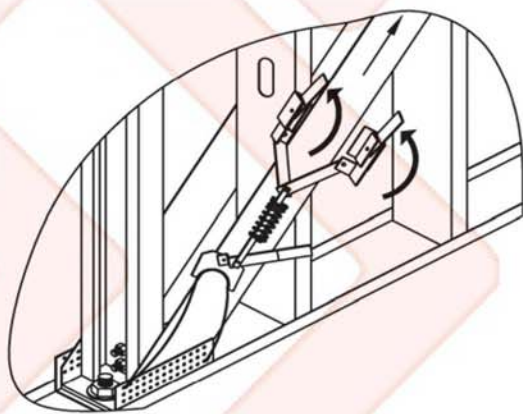
بادبندهای X یا K شکل، برای تأمین مقاومت جانبی ساختمان در برابر نیروهای جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۱۲). برای اجرای اصولی قطعات مهاربندی (خصوصاً در مواردی که از ورق یا تسمه استفاده می‌شود) و حصول اطمینان از عملکرد مطلوب این اجزاء، در مراحل نصب، معمولاً از تجهیزاتی برای ایجاد کشش در این قطعات، قبل از پیچ کردن، استفاده می‌شود (شکل ۱۳ تا شکل ۱۵). اطلاعات تکمیلی در این زمینه در بخش مطالعات تخصصی سازه این سیستم ارائه شده‌است.



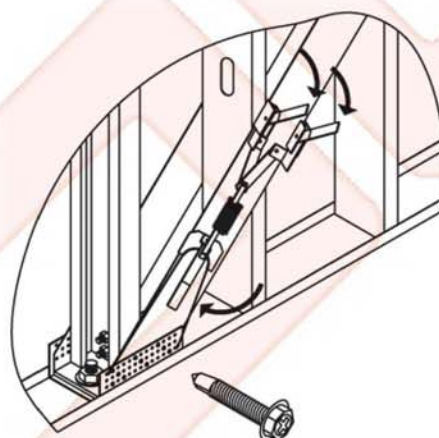
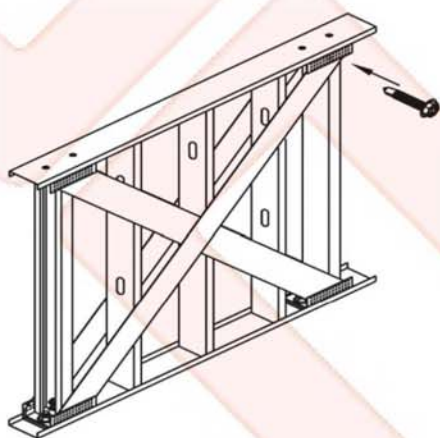
شکل ۱۲ اجزای مهاربندی دیوارها



شکل ۱۳ دستگاه مورد استفاده برای ایجاد کشش در قطعات مهاربندی



شکل ۱۴ نصب دستگاه ایجاد کشش در قطعات مهاربندی، با استفاده از سوراخ‌های اتصال پیچ



شکل ۱۵ نصب پیچ‌های اتصال اعضای مهاربندی پس از اعمال کشش



برای اجرای نعل‌درگاه در بالای بازشوها، معمولاً دو عدد مقطع C را از پشت به هم متصل می‌کنند تا به شکل یک تیر I عمل کند. برای نعل‌درگاه‌های با دهانه‌های بزرگ، به جای تیر، از خرپا در بالای بازشوها استفاده می‌شود (شکل ۱۶).



شکل ۱۶ اجرای نعل‌درگاه به دو صورت خرپا و یا تیر

۳-۲ سقف

سقف‌ها در این سیستم به دو شکل شیب‌دار (شکل ۴ و شکل ۵ و شکل ۱۷) و مستوی (شکل ۱۸)، قابل اجرا است. ساختار اصلی هر دو نوع این سقف‌ها مانند دیوارها عمدتاً از مقاطع C و Z تشکیل شده‌است. در صورتی که سقف نهایی ساختمان شیب‌دار باشد، اجرا به صورت سبک و به دو شکل سقف سرد و سقف گرم، قابل انجام است. اطلاعات تکمیلی در مورد سقف سرد و گرم در پیوست گزارش در خصوص عملکرد حرارتی جدارهای این سیستم ارائه شده است. در اینجا، لازم است به این نکته مهم اشاره شود که در سقف سرد، خطر میعان تا حد زیادی کاهش می‌یابد. مصالح پوششی سقف شیب‌دار، مصالح سبک، مانند انواع تخته و ورق است. سقف مستوی که هم برای سقف نهایی و هم برای سقف میانی طبقات کاربرد دارد، به شکل سبک و در مواردی نیز به صورت کامپوزیت اجرا می‌شود، در حالی که سقف شیب‌دار تنها به صورت سبک اجرا می‌شود (شکل ۱۷).



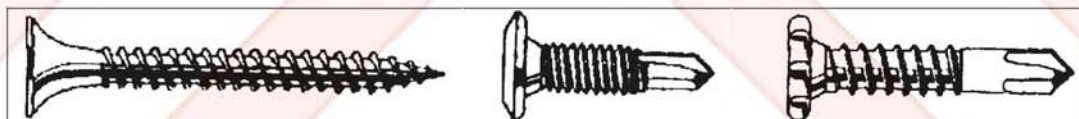
شکل ۱۷ خریاهای تشکیل‌دهنده سقف شیب‌دار



شکل ۱۸ نمونه ساختمان ساخته شده با سقف مستوی

۴-۲ اتصالات

در این روش، اتصالات حجم زیادی از عملیات اجرایی را تشکیل می‌دهد. اتصالات عمدتاً از نوع اتصالات خشک هستند، که به صورت پیچ و مهره، پیچ خودکار سرمته‌ای و ساده، بدون پیش سوراخ کردن یا با پیش سوراخ کردن، و یا میخ شلیکی، اجرا می‌شوند (شکل ۱۹).



شکل ۱۹ انواع پیچ‌های مورد استفاده برای اتصال قطعات سرد نورد شده

در مواردی که قطعه به صورت پیش‌ساخته (پانلی یا جعبه‌ای) در کارخانه تهیه می‌شود، از اتصالات جوشی نظیر جوش ذوبی^۱ یا جوش انگشتانه^۲ نیز استفاده می‌شود. هر چند استفاده از اتصالات جوشی در سایت متداول نیست و انجام آن منوط بر رعایت ضوابط و مقررات خاص مربوط به جوشکاری اعضاء سرد نورد شده مطابق استاندارد AISF و آئین‌نامه‌های AWS و AISC است.

در صورتی که نیاز به تقویت اتصالات باشد، می‌توان از قطعات نبشی و یا C شکل^۳ استفاده کرد.

1. Fusion Weld
2. Plug Weld
3. C-channel



۵-۲ عایق‌ها

سیستم مورد بحث، قابلیت بالایی برای نصب عایق حرارتی دارد. عایق حرارتی را به دو روش می‌توان بین استاده‌ها نصب کرد:

- در روش اول، استاده‌ها هم‌راستا اجرا می‌شوند و عایق حرارتی، در فضای بین استاده‌ها قرار می‌گیرد (شکل ۲۰). در صورتی که از عایق‌های حرارتی صلب استفاده شود، قطعات عایق منقطع خواهند بود و بین استاده‌ها قرار می‌گیرند. در نتیجه، لازم است عرض قطعات هماهنگی خوبی با فاصله بین استاده‌ها داشته باشد. در ضمن، منقطع بودن عایق حرارتی باعث می‌شود از نظر انتقال حرارت، استاده‌ها به‌عنوان پل‌های حرارتی عمل کنند (توضیحات تکمیلی در قسمت مربوط به مطالعات حرارتی ارائه شده‌است). در زمینه صدابندی نیز ضخامت و نحوه اتصال تخته‌های مورد استفاده به استاده‌ها، و همچنین، جنس و ضخامت عایق میانی از موارد تعیین‌کننده است. در این روش اجرا، منقطع بودن عایق حرارتی و اتصال هم‌زمان تخته‌های دو رو بدون واسطه به استاده‌ها باعث می‌شود افت صوتی در این حالت چندان قابل توجه نباشد.

برای رفع این نقطه ضعف، یا از عایق‌های رولی و قابل انعطاف استفاده می‌شود که امکان اجرای ممتد و بدون نیاز به قطع عایق در محل استاده‌ها را فراهم می‌سازد. در این صورت، پس از نصب تخته در طرف عبور عایق حرارتی، قرارگیری یک لایه فشرده‌شده عایق روی استاد باعث می‌شود از نظر انتقال حرارت و صدا، پل ناشی از وجود استاد کاهش یابد. از دیگر روش‌های بهبود عملکرد صوتی استفاده از استاده‌ها و پروفیل‌های ارتجاعی آکوستیکی است.

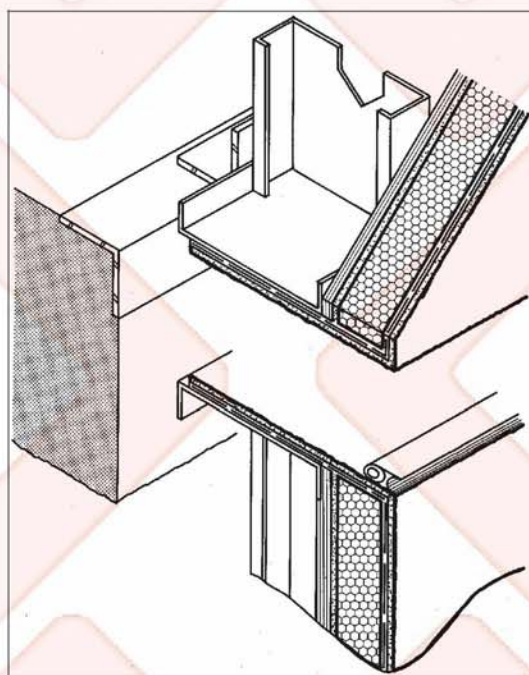


شکل ۲۰ نصب عایق حرارتی بین استاده‌ها



- در روش دوم، استادهای هم‌راستا اجرا نمی‌شوند و عملاً دیوار با استفاده از دو قاب مجزا از یکدیگر اجرا می‌شود. در این حالت، عایق حرارتی به‌صورت زیگزاگ بین استادهای قرار می‌گیرد. علاوه بر این روش، می‌توان استادهای را یک‌درمیان در دو طرف یک تراک (رانر) عریض قرار داد. در این حالت نیز، استادهای به‌صورت پل حرارتی و صوتی عمل نخواهند کرد، و عایق‌کاری در شرایط بهتری انجام می‌شود.

یکی دیگر از راه‌های عایق‌کاری حرارتی دیوارها، نصب یک لایه عایق حرارتی صلب در طرف خارجی قاب فلزی است (شکل ۲۱).



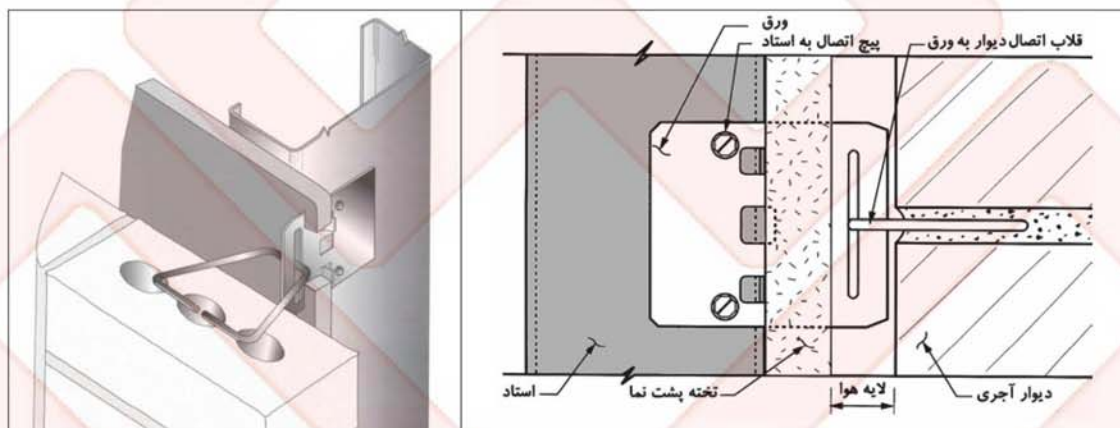
شکل ۲۱ نصب عایق حرارتی صلب در طرف خارجی قاب فلزی

در خصوص صدابندی سقف‌ها، مشکلات بیش‌تری مطرح است، زیرا علاوه بر انتقال صدای هوابرد، انتقال صدای کوبه‌ای نیز باید محدود شود. در چنین شرایطی، استفاده از پوشش‌های تخته چوبی یا سقف کامپوزیت با ضخامت بتن ۵ سانتی‌متر، علاوه بر آن‌که مانع مناسبی برای صداهای هوابرد نیست، بلکه صداهای کوبه‌ای را نیز منتقل می‌نماید. راه‌حلی که برای کنترل صداهای هوابرد و کوبه‌ای پیشنهاد می‌شود، این است که علاوه بر کاربرد مواد جاذب صوت (مانند عایق‌های معدنی) در فضای بین پوشش‌های رو و زیر سقف، از کف شناور یا کفپوش الیافی (فرش یا موکت) نیز استفاده شود (توضیحات تکمیلی در قسمت مربوط به عملکرد صوتی این سیستم ارائه شده است).



۶-۲ نما

در این سیستم، قابلیت اجرای انواع نماها وجود دارد. به این منظور، می‌توان از انواع ورق‌های چوبی، سیمانی، گچی و یا حتی نماهای بنایی مانند آجر یا سنگ استفاده کرد. در صورت اجرای نمای خارجی با مصالح و فراورده‌های بنایی، با استفاده از بست‌های گالوانیزه، می‌توان نما را با سازه دیوار LSF درگیر کرد (شکل ۲۲).



شکل ۲۲ بست‌های گالوانیزه برای اتصال نمای آجری به استادهای دیوار

فصل سوم

ویژگی‌های فنی مصالح مورد استفاده

در این بخش، ویژگی‌های فنی مصالح مورد استفاده در سیستم ساختمانی LSF مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا توضیحات لازم در خصوص قطعات فولادی مورد استفاده ارائه می‌شود. در ضمن، از آنجایی که تخته‌های گچی در سیستم LSF مهم‌ترین نقش در تأمین مقاومت سیستم در برابر آتش را دارند، در این قسمت اطلاعات لازم در مورد انواع تخته‌های گچی، خصوصاً انواع مقاوم در برابر آتش، و مشخصات فنی آنها نیز به‌صورت تفصیلی ارائه شده است.

۳-۱ قطعات فولادی

۳-۱-۱ فولاد مصرفی

ورق‌های فولادی مورد استفاده برای ساخت پروفیل‌ها و دیگر قطعات سرد نورد شده مصرفی در سیستم LSF باید دارای مشخصات مکانیکی حداقلی باشند، و از نظر ضخامت و نیز میزان شکل‌پذیری، به‌گونه‌ای باشند که امکان انجام نورد سرد و شکل‌دهی را به‌راحتی فراهم آورند.

این ورق‌ها معمولاً دارای حد جاری شدن ۲۴۰ الی ۳۴۰ مگاپاسکال هستند. مشخصات ورق‌های معرفی‌شده در آئین‌نامه AISI طبق استاندارد ASTM و به‌شرح زیر است:

- کلیه فولادهای استاندارد ASTM A 653 / A653 M

- برای فولاد پر مقاومت ASTM A 283 / A 283 M

- حداقل نقطه جاری شدن فولاد 480 MPa : Grade70

- حداقل نقطه جاری شدن فولاد 550 MPa : Grade80

- برای فولاد ASTM A 792/ A792 M 1008/A100 BM , Grade 80

در آئین‌نامه AISI، معیار شکل‌پذیری (ازدیاد طول نسبی) و نسبت تنش گسیختگی به تنش جاری شدن در فولادهای معرفی‌شده تعیین شده‌است. از نظر AISI، فولادی شکل‌پذیر است که دارای نسبت تنش گسیختگی به تنش جاری شدن بیش از ۱/۰۸ باشد و نیز ازدیاد طول نسبی بیش‌تر از ۱۰ درصد باشد.



استفاده از اشکال مختلف برای ساخت مقاطع سرد نورد شده طبق آئین‌نامه AISI مجاز است. این مقاطع معمولاً دارای ابعاد متنوع با ضخامت‌هایی بین ۶/۰ و ۵/۲ میلی‌متر هستند. در این مقاطع، نسبت پهنا به ضخامت قابل ملاحظه است و این امر سبب می‌شود اعضا در محدوده لاغری نسبتاً زیاد قرار گیرند. بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد در کشور ایران برخی از این فولادها تولید و یا به صورت وارداتی در دسترس هستند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

A36	- فولاد عادی
A572(42)	- فولاد
A607 (45,50,55,60,65)	- فولاد
A 573/708	- فولاد
A 611/D,C	- فولاد

۳-۱-۲ دوام قطعات فولادی

یکی از مهم‌ترین موضوعات در زمینه مصالح ساختمانی دوام آن‌هاست. در سیستم LSF، برای دستیابی به حداقل عمر مفید در نظر گرفته‌شده برای قطعات، لازم است تمهیداتی برای حفاظت در مقابل خوردگی انجام شود. عملیات گالوانیزه کردن، به عنوان اقتصادی‌ترین و مؤثرترین راه حفاظت از فولاد محسوب می‌شود. تمام مصالحی که در ساخت و ساز سیستم قاب فولادی سبک، به‌خصوص ساختمان‌های مسکونی، به‌کار می‌روند، باید به‌طور مؤثر، با پوششی محافظ (معمولاً از نوع گالوانیزه) حفاظت شده باشند.

برای ساخت پروفیل‌های سبک مورد استفاده در سیستم LSF، معمولاً از رول‌های فولادی گالوانیزه استفاده می‌شود، گالوانیزه کردن این ورق‌ها به‌صورت پیوسته و با گذشتن ورق از داخل حمام روی با سرعتی حدود ۲۰۰ متر در دقیقه انجام می‌شود. هنگامی که ورق فولادی از حمام روی مذاب خارج می‌شود، مواد اضافی به وسیله دمیدن هوای پرفشار به روی ورق پاک شده و ضخامت آن به میزان تعیین‌شده می‌رسد. ورق فولادی دوباره به حالت رول، پیچیده و روغن زده، آماده حمل به کارخانه تولید قطعات می‌شود.

۳-۱-۲-۱ پوشش‌های حفاظتی

انواع پوشش‌های حفاظتی برای ورق‌های فولادی مورد استفاده در سیستم (LSF) به‌شرح زیر است:



۱. گالوانیزه

۲. گالفان^۱

۳. گالوالوم^۲

۳-۱-۲-۲ سطوح تمام شده

وضعیت ظاهری سطوح پوشش داده‌شده با روی یا دیگر آلیاژها بر سطوح فولاد، بسته به نوع، اندازه و اشکال سطح مورد نظر متفاوت خواهد بود. نوع پولکی گالوانیزه به وسیله تکنیک‌های مختلف پردازش و کنترل، رفع می‌شود. حضور یا عدم حضور پولکی روی سطح فولاد گالوانیزه تأثیری بر ایجاد خوردگی یا بقیه ویژگی‌های فنی پوشش ندارد. جدول ۱ وزن و ضخامت پوشش‌های مختلف فولاد را نشان می‌دهد.

جدول ۱ وزن پوشش روی نسبت به ضخامت ورق یا قطعه

حداقل انتظارات		مشخصات پوشش	
ضخامت (میکرون)	وزن (دور) (گرم بر مترمربع)		
۸/۵	۱۲۰	G40/Z120	روی
۱۲/۷	۱۸۰	G60/Z180	
۱۹/۴	۲۷۵	G90/Z275	
۹/۸	۱۳۵	GF45/ZGF135	گالفان
۱۳/۳	۱۸۰	GF60/ZGF180	
۱۹/۸	۲۷۵	GF90/ZGF275	
۲۰/۰	۱۵۰	AZ50/AZ150	گالوالوم

در مواقعی که محیط خاصیت خوردگی فلزات را دارد، از پوشش‌های ضخیم‌تر استفاده می‌شود.

۳-۱-۳ دوام اجزای فولادی گالوانیزه قاب

دوام پوشش‌های با پایه فلز روی بستگی به زمان، رطوبت و ترکیبات موجود در هوای منطقه دارد. با توجه به خشک بودن اتصالات و عملیات ساخت در سیستم L.S.F، سرعت خوردگی فلز روی کم است. بنابراین، اگر



ساختمانی بر اساس استانداردهای موجود ساخته شود و به خوبی نگهداری و تهویه شود، رطوبت موضوع نگران‌کننده‌ای برای قاب فولادی سبک (LSF) نخواهد بود.

از آنجا که رنگ عموماً هادی نیست، از هرگونه تماس الکتریکی و الکترولیتی بین دو فلز که برای انجام واکنش گالوانیک لازم است، جلوگیری می‌کند. به عبارت دیگر، در صورت رنگ زدن قطعات، خوردگی جزئی گالوانیک کمتر نیز می‌شود. در نتیجه، آلومینیوم و فولاد گالوانیزه رنگ شده می‌توانند در تماس مستقیم با یکدیگر قرار بگیرند، بدون اینکه خوردگی گالوانیک رخ دهد.

بعضی از واکنش‌های شیمیایی ممکن است در محل اتصال دو فلز رنگ شده که با میخ یا پیچ یا پرچ به یکدیگر متصل شده‌اند رخ دهد.

۱-۳-۱-۳ تماس با مصالح غیرفلزی

ملات‌ها و اندودها

رطوبت اندود و ملات تازه ممکن است به پوشش‌های روی و آلیاژ روی حمله کند. اما هنگامی که این مصالح خشک می‌شوند، خوردگی متوقف می‌شود. از آنجا که این مصالح جاذب رطوبت هستند، باید جهت خشک نگه داشتن ملات‌ها و اندودها و یا عایق‌کاری فولاد گالوانیزه در مقابل آن‌ها، مراقبت کافی به عمل آید.

چوب

فولاد گالوانیزه باچوب خشک وارد واکنش نمی‌شود. فولاد گالوانیزه می‌تواند به چوب‌های خشک و یا با رطوبت معتدل، متصل شود. سال‌های زیادی است که میخ‌ها و پیچ‌های گالوانیزه برای اتصال چوب به کار می‌رود. مواد شیمیایی متنوع موجود در چوبهایی که با عملیات فشار خشک شده‌اند، در برابر فلز روی خاصیت خوردگی ندارند. در استفاده از چوب عمل‌آوری شده به همراه فولاد گالوانیزه نیازی به احتیاط نیست.

دیوار خشک و محصولات عایق‌کاری

دیوار خشک و محصولات متنوع عایق‌کاری حرارتی و (پشم معدنی، سلولز و فوم سخت شده) با فولاد گالوانیزه وارد واکنش نمی‌شود.

بتن

هنگامی که بتن تازه ریخته می‌شود، احتمال دارد با پوشش‌های گالوانیزه واکنش نشان دهند، زیرا بتن هنوز خیس است و دارای خاصیت قلیایی زیادی (PH بین ۱۲ و ۱۳) است. ولی پس از خشک شدن بتن عمل‌آوری شده، بتن دیگر ماده مهاجم برای این پوشش تلقی نمی‌شود. از آنجاکه زمان عمل‌آوری بتن کوتاه است، خوردگی پوشش به صورت جدی مطرح نخواهد بود. لازم به توضیح است بتن عاری از ترکیبات کلرید خورنده روی نیست.



۳-۱-۳ تماس با فلزات

واکنش دوفلزی^۱، یک واکنش الکترومکانیکی است، که می‌تواند بین فلزات یا آلیاژهای غیرمشابه رخ دهد، و باعث خوردگی در یک فلز و حفظ فلز دیگر شود. این واکنش فقط هنگامی رخ می‌دهد که فلزات غیرمشابه در تماس با یکدیگر ایجاد یک مدار الکتریکی می‌کنند، و الکترولیتی (مانند رطوبت) حضور دارد. این همان واکنشی است که عامل حفاظت گالوانیک از فولاد توسط پوشش‌های روی در جایی که پوشش تخریب شده است.

جدول ۲ سرعت خوردگی گالوانیک روی هنگامی که با فلزات دیگر در تماس است را نشان می‌دهد.

جدول ۲ میزان خوردگی روی در صورت تماس با فلزات و آلیاژهای مختلف

آلیاژ در تماس با قطعه فولاد گالوانیزه	میزان خوردگی روی
فولاد نرم	زیاد
فولاد ضدزنگ (استیل)	کم
برنج	زیاد
مس	زیاد
قلع	متوسط
نیکل	متوسط
آلومینیوم	کم

۳-۱-۴ رفتار قطعات فولادی در برابر آتش

ورق‌های نسبتاً نازک فولاد گالوانیزه، چارچوب اصلی ساختمان‌های LSF را از نظر سازه‌ای تشکیل می‌دهند. این ورق‌ها در برابر آتش دارای مقاومت کمی هستند و از این نظر باید محافظت شوند. در غیر این صورت، ساختارهای از نوع LSF در برابر آتش به سرعت دچار تغییر شکل شده، و فرو خواهند ریخت. محافظت این ساختارها در برابر آتش به وسیله تخته‌های گچی که بر روی چارچوب فولادی نصب می‌شوند، قابل تأمین است. ضمن اینکه به این صورت جدار دیوار یا سیستم سقف نیز شکل گرفته، جداسازی بین فضاهای مجاور مطابق با طرح معماری صورت می‌گیرد.

۳-۲ تخته‌های گچی

برای رسیدن به مقاومت‌های کم در برابر آتش، می‌توان از تخته‌های گچی معمولی استفاده کرد، اما برای تأمین مقاومت‌های بیشتر باید از تخته‌های مقاوم در برابر آتش استفاده کرد. لازم به ذکر است که گاهی از سایر



تخته‌های محافظ از جنس چوب، سیمان یا سیلیکات کلسیم نیز استفاده می‌شود، اما گچ در بین مواد فوق از خواص بهتری برخوردار بوده و بسیار رایج‌تر است.

با توجه به این که تخته‌های گچی و اتصالات نقش اصلی در تأمین مقاومت سیستم LSF در برابر آتش را دارند، توضیحات لازم در خصوص این موارد، استانداردها و خواص فنی آن‌ها در زیر آمده است. همچنین، در ادامه مروری بر روی مقاومت سیستم‌های دیوار و کف LSF در برابر آتش ارائه می‌شود.

۳-۲-۱ خواص فنی تخته‌های گچی و مقاومت آن‌ها در برابر آتش

در سال‌های پس از جنگ جهانی دوم استفاده از سیستم‌های دیوار خشک به علت این که مشکلات سیستم اندود گچی (از قبیل کارگر بیش‌تر، نفوذ رطوبت به ساختار زیرین و زمان لازم برای خشک شدن قبل از عملیات رنگ کاری) را برطرف می‌نمود به سرعت گسترش یافت، به طوری که امروزه در آمریکا در بیش از ۹۰ درصد از ساختمان‌های مسکونی و نیز ساختمان‌های کوچک تجاری از سیستم دیوار خشک استفاده می‌شود [۱].

امروزه واژه دیوار خشک معادل ساخت و ساز با تخته گچی است. تخته گچی یک واژه عمومی است که برای گروه متنوعی از محصولات گچی که عمدتاً به وسیله کاغذ مخصوص پوشیده شده‌اند، استفاده می‌شود. استفاده از پوشش کاغذی عمدتاً به علت مسلح کردن تیغه‌ها، به خصوص در طول نسبتاً بلند است. تفاوت اصلی تخته گچی با سایر مصالح قابل استفاده در سیستم دیوار خشک نظیر چوب، تخته‌های چند لایه یا نئوپان، در مقدار مقاومت آن‌ها در برابر آتش است.

تخته گچی در کارخانه با تزریق دوغاب مناسب بین لایه‌های کاغذ تهیه می‌شود (شکل ۲۳). تخته‌های گچی معمولی دارای یک پوشش کاغذی بر روی هر دو طرف هستند که لبه‌ها را نیز می‌پوشاند.

استفاده از تخته‌های گچی معمولی دارای محدودیت‌هایی است، از جمله این‌که، آن‌ها را نباید به طور پیوسته یا طولانی در معرض رطوبت قرار داد و همین‌طور نباید در معرض دمای خیلی بالا قرار گیرند. این تخته‌ها، در صورتی که به عنوان زیرکار برای نصب کاشی‌های سرامیکی یا سایر پوشش‌های مشابه استفاده شوند، باید در برابر رطوبت محافظت شوند. در محیط‌های مرطوب استفاده از پانل‌های مقاوم به آب توصیه می‌شود.

نوع مقاوم در برابر حریق این تخته‌ها که گاهی از آن‌ها به عنوان نوع X نام برده می‌شود، دارای افزودنی‌هایی است که مقاومت آن‌ها را در برابر آتش افزایش می‌دهد. تخته گچی معمولی به علت ترک‌خوردگی در مراحل نسبتاً اولیه آتش‌سوزی، نمی‌تواند وظیفه محافظت در برابر آتش را به‌خوبی برای ساختارهای پشت کار انجام دهد و از مقاومت بالایی در برابر آتش برخوردار نیست. اما تخته‌های نوع X به علت دارا بودن الیاف و سایر افزودنی‌ها، یکپارچگی بهتری در دمای بالا دارند که از بروز ترک‌ها و رشد ترک‌های ایجاد شده جلوگیری می‌کند.



شکل ۲۳ دوغاب‌ریزی گچ در بین دو لایه کاغذ در یک کارخانه تولید تخته گچی

طبق استاندارد ASTM C 1396 [۲] تخته گچی نوع X، تخته‌ای است که اگر با ضخامت ۱۶ میلی‌متر در دو طرف استادهای چوبی^۱ با فاصله مرکز تا مرکز ۴۰ سانتی‌متر و با میخ‌هایی با طول ۴۸ و ضخامت ۲/۳ میلی‌متر در فواصل مرکز تا مرکز ۱۷۸ میلی‌متر از یکدیگر نصب شود، دارای حداقل یک ساعت مقاومت در برابر آتش استاندارد باشد. از این تخته‌ها با ضخامت‌های مختلف و با استفاده از قاب‌بندی فولادی یا چوبی در ساختارهای مختلف دیوار، کف و سقف می‌توان به مقاومت بیش از سه ساعت در برابر آتش دست یافت و همچنین از آن‌ها برای محافظت تیرها و ستون‌ها استفاده کرد.

استاندارد بین‌المللی ISO 6308-1980 [۳] ویژگی‌های تخته‌های گچی را که به عنوان پوشش ساختمانی استفاده می‌شوند، ارائه کرده است. این استاندارد شامل تخته‌هایی می‌شود که بر روی آن‌ها می‌توان مستقیماً عملیات تزئیناتی صورت داده و یا آن‌ها را اندود گچی کرد. این تخته‌ها برای مثال می‌توانند به عنوان پوشش نهایی دیوارهای بنایی، سقف‌ها، پوشش دیوارهای جداکننده، ستون‌ها و تیرهای فولادی، و یا برای ساخت تیغه‌های جداکننده استفاده شود. این استاندارد تخته‌های گچی را به ۵ گروه زیر تقسیم می‌کند:

- ۱- تخته گچی دیواری: این تخته دارای رویه‌ای قابل تزئین‌کاری است.
- ۲- تخته گچی دیواری با جذب آب کاهش یافته: در این تخته‌ها، هسته گچی و یا رویه کاغذی دارای افزودنی‌هایی است که جذب آب را کاهش می‌دهد. بر روی رویه این تخته‌ها می‌توان تزئین‌کاری انجام داد.
- ۳- تخته گچی دیواری با پیوستگی بهبود یافته در دمای بالا: این تخته‌ها دارای مواد افزودنی یا الیاف معدنی است که پیوستگی هسته را در دمای بالا بهبود می‌دهد. رویه این تخته‌ها قابل تزئین‌کردن هستند.



- ۴- تخته گچی زیرکار برای اندود: این تخته‌ها برای اندودکاری مناسب بوده و برای افزودن قفل و بست می‌توان سوراخ‌هایی نیز روی آن‌ها ایجاد کرد.
- ۵- تخته گچی زیرکار برای اندود با پیوستگی بهبود یافته در دمای بالا: مشابه با بند ۴ ولی به علت استفاده از مواد افزودنی و الیاف در آن‌ها، هسته گچی دارای پیوستگی بهتری در دمای بالا است.

در استاندارد آلمانی DIN 18180 [۴] الزامات تخته‌های گچی ارائه شده است. این الزامات عملیات ثانویه روی تخته‌ها (در خط تولید) را نیز دربرمی‌گیرد. این استاندارد تخته‌های گچی را به دو گروه اصلی تخته گچی پایه^۱ و تخته‌گچی برای عملیات تولیدی ثانویه^۲ تقسیم و زیرگروه‌های آن را مشخص کرده است. از این بین تخته گچی دیواری (GKB) برای پوشش دیوارها، سقف‌ها و جداکننده‌ها طراحی شده‌اند، به طوری که تزئینات روی آن‌ها قابل انجام باشد. همچنین، از آن‌ها به عنوان رویه دیوار خشک و تولید پانل‌های مرکب استفاده می‌شود. تخته دیواری‌هایی با ضخامت بیش از ۱۲/۵ (mm) را می‌توان برای نماسازی یا پوشش محافظ دیوارها، پوشش سقف‌ها یا رویه سیستم‌های جداکننده استفاده کرد. تخته گچی دیواری ضد حریق (GKF) مشابه با نوع GKB است ولی مقاومت بیشتری در برابر آتش دارد.

تخته گچی دیواری اشباع شده (GKBI) مشابه با نوع GKB است ولی جذب آب پایین‌تری دارد. یک نوع دیگر تخته گچی در این استاندارد نیز، تخته‌های دیواری ضدحریق اشباع شده (GKFI) است که مشابه با نوع GKF است، ولی جذب آب کم‌تری دارد.

طبق این استاندارد همه تخته‌های گچی فوق باید دارای یک هسته گچی باشند که به طور دقیق به وسیله کاغذ پوشیده شده باشند. هسته گچی برای برآورده کردن مشخصات مورد نیاز می‌تواند دارای افزودنی‌هایی باشد، از جمله انواع GKF و GKFI برای بهبود پیوستگی در شرایط حریق باید دارای افزودنی‌های مناسب باشند.

در استانداردهای فوق، مشخصات فنی انواع تخته‌های گچی با تفاوت‌هایی ارائه شده است. استاندارد ISO مشخصات فنی تخته‌های گچی را در دو قسمت جداگانه تحت عناوین تخته‌های گچی دیواری و تخته‌های گچی زیرکار ارائه شده است و مشخصات اصلی خواسته شده در آن شامل ابعاد و بار شکست تخته‌هاست. در این استاندارد برای عرض تخته‌های گچی دیواری اعداد ۶۰۰، ۹۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌متر، برای طول آن‌ها محدوده ۱۸۰۰ تا ۳۶۰۰ میلی‌متر با فواصل ۱۰۰ میلی‌متری، و برای ضخامت آن‌ها سه عدد ۹/۵، ۱۲/۵ و ۱۵ میلی‌متر توصیه شده است.

استاندارد ISO حداقل بار شکست تخته‌های دیواری در جهات طولی و عرضی را مشخص کرده است. آزمایش به شکل سه نقطه‌ای انجام می‌شود.

استاندارد BS از نظر روش آزمایش کاملاً مشابه با ISO است، اما ویژگی‌های بالاتری را مطالبه می‌کند. تفاوت عمده استاندارد DIN از این نظر با دو استاندارد فوق این است که فاصله دو تکیه‌گاه ثابت نبست و به ضخامت نمونه وابسته است، لذا اعداد خواسته شده نیز متفاوت است. استاندارد ASTM برای کلیه آزمایش‌های

1. Basic type plasterboard

2. Plasterboard subjected to secondary manufacturing operations



تخته گچی دو روش متفاوت A و B ارائه نموده است که روش B در آن مشابه با روش‌های مذکور در سایر استانداردهای یاد شده است.

استاندارد ISO آزمایش دیگری را برای تخته‌های گچی تعیین نکرده است، اما هریک از استانداردهای یاد شده در فوق تعدادی مشخصه دیگر را تعیین کرده‌اند. برای مثال استاندارد BS برای برخی از انواع تخته گچی آزمایش جذب آب و برای برخی دیگر آزمایش پیوستگی در دمای بالا را خواسته است. همچنین، استاندارد DIN برای انواع GKFI و GKBI آزمایش جذب آب و برای انواع GKF و GKFI آزمایش پیوستگی هسته در دمای بالا را معین کرده است. طبق این استاندارد برای تمام انواع تخته‌های گچی تعیین رفتار آنها در برابر آتش لازم است. در استاندارد ASTM نیز به طور مشخص دو ویژگی خمش در شرایط مرطوب و مقاومت نسبت به میخ زدن یا پیچ‌کاری برای انواع تخته‌ها آزمایش می‌شود.

باید توجه کرد که کلیه اعداد فوق مربوط به ویژگی‌های تخته‌های گچی مسلح به کاغذ است که قطعاً مقاومت‌های خمشی بالاتری را نسبت به تخته‌های بدون کاغذ دارند و بر روی سایر نتایج نیز تأثیرگذار است.

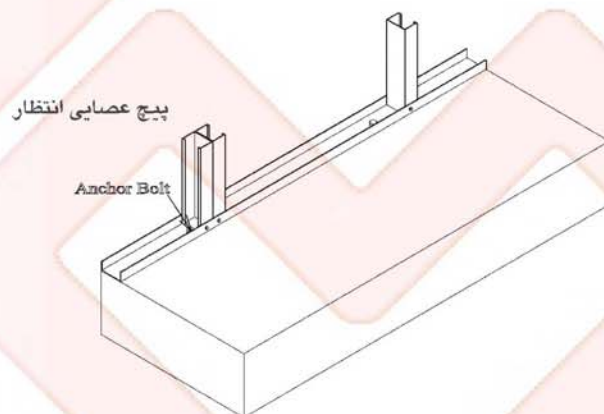
فصل چهارم

روش‌های اجرا

در این روش، ابتدا شالوده به صورت نواری یا گسترده اجرا می‌شود، و در آن پیچ‌های انتظار به شکل عصبی در فواصل ۲۰ سانتی‌متر کار گذاشته می‌شود. سپس با یکی از دو روش زیر این سیستم به شالوده وصل می‌شود.

۱-۴ نصب رانر^۱ به شالوده

در این روش پیچ‌های عصبی انتظاری را، که در فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر در شالوده نصب شده‌اند از درون سوراخ‌های رانر رد و آن‌ها را با مهره به رانر متصل می‌کنند (شکل ۲۴). در مواردی، استفاده از صفحات تقویتی در محل اتصال پیچ به رانر، ضرورت می‌یابد. لازم به ذکر است در صورتی که دیوار، باربر نباشد، می‌توان به جای پیچ عصبی، از پیچ و مهره استفاده کرد.



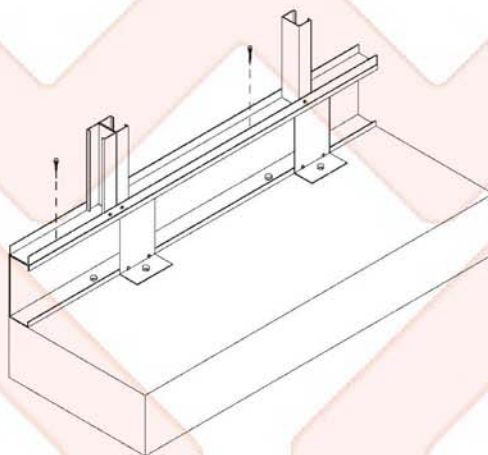
شکل ۲۴ نصب رانر به شالوده با استفاده از پیچ‌های عصبی انتظار



۴-۲ نصب تیر کلاف^۱ به شالوده

در این روش، رانر دیوار باربر به‌طور مستقیم بر روی شالوده قرار نمی‌گیرد، بلکه یک تیر کلاف (معمولاً با مقطع C) با پیچ‌های عسائی، بر روی شالوده ثابت می‌شود، سپس رانر دیوار بر روی این تیر کلاف بسته می‌شود (شکل ۲۵).

برای مقابله با رطوبت، تیرهای کلاف و رانرها باید علاوه بر گالوانیزه بودن، با یک لایه عایق رطوبتی، محافظت شوند.

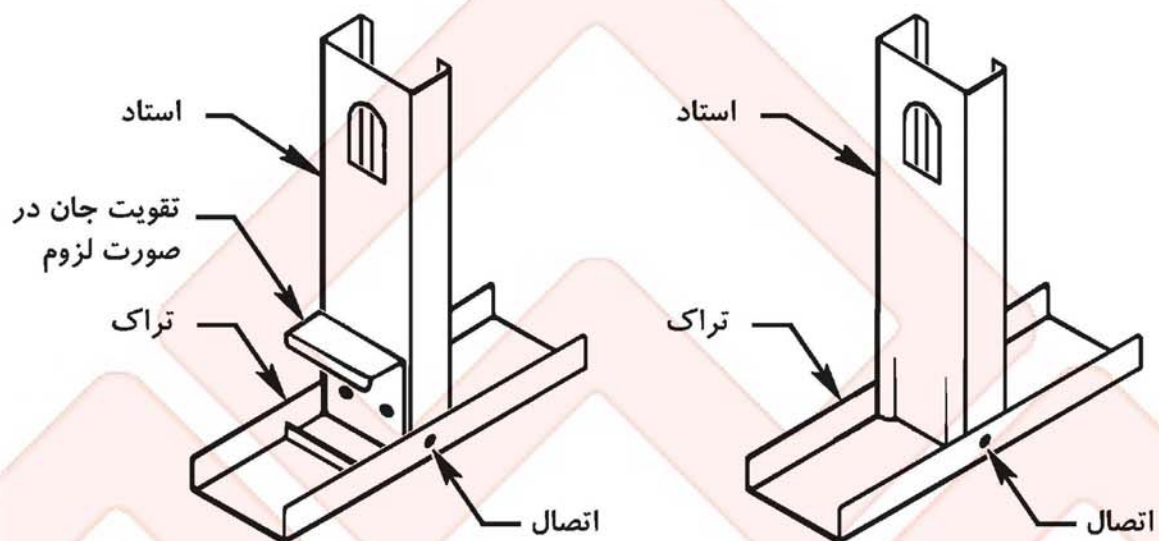


شکل ۲۵ نصب رانر به شالوده با استفاده از تیر کلاف

۴-۳ اجرای قاب دیوار

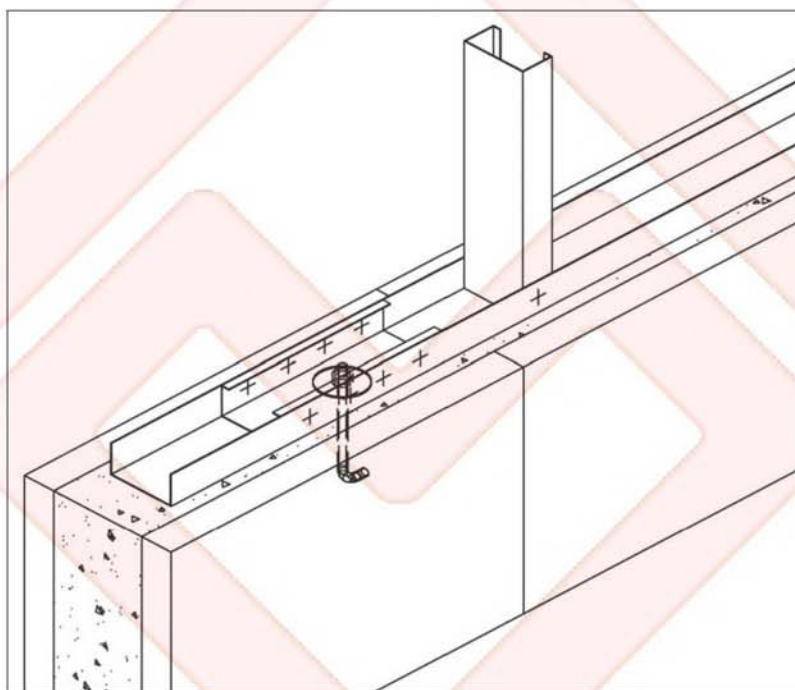
دیوارها به ۳ روش مونتاژ درجا، پانلی یا جعبه‌ای که قبلاً توضیح داده شد، اجرا می‌شوند. اتصال قطعات نیز معمولاً سرد، و با پیچ‌های سرمته‌ای خودکار است. این پیچ‌ها معمولاً بدون ایجاد سوراخ قبلی در قطعه، در آن فرومی‌روند. این در حالتی است که بالِ استاد به بالِ رانر پیچ می‌شود. لازم به توضیح است در عمل سعی می‌شود ابعاد استاد و تراک (رانر) به‌گونه‌ای انتخاب شود که پس از اجرا بال‌های طرفین استاد و تراک (رانر) دقیقاً در یک سطح قرار بگیرند، تا پس از نصب تخته‌های دو طرف ناهمواری ایجاد نشود. برای این کار، مقاطع استاد و رانر با جان‌های یک اندازه انتخاب می‌شوند، و برای کار گذاشتن استاد در تراک (رانر) در انتهای جانِ استاد خم‌هایی ایجاد می‌شود تا به‌صورت موضعی طول جان کاهش یابد (شکل ۳ و شکل ۲۶). در مواردی، علاوه بر اتصال جانِ استاد به جانِ رانر، از قطعه‌های گالوانیزه به شکل C یا نبشی^۲ نیز برای تقویت اتصال استفاده می‌شود. استفاده از قطعات تقویتی در صورتی انجام می‌شود که اتصال بال به بال کافی نباشد (شکل ۲۶).

1 Ring Beams
2 Clip track, Clip Angle



شکل ۲۶ اتصال جان استاد به جان رانر، به صورت ساده یا با استفاده از قطعه‌های تقویتی

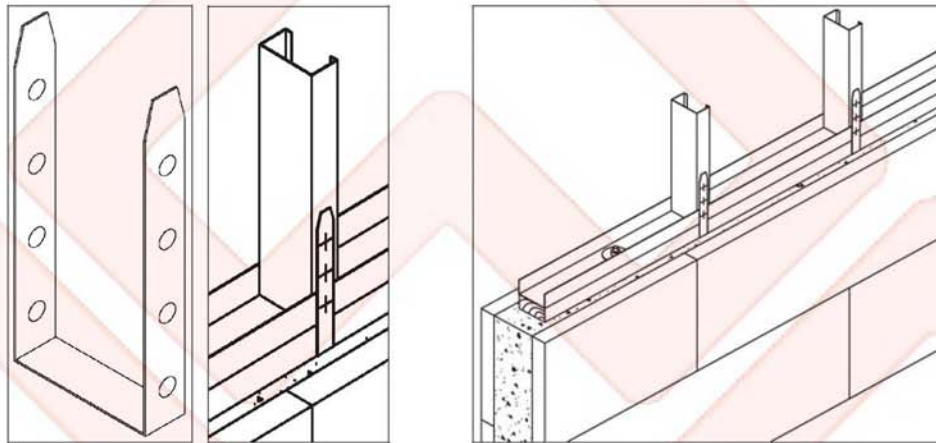
همان‌گونه که در بخش‌های قبلی نیز مطرح شد، سیستم LSF می‌تواند روی یک یا چند طبقه اجرا شده با سیستم دیگری مانند ICF نیز بنا شود (شکل ۲۷).



شکل ۲۷ اتصال سیستم LSF روی بخش دیگر اجرا شده با سیستم ICF

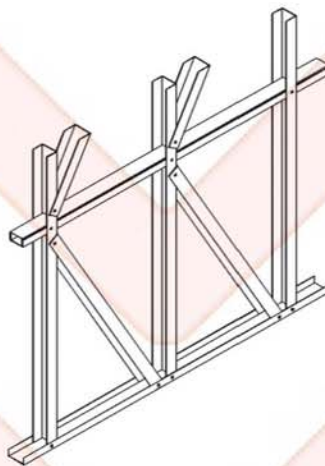


برای سهولت اجرا و همچنین، در مواردی که خطر آبلیف^۱ استاده‌ها مطرح باشد، زیر تراک (یا رانر) یک قطعه چوب چهارتراش در نظر گرفته می‌شود و در محل استاده‌های با خطر آبلیف بست‌هایی پیش‌بینی می‌شود (شکل ۲۸).



شکل ۲۸ استفاده از چوب چهارتراش و بست‌های نگهدارنده استاده‌ها

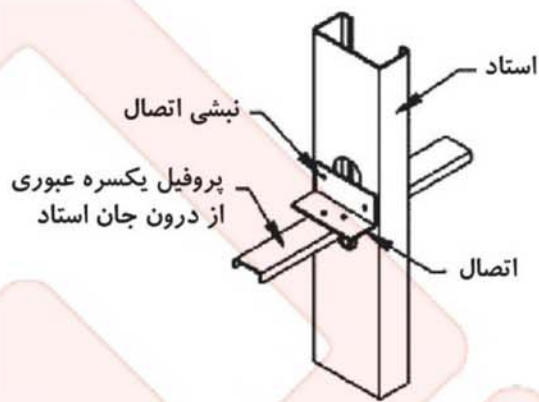
در دیوارهایی که مقاومت جانبی نیاز باشد، از اتصالات بادیستی استفاده می‌شود. این اتصالات هم به صورت مؤرب بین استاد و رانر (شکل ۲۹)، و هم به صورت افقی بین استاده‌ها انجام می‌شود (شکل ۳۰). مقطع C که در فضای بین دو استاد و دو رانر به صورت قطری قرار می‌گیرند، کمی کوچک‌تر از اندازه قطر مستطیل آن قسمت است، و بال‌های آن به بال‌های استاد و بال‌های رانر در بالا و پایین پیچ می‌شود. اتصالات افقی بین استاده‌ها می‌تواند از داخل استاد یا از دو طرف استاد عبور کند (شکل ۳۰).



شکل ۲۹ ایجاد اتصال مؤرب بین استاد و رانر



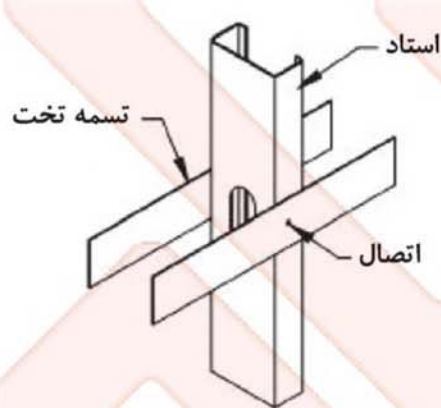
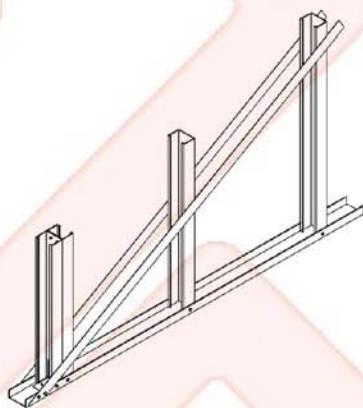
عبور از کنار بال استاد



عبور از درون جان استاد

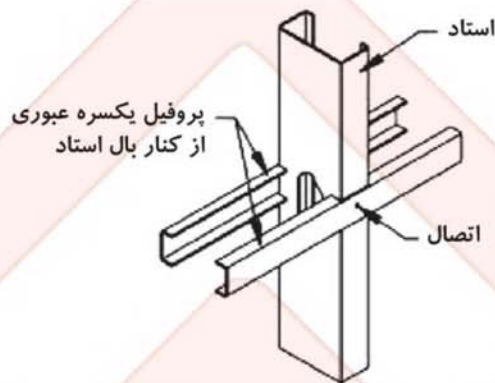
شکل ۳۰ ایجاد اتصال افقی بین استاداها

علاوه بر استفاده از مقطع C و قرار دادن آن بین دو استاد مجاور به عنوان مهاربند، می‌توان از یک جفت تسمه، که به صورت افقی یا ضربدری کل یک پانل را دربرمی‌گیرد نیز استفاده کرد. در حالت ضربدری، این تسمه می‌تواند به بال تمامی استادهای پانل مربوطه پیچ شود، و در انتها به بال رانر فوقانی و تحتانی نیز پیچ شود (شکل ۳۱).



شکل ۳۱ ستفاده از تسمه برای مهاربندی و یا تقویت استاداها

روش دیگر برای تقویت جانبی استاداها، استفاده از پشت‌بند^۱ است که به شکل قطعات کوچک C، به صورت افقی در جان استاداها نصب می‌شوند، و علاوه بر افزایش مقاومت جانبی، به کاهش ضریب لاغری استاداها نیز کمک می‌کنند. این قطعات می‌توانند ممتد نیز اجرا شوند، و در محل تقاطع با استاداها، بالشان بریده شود، و جان آنها با بال استاد به هم پیچ شود (شکل ۳۲).



شکل ۳۲ شت‌بند به شکل قطعات کوچک C، متصل شده به صورت افقی به جان استاداها

این سه روش، در سقف نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۴ اجرای تیر نعل‌درگاه

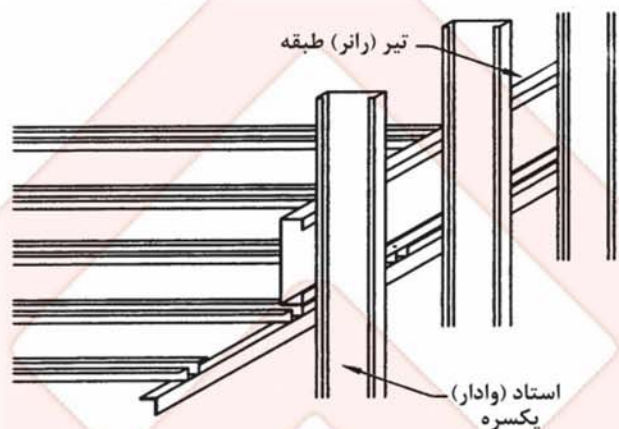
چنانچه ذکر شد، برای اجرای تیر نعل‌درگاه (در دیوار)، یا تیری که روی آن تیغه جداکننده قرار می‌گیرد (در سقف)، از قرار دادن دو پروفیل C به صورت پشت به پشت، و تشکیل یک مقطع I، می‌توان بهره گرفت. استفاده از خرپا و یا C با مقطع بزرگ در بالای بازشو نیز، می‌تواند به عنوان نعل‌درگاه برای بازشوهای بزرگ مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۵ روش‌های اجرای اتصال سقف به دیوار

سقف که از تیرها و تیرچه‌های C و Z تشکیل شده است به دو روش می‌توان به دیوارها متصل کرد. بر اساس نحوه اتصال تیرها و تیرچه‌های سقف به دیوارهای باربر، دو سیستم اجرای سقف تعریف می‌شود:

- روش استاد منفصل (سیستم پلت فورم)^۱
- روش استاد متصل (سیستم بالنی)^۲

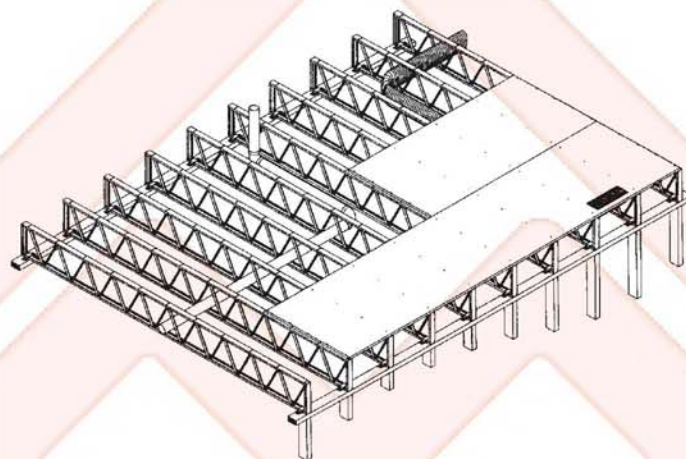
در روش استاد منفصل، استاداها در ارتفاع ساختمان پیوسته نیستند و تیرها یا تیرچه‌های سقف بر روی تراک‌ها یا رانرهای فوقانی دیوار قرار می‌گیرند. پس از اجرای پوشش سقف، تراک یا رانر تحتانی دیوار طبقه بالا نصب می‌شود (شکل ۳۵ و شکل ۳۷). در روش استاد متصل، استاداها در ارتفاع ساختمان پیوسته هستند و تیرهای سقف به استاد دیوار، پیچ می‌شوند (شکل ۳۳ و شکل ۳۲).



شکل ۳۳ جزئیات مربوط به روش استاد متصل

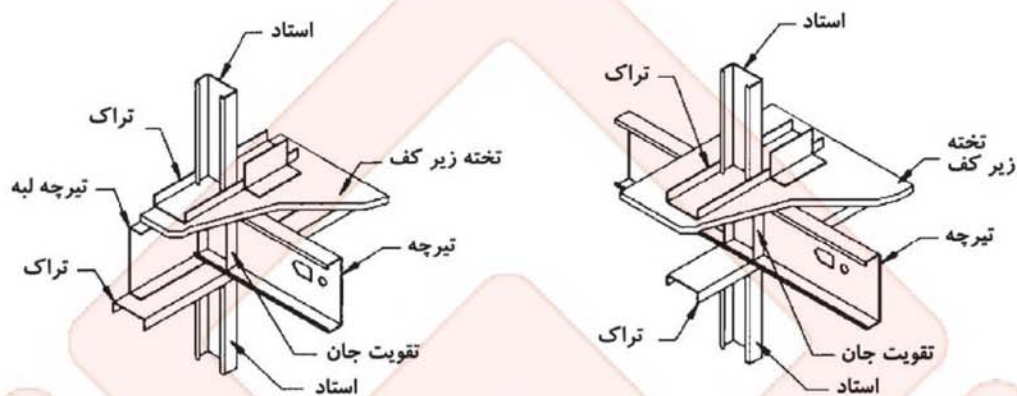
۴-۶ اجرای سقف

سقف ساختمان در سیستم LSF معمولاً با استفاده از تیرچه‌های C شکل اجرا می‌شود. در بعضی موارد، برای پوشش دهانه‌های بزرگ از خرپا نیز به جای تیرچه‌های ساخته شده از پروفیل‌های C استفاده می‌شود (شکل ۳۴).



شکل ۳۴ استفاده از خرپا برای اجرای سقف

پوشش تیرهای سقف به دو صورت پوشش سبک و کامپوزیت انجام می‌شود. پوشش سبک مخصوص سقف‌های شیب‌دار که بر روی تیرچه‌ها پیچ می‌شود معمولاً تخته چندلای چوبی و سفال است، و در بعضی موارد از تخته سیمانی نیز استفاده می‌شود. این روش در حالت سقف شیب‌دار نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۳۵ و شکل ۳۶).

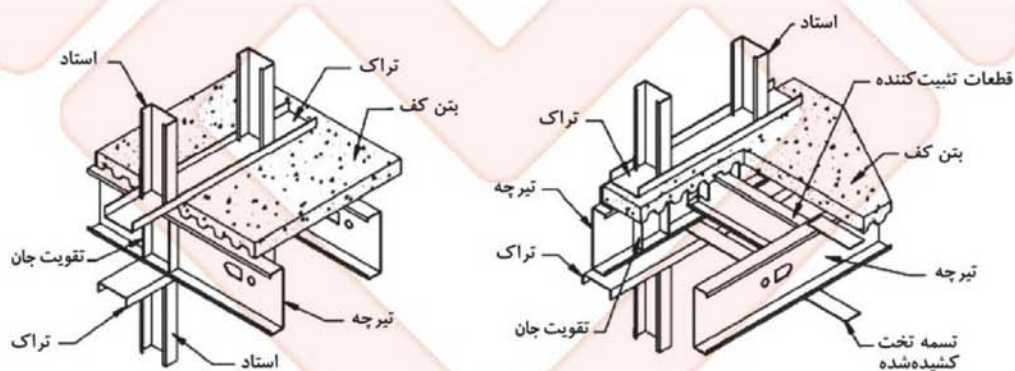


شکل ۳۵ جزئیات اجرای کف سبک تخته‌ای



شکل ۳۶ نمونه پوشش نهایی سقف مستوی

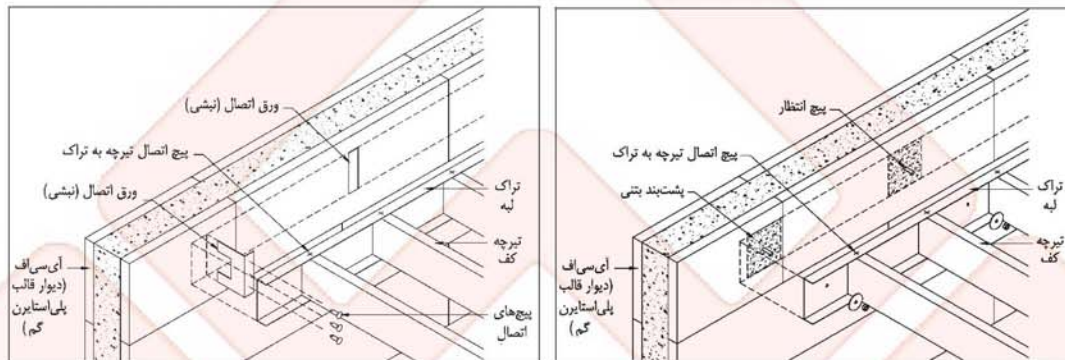
در روش دیگر، می‌توان پس از پیچ کردن صفحات موجدار، بر روی تیرها و تیرچه‌ها (به‌عنوان قالب بتن)، روی آن حدود ۵ سانتی‌متر بتن‌ریزی کرد (شکل ۳۷).



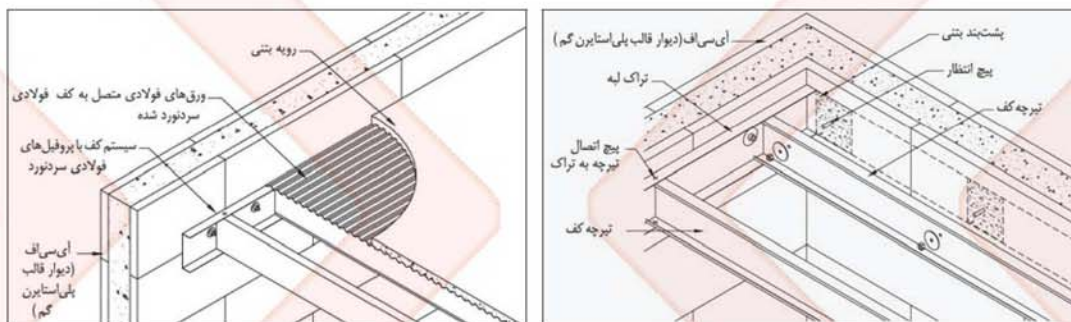
شکل ۳۷ جزئیات اجرای کف بتنی روی ورق موج‌دار



در بعضی موارد طبقه یا طبقات اول ساختمان می‌تواند با یک سیستم بتنی مانند ICF انجام شود. در این صورت کف سبک سیستم LSF می‌تواند با تمهیداتی به دیوار بتنی متصل شود (شکل ۳۸ و شکل ۳۹) [۵].



شکل ۳۸ روش‌های اتصال اجزای سازه‌ای سقف سیستم LSF به دیوار ساخته‌شده با سیستم ICF



شکل ۳۹ روش‌های اتصال گوشه و پوشش سقف در صورت تلفیق آن با دیوار ساخته‌شده با سیستم ICF

پوشش نهایی سقف که به صورت شیب‌دار یا مستوی اجرا می‌شود نیز می‌تواند از سفال، موزاییک، آسفالت، آجر یا ورق فلزی و انواع تخته سیمانی باشد.

اجرای سقف نهایی سبک به صورت شیب‌دار دارای مزایای فراوانی است، از جمله ساده‌سازی و سبک‌سازی سازه مورد نیاز، با استفاده از خرپاهای مثلثی شکل، با قرارگیری موازی (نسبت به یکدیگر). این خرپاها، به وسیله مقاطع C و Z به هم متصل می‌شوند. سطح فوقانی این خرپاها، به وسیله صفحات سبک، پوشش داده می‌شود. بدیهی است هزینه اجرا، تعمیر و نگهداری سقف شیب‌دار به مراتب کمتر از هزینه‌های مربوط به بام تخت است.

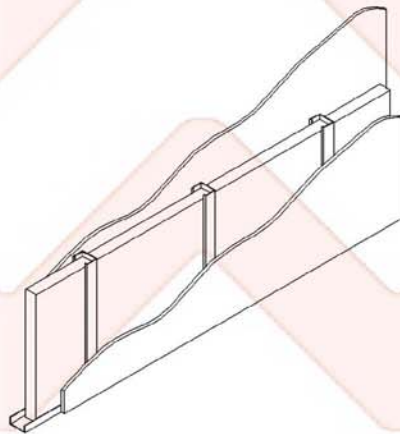
۴-۷ عایق کاری حرارتی و صوتی

پس از اجرای اسکلت دیوارها، عایق کاری حرارتی و صوتی را به دو صورت می‌توان اجرا کرد [۶]:

- ۱- اگر استادهای در یک راستا اجرا شده باشند، بین آن‌ها با پشم‌شیشه یا پشم‌معدنی پر می‌شود و برای کاهش انتقال حرارت از طریق استادهای، روی لبه استادهای نیز لایه نازکی

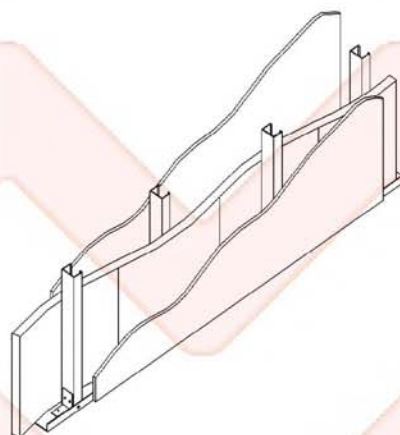


از عایق حرارتی کشیده می‌شود. در این صورت، دو بالِ استاد به دو بالِ رانر پیچ می‌شود (شکل ۴۰).



شکل ۴۰ نصب عایق حرارتی به صورت منقطع و تودلی

۲- می‌توان رانر را عریض‌تر از استاد در نظر گرفت و استادها را یک در میان، به بالِ چپ و راست رانر متصل کرد. در این حالت، یک بالِ استاد به یک بالِ رانر، و جانِ استاد به جانِ رانر (با قطعات نبشی‌شکل) متصل شده است. عایق حرارتی، به صورت زیگزاگی بین استادها اجرا می‌شود و در همه جای دیوار، یک ضخامت کافی برای عایق، تدارک دیده شده است (شکل ۴۱).



شکل ۴۱ نصب عایق حرارتی به صورت یکسره و زیگزاگ

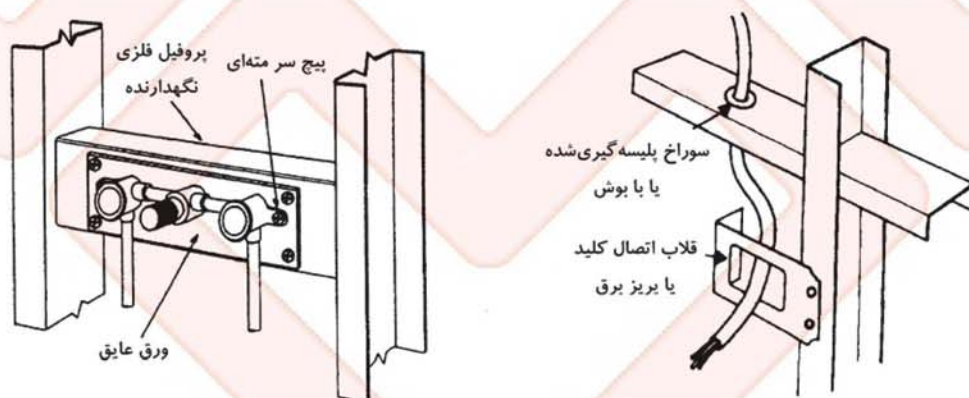
توضیحات تکمیلی در مورد عملکرد سازه‌ای، ایمنی در برابر آتش، انتقال حرارت و انتقال صوت این اجزا به‌ترتیب در بخش‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ گزارش ارائه شده‌است.

همان‌طور که ذکر شد، یکی از راه‌های تأمین انتظارات از نظر صدابندی، نصب تخته گچی یا سیمانی بر روی استاداها است، که به‌سادگی و با پیچ کردن تخته به استاد قابل انجام است. بهبود عملکرد دیوار با جانمایی زیگزاگی استاداها و اتصال هر یک از تخته‌های دیوار به یکی از ردیف‌های استاد امکان‌پذیر است. با استفاده از دو ردیف رانر مجزا، با فاصله کمی از یکدیگر در کف، عملکرد آکوستیکی دیوار می‌تواند از حالت‌های قبلی نیز بهتر شود. بدین طریق، انتقال صوت از طریق استاداها و رانرها به‌حداقل می‌رسد. روش دیگر، استفاده از استاد آکوستیکی است که بر روی استاداها، به‌صورت افقی نصب می‌شود. جزییات مربوط به عملکرد آکوستیکی جدارها در بخش مربوط به مطالعات آکوستیکی به‌تفصیل ارائه شده‌است.

پروفیل‌های سردنورد شده مقاومت کمی در برابر حریق دارند و می‌بایست در برابر حریق محافظت شوند. با استفاده از چوب، سیمان، سلیکات و گچ می‌توان مقاومت آن‌ها را در برابر حریق افزایش داد. در بین مصالح یادشده، تخته‌های گچی قابلیت بیشتری دارند. استفاده از مقاطع مقاوم‌تر برای دیوار، می‌تواند مقاومت دیوار در برابر حریق را باز افزایش دهد. اطلاعات تکمیلی در این زمینه در بخش دیگر گزارش، مربوط به مطالعات محافظت در برابر حریق، ارائه شده‌است.

۴-۸ اجرای مدارهای تأسیسات الکتریکی و مکانیکی

محل عبور کانال‌ها و لوله‌های تأسیسات الکتریکی و مکانیکی ساختمان، مجراها و سوراخ‌هایی است که به همین منظور در قطعات سازه پیش‌بینی شده است. لوله‌های برق می‌بایست در محل عبور از این سوراخ‌ها، به‌وسیله قطعات لاستیکی محافظت شوند، علاوه بر این، ایجاد یک اتصال به زمین^۱ برای دیوارها ضروری است [۷] (شکل ۴۲).



شکل ۴۲ عبور مدارهای الکتریکی از پروفیل‌ها و سیستم‌های نصب کلید و پریزهای الکتریکی و شیرآلات



۹-۴ اجرای نما

نمای سیستم LSF، از مصالح گوناگونی می‌تواند تشکیل شود. صفحات تخته سیمانی و تخته گچی و تخته چندلا، جزو متداول‌ترین مصالح نمای سیستم است، که مستقیماً با پیچ به استادهای متصل می‌شوند (شکل ۴۳ و شکل ۴۴).

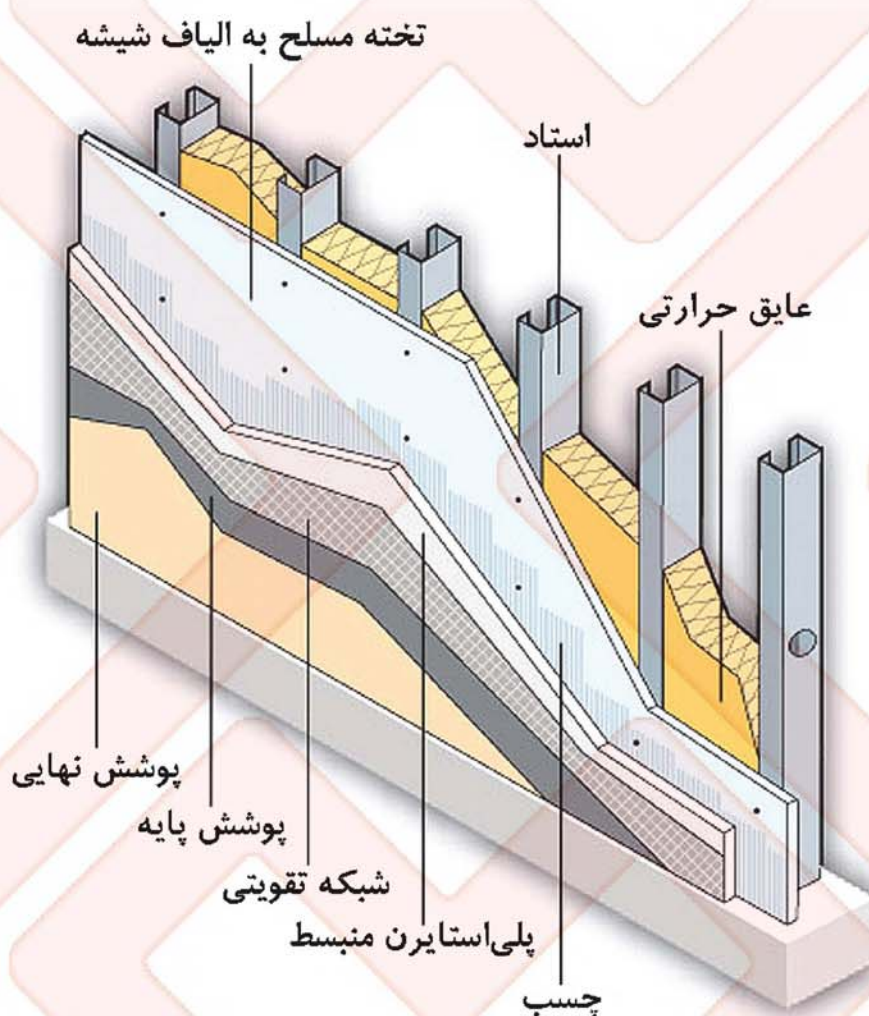


شکل ۴۳ نماهای اجرا شده با تخته‌های سیمانی درزدار



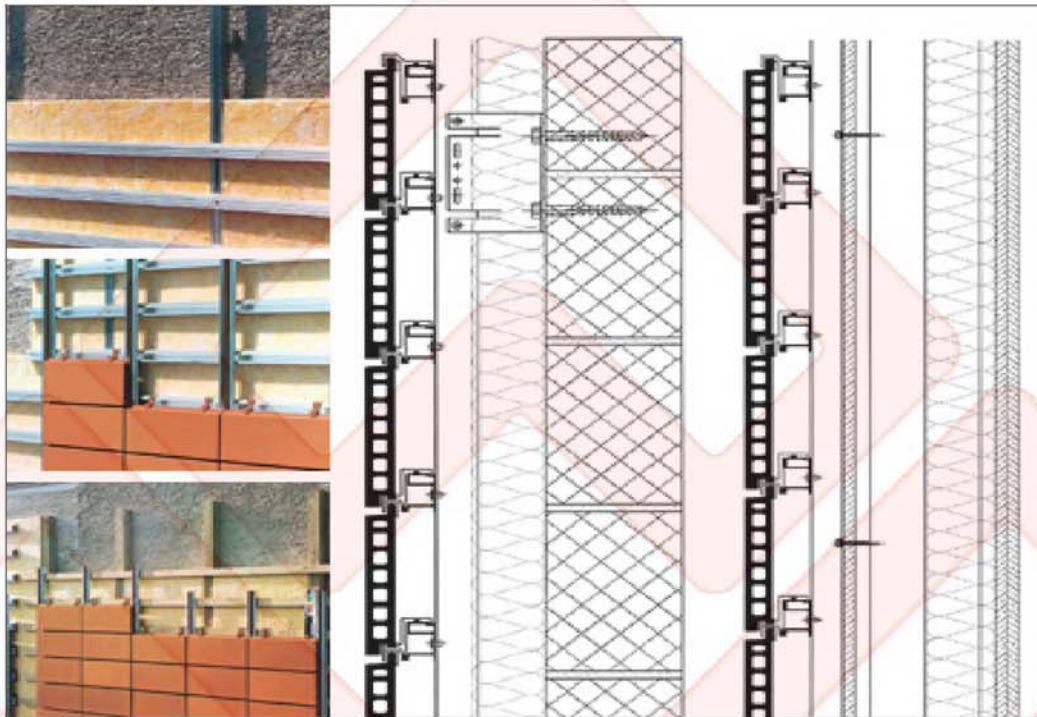
شکل ۴۴ نماهای اجرا شده با تخته‌های سیمانی روی هم (با هم پوشانی)

همان‌گونه که در بخش‌های قبلی گزارش نیز مطرح شد، استفاده از مصالح سفالی به‌صورت تر و خشک نیز در پوشش دیوارهای این سیستم معمول است. در حالت اجرای تر، در صورتی که نمای آجری مدنظر باشد، از بست‌هایی برای اتصال دادن ملات آجرکاری به استادهای استفاده می‌شود (شکل ۲۲). روش دیگر اجرای تر، نمای اندود نازک روی پلی‌استایرن منبسط است. در این حالت، پس از نصب تخته تقویت‌شده به استادهای، عایق پلی‌استایرن منبسط با چسب روی آن کار گذاشته می‌شود. در پایان، اندود نازک با شبکه تقویت‌کننده روی عایق حرارتی اجرا می‌شود (شکل ۴۵).



شکل ۴۵ نمای اندود نازک روی پلی‌استایرن منبسط

در صورت اجرای خشک، شبکه‌ای فلزی یا چوبی بر روی تخته سیمانی یا استادهای دیوار متصل می‌شود، تا در مرحله بعد، قطعات سفالی روی این شبکه نصب شود (شکل ۴۶).



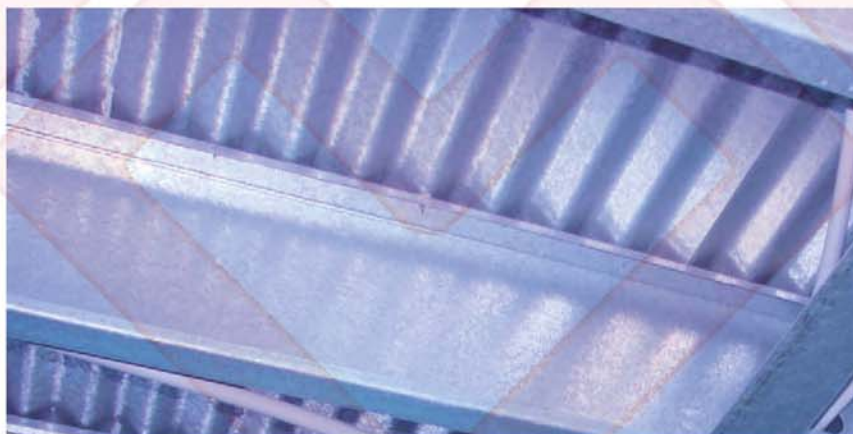
شکل ۴۶ اتصال قطعات سفالی نما به صورت خشک بر روی دیوار LSF

فصل پنجم

بررسی رفتار سازه‌ای سیستم

۵-۱ کلیات عملکرد سازه‌ای

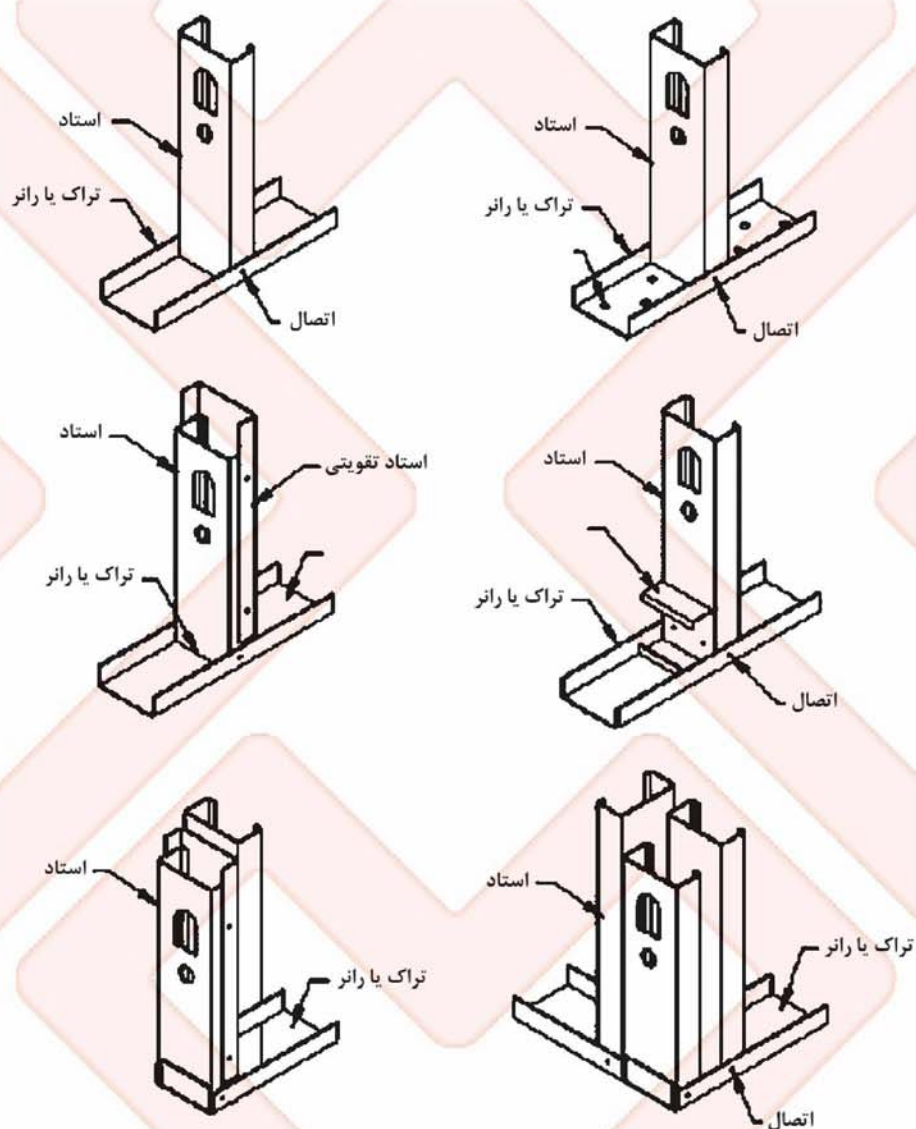
کاربرد این ساختمان‌ها به‌عنوان یک سیستم سازه‌ای مستقل، اکثراً در انبوه‌سازی با ارتفاع کم، دفاتر و ساختمان‌های تجاری کوچک، واحدهای صنعتی و سالن‌های ورزشی در یک طبقه است. به نظر می‌رسد این سیستم سازه‌ای، توانایی ترکیب شدن با سیستم‌های سازه‌ای دیگر، همانند دیوارهای بتن مسلح را دارد. همچنین، این سیستم می‌تواند در ساخت ساختمان‌های کوتاه مرتبه به صورت سیستم سازه‌ای ترکیبی به‌کار گرفته شود. تمامی اجزای این سیستم از نیمرخ‌های فولادی نورد سرد شده تشکیل شده است. سقف سازه این ساختمان‌ها متشکل از تیرهای فلزی است که فواصل تیرچه‌ها با توجه به ظرفیت باربری عضو و ابعاد قطعات پوشش سقف که می‌تواند از نوع تخته‌های گچی-چوبی و یا دال بتن مسلح باشد، تعیین می‌شود. تیرچه‌ها عمدتاً دارای مقاطعی با اشکال ناودانی یا Z است. پوشش سقف از نوع دال بتن آرمه است و در صورت تأمین یکپارچگی لازم بین بتن و پروفیل فولادی تیرچه، می‌توان سقف را به‌عنوان یک سقف مرکب طراحی کرد (شکل ۴۷).



شکل ۴۷ سقف مرکب در ساختمان LSF



اجزای قائم این سیستم تحت بارهای ثقلی، به عنوان عضو باربر فشاری عمل می‌کند؛ اعضای فشاری که در دهانه‌های مهاربندی شده قرار می‌گیرد علاوه بر بار ثقلی، نیروهای ناشی از بارهای جانبی باد و زلزله را نیز تحمل می‌کند؛ این اعضا تحت عنوان استاد در این سیستم معرفی می‌شود. اتصال اعضای فشاری به کلاف عرضی کف (تراک)^۱ به وسیله یک عضو واسطه با مقطع ناودانی و پیچ خودکار صورت می‌پذیرد؛ همان‌طور که ملاحظه می‌شود عضو فشاری در ارتفاع ساختمان ممتد نیست در هر طبقه به کف طبقه و زیر سقف سازه طبقه بالاتر محدود می‌شود (شکل ۴۸).



شکل ۴۸ اتصال عضو فشاری به کلاف عرضی

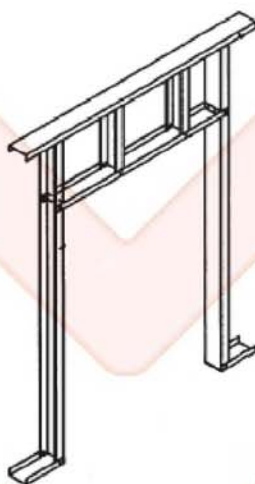
1. track or Runner

مقاطع اعضای افقی به کار رفته در سقف که بار تیرچه‌های فلزی^۱ را تحمل می‌کند، در اغلب موارد با پروفیل تیرچه‌ها یکسان است. نکته قابل توجه، سوراخ‌های لوبیایی ایجاد شده در جان مقاطع اعضای خمشی و فشاری برای عبور مسیرهای تأسیساتی است (شکل ۴۹).

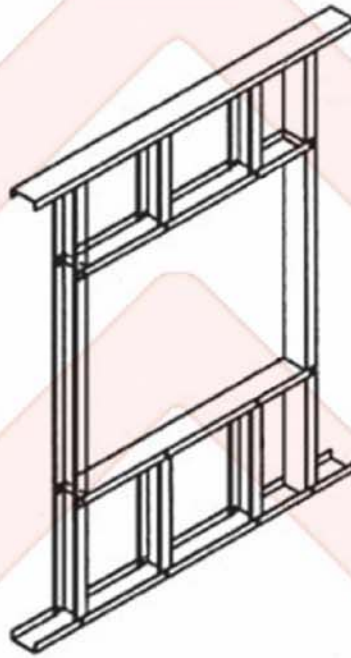


شکل ۴۹ مسیر عبور تأسیسات

برای ایجاد کلاف، پیرامون بازشوهای افقی در سقف، از تیرچه‌های فولادی استفاده می‌شود. برای مقابله با برش طبقه و نیز مهار جانبی تیرچه‌های کناری، می‌توان از مهاربندی ضربدری استفاده کرد و برای تعبیه بازشوهای قائم در دیوارهای این سیستم از تیرچه‌های نعل درگاه و ستونک‌های با مقاطع مشابه استاد استفاده می‌شود (شکل ۵۰، شکل ۵۱).

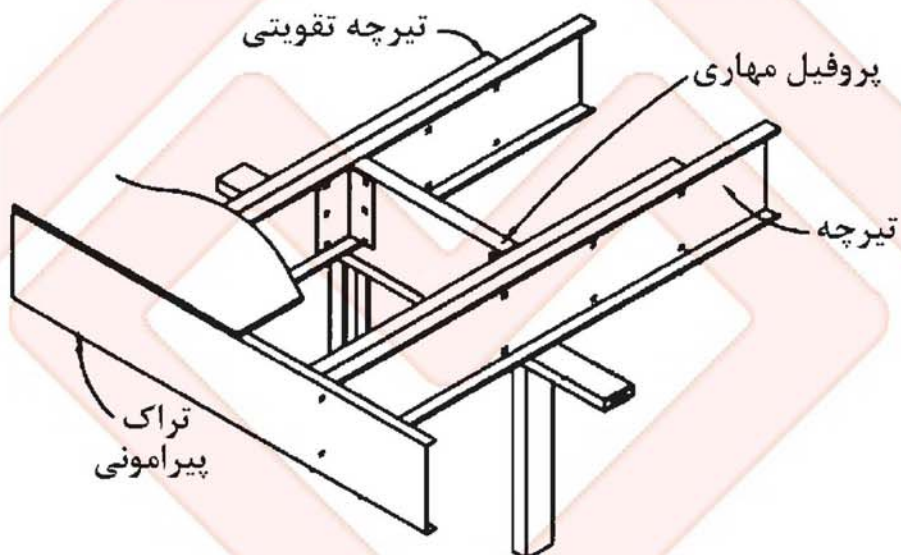


شکل ۵۰ جزییات بازشو درب در دیوار قائم



شکل ۵۱ جزئیات بازشو پنجره در دیوار قائم

با توجه به اینکه تیرهای اصلی به صورت سراسری اجرا می‌شود، لذا برای ایجاد طره‌های ساختمانی از عامل پیوسته بودن تیر استفاده می‌شود؛ در واقع این عامل باعث می‌شود تا لنگر ناشی از قسمت بیرون‌زده تیر (طره) به عضو فشاری منتقل شود و از طریق عضو فشاری به شالوده برسد (شکل ۵۲).



شکل ۵۲ طره در سیستم LSF



۵-۲ انواع سیستم‌های سازه‌ای

سیستم سازه‌ای به کار رفته در ساختمان‌های LSF، متفاوت با سیستم‌های موجود در سازه‌های فولادی و بتن مسلح متعارف است؛ هرچند به نظر می‌رسد با توجه به اتصالات بین اعضا فشاری و اعضای خمشی اصلی که در فصل قبل به آن اشاره شد، تحت اثر بارهای ثقیل، اعضای خمشی اصلی، به صورت تیرهای سراسری عمل می‌نمایند و اعضا فشاری نیز بارها را در فشار تحمل کند و به کف طبقه پایین منتقل می‌کند. تیرچه‌ها نیز همانند یک تیر، با سطح باربر مشخص بارهای ثقیل را به تیرهای خمشی اصلی انتقال می‌دهد (شکل ۵۳).



شکل ۵۳ تصویر مکانیزم انتقال بارهای ثقیل

- برای تامین باربری جانبی در سیستم سازه‌ای LSF، از دهانه‌های باربر جانبی^۱ در دو امتداد عمود بر هم استفاده می‌شود؛ دهانه‌های باربر جانبی به چهار روش ایجاد می‌شود که عبارتند از:
- سیستم دهانه‌های مهاربندی شده با اعضای قطری^۲
 - سیستم دیوار برشی با ورق فولادی نازک^۳
 - سیستم دیوار برشی با پوشش‌های OSB^۴
 - سیستم دیوار برشی بتن مسلح^۱

1. Lateral Load Bearing Walls
2. Bracing System
3. Tiny Steel Shear Wall System
4. Oriented Strand Board System



در ادامه توضیحات تکمیلی در مورد هر یک از روش ها ارائه می شود.

۵-۲-۱ سیستم دهانه مهاربندی شده با اعضای قطری

سیستم مهاربندی با اعضای قطری، شبیه سیستم بادبندهای ضربدری سازه‌های فولادی متعارف است؛ با این تفاوت که تعداد اعضای فشاری در دهانه مهاربندی شده، بیش از دو عضو ابتدا و انتها است. در این سیستم اعضای فشاری در طول دهانه توزیع شده و اعضای قطری نیز به آن‌ها متصل می‌شود؛ لازم به ذکر است که اعضای فشاری علاوه بر باربری ثقلی، در تحمل نیروهای جانبی باد و زلزله نیز شرکت می‌نماید (شکل ۵۴). این سیستم معمولاً برای ساختمان‌های یک و یا دو طبقه LSF مناسب بوده و اغلب نیز به همین صورت استفاده می‌شود.



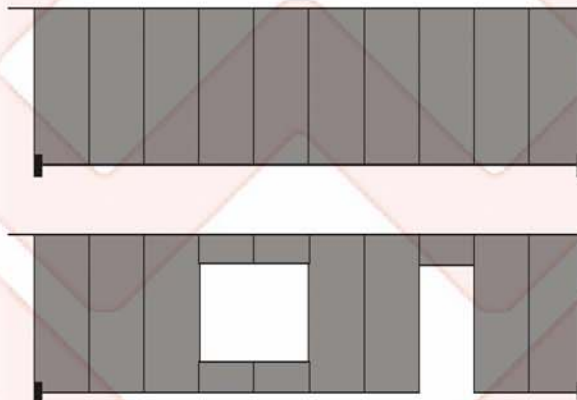
شکل ۵۴ سیستم دهانه مهاربندی شده با اعضای قطری

۵-۲-۲ سیستم دیوار برشی با ورق فولادی نازک

عملکرد سیستم باربر جانبی با ورق فولادی نازک، مشابه سیستم مهاربندی شده است؛ با این تفاوت که در این سیستم اعضای قطری حذف شده است و صفحه فولادی تمامی اعضای فشاری دهانه باربر را پوشش می‌دهد. در شکل ۵۵ نمایی از دیوارهای یاد شده، به دو صورت تمام صفحه و بازشودار، نمایش داده شده است. از آن‌جا که، سیستم‌های دیوار برشی فولادی، مرحله تحقیقات خود را طی می‌کند و از طرفی وجود اعضای فشاری در طول دهانه، این سیستم را متفاوت با دیوارهای برشی فولادی می‌کند؛ لذا رفتار دقیق این سیستم هنوز



مشخص نیست و تنها می‌تواند به‌عنوان یک ایده مطرح باشد. بررسی ساختمان‌های LSF ساخته شده در سطح دنیا نشان می‌دهد هنوز این سیستم به مرحله اجرا و آزمایش عملی گذاشته نشده است؛ هرچند به‌عنوان یک گزینه جای تأمل و بحث خواهد داشت. نکته بارز در استفاده از این سیستم، عدم کمانش اعضای فشاری به‌واسطه وجود صفحات فلزی است.



شکل ۵۵ سیستم دیوار باربر جانبی با ورق فولادی نازک

۳-۲-۵ سیستم دیواربرشی با پوشش OSB

تفاوت این سیستم با سیستم دیوار برشی با ورق فولاد نازک، استفاده از صفحات OSB به‌جای صفحات فولادی است. با توجه به بالا بودن مقاومت و سبکی صفحات OSB (چوب تراشه جهت‌دار)، انتظار می‌رود جرم محاسبات سازه کاهش یابد و این امر در کاهش نیروهای لرزه‌ای موثر خواهد بود؛ هرچند اتصال این صفحات به اعضای فشاری به لحاظ نیروهای باد، بسیار حساس است و می‌بایست توجه خاصی به طرح و اجرای آن شود. این نوع سیستم باربر جانبی در سازه‌هایی که برای عملکرد لرزه‌ای پایینی طراحی می‌شود و یا در مناطقی که خطر لرزه‌ای در آن مناطق کم است، مناسب خواهد بود. همچنین، در سقف سازه سبک، که عمدتاً در ساختمان‌های LSF یک طبقه به‌کار برده می‌شود، استفاده از سیستم OSB مناسب خواهد بود.

۴-۲-۵ سیستم دیوار برشی بتن مسلح

سیستم دیوار برشی بتن مسلح، همان سیستم متداول در سازه‌های بتن مسلح است که در ساختمان‌های LSF نیز به‌کار برده می‌شود؛ در واقع سیستم سازه‌ای LSF نقشی در باربری جانبی ندارد و تمامی نیروهای جانبی توسط دیوارهای سازه‌ای بتن مسلح تحمل می‌شود (شکل ۵۶). نکته قابل بررسی در به‌کارگیری این سیستم، اتصال اعضای خمشی اصلی LSF به دیوارهای سازه‌ای بتن مسلح و نیز اعضای فشاری مجاور دیوارهای



سازه‌ای است. این سیستم معمولاً در مواقعی که بارهای جانبی قابل ملاحظه است و تعداد طبقات زیاد باشد، به کار گرفته می‌شود.



شکل ۵۶ به کارگیری دیوارهای سازه‌ای بتن‌آرمه در ساختمان‌های LSF

۵-۳-۳ اتصالات

رفتار اتصالات در سیستم سازه‌ای LSF به دو صورت زیر بررسی می‌شود که عبارتند از:

- رفتار اتصالات در سیستم باربر ثقیلی
- رفتار اتصالات در سیستم باربر جانبی

۵-۳-۱ رفتار اتصالات در سیستم باربر ثقیلی

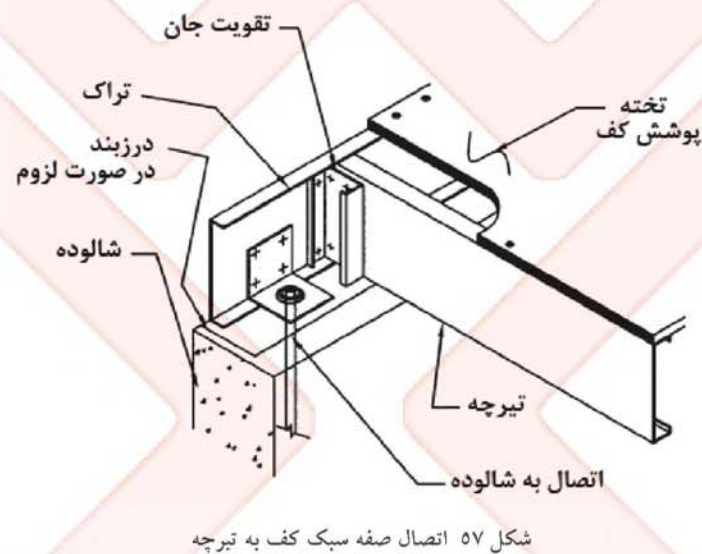
با توجه به مکانیزم انتقال بار در این سیستم، اتصالات به چهار صورت مورد ارزیابی قرار داده می‌شود که عبارتند از:

- اتصال سقف به تیرچه
- اتصال تیرچه به تیر اصلی
- اتصال تیر به عضو فشاری
- اتصال عضو فشاری به کف و یا شالوده

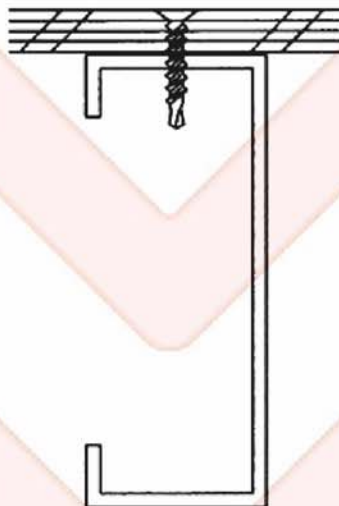
۵-۳-۱-۱ اتصال سقف به تیرچه

برحسب نوع مصالح سقف سازه، اتصال سقف به تیرچه‌ها متفاوت است؛ معمولاً دو نوع سقف در سیستم LSF به کار برده می‌شود:

الف- در سقف نوع اول استفاده از نوعی صفحه سبک از فرآورده‌های چوب و گچ استفاده می‌شود که اغلب در ساختمان‌های یک طبقه با سقف شیب‌دار و یا بام استفاده می‌شود. در این نوع سقف، صفحات سبک بر روی تیرچه قرارداده شده و بال فوقانی به وسیله پیچ خودکار، از پایین صفحه به صفحه سقف اتصال می‌یابد (شکل ۵۷ و شکل ۵۸). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، به دلیل کاهش قابل ملاحظه وزن سقف، می‌توان اتصال فوق را از نوع اتصال ساده صفحه دال سبک به تیرچه در نظر گرفت به طوری‌که، تیرچه فلزی به صورت عضو جدا عمل می‌کند. توصیه می‌شود از این نوع سقف و اتصال آن، تنها در ساختمان‌های یک طبقه با سقف شیب‌دار و در مناطقی که بار برف و باد قابل ملاحظه نیست، استفاده شود.



شکل ۵۷ اتصال صدفه سبک کف به تبرچه



شکل ۵۸ اتصال صفحه سبک سقف به تیرچه



ب- نوع دوم سقف سازه به کاربرده شده در سیستم LSF، دال بتن مسلح است که کاربری بیشتری نسبت به سقف سبک نوع اول دارد، در این نوع سقف، دال بتن مسلح به واسطه یک ورق موج‌دار که همانند قالب بتن‌ریز عمل می‌کند، بر روی تیرچه‌ها قرار داده می‌شود؛ شایان ذکر است که اتصال ورق موج‌دار به تیرچه، به وسیله پیچ خودکار و در محل بال فوقانی تیرچه فلزی صورت می‌گیرد؛ هیچ‌گونه اتصالی بین دال بتن مسلح و تیرچه فلزی وجود ندارد و عملاً دال بر روی یک تکیه‌گاه ساده قرار می‌گیرد، لذا دال بین دو تیرچه دارای تکیه‌گاه ساده است و تیرچه نیز به عنوان یک عضو خمشی به صورت جداگانه عمل می‌کند.



شکل ۵۹ اتصال دال بتن مسلح به تیرچه فلزی به واسطه ورق موج‌دار

۵-۳-۱-۲ اتصال تیرچه به تیر اصلی

اتصال تیرچه‌ها به تیر اصلی به وسیله یک عضو واسطه با مقطع C شکل در جان تیرچه صورت می‌گیرد. در این اتصال، یک ردیف پیچ در تیرچه و یک ردیف پیچ در تیر اصلی، باعث ایجاد اتصال می‌شود. رفتار این اتصال همانند اتصال نبشی جان در اتصال تیرچه‌های فولادی به تیرهای اصلی فولادی است؛ با این تفاوت که تنها از یک طرف مقطع تیرچه، اتصال انجام می‌شود؛ این اتصال از نوع اتصال ساده بوده و عضو واسطه به همراه مجموعه پیچ‌ها در برش عمل می‌کند (شکل ۶۰). لازم به ذکر است که اثر پیچش در این اتصال، باید در طراحی اتصال در نظر گرفته شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، برای جلوگیری از کمانش جان در محل تکیه‌گاه از سخت‌کننده‌های عرضی استفاده شده است که باعث می‌شود تا عضو به حد تسلیم خود برسد؛ در واقع این عامل باعث می‌شود تا از تمام ظرفیت مقطع استفاده شود.

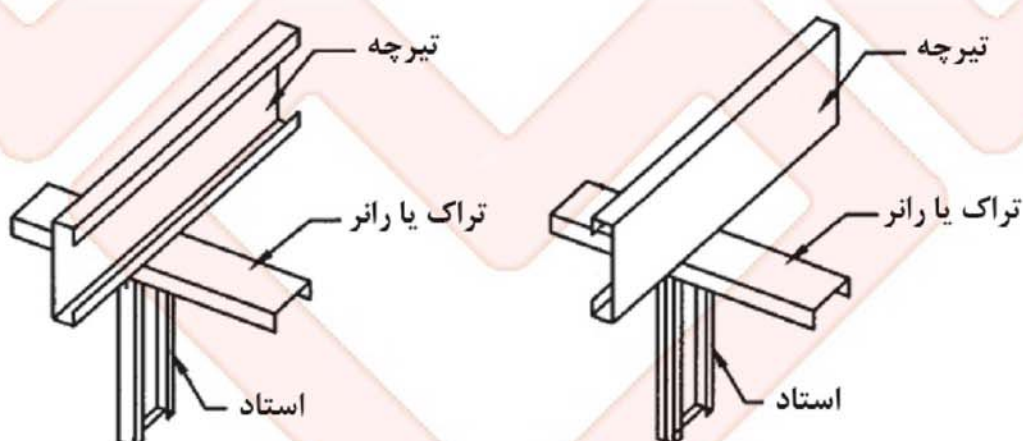


شکل ۶۰ اتصال جان تیرچه به جان تیر اصلی

۳-۱-۳-۵ اتصال تیر اصلی به عضو فشاری

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، اعضای اصلی خمشی به صورت سراسری اجرا می‌شود و در محل اتصال با اعضای فشاری، به واسطه یک عضو عمود بر تیرهای اصلی (تراک)، بر روی عضو فشاری قرار می‌گیرد (شکل ۶۱).

عضو واسطه به صورت یک صفحه نشیمن در زیر ستون، جهت توزیع یکنواخت عکسل‌عمل تکیه‌گاهی تیر به‌کار برده می‌شود؛ نحوه اتصال این عضو به بال تحتانی تیر اصلی و جان عضو فشاری بسیار حائز اهمیت است که در بخش طراحی به آن پرداخته خواهد شد.

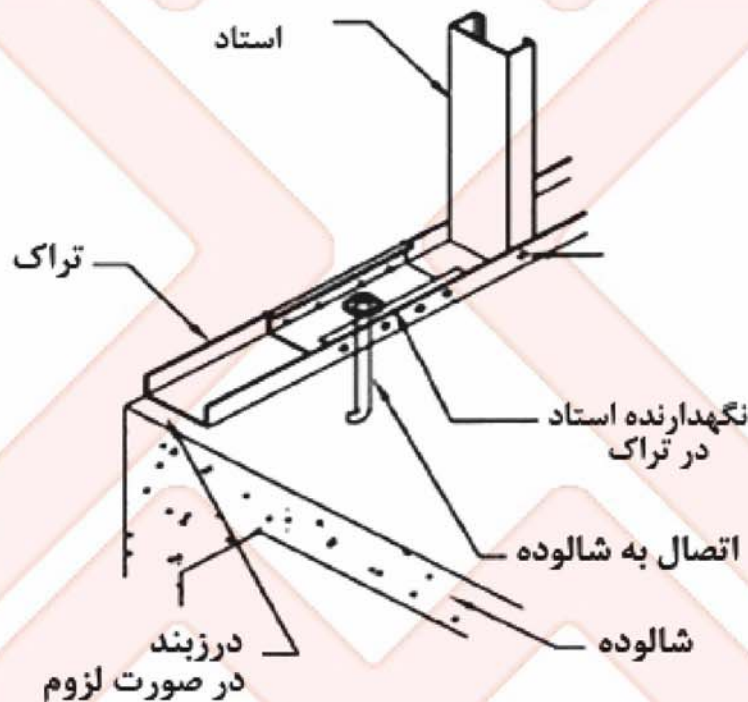


شکل ۶۱ اتصال تیر اصلی به عضو فشاری



۵-۳-۱-۴ اتصال اعضای فشاری به کف و یا شالوده

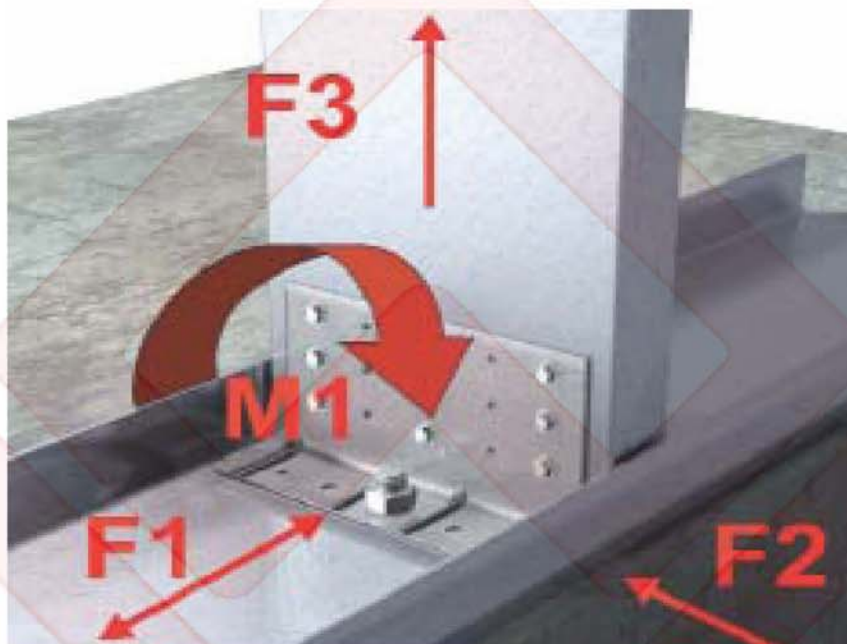
با توجه به اینکه اعضای فشاری در ارتفاع ساختمان ممتد نیست و در هر طبقه قطع می‌شود، لذا، اتصال این اعضا به کف سقف و یا شالوده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ اتصال اعضای فشاری به کف و یا شالوده، به واسطه یک کلاف فولادی عرضی^۱ از همان پروفیل نورد سرد شده با مقطع ناودانی و به صورت یکپارچه صورت می‌گیرد (شکل ۶۲). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، کلاف عرضی به واسطه میل‌مهارهای مدفون در بتن به کف و یا شالوده متصل می‌شود؛ میل‌مهارها عملکرد کششی دارد؛ برای جلوگیری از گسیختگی موضعی در محل اتصال کلاف به میل‌مهار، از یک عضو واسطه دیگری مطابق شکل می‌شود. در نیروهای فشاری منتقل شده از عضو فشاری به کلاف عرضی، عضو واسطه به صورت اتکایی بار را به کف و یا شالوده منتقل می‌کند، بنابراین، در طراحی اتصال، کلاف عرضی و عضو واسطه باید در کشش و فشاری ناشی از عضو فشاری به طور مناسبی طرح شود.



شکل ۶۲ اتصال عضو فشاری به کف سقف سازه و یا شالوده

اتصال عضو فشاری به کلاف عرضی به واسطه نبشی فولادی یا پروفیل نورد سرد شده با مقطع ناودانی و به وسیله پیچ و مهره در جان عضو فشاری (تنها از یک طرف) صورت می‌گیرد و عضو فشاری با اتصال موضعی به کف و یا شالوده متصل می‌شود، لذا به لحاظ رفتار سازه‌ای، این اتصال از نوع اتصال ساده است (شکل ۶۳).

1. Track



شکل ۶۳ اتصال عضو فشاری به کلاف عرضی

۵-۳-۲ رفتار اتصالات در سیستم باربر جانبی

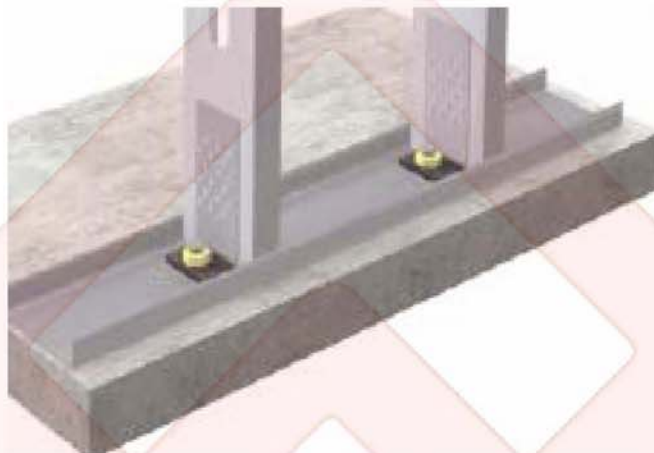
با توجه به ارزیابی عنوان شده از رفتار اتصالات در سیستم باربر ثقلی، می‌توان استنباط کرد که مجموعه قاب‌های تشکیل دهنده سیستم سازه‌ای LSF دارای اتصالات ساده است و عملاً تشکیل قاب فضای خمشی ساده را می‌دهد، لذا در باربری جانبی شرکت نمی‌کند؛ مگر دهانه‌های مهاربندی شده در هر جهت که می‌تواند در باربری جانبی به‌عنوان یک سیستم مقاوم، مطرح باشد؛ از این‌رو بررسی رفتار اتصالات در دهانه‌های باربر جانبی، مهم است و باید مد نظر قرار گیرد.

اتصالات در سیستم باربر جانبی به سه نوع تقسیم می‌شود:

- اتصال عضو فشاری به کف و یا شالوده
- اتصال اعضای قطری به گره قاب
- اتصال اعضای قطری به اعضای فشاری

۵-۳-۱ اتصال عضو فشاری به کف و یا شالوده

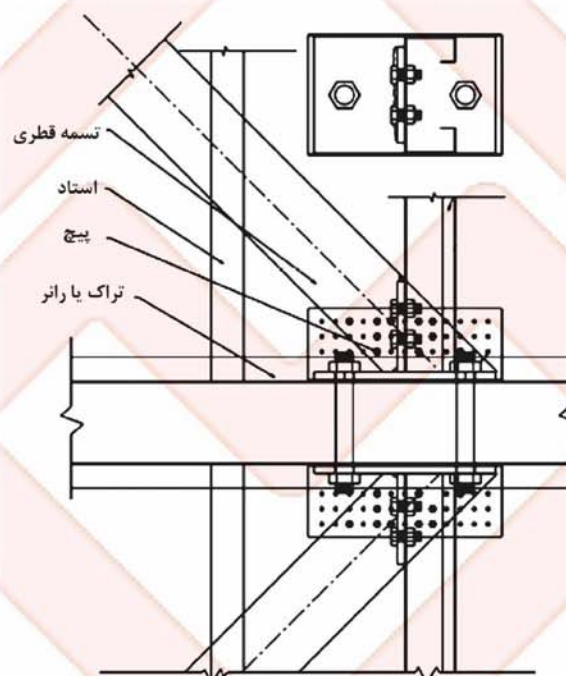
اتصال عضو فشاری به کلاف عرضی به‌واسطه نبشی جان (تنها از یک طرف) تامین می‌شود (شکل ۶۳). به نظر می‌رسد این اتصال در صورت یکپارچه کردن کلاف به کف سقف سازه و یا شالوده، به‌صورت اتصال ساده عمل کند. همان‌طور که از شکل ملاحظه می‌شود این عملکرد در هر دو جهت سازه خواهد بود.



شکل ۶۴ اتصال عضو فشاری به کف و یا شالوده

۵-۳-۲-۲ اتصال اعضای قطری به گره قاب

در شکل ۶۵ اتصال یک عضو قطری به گره قاب نشان داده شده است؛ اعضای قطری به واسطه یک ورق و پیچ‌های خودکار به عضو فشاری اتصال می‌کند؛ می‌توان استنباط کرد که این اتصال نیز یک اتصال مفصلی است. نکته قابل توجه، لاغر بودن عضو قطری است که این نکته باعث می‌شود تا این عضو، عملکرد مناسبی در فشار نداشته باشد؛ هرچند در طول دهانه مهاربندی شده به اعضای فشاری میانی نیز متصل شود.



شکل ۶۵ اتصال عضو قطری به گره قاب

۵-۳-۲-۳ اتصال اعضای قطری به اعضای فشاری

این اتصال، از نظر کاهش طول کمانش اعضای قطری و نیز به لحاظ قرارگیری اعضای فشاری میانی در مکانیزم باربری جانبی، بسیار حائز اهمیت است. در این اتصال از دو ردیف پیچ خودکار در امتداد عضو قطری استفاده می‌شود، لذا انتظار می‌رود این اتصال بتواند نیروی محوری عضو قطری را در امتداد ردیف قرارگیری پیچ‌ها تحمل کند.



فصل ششم

بررسی رفتار سیستم در برابر آتش

در این بخش، رفتار و مقاومت سیستم ساختمانی LSF در برابر آتش مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. از آن جایی که تخته‌های گچی در سیستم LSF مهم‌ترین نقش در تأمین مقاومت سیستم در برابر آتش را دارند، انواع تخته‌های گچی و مشخصات فنی آن‌ها نیز ارائه شده است.

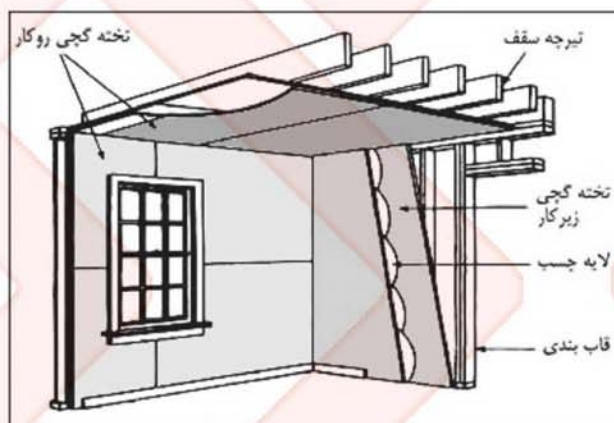
۱-۶ کلیات

ورق‌های نسبتاً نازک فولاد گالوانیزه، چارچوب اصلی ساختمان‌های LSF را از نظر سازه‌ای تشکیل می‌دهد. این ورق‌ها در برابر آتش دارای مقاومت کمی است و از این نظر باید محافظت شوند. در غیر این صورت، ساختارهایی از نوع LSF در برابر آتش به سرعت دچار تغییر شکل شده و فرو خواهند ریخت. محافظت این ساختارها در برابر آتش به وسیله تخته‌های گچی که بر روی چارچوب فولادی نصب می‌شوند، قابل تأمین است. ضمن این‌که به این صورت جدار دیوار یا سیستم سقف نیز شکل گرفته، جداسازی بین فضاهای مجاور مطابق با طرح معماری صورت می‌گیرد. برای رسیدن به مقاومت‌های کم در برابر آتش، می‌توان از تخته‌های گچی معمولی استفاده کرد، اما برای تأمین مقاومت‌های بیشتر باید از تخته‌های مقاوم در برابر آتش استفاده کرد. لازم به ذکر است که گاهی از سایر تخته‌های محافظ از جنس چوب، سیمان یا سیلیکات کلسیم نیز استفاده می‌شود، اما گچ در بین مواد فوق از خواص بهتری برخوردار بوده و بسیار رایج‌تر است. آزمایش‌های متعدد آتش بر روی سیستم‌های LSF شامل سیستم‌های دیوار و کف در کشورهای مختلف صورت گرفته و نتایج آن در دسترس است. این سیستم‌ها توانسته‌اند مقاومت لازم در برابر آتش را تأمین کنند. بدیهی است که هر چه ارتفاع ساختمان بیشتر و یا کاربری آن مهم‌تر باشد، به مقاومت بیشتری در برابر آتش نیاز خواهد بود که این به معنای استفاده از تمهیدات بیشتر محافظتی (عمدتاً به معنای استفاده از تخته‌های گچی ضخیم‌تر یا استفاده از چند لایه تخته گچی) است. موضوع مهم دیگر، چگونگی اجرا و استفاده از اجزا و اتصالات مناسب است. برای مثال، برای تأمین مقاومت‌های بالاتر نیاز به اتصالات قوی‌تر و کم کردن فاصله بین اتصالات است.

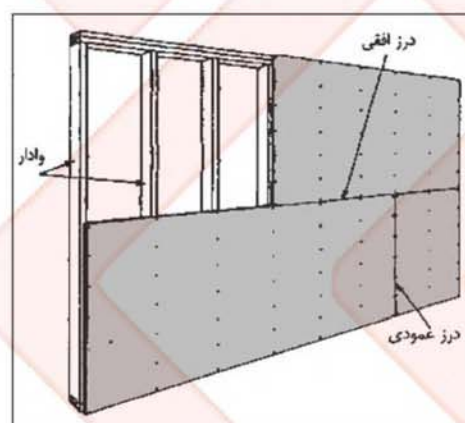
با توجه به این که تخته‌های گچی و اتصالات نقش اصلی در تأمین مقاومت سیستم LSF در برابر آتش را دارند، توضیحات لازم در خصوص این موارد، استانداردها و خواص فنی آن‌ها در بخش ۳ آمده است. همچنین، در ادامه مروری بر روی مقاومت سیستم‌های دیوار و کف LSF در برابر آتش ارائه می‌شود.

۲-۶ خواص فنی تخته‌های گچی و مقاومت آن‌ها در برابر آتش

در ساختمان‌های ساخته‌شده با سیستم LSF، در بسیاری از موارد، کاربرد تنها یک لایه تخته گچی تأمین بسیاری از الزامات حریق را ممکن می‌سازد. در مواردی نیز لازم است پوشش تخته گچی به‌صورت دو یا چند لایه اجرا شود. ساختارهای چند لایه‌ای دارای یک لایه رویه هستند که بر روی لایه زیرکار نصب می‌شود. لایه زیرکار مستقیماً به قاب متصل می‌شود (شکل ۶۶ و شکل ۶۷).



شکل ۶۷ دیوار گچی دو لایه (دوبل) با استفاده از چسب بین لایه‌ها



شکل ۶۶ دیوار گچی یک لایه

نوع مقاوم حریق این تخته‌ها که گاهی از آن‌ها به عنوان نوع X نام برده می‌شود، دارای افزودنی‌هایی است که مقاومت آن‌ها را در برابر آتش افزایش می‌دهد. تخته گچی معمولی به علت ترک‌خوردگی در مراحل نسبتاً اولیه آتش‌سوزی، نمی‌تواند وظیفه محافظت در برابر آتش را به‌خوبی برای ساختارهای پشت کار انجام دهد و مقاومت بالایی در برابر آتش ندارد. اما تخته‌های نوع X به علت دارا بودن الیاف و سایر افزودنی‌ها، یکپارچگی بهتری در دمای بالا دارند که از بروز ترک‌ها و رشد ترک‌های ایجاد شده جلوگیری می‌کند.

طبق استاندارد ASTM C 1396 [۸] تخته گچی نوع X، تخته‌ای است که اگر با ضخامت ۱۶ میلی‌متر در دو طرف استاد (وادر)‌های چوبی با فاصله مرکز تا مرکز ۴۰ سانتی‌متر و با میخ‌هایی با طول ۴۸ و ضخامت ۲/۳ میلی‌متر در فواصل مرکز تا مرکز ۱۷۸ میلی‌متر از یکدیگر نصب شود، دارای حداقل یک ساعت مقاومت در برابر آتش استاندارد باشد. از این تخته‌ها با ضخامت‌های مختلف و با استفاده از قاب‌بندی فولادی یا تخته‌های چوبی در ساختارهای مختلف دیوار، کف و سقف می‌توان به مقاومت بیش از سه ساعت در برابر آتش دست یافت و همچنین از آن‌ها برای محافظت تیرها و ستون‌ها استفاده کرد.

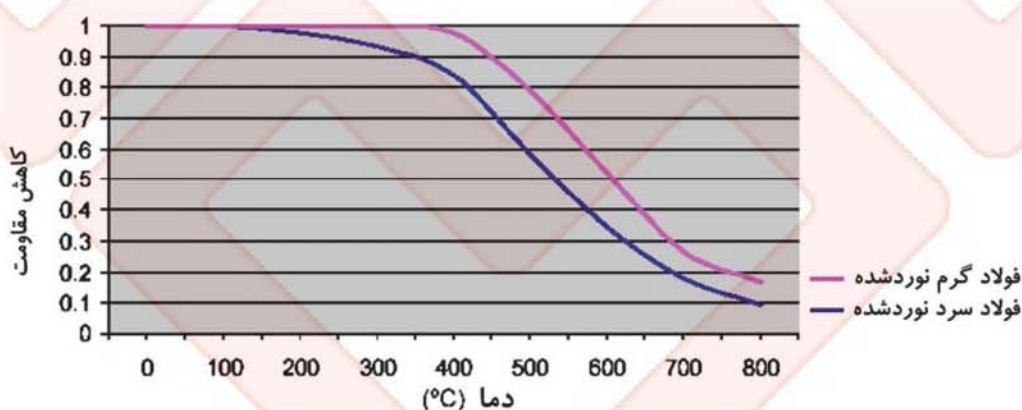


۳-۶ مقاومت سیستم در برابر آتش و مقایسه آن با سایر سیستم‌ها

مقاومت سیستم LSF در برابر آتش عمدتاً به وسیله نصب تخته‌های گچی تأمین می‌شود. به این منظور، در بسیاری از اوقات ممکن است از تخته‌های مقاوم در برابر آتش (به جای تخته‌های معمولی) استفاده شود. اجرای مناسب این تخته‌ها برای تأمین مقاومت لازم در برابر آتش بسیار ضروری است. مسائلی مانند نحوه قرار گرفتن تخته‌ها در کنار یکدیگر و تعیین محل درزهای انقطاع نیز از جمله مسائل مهم است. طراح باید با توجه به ابعاد تخته‌ها، محل درزهای انقطاع را تعیین کند. برای مثال در جایی که سقف با یک عنصر سازه‌ای مجاور است یا ابعاد آن در هر جهت از ۹ متر بیشتر باشد، به یک درز انقطاع نیاز خواهد بود. یک مسأله مهم در خصوص نصب تخته‌های گچی مقاوم در برابر آتش، استفاده از انواع مناسب قطعات، اتصالات، پیچ‌ها و ابزار مناسب است. لذا برای توسعه این سیستم در کشور، نیاز به شناخت دقیق این ابزار و قطعات است. پیچ‌ها دارای ابعاد و شکل‌های استاندارد هستند و باید از نوع گالوانیزه (یا سایر انواع قابل قبول مقاوم به خوردگی) باشند. تعدادی از انواع پیچ‌ها در شکل ۱۹ نمایش داده شده‌اند. در ادامه به تعدادی از جزئیات مقاوم در برابر آتش پرداخته می‌شود.

۱-۳-۶ سیستم‌های دیوار باربر و غیرباربر

اصولاً فولاد محافظت نشده در برابر آتش بسیار ضعیف است و سازه‌های فولادی مقاومت بسیار کمی در برابر آتش دارند. فولاد در دمای حدود ۵۰۰ درجه سلسیوس حدود نیمی از مقاومت خود را از دست می‌دهد. مقاومت سازه فولادی گرم نورد شده در برابر آتش بسته به مقطع آن حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه است، که در مقایسه با الزامات ایمنی حریق در اکثر ساختمان‌ها بسیار اندک است. بدیهی است که مقاومت قاب فولادی سبک به علت ضخامت کم آن از این مقدار نیز کمتر است. در شکل ۶۸ مقایسه‌ای بین فولاد گرم نورد شده و فولاد سرد نورد شده از نظر تغییرات مقاومت مکانیکی نسبت به تغییرات دمای ناشی از آتش نمایش داده شده است.



شکل ۶۸ کاهش مقاومت فولاد سرد نورد شده و گرم در دمای بالا نسبت به مقاومت آن در دمای معمولی



برای رفع این نقص، استفاده از پوشش‌های محافظت‌کننده در برابر آتش لازم است. در سیستم LSF با توجه به این که تخته‌های گچی به عنوان یک جزء اصلی روی قاب فولادی نصب می‌شود، در عمل مقاومت سیستم در برابر آتش را می‌توان با انتخاب مناسب نوع و ضخامت تخته‌ها و استفاده از جزئیات اجرایی مناسب در حد الزامات مقررات ساختمانی و حتی بیش از آن تأمین کرد.

در بسیاری از اوقات برای کاهش انتقال صوت و حرارت فضای مجوف داخل دیوار را با عایق و به خصوص پشم‌های معدنی پر می‌کنند. وجود عایق‌های معدنی در سیستم دیوار و نیز کف/سقف، مقاومت سیستم در برابر آتش از نظر یکپارچگی و نارسانایی را افزایش می‌دهد، اما با این کار ممکن است پایداری مکانیکی سیستم در برابر آتش تا حدودی کاهش یابد. این موضوع، به خصوص برای سیستم‌های باربر صدق می‌کند. اگر چه این کاهش پایداری در اغلب اوقات تقریباً اندک و در حد چند دقیقه است، با این وجود طراح باید نسبت به آن آگاه بوده، آن را در نظر داشته باشد. عایق‌های حرارتی پلیمری مانند اسفنج پلی‌استایرن را اگرچه می‌توان با تمهیدات محافظتی مناسب در سیستم استفاده کرد، اما در هر حال کمکی به بهبود مقاومت در برابر آتش نمی‌کند، ضمن آن که ممکن است رفتار سیستم در برابر آتش را تا حدودی تضعیف کند. اصولاً استفاده از این نوع عایق در سیستم LSF با توجه به رفتار ضعیف آن‌ها در برابر آتش و مخاطرات احتمالی توصیه نمی‌شود. جزئیات اجرایی متعددی برای دستیابی به سیستم‌های دیواری مقاوم در برابر آتش وجود دارد که برای مثال چند نمونه در زیر ارائه شده است.

۱-۳-۶ جزئیات یک نمونه دیوار LSF با دو ساعت مقاومت در برابر آتش

سیستم قاب فولادی با استفاده از استادهای ۸/۹ سانتی‌متری (۲/۵ اینچ) نصب شده و پشم سنگ با ضخامت ۷/۵ سانتی‌متر درون آن قرار داده می‌شود. تخته گچی مقاوم در برابر آتش (نوع X) با ضخامت ۱/۹ سانتی‌متر (۰/۷۵ اینچ) به صورت قائم به قاب فولادی نصب می‌شود. تخته‌های گچی باید با استفاده از پیچ‌های با طول ۳۲ میلی‌متر (۱/۲۵ اینچ) از نوع S یا S-12 با فواصل قائم ۲۰ سانتی‌متری و فواصل افقی ۳۰ سانتی‌متری (در طول قاب میانی) نصب شوند.

۲-۱-۳-۶ جزئیات یک نمونه دیوار LSF با سه ساعت مقاومت در برابر آتش

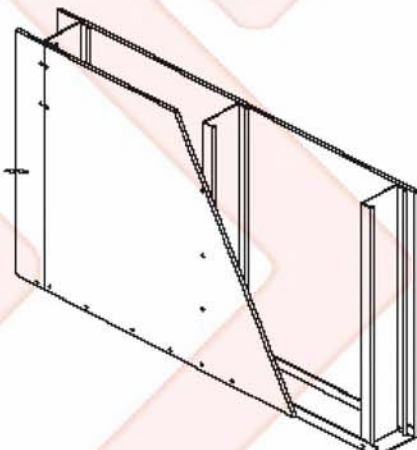
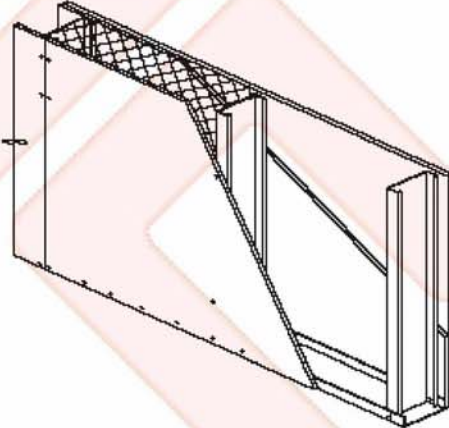
سیستم قاب فولادی نصب شده و پشم سنگ درون آن قرار داده می‌شود. یک لایه تخته گچی مقاوم در برابر آتش (نوع X) با ضخامت ۱/۹ سانتی‌متر (۰/۷۵ اینچ) به صورت قائم به قاب فولادی نصب می‌شود. از پیچ‌های با طول ۳۲ میلی‌متر (۱/۲۵ اینچ) از نوع S یا S-12 با فواصل ۶۰ سانتی‌متر در طول قاب برای نصب استفاده می‌شود. تخته‌های طرف مخالف به نحوی نصب می‌شوند که محل درزها در دو طرف با هم اختلاف داشته باشد. سپس تخته‌های گچی رویه از نوع مقاوم در برابر آتش به صورت افقی با لبه‌های عمود بر قاب فولادی نصب می‌شوند. برای نصب تخته‌های رویه به قاب فولادی از پیچ‌های با طول ۵۷ میلی‌متر (۲/۲۵ اینچ) و با فواصل ۳۰ سانتی‌متری استفاده می‌شود. پیچ‌های تخته‌های رویه به نحوی نصب شوند که یک فاصله ۲/۵ سانتی‌متری با محور پیچ‌های



تخته‌های زیری داشته باشند. تخته رویی به تخته زیری با استفاده از پیچ‌های نوع G با طول ۳۸ میلی‌متر (۱/۵ اینچ) محکم می‌شوند. این پیچ‌ها روی محوری با فاصله ۲/۵ سانتی‌متر از درز افقی نصب می‌شوند. تخته‌های رویه طرف مخالف به نحوی نصب می‌شوند که محل درزها در دو طرف با هم ۶۰ سانتی‌متر اختلاف داشته باشد. چند نمونه دیگر از جزئیات اجرایی مقاوم در برابر آتش در جدول ۳ ارائه شده است. توجه شود که این جزئیات می‌تواند بسته به شرایط کامل شود یا تغییر یابد. همچنین، مواد و مصالحی که در آن‌ها مشخص شده‌اند با توجه به مواد و مصالح مشروح در گواهی‌نامه‌های فنی سایر کشورها بوده است که ممکن است کیفیت آن‌ها با کیفیت مصالح داخلی یکسان نباشد.



جدول ۳ چند نمونه جزئیات اجرایی مقاوم در برابر آتش برای دیوارهای باربر و غیرباربر LSF

شرح سیستم	جزئیات
دیوار غیر باربر، استاد (وادر)های $(mm) 64 \times (mm) 35 \times (mm) 0.5$ با فاصله مرکز به مرکز $(mm) 150$ تخته گچی زیرین با ضخامت $12/7$ یا $15/9$ م.م. در هر طرف تخته گچی رویه با ضخامت $15/9$ م.م. در هر طرف مقاومت در برابر آتش: ۲ ساعت	
دیوار غیر باربر، استاد (وادر)های 350S162-18 با بال حداقل $2/1$ و لبه برگشتی حداقل $0/6$ سانتی متر، با فواصل حداکثر ۶۰ سانتی متر، تخته گچی با ضخامت حداقل $1/6$ سانتی متر، مقاومت در برابر آتش: یک ساعت	
دیوار غیرباربر، وادرهای 362S125-18 (پهنای جان $9/2$، عرض بال $3/2$ سانتی متر و لبه برگشتی بال حداقل $0/8$ سانتی متر) با فواصل ۴۰ سانتی متر، تخته گچی با ضخامت حداقل $1/6$ سانتی متر در یک طرف، یک لایه $12/5$ میلی متر پلی استایرن اکستروژد و یک لایه تخته سیمانی $12/5$ میلی متر در طرف دیگر، $7/5$ سانتی متر عایق تخته ای یا پتویی از جنس پشم سنگ یا پشم سرباره، مقاومت در برابر آتش: یک ساعت	

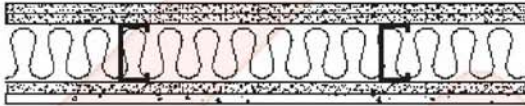
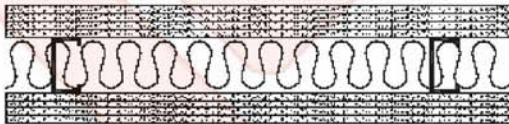
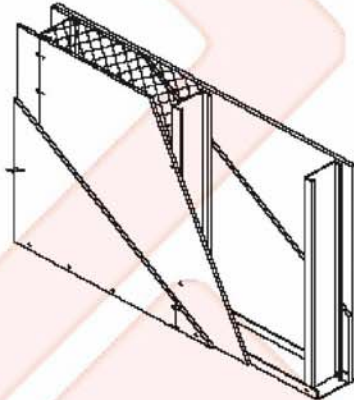


ادامه جدول ۳ چند نمونه جزئیات اجرایی مقاوم در برابر آتش برای دیوارهای باربر و غیرباربر LSF

شرح سیستم	جزئیات
دیوار غیرباربر، استاد(وادر)های $(89 \text{ mm}) \times (32 \text{ mm}) \times (5 \text{ mm})$ یا فاصله مرکز به مرکز (610 mm) ۷۶ م.م. پشم معدنی در وسط یک لایه تخته گچی ۱۹/۱ م.م. در هر طرف	
دیوار باربر، استاد (وادر)های $(92 \text{ mm}) \times (35 \text{ mm}) \times (9 \text{ mm})$ یا فاصله (600 mm) یک لایه تخته گچی نوع X با ضخامت ۱۵/۹ م.م. در هر طرف مقاومت در برابر آتش: یک ساعت	
دیوار باربر، استاد (وادر)های (92 mm) $(35 \text{ mm}) \times (9 \text{ mm})$ یا فاصله (600 mm) دو لایه تخته گچی نوع X با ضخامت ۱۵/۹ م.م. در هر طرف، مقاومت در برابر آتش: دو ساعت (محدودیت بارگذاری برای مقاومت دو ساعت: حداکثر ۶۰٪ بار طرح)	
دیوار باربر دابل، استاد (وادر)های $(92 \text{ mm}) \times (41 \text{ mm}) \times (8 \text{ mm})$ یا فاصله (400 mm)، حداقل فاصله قائم دو ردیف استاد (وادر)ها: ۷ میلی‌متر دو لایه تخته گچی نوع X با ضخامت ۱۲/۷ م.م. در هر طرف، مقاومت در برابر آتش: یک ساعت	



ادامه جدول ۳ چند نمونه جزئیات اجرایی مقاوم در برابر آتش برای دیوارهای باربر و غیرباربر LSF

شرح سیستم	جزئیات
دیوار باربر، استاد(وادر)های ۳/۵ اینچ × ۲۰، با فواصل مرکز به مرکز ۴۰۰ م.م، ۷۵ م.م، پشم معدنی در وسط، یک طرف با دو لایه تخته گچی ۱۵/۹ م.م، طرف دیگر لایه زیری تخته ۱۵/۹ م.م و لایه رویی تخته ۱۲/۷ م.م مقاومت در برابر آتش: ۲ ساعت	
دیوار باربر، استاد (وادر)های نمره ۲۰ با پهنای حداقل ۸/۹ سانتی متر، با فواصل ۶۰ سانتی متر، چهار لایه تخته گچی ۱۲/۷ میلی متر در هر طرف عایق پشم معدنی: اختیاری مقاومت در برابر آتش: ۳ ساعت	
دیوار باربر داخلی، استاد(وادر)های 350S125-33 با فواصل ۶۰ سانتی متر، تخته گچی ۱۲/۷ میلی متر در هر طرف، عایق پشم معدنی در وسط مقاومت در برابر آتش: ۱/۵ ساعت	

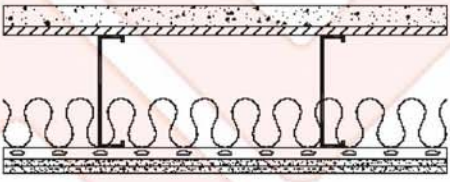
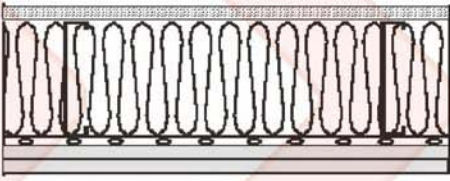
۲-۳-۶ سیستم‌های کف و سقف

رفتار سیستم‌های کف و سقف LSF در برابر آتش مشابه با رفتار سیستم‌های دیوار است، با این تفاوت که در این‌جا جزئیات اجرایی و مشخصات اتصالات مهم‌تر و حساس‌تر است، زیرا تخته‌های گچی افقی در سقف بیشتر از تخته‌های دیوار در معرض ریزش هستند. چند نمونه جزئیات اجرایی مقاوم در برابر آتش برای سیستم کف و سقف LSF در جدول ۴ و جدول ۵ آورده شده است. توجه شود که این جزئیات صرفاً به عنوان اطلاعات



مورد نیاز در زمینه مقاومت در برابر آتش ارائه شده است. همچنین، مواد و مصالحی که در آنها مشخص شده‌اند با توجه به مواد و مصالح مشروح در گواهی‌نامه‌های فنی سایر کشورها بوده است که ممکن است کیفیت آنها با کیفیت مصالح داخلی یکسان نباشد.

جدول ۴ چند نمونه سیستم کف مقاوم در برابر آتش

شرح سیستم	جزئیات
بتن رویه با ضخامت ۳۸ (م.م) روی تخته نئوپان ۱۶ (م.م)، تیرچه فولادی: پهنای ۲۰۳ (م.م) و ضخامت ۱/۲۲ با فواصل ۴۰۶ (م.م)، کانال‌های ارتجاعی^۱ با فواصل مرکز به مرکز ۴۰۶ (م.م)، عایق پشم شیشه: ضخامت ۹۰ میلی‌متر، دو لایه تخته گچی ۱۲/۷ (م.م) نوع X در طرف تحتانی مقاومت در برابر آتش: یک ساعت	
یک لایه تخته بالایی کف، تیرچه‌های فولادی کف، لایه عایق در وسط، کانال‌های ارتجاعی با فاصله مرکز به مرکز ۴۰۶ (م.م)، دو لایه تخته گچی نوع X هر یک با ضخامت ۱۲/۷ (م.م)	

جدول ۵ مقادیر مقاومت در برابر آتش برای حالت‌های مختلف مشخصات سقف

ردیف	تیرچه		تخته بالایی کف		عایق		مقاومت در برابر آتش (دقیقه)
	ضخامت (م.م)	عمق (م.م)	فاصله (م.م)	نوع	ضخامت (م.م)	نوع	
۱	۱/۲۲	۲۰۳	۴۰۶	تخته چندلا	۱۵/۹	-	۷۴
۲	۱/۲۲	۲۰۳	۴۰۶	تخته چندلا	۱۵/۹	پشم شیشه	۶۸
۳	۱/۲۲	۲۰۳	۶۱۰	تخته چندلا	۱۵/۹	پشم شیشه	۶۹

فصل هفتم

بررسی عملکرد حرارتی سیستم

۱-۷ مقدمه

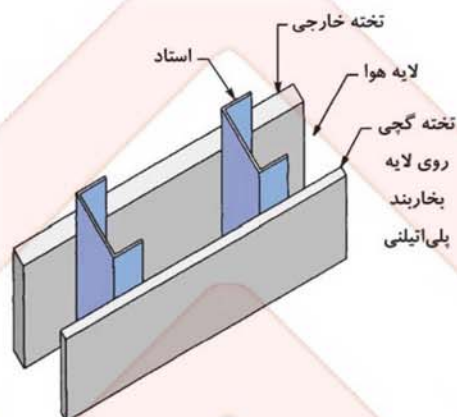
یکی از نگرانی‌های معمول در مواجهه با سیستم‌های ساختمانی دارای ساختار فلزی، کارایی آن‌ها در جلوگیری از اتلاف انرژی است. در کشورهایی که سیستم‌های ساختمانی مشابه با ساختار سازه‌ای چوبی معمول است، کاربران گمان می‌کنند با استفاده از ساختارهای فلزی و عایق‌های حرارتی مشابه، ساختمان آن‌ها مقاومت حرارتی به مراتب پایین‌تری از ساختمان دارای سیستم سازه‌ای چوبی خواهد داشت.

گذشته از عملکرد حرارتی، به منظور جلوگیری از تخریب جدار ساختمانی و به خطر افتادن سلامتی ساکنان و کاربران، باید از عدم وقوع میعان در سطوح داخلی جدارها (به دلیل پل‌های حرارتی ایجاد شده توسط قطعات فلزی) اطمینان حاصل شود.

جدارهای خارجی سیستم قاب فولادی سبک (LSF) از سه جزء تشکیل می‌شود:

- پروفیل‌های سرد نورد شده عمودی و افقی که نقشی تعیین‌کننده در ایستایی دیوار دارند؛
- تخته‌های گچی، سیمانی و یا مشتق از چوب که به عنوان پوشش بر دو طرف دیوار نصب می‌شوند؛
- عایق حرارتی احتمالی که در بین دو تخته گچی قرار می‌گیرد و نقش مهمی در عملکرد حرارتی و صوتی دیوار دارد (شکل ۶۹).

در این بخش، عملکرد حرارتی سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک مورد بررسی قرار گرفته است و با سیستم‌های ساختمانی رایج در کشور مقایسه می‌شود. همچنین، امکان دستیابی به مقررات لازم‌الاجرای کشور در زمینه انتقال حرارت (مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان)، در صورت استفاده از این سیستم در ساختمان‌ها، مورد توجه قرار می‌گیرد. در انتها راه‌هایی برای بهبود عملکرد حرارتی این سیستم ارائه شده و جزییات برگزیده از لحاظ انتقال حرارت ارائه می‌شود.

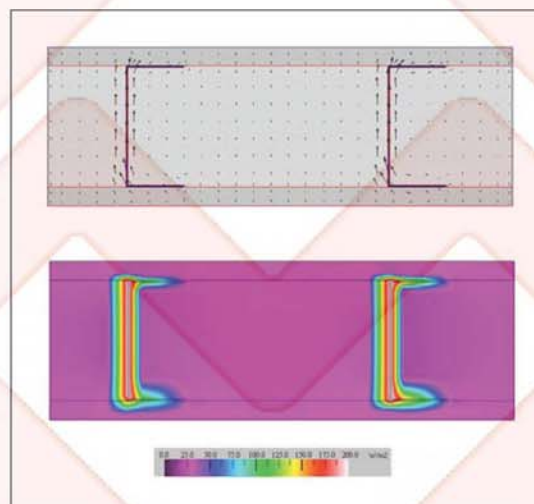


شکل ۶۹ طرح شماتیک یک دیوار سیستم قاب فولادی سبک بدون عایق حرارتی

۲-۷ تحلیل عملکرد حرارتی سیستم

از دید انتقال حرارت، گچ به کار رفته در تخته‌های گچی ضریب هدایت حرارت کمی دارد، که بین ۰٫۳۵ تا ۰٫۵۰ $[W/m.k]$ برآورد می‌شود. ولی ضخامت لایه‌های گچی به قدری کم است که در نهایت تأثیر چندانی بر روی مقاومت حرارتی کل سیستم ندارند.

با وجود این‌که ورق‌های سرد نورد شده دارای ضخامت کمی است و از یکدیگر فاصله دارند (معمولاً ۴۵، ۶۰ یا ۹۰ سانتی‌متر)، پل‌های حرارتی قابل توجهی ایجاد می‌کند که باید حتماً در بیلان حرارتی سیستم در نظر گرفته شود (شکل ۷۰).



شکل ۷۰ بردار شار^۱ و شدت شار حرارتی^۲ در طرح شماتیک یک دیوار بدون عایق حرارتی

1. Flux vectors
2. Flux magnitude



در اغلب دیوارهای خارجی که با این سیستم ساخته می‌شود، با توجه به ضوابطی که در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی در مقررات ملی ساختمان کشورهای مختلف و از جمله ایران وجود دارد، ضروری است بین دو لایه گچی یک لایه عایق حرارتی پیش‌بینی شود. لازم به ذکر است در صورت وجود عایق حرارتی در دیوار، اثر پل‌های حرارتی ناشی از اجزای فلزی دوچندان می‌شود.

از مسایل مهم دیگری که باید در مورد این سیستم مورد توجه دقیق قرار گیرد، هوابندی و برطرف کردن مخاطرات ناشی از میعان است. با توجه به امکان جریان هوا در داخل این سیستم، لازم است راه‌های ورود هوا به این سیستم کاملاً مسدود شود. خطر جدی میعان نیز در صورت هوابند نبودن و عدم پیش‌بینی لایه‌های بخاربند مناسب ظاهر می‌شود.

۷-۳ اثر پل‌های حرارتی بر روی ضریب انتقال حرارت سیستم

با توجه به این نکته که اجزای فلزی پل‌های حرارتی قابل ملاحظه‌ای را در این سیستم ایجاد می‌کند، امکان محاسبه ضرایب انتقال حرارت با در نظر گرفتن مقاومت لایه‌ها به صورت سری و با محاسبات ساده میسر نیست و لازم است تأثیر پل‌های حرارتی، با انجام ارزیابی‌های دقیق‌تر لحاظ شود.

تعیین مقادیر عددی پل‌های حرارتی می‌تواند به روش‌های مختلف صورت گیرد:

- استفاده از روش منطقه‌ای و ضرایب منطقه‌ای^۱

- استفاده از جداول ارائه شده برای گونه‌های مختلف دیوارهای خارجی (به صورت پارامتریک)

دقت مقادیر ارائه شده در این دو روش بالا نیست، و برای نمونه، در روش اول بین ۲ تا ۱۵ درصد در تغییر است. در صورتی که بیش‌ترین دقت مدنظر باشد، می‌توان با تعیین ضریب هدایت حرارت اجزای مختلف تشکیل دهنده این سیستم، و با توجه به دوبردی بودن مدل، با استفاده از شبیه‌سازی عددی و نرم‌افزارهای تخصصی موجود در این زمینه، ضریب انتقال حرارت را تعیین کرد.

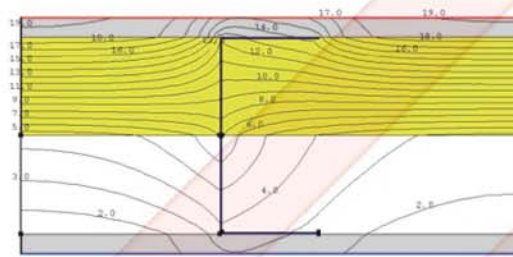
در شکل ۷۱ و شکل ۷۲ یک دیوار ساخته شده با پروفیل‌های ناودانی با جان ۱۰۰ میلی‌متری، با یک تخته گچی در طرف داخل و یک تخته سیمانی در طرف خارج، و با عایق پشم‌شیشه با ضخامت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌متر شبیه‌سازی شده است.

راهمحل دیگر، اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت یا مقاومت حرارتی جدار ساخته‌شده با استفاده از دستگاه محفظه گرم محافظت شده^۲ است. در جدول ۶ مقاومت حرارتی چند نمونه رایج از جدارهای سیستم قاب فولادی سبک، که در مؤسسه آهن و فولاد آمریکا^۳ و به کمک آزمایش محفظه گرم اندازه‌گیری شده است، نشان داده شده است [۹].

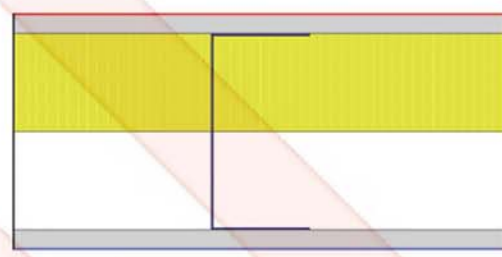
1. Zone method - ASHRAE Fundamentals- Calculating Overall Thermal transmittance

2. Guarded hot plate apparatus

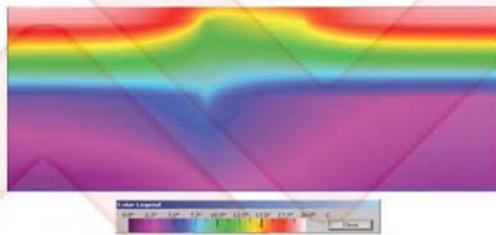
3. American Iron and Steel Institute



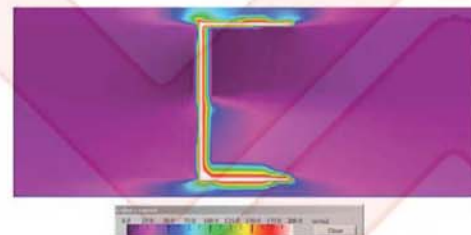
پروفیل‌های همدمایی



مقطع دیوار

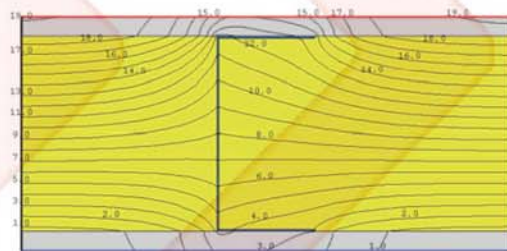


پروفیل‌های رنگی همدمایی



پروفیل‌های همشاری

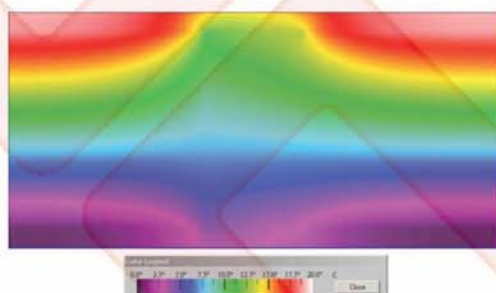
شکل ۷۱ مقطع و پروفیل‌های همدمایی و همشاری در دیوار خشک با ۵ سانتی‌متر عایق حرارتی



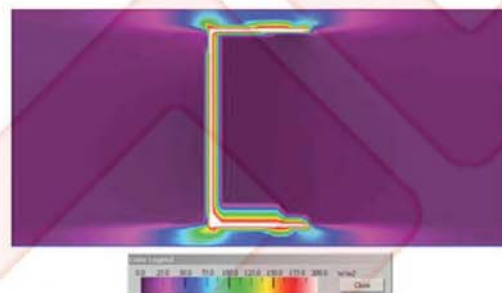
پروفیل‌های همدمایی



مقطع دیوار



پروفیل‌های رنگی همدمایی



پروفیل‌های همشاری

شکل ۷۲ مقطع و پروفیل‌های همدمایی و همشاری در دیوار خشک با ۱۰ سانتی‌متر عایق

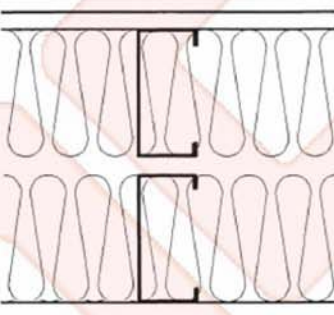
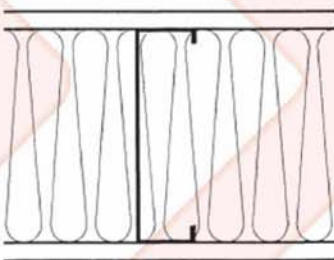
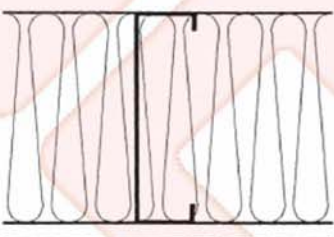


جدول ۶ مقاومت حرارتی چند نمونه رایج جدارهای سیستم (LSF)
براساس آزمایش محفظه گرم در مؤسسه آهن و فولاد آمریکا

شرح سیستم	تصویر
پوشش خارجی	
استاد(وادر)ها	
عایق حرارتی داخلی	
پوشش داخلی	
پوشش خارجی	
استاد(وادر)ها	
عایق حرارتی داخلی	
پوشش داخلی	
پوشش خارجی	
استاد(وادر)ها	
عایق حرارتی داخلی	
پوشش داخلی	
پوشش خارجی	
استاد(وادر)ها	
عایق حرارتی داخلی	
پوشش داخلی	



ادامه جدول ۶ مقاومت حرارتی چند نمونه رایج جدارهای سیستم (LSF) براساس آزمایش محفظه گرم مؤسسه آهن و فولاد آمریکا

تصویر	شرح سیستم	
 مقاومت حرارتی: $2.34 [m^2.k/W]$	پوشش خارجی	تخته سه لایه به ضخامت ۱۲,۷ میلی متر
	استاد(وادار)ها	دو ردیف با فاصله هوایی ۲۲ میلی متر ابعاد: $92 (mm) \times 41 (mm) \times 1 (mm)$ ۰,۸ فاصله مرکز به مرکز (mm) ۶۱۰
	عایق حرارتی داخلی	دو لایه پشم شیشه ($R=1.94$) در داخل استاد(وادار)ها
	پوشش داخلی	تخته گچی ۱۲,۷ میلی متری نصب شده بر روی لایه ۱ میلی متری پلی اتیلن
 مقاومت حرارتی: $1.78 [m^2.k/W]$	پوشش خارجی	تخته سه لایه به ضخامت ۱۲,۷ میلی متر
	استاد(وادار)ها	$152 (mm) \times 41 (mm) \times 1 (mm)$ فاصله مرکز به مرکز (mm) ۶۱۰
	عایق حرارتی داخلی	پشم شیشه ($R=3.34$) در داخل استاد(وادار)ها
	پوشش داخلی	تخته گچی ۱۲,۷ میلی متری نصب شده بر روی لایه ۱ میلی متری پلی اتیلن
 مقاومت حرارتی: $2.85 [m^2.k/W]$	پوشش خارجی	پلی استایرن به ضخامت ۲۵,۴ میلی متر
	استاد(وادار)ها	$152 (mm) \times 41 (mm) \times 1 (mm)$ فاصله مرکز به مرکز (mm) ۶۱۰
	عایق حرارتی داخلی	پشم شیشه ($R=3.34$) در داخل استاد(وادار)ها
	پوشش داخلی	تخته گچی ۱۲,۷ میلی متری نصب شده بر روی لایه ۱ میلی متری پلی اتیلن



۴-۷ عایق کاری حرارتی بخش‌های مختلف ساختمان

۱-۴-۷ سقف

در اکثر موارد، سقف نهایی ساختمان‌هایی که با این سیستم طراحی می‌شود شیب‌دار و در بعضی مواقع صاف است. سقف شیب‌دار امکان استفاده از سازه‌های سبک خرپایی برای تأمین ایستایی سقف را فراهم می‌سازد، و از طرف دیگر باعث می‌شود آب‌بندی سقف نیز به سهولت و با استفاده از روش‌های متداول محقق شود.

در ساختمان‌های سبکی که با استفاده از این روش و با سقف شیب‌دار ساخته می‌شود، عایق کاری سقف می‌تواند روی سطح شیب‌دار و یا روی سقف کاذب صورت گیرد. در صورت عایق کاری سقف کاذب، فضای زیرشیروانی کنترل نشده خواهد بود (سقف سرد). در این حالت، بهتر است امکان تهویه این فضا پیش‌بینی شود تا رطوبت احتمالی داخل این فضا به سرعت دفع شود. اگر عایق کاری در سطح شیب‌دار انجام شود، فضای زیر شیروانی جزو فضاهای کنترل شده محسوب خواهد شد (سقف گرم)، و در این حالت، معمولاً از این فضا استفاده مفیدی صورت می‌گیرد [۱۰].

با توجه به این‌که در هر دو حالت عایق حرارتی در فضای بین پوشش‌های تخته‌ای داخل و خارج کار گذاشته می‌شود و در نتیجه هیچ نیرو و فشار مضاعفی (به غیر از بار ثقلی خود عایق حرارتی) به آن اعمال نمی‌شود، می‌توان گفت نکته مثبت در این روش، عدم وجود محدودیت جدی در ضخامت عایق حرارتی سقف است. البته لازم به ذکر است ضخامت عایق حرارتی در این روش به هیچ وجه نمی‌تواند از جان پروفیل‌های مورد استفاده به عنوان استاد (وادر) بیش‌تر باشد.

نکته دیگری که باید در اینجا به آن اشاره کرد این است که در این روش، اگر عایق حرارتی در سقف بین طبقات استفاده شود، با مقاصدی به غیر از عایق کاری حرارتی خواهد بود، و از نظر حرارتی تغییر چندانی در عملکرد جدار و ساختمان نخواهد داشت. تنها تأثیر وجود عایق حرارتی در سقف‌های بین طبقات، کاهش اینرسی حرارتی ساختمان و محدود شدن امکان بهره‌گیری از انرژی خورشیدی خواهد بود [۱۱].

۲-۴-۷ کف

برای کف ساختمان نیز حالت‌های مختلفی را می‌توان در نظر گرفت. کف می‌تواند روی گریه‌رو و به صورت کاملاً تهویه شده باشد. در این صورت، عایق کاری حرارتی کف از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود، و باید به صورت سراسری اجرا شود.

حالت دیگر، پیش‌بینی یک گریه‌رو بدون تهویه، یا با تهویه کم است. در این حالت، انتقال حرارت از کف در دو مرحله، اول به طرف گریه‌رو، و سپس از گریه‌رو به طرف خارج انجام می‌شود. در نتیجه، ساده‌ترین و ارزان‌ترین راه عایق کاری، ادامه عایق حرارتی دیوار تا شالوده پیرامون ساختمان است. البته باید در اینجا به این نکته اشاره



کرد که این روش مخاطراتی را نیز با خود به همراه دارد، از جمله خطر افزایش رطوبت هوا در این فضا، و در نتیجه، ایجاد امکان رشد انواع میکروارگانیسم‌ها و حشرات. حالت آخر، اجرای کف روی خاک (یا بلوکاژ) است. در این حالت نیز نیازی به عایق‌کاری تمامی سطح کف وجود ندارد، و کافی است عایق‌کاری دیوارها تا پی ادامه یابد، یا این‌که یک عایق پیرامونی، به عرض حدود یک متر زیر کف در نظر گرفته شود.

۷-۴-۳ دیوار

در این سیستم، عایق‌کاری حرارتی دیوار شباهت زیادی به عایق‌کاری حرارتی سقف یا کف دارد، و عایق حرارتی به صورت قطعات آماده (معمولاً تخته‌ای شکل) بین استادهای قرار می‌گیرد.

۷-۵ نقاط ضعف سیستم (از دید حرارتی) و روش‌های رفع آن‌ها

همان‌گونه که در بخش قبلی نیز مطرح شد، ضعف اصلی سیستم از وجود پروفیل‌های فلزی ناشی می‌شود که تخته‌های طرفین دیوار را به هم ارتباط می‌دهد. لازم به ذکر است ضریب هدایت فولاد حدوداً 56 [W/m.K] و ضریب هدایت عایق‌های حرارتی متداول حدوداً 0.04 [W/m.K] است. در نتیجه، انتقال حرارت به صورت یکنواخت از تمامی قسمت‌های دیوار صورت نمی‌گیرد، و بخش قابل توجهی از حرارت از قسمت‌های فلزی که مقاومت کمتری در برابر انتقال حرارت دارند عبور می‌کند. بدین ترتیب، پروفیل‌های مورد استفاده در این سیستم به عنوان پل‌های حرارتی تلقی می‌شوند.

در مقایسه‌ی این سیستم و سیستم‌های قدیمی با پروفیل‌های چوبی، می‌توان گفت عملکردهای حرارتی تا حد زیادی به هم نزدیک هستند. در سیستم چوبی، هر چند ضریب هدایت چوب کم است (حدود 0.2 [W/m.K])، ولی سطح مقطع مورد نیاز به مراتب بیش‌تر از پروفیل‌های فولادی مورد استفاده است [۱۲]. بهبود عملکرد حرارتی دیوار، در جهت دستیابی به مقاومت‌های تعیین شده در مقررات ملی ساختمان، به چند روش می‌تواند انجام گیرد [۱۳]. در ادامه، مطرح‌ترین روش‌ها در این زمینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد:

۷-۵-۱ افزایش ضخامت و در نتیجه مقاومت حرارتی عایق حرارتی

از نظر اجرایی، ساده‌ترین روش افزایش ضخامت و در نتیجه مقاومت حرارتی عایق است، تا حدی که اثر پل‌های حرارتی را جبران کند. این روش اثر پل‌های حرارتی را کاهش نمی‌دهد و حتی در اکثر موارد مقدار آن را افزایش نیز می‌دهد. به این ترتیب برای دستیابی به مقاومت‌های حرارتی موردنظر باید عایق‌های حرارتی با ضخامت بالاتر از معمول مورد استفاده قرار گیرد که از نظر اقتصادی فاقد توجیه قوی است.



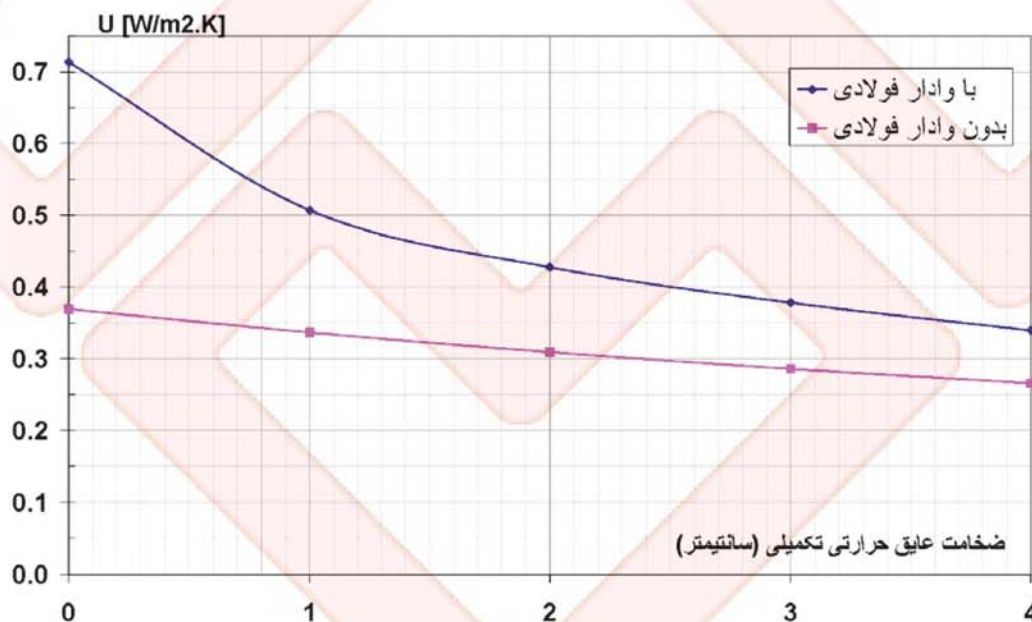
۷-۵-۲ قرار دادن یک لایه سیلیکون میان استاد(وادر) و پوشش خارجی

قرار دادن یک لایه سیلیکون میان استاد(وادر) و پوشش خارجی می‌تواند تا حد کمی اثر پل حرارتی را کاهش دهد. به عنوان نمونه، مطابق جدول ۶، مقدار مقاومت حرارتی جدار دارای لایه خارجی تخته سه‌لایی، عایق پشم‌شیشه بین استاد(وادر)های $92 \text{ (mm)} \times 41 \text{ (mm)} \times 1 \text{ (mm)}$ و با فاصله مرکز به مرکز 610 (mm) ، و لایه داخلی تخته گچی، با استفاده از لایه سیلیکون، از $1.39 \text{ [m}^2\text{.k/W]}$ به $1.48 \text{ [m}^2\text{.k/W]}$ (به میزان ۶ درصد) افزایش یافته است.

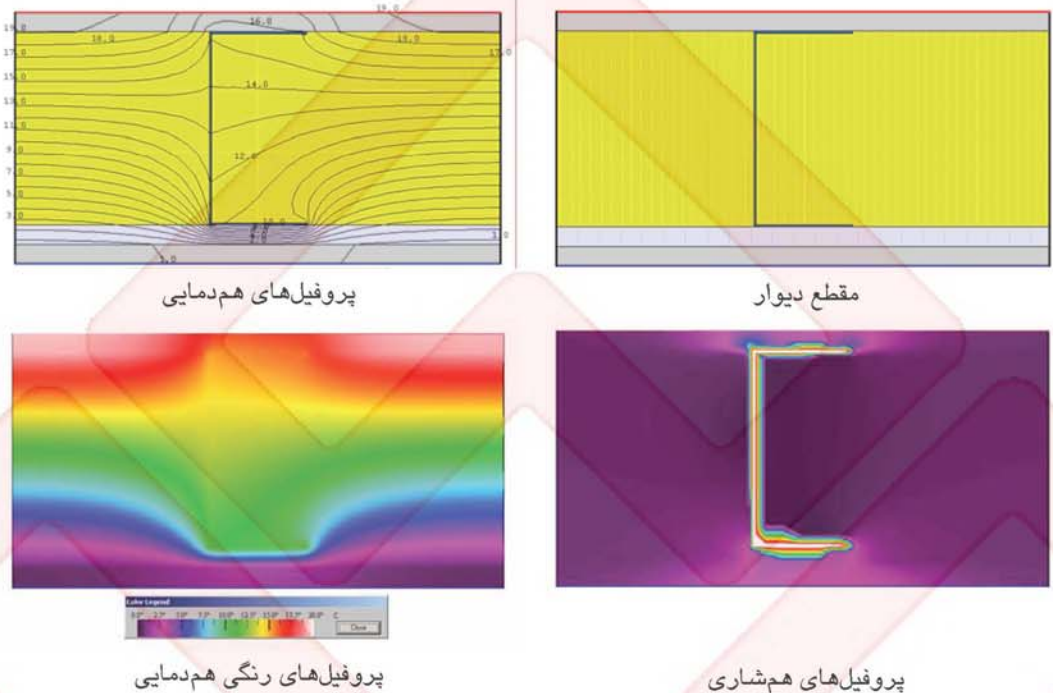
۷-۵-۳ قراردادن یک لایه نازک عایق حرارتی به عنوان پوشش خارجی دیوار

در برخی موارد، در لایه بیرونی دیوار از یک لایه نازک از جنس پلی‌استایرن استفاده می‌شود. این اقدام اثر موضعی پل‌های حرارتی را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. در عمل، افزودن یک لایه ۲۵ میلی‌متری پلی‌استایرن منبسط با مقاومت حرارتی برابر $0.88 \text{ [m}^2\text{.K/W]}$ در یک دیوار متداول، باعث می‌شود مقاومت حرارتی کلی دیوار تا حدود $1.06 \text{ [m}^2\text{.K/W]}$ افزایش یابد. میزان این تغییر قابل توجه است، و در نتیجه انجام این کار از توجیهی قوی برخوردار است.

در شکل ۷۳، برای یک دیوار با ۱۰ سانتی‌متر عایق پشم‌شیشه بین استاد(وادر)های ۱۰ سانتی‌متری، و یک لایه تکمیلی از جنس پلی‌استایرن منبسط، با ضخامتی بین ۰ تا ۴ سانتی‌متر، ضرایب انتقال حرارت مجموعه دیوار ارائه شده‌است. نکته مهمی که در این نمودار مشاهده می‌شود این است که با افزایش ضخامت لایه عایق حرارتی تکمیلی، تأثیر آن بر تغییر ضریب انتقال حرارت کاهش می‌یابد (شکل ۷۴).



شکل ۷۳ نمودار تغییرات ضریب انتقال حرارت دیوار با ضخامت لایه عایق حرارتی تکمیلی



شکل ۷۴ مقطع و پروفیل‌های همدمایی و همشاری در دیوار خشک عایق تکمیلی ۱ سانتی‌متری

۴-۵-۷ کاهش انتقال حرارت در اجزای فلزی

مؤثرترین اقداماتی که برای کاهش اثر فولادی اجزای بر روی ضریب انتقال حرارت مجموعه می‌توان انجام داد به شرح زیر است:

- کاهش ضخامت ورق‌های سرد نوردشده. این اقدام در اکثر موارد به دلیل انتظارات سازه‌ای از اجزای فولادی عملی نیست. در ضمن، کاهش ضخامت ورق تأثیر اندکی بر مقدار انتقال حرارت دارد.
- اضافه کردن چند خم کوچک در مقطع پروفیل برای طولانی کردن مسیر جریان حرارت
- اضافه کردن شیارها و بریدگی‌های عمود بر جهت مسیر جریان حرارت

سومین نوع اقدام مؤثرترین روش محسوب می‌شود و مطالعات و تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده است.

۵-۵-۷ امکان‌سنجی جواب‌گویی به ضوابط مبحث نوزدهم

در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (صرفه‌جویی در مصرف انرژی) دو روش طراحی در پیش‌رو داریم:

روش الف (کارکردی) در تمامی حالات قابل استفاده است و مبنای آن میزان کل نیاز انرژی سالانه است. روش ب (تجویزی) تنها در مورد خانه‌های ویلایی، واحدهای واقع در آپارتمان‌های مسکونی با زیربنای کل کمتر از ۱۰۰۰ متر مربع (غیر از شرایط خاص مندرج در تبصرهٔ بند ۱۹-۳-۲-۲-۳ مبحث ۱۹ در مورد گروه ۱) و همچنین ساختمان‌های گروه ۳ از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی (ر.ک. به پیوست ۵ مبحث ۱۹) قابل استفاده است.

لازم به توضیح است، گروه ساختمان از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی به عوامل ویژه اصلی بستگی دارد. این عوامل عبارتند از:

- کاربری ساختمان
- گونه‌بندی جغرافیایی نیاز انرژی سالانه محل استقرار ساختمان
- سطح زیربنای مفید ساختمان
- نوع شهر محل استقرار ساختمان

در روش ب، ضوابط و راه‌حل‌های فنی برای گروه‌های مختلف و حالات مختلف عوامل ویژه فرعی مشخص شده و در بخش ۱۹-۳-۲ مبحث ۱۹ ارائه می‌شود. این روش در مواردی توصیه می‌شود که روش کارکردی، با توجه به پیچیدگی نسبی محاسباتی آن، فاقد توجیه اجرایی و اقتصادی است و شرایط استفاده از روش ب، مطابق بند ۱۹-۲-۴ برقرار باشد. در این روش، مشخصات حداقل جدارهای غیرنورگذر و ویژگی‌های پنجره‌های پوسته خارجی ساختمان تعیین می‌شود. راه‌حل‌های فنی در این روش، بسته به شرایط برخی عوامل ویژه فرعی طرح مطابق بندهای زیر است.

راه‌حل‌های فنی در شرایط استاندارد عوامل ویژه فرعی طرح

این رامحل‌ها شامل رعایت حداقل مقاومت‌های حرارتی برحسب $[m^2.K/W]$ در مورد جدارهای پوستهٔ خارجی ساختمان (با استفاده از جدول ۷)، و نیز مشخصات پنجره‌های مورد استفاده با فرض وجود شرایط استاندارد عوامل و بدهٔ فرعی است.

تعریف شرایط استاندارد برای عوامل ویژه فرعی به شرح زیر است:

- عدم امکان بهره‌گیری از انرژی خورشیدی
- استفاده از انرژی غیر برقی
- استفاده از سیستم‌های تهویه معمولی
- عدم امکان کاهش سطوح جدارهای نورگذر به حدود مشخص شده در بند ۱۹-۳-۲-۲-۳ محث ۱۹



جدول ۷ حداقل مقاومت‌های حرارتی جدارهای غیرنورگذر ($\hat{R}$ بر حسب $m^2.K/W$) مطابق روش تجویزی

گروه ساختمان از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی		گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
دیوار	سبک ^۱	۲٫۸	۲٫۱	۱٫۵
	سنگین ^۲	۱٫۹	۱٫۴	۱٫۰
	مجاور فضای کنترل نشده	۱٫۵	۱٫۱	۰٫۸
سقف	سبک ^۱	۵٫۰	۳٫۷	۲٫۷
	سنگین ^۲	۴٫۰	۳٫۰	۲٫۲
	مجاور فضای کنترل نشده	۳٫۱	۲٫۳	۱٫۷
کف	سبک ^۱	۳٫۰	۲٫۲	۱٫۶
	سنگین ^۲	۲٫۴	۱٫۸	۱٫۳
	مجاور فضای کنترل نشده	۱٫۸	۱٫۳	۱٫۰
کف روی خاک	عایق پیرامونی	۳٫۷	۲٫۷	۲٫۰
	عایق زیر تمام سطح	۱٫۷	۱٫۳	۰٫۹

در صورتی که طراحی با استفاده از این روش انجام شود، لازم است در هر جدار $R > \hat{R}$ باشد. در این رابطه، $\hat{R}$ از جدول ۷ به دست می‌آید و R مقاومت حرارتی جدار یک یا چندلایه ساختمان است که بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = \sum R_i$$

اما همان‌گونه که در قسمت‌های قبلی مطرح شد، در سیستم LSF، با توجه به وجود پل‌های حرارتی و در نتیجه یک بعدی نبودن انتقال حرارت در مقطع دیوار، امکان محاسبه دستی ضریب انتقال حرارت یا مقاومت حرارتی دیوار وجود ندارد. از طرف دیگر، ساختار دیوارها و سقف‌های مطرح در این سیستم به‌گونه‌ای است که در تمامی موارد می‌توان جدارهای این سیستم را از نوع سبک تلقی کرد. مجموعه این عوامل باعث می‌شود، در صورت استفاده از روش تجویزی، ضخامت‌های حداقلی که برای عایق حرارتی به دست می‌آید، به‌خصوص برای ساختمان‌های گروه ۱، بالا باشد.

برای روشن شدن این مطلب، در جدول ۸ ضخامت‌های حداقل عایق حرارتی مورد نیاز، با فرض ۳۰ درصد کاهش مقاومت حرارتی^۳ ناشی از وجود استادهای فلزی و با در نظر گرفتن ضریب هدایت حرارت عایق برابر با $0.041 [m.K/W]$ (در جهت اطمینان) ارائه می‌شود:

۱. جداری سبک تلقی می‌شود که جرم سطحی مفید آن کم‌تر از ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع باشد.
 ۲. جداری سنگین تلقی می‌شود که جرم سطحی مفید آن مساوی یا بیش از ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع باشد.
 ۳. میزان کاهش مقاومت حرارتی به عوامل مختلفی از جمله ابعاد، شکل و ضخامت پروفیل، ضخامت عایق حرارتی، و مشخصات فنی تخته‌های دو طرف دیوار بستگی دارد. مقدار مطرح شده موردی است و قابل تعمیم به دیگر حالات نیست.



جدول ۸ ضخامت‌های حداقل عایق حرارتی مورد نیاز

ضخامت عایق حرارتی (سانتی‌متر)	مقاومت حرارتی [m ² .K/W]
۲	۰,۳۸
۴	۰,۷۳
۶	۱,۰۸
۸	۱,۴۳
۱۰	۱,۷۸
۱۲	۲,۱۳
۱۴	۲,۴۸
۱۶	۲,۸۳

همان گونه که ملاحظه می‌شود، در روش طراحی تجویزی، در صورتی که عایق به صورت منقطع بین استاد(وادر)ها کار گذاشته شود، ضخامت‌های حداقل طبق مقررات ملی زیاد خواهند بود. برای کاهش ضخامت عایق حرارتی، یا باید بخش قابل توجهی از عایق به صورت یکسره و در نتیجه بیرون استادها نصب شود، و یا اینکه طراحی با استفاده از روش کارکردی انجام شود.

فصل هشتم

بررسی عملکرد آکوستیکی سیستم

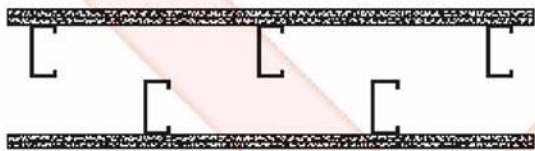
۸-۱ مقدمه

در این سیستم، سازه ساختمان با استفاده از پانل‌های دیواری و سقفی خشک LSF ساخته می‌شود. این جدارها باید از نظر صدابندی جوابگوی مقادیر ارائه شده در مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان باشند. با توجه به این نکته که در کشور سوابقی در خصوص بررسی رفتار صوتی این جدارها وجود ندارد، برای ارزیابی عملکرد این جدارها از داده‌های به‌دست آمده و ارائه شده در مراجع معتبر خارجی استفاده شد [۱۴، ۱۵]

۸-۲ اطلاعات و داده‌های موجود

مقادیر صدابندی بعضی از دیوارها و کف-سقف‌های ساخته شده با این پانل‌ها در جدول ۹ تا جدول ۱۳ ارائه شده است.

جدول ۹ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای باربر LSF

شرح سیستم	ضخامت کلی (mm)	جزئیات اجرایی	درجه تراکسیل صدا (STC) به dB
دیوار دابل با استاد (وادر)های ۹۲×۹۱ میلی‌متر با فاصله ۴۰۶ میلی‌متر دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در هر طرف	۲۳۵		۵۶

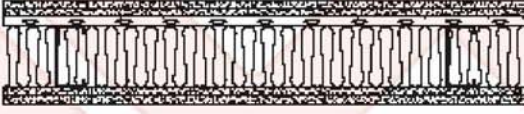


ادامه جدول ۹ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای باربر LSF

درجه تراکسیل صدا (STC) به dB	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (mm)	شرح سیستم
۵۶		۲۳۵	دیوار دویل با استاد (وادر)های ۹۲×۹۱ میلی‌متر با فاصله ۴۰۶ میلی‌متر دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در هر طرف
۶۴		۲۳۵	دیوار دویل با استاد (وادر)های ۹۲×۹۱ میلی‌متر با فاصله ۴۰۶ میلی‌متر با لایه الیاف معدنی به ضخامت ۹۰ میلی‌متر دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در هر طرف
۴۶		۱۴۳	دیوار با استاد (وادر)های ۹۲×۹۱ میلی‌متر به فاصله ۴۰۶ میلی‌متر پروفیل‌های ارتجاعی فلزی به فاصله ۴۰۶ میلی‌متر دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در هر طرف
۳۹		۱۴۳	دیوار با استاد (وادر)های ۹۲×۹۱ میلی‌متر به فاصله ۴۰۶ میلی‌متر دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در هر طرف



ادامه جدول ۹ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای باربر LSF

شرح سیستم	ضخامت کلی (mm)	جزئیات اجرایی	درجه تراکسیل صدا (STC) به dB
دیوار با استاد (وادر)های ۹۲ × ۹۱/، میلی‌متر به فاصله ۶۱۰ میلی‌متر پروفیل‌های ارتجاعی فلزی به فاصله ۴۰۶ میلی‌متر لایه الیاف معدنی به ضخامت ۹۰ میلی‌متر دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در هر طرف	۱۴۳		۵۷
دیوار با استاد (وادر)های ۹۲ × ۸۴/، میلی‌متر با فاصله ۴۰۶ میلی‌متر با پروفیل‌های ارتجاعی فلزی به فاصله ۴۰۶ میلی‌متر، لایه الیاف معدنی به ضخامت ۹۰ میلی‌متر، دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در هر طرف	۱۴۳		۵۵
دیوار با استاد (وادر)های ۹۲ × ۹۱/، میلی‌متر با فاصله ۴۰۶ میلی‌متر، پروفیل‌های ارتجاعی فلزی به فاصله ۴۰۶ میلی‌متر، لایه عایق سلولزی به ضخامت ۹۰ میلی‌متر دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در هر طرف	۱۴۳		۵۳



جدول ۱۰ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای غیرباربر LSF

درجه تراکسیل صدا (STC) به dB	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (mm)	شرح سیستم
۴۷		۱۴۱	دیوار با استاد (وادر)های ۳۰ × ۹۰ × ۰/۴۶ میلی‌متر با فاصله مرکز به مرکز ۶۰۰ میلی‌متر دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در هر طرف
۴۳		۱۲۸	دیوار با استاد (وادر)های ۳۰ × ۹۰ × ۰/۴۶ میلی‌متر با فاصله مرکز به مرکز ۶۰۰ میلی‌متر یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در یک طرف دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در طرف دیگر
۵۱		۱۲۸	دیوار با استاد (وادر)های ۳۰ × ۹۰ × ۰/۴۶ میلی‌متر با فاصله مرکز به مرکز ۶۰۰ میلی‌متر یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در یک طرف دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در طرف دیگر شیشه به ضخامت ۹۰ میلی‌متر در وسط
۵۰		۱۲۸	دیوار با استاد (وادر)های ۳۰ × ۹۰ × ۰/۴۶ میلی‌متر با فاصله مرکز به مرکز ۶۰۰ میلی‌متر یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در یک طرف دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در طرف دیگر سلولزی به ضخامت ۹۰ میلی‌متر در وسط



ادامه جدول ۱۰ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای غیرباربر LSF

درجه تراکسیل صدا (STC) به dB	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (mm)	شرح سیستم
۵۴-۵۰		۱۳۰	دیوار با استاد (وادر)های ۹۲ میلی‌متر با فاصله مرکز به مرکز ۶۰۰ میلی‌متر یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در زیر و یک لایه تخته سیمانی به ضخامت ۶/۳ میلی‌متر در رو، در هر طرف
۵۰-۵۴		۱۰۲	دیوار با استاد (وادر)های ۶۴ میلی‌متر با فاصله ۶۰۰ میلی‌متر و عایق پشم شیشه به ضخامت ۵۰ میلی‌متر در وسط یک لایه تخته گچی به ضخامت ۶/۳۵ میلی‌متر در زیر و یک لایه تخته گچی نوع به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در رو، در هر طرف
۴۵-۴۹		۱۲۱	دیوار با استاد (وادر)های ۹۲ میلی‌متر با فاصله ۴۰۰ میلی‌متر و عایق الیاف معدنی به ضخامت ۷۵ میلی‌متر در وسط یک لایه تخته گچی نوع به ضخامت ۱۵/۹ میلی‌متر در یک طرف یک لایه تخته سیمانی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در طرف دیگر
۵۵-۵۹		۱۴۱	دیوار با استاد (وادر)های ۹۰ میلی‌متر با فاصله ۶۰۰ میلی‌متر و عایق الیاف معدنی به ضخامت ۷۵ میلی‌متر در وسط دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در یک طرف پروفیل‌های ارتجاعی به فاصله ۶۰۰ میلی‌متر دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر در طرف دیگر



جدول ۱۱ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای LSF

درجه تراکسیل صدا (STC) به dB	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (mm)	شرح سیستم
۴۵		۷۵	دیوار با استاد (وادر) های ۵۰ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی‌متر در وسط - یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف
۴۷		۱۲۵	دیوار با استاد (وادر) های ۱۰۰ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی‌متر در وسط - یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف
۴۸		۱۲۵	دیوار با استاد (وادر) های ۱۰۰ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۶۰ میلی‌متر در وسط - یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف
۵۱		۱۲۵	دیوار با استاد (وادر) های ۱۰۰ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۸۰ میلی‌متر در وسط - یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف



ادامه جدول ۱۱ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای LSF

درجه تراکسیل صدا (STC) به dB	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (mm)	شرح سیستم
۵۰		۱۰۰	دیوار با استاد (وادر)های ۵۰ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی‌متر در وسط - دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف
۵۱		۱۲۵	دیوار با استاد (وادر)های ۷۵ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی‌متر در وسط - دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف
۵۲		۱۲۵	دیوار با استاد (وادر)های ۷۵ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۶۰ میلی‌متر در وسط - دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف
۵۳		۱۵۰	دیوار با استاد (وادر)های ۱۰۰ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی‌متر در وسط - دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف
۵۶		۱۵۰	دیوار با استاد (وادر)های ۱۰۰ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی‌متر در وسط - دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف



ادامه جدول ۱۱ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای LSF

شرح سیستم	ضخامت کلی (mm)	جزئیات اجرایی	درجه تراکسیل صدا (STC) به dB
دیوار دوبل با استاد (وادر)های ۵۰ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی‌متر در وسط - دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف	۱۵۵		۶۱
دیوار دوبل با استاد (وادر)های ۷۵ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی‌متر در وسط - دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف	۲۰۵		۶۳
دیوار دوبل با استاد (وادر)های ۱۰۰ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۴۰ میلی‌متر در وسط - دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف	۲۵۵		۶۳
دیوار دوبل با استاد (وادر)های ۱۰۰ میلی‌متر با فاصله ۶۲۵ میلی‌متر - عایق پشم شیشه به ضخامت ۸۰ میلی‌متر در وسط - دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر در هر طرف	۲۵۵		۶۵



۸-۲-۱ نتیجه‌گیری در خصوص عملکرد دیوارهای سیستم LSF

از بررسی نتایج اندازه‌گیری صدابندی هوابرد دیوارهای ساخته شده با پانل‌های دیواری LSF می‌توان نتیجه گرفت:

- هرچه قدر عمق استاد (وادر)ها بیشتر شود صدابندی افزایش می‌یابد.
- در صورت استفاده از الیاف معدنی یا سلولزی، صدابندی افزایش می‌یابد و در صورتی‌که ضخامت این الیاف‌ها بیشتر شود افزایش صدابندی نیز بیشتر خواهد شد.
- افزایش فاصله مرکز به مرکز استاد (وادر)ها، تا حدودی صدابندی دیوار را در برابر صدای هوابرد افزایش می‌دهد.
- استفاده از چند لایه گچی به جای یک لایه، باعث افزایش صدابندی می‌شود.
- در صورت استفاده از پروفیل‌های ارتجاعی فلزی (جزئیات در یادآوری ۱) بین لایه گچی و استاد (وادر)ها، صدابندی افزایش پیدا می‌کند.
- استفاده از دیوار دابل صدابندی را افزایش خواهد داد و برای افزایش بیشتر صدابندی، باید در عمق استاد (وادر)ها مواد الیافی قرار گیرد.

با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌های مندرج در جداول فوق و همچنین، ضوابط ارائه شده در مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان (جدول ۱۲)، دیوارهایی که شاخص کاهش صدای وزن یافته R_w ، (در استاندارد ASTM این شاخص درجه تراکسیل صدا، STC، نامیده می‌شود که مقادیر هر دو شاخص تقریباً با هم مساوی است) آن‌ها از ۵۰ دسی‌بل بیشتر است، برای دیوارهای خارجی و دیوار بین واحدهای مستقل در ساختمان‌های مسکونی قابل قبول است.

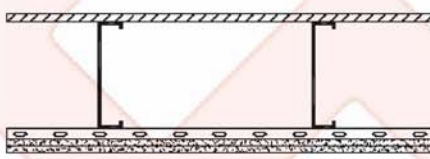
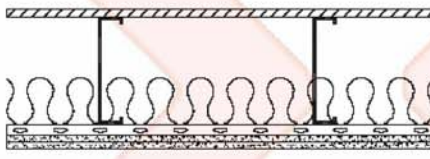
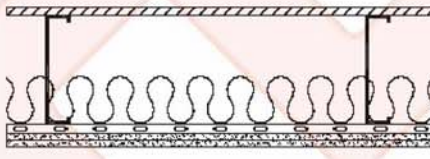


جدول ۱۲ حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان

نوع ساختمان	عملکرد دیوار	حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) یا به dB
مسکونی	بین اتاق خواب و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۵
	بین اتاق نشیمن و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۰
	بین آشپزخانه و فضاهای بیرونی ساختمان	۳۵
	بین واحد مسکونی و راهرو عمومی	۳۰
	بین دو واحد مسکونی مجاور	۵۰
هتل	بین اتاق مهمان و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۵
	بین دو اتاق مهمان	۵۰
آموزشی	بین کلاس درس نظری و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۰
	بین کارگاه یا آزمایشگاه و فضاهای بیرونی ساختمان	۳۵
	بین دو کلاس درس نظری	۵۰
بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی و درمانی	بین کلیه اتاق‌های بخش بستری، مراقبت‌های ویژه، زایمان و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۵
	بین کلیه اتاق‌های بخش بستری، مراقبت‌های ویژه، زایمان	۵۰
اداری و تجاری	بین اتاق‌ها، مراکز کامپیوتری، سالن‌های عمومی بانک‌ها و فضاهای بیرونی ساختمان	۳۵

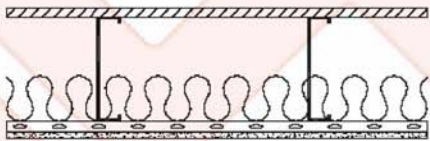
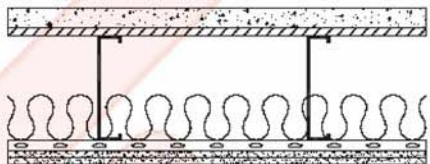


جدول ۱۳ صدابندی کوبه‌ای چند نمونه از کف - سقف‌های LSF

شرح سیستم	ضخامت کلی (mm)	جزئیات اجرایی	درجه صدابندی کوبه‌ای (IIC) به dB
تخته چندلایه ۱۵/۹ میلی‌متری، تیرچه فولادی با پهنای ۲۰۳ میلی‌متر و ضخامت ۱/۲۲ میلی‌متر با فواصل ۴۰۶ میلی‌متر، پروفیل‌های ارتجاعی با فواصل مرکز به مرکز ۴۰۶ میلی‌متر، دو لایه تخته گچی ۱۲/۷ میلی‌متر در زیر	۲۵۶		۴۰ ۶۰ (با فرش یا موکت)
تخته چندلایه ۱۵/۹ میلی‌متری، تیرچه فولادی با پهنای ۲۰۳ میلی‌متر و ضخامت ۱/۲۲ میلی‌متر با فواصل ۴۰۶ میلی‌متر، پروفیل‌های ارتجاعی با فواصل مرکز به مرکز ۴۰۶ میلی‌متر، عایق پشم شیشه به ضخامت ۹۰ میلی‌متر، دو لایه تخته گچی ۱۲/۷ میلی‌متر در زیر	۲۵۶		۴۹ ۶۹ (با فرش یا موکت)
تخته چندلایه ۱۵/۹ میلی‌متری، تیرچه فولادی با پهنای ۲۰۳ میلی‌متر و ضخامت ۱/۲۲ میلی‌متر با فواصل ۶۱۰ میلی‌متر، پروفیل‌های ارتجاعی با فواصل مرکز به مرکز ۴۰۶ میلی‌متر، عایق پشم شیشه به ضخامت ۹۰ میلی‌متر، دو لایه تخته گچی ۱۲/۷ میلی‌متر در زیر	۲۵۶		۴۲ ۶۲ (با فرش یا موکت)



ادامه جدول ۱۳ صدابندی کوبه‌ای چند نمونه از کف - سقف‌های LSF

شرح سیستم	ضخامت کلی (mm)	جزئیات اجرایی	درجه صدابندی کوبه‌ای (IIC) به dB
تخته چندلایه ۱۵/۹ میلی‌متری، تیرچه فولادی با پهنای ۲۰۳ میلی‌متر و ضخامت ۱/۲۲ میلی‌متر با فواصل ۴۰۶ میلی‌متر، پروفیل‌های ارتجاعی با فواصل مرکز به مرکز ۴۰۶ میلی‌متر، عایق الیاف معدنی به ضخامت ۹۰ میلی‌متر، یک لایه تخته گچی ۱۲/۷ میلی‌متر در زیر	۲۴۳		۴۴ ۶۴ (با فرش یا موکت)
بتن رویه با ضخامت ۳۸ میلی‌متر روی تخته چندلایه ۱۶ میلی‌متری، تیرچه فولادی با پهنای ۲۰۳ میلی‌متر و ضخامت ۱/۲۲ میلی‌متر با فواصل ۴۰۶ میلی‌متر، پروفیل‌های ارتجاعی با فواصل مرکز به مرکز ۴۰۶ میلی‌متر، عایق پشم شیشه به ضخامت ۹۰ میلی‌متر، دو لایه تخته گچی ۱۲/۷ میلی‌متر در زیر	۲۵۶		۳۱ ۷۰ (با فرش یا موکت)



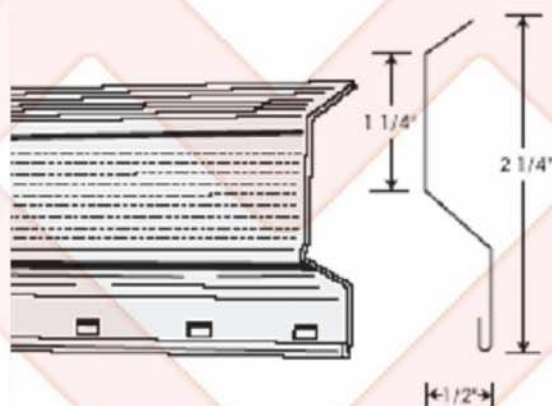
۸-۲-۲ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری در خصوص عملکرد آکوستیکی سقف‌های سیستم LSF

با بررسی نتایج اندازه‌گیری صدابندی کوبه‌ای سقف‌های ساخته شده با پانل‌های سقفی LSF نتایج زیر به دست آمد:

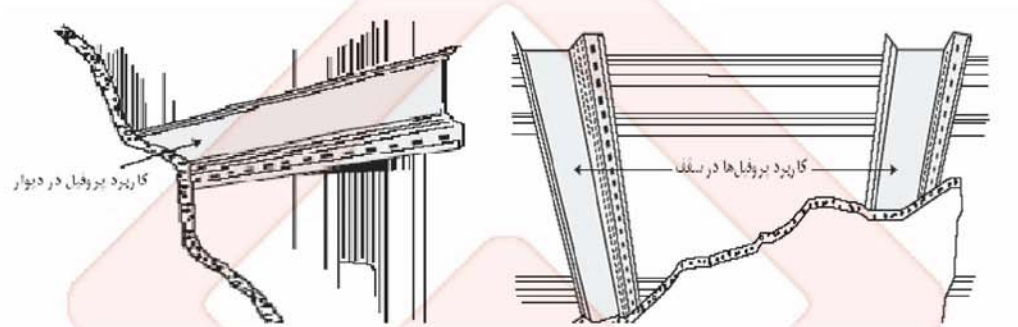
- ۱- در صورت استفاده از الیاف معدنی یا سلولزی، صدابندی کوبه‌ای افزایش می‌یابد و در صورتی که ضخامت این الیاف‌ها بیشتر شود افزایش صدابندی نیز بیشتر خواهد شد.
- ۲- کاهش فاصله مرکز به مرکز استاد (وادر)ها، تا حدودی صدابندی سقف را در برابر صدای کوبه‌ای افزایش می‌دهد.
- ۳- در صورت استفاده از پروفیل‌های ارتجاعی فلزی (جزئیات در یادآوری ۱) بین لایه گچی و استاد (وادر)ها، صدابندی کوبه‌ای افزایش پیدا می‌کند.
- ۴- در صورت مفروش کردن کف با پوشش‌های پُرزدار مثل موکت یا فرش، مقدار صدابندی افزایش می‌یابد.
- ۵- برای افزایش صدابندی کوبه‌ای سقف از کف شناور استفاده می‌شود.

با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌های مندرج در جدول ۱۳ و همچنین، ضوابط ارائه شده در مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان، سقف‌هایی که درجه صدابندی کوبه‌ای، IIC، (در استاندارد ISO این شاخص تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته L_{nw} ، است که برای تبدیل به یکدیگر از رابطه $L_{nw}=110-IIC$ استفاده می‌شود) آن‌ها از ۶۰ دسی‌بل بیشتر (معادل L_{nw} کمتر از ۵۰) است، برای سقف بین طبقات در ساختمان‌های مسکونی قابل قبول است.

یادآوری ۱: استفاده از پروفیل‌های ارتجاعی یک روش بسیار مؤثر و کم‌هزینه برای کاهش تراکسیل صدا از طریق دیوارها است. به‌ویژه برای دیوارهای ساختمان‌های چندواحدی، استودیوهای ضبط صدا و امثال آن‌ها مناسب است. این پروفیل‌ها مطابق با استانداردهای ASTM ساخته شده‌اند (شکل ۷۵ و شکل ۷۶).



شکل ۷۵ جزئیات یک نمونه پروفیل ارتجاعی آکوستیکی



شکل ۷۶ جزئیات نصب پروفیل ارتجاعی آکوستیکی

فصل نهم

بررسی نقاط قوت و ضعف سیستم

۹-۱ عوامل مربوط به هزینه

این سیستم ساخت، نیازمند نیروی انسانی ماهر، ولی به تعداد کم و در زمان کم است. لذا مجموعه هزینه نیروی انسانی در این سیستم، کمتر از روش‌های سنتی است. ابزار مورد استفاده نیز نسبتاً کم‌هزینه هستند، ولی هزینه‌های بالای تأمین مصالح، به‌خصوص در دوره‌ای که رواج چندانی نیافته است، این سیستم را جزو سیستم‌های گران‌قیمت دسته‌بندی می‌کند. این سیستم نیاز به مخارج ادواری خاصی ندارد، و هزینه تعمیرات احتمالی آن بسته به نوع خرابی، می‌تواند خیلی متفاوت باشد. تولید پروفیل‌های LFS در ایران با مشکل خاصی روبه‌رو است، زیرا ایران از کشورهایی است که از لحاظ توان تولید فلزات، در سطح بالایی قرار دارد.

سیستم LSF از سیستم‌هایی است که شعاع مصرف اقتصادی بالایی دارد. در صورتی که این سیستم به‌روش اجرای درجا^۱ برپا شود، مصالح اولیه را، که بسیار سبک و کم‌حجم است، می‌توان به فواصل دور و حتی مناطق صعب‌العبور نیز منتقل کرد. این مصالح معمولاً به‌راحتی در حمل آسیب‌پذیر نیستند، ولی در صورت بروز آسیب در قطعات، در ساختمان قابل استفاده نخواهند بود، و نیاز به تولید مجدد قطعه است. این در حالی است که چندکاره بودن قطعات و قابلیت جایگزینی قطعه خراب شده با سایر قطعات، سیکل ساخت را تا رسیدن مجدد قطعه متوقف نمی‌سازد. هزینه‌های انبارداری این مصالح چندان قابل توجه نیست، زیرا ورق گالوانیزه در برابر شرایط جوی مقاوم است، و به‌علاوه، فضای زیادی برای انبارداری این مصالح لازم نیست.

۹-۲ عوامل مربوط به زمان

از نظر سرعت اجرا، تجربیات سایر کشورها نشان داده‌است که این سیستم در زمان کمی برپا می‌شود، و سرعت اجرا نسبت به شیوه‌های سنتی و حتی صنعتی سنگین بسیار بالاتر است. نسبت فرآوری محصول در کارخانه نسبت به سایت در این سیستم ساخت، بر اساس نوع اجرا و مقدار پیش‌ساخته‌سازی، می‌تواند بسیار متغیر و متفاوت باشد. این سیستم قابلیت اجرا در تمام شرایط جوی را دارد، و با تغییرات شرایط جوی، مشکلات جدی در اجرا به‌وجود نخواهد آمد.

1. Stick-Built



۳-۹ عوامل مربوط به قابلیت‌های اجرایی

اجرای این روش، نیاز به نیروی ماهر و ابزار خاص دارد، ولی چگونگی اجرا و نحوه به‌کارگیری ابزار، به‌سادگی قابل آموزش خواهد بود. اقداماتی که برای اجرای این سیستم انجام می‌شود، تعدد و گوناگونی کمی دارند و برای اجرای هر آیت، یک سری اقدام ساده لازم است. هرچند قطعات اصلی این سیستم از تعدد زیادی برخوردار نیست، ولی در زمانی کوتاه، با استفاده از ابزارهای ساده می‌توان فرم‌های متنوعی را با آن‌ها تولید کرد.

استفاده از قطعات از پیش‌برش‌خورده یا پانل‌های پیش‌ساخته، قابلیت اجرای طرح‌های مدولار را در این سیستم افزایش می‌دهد. این سیستم برای تنوع در معماری فضا، و اختیار دادن به طراح در ایجاد طرح‌های مختلف قابلیت بالایی دارد. سهولت اجرای دهانه‌های متنوع و تغییر ارتفاع، به‌اضافه سادگی قرار دادن بازشو در جداره‌ها - که مرهون قابلیت ترکیب آن با سیستم تیرستون است - این سیستم را از جهت تطابق با طرح‌های معماری در سطح خوبی قرار داده است. نگهداری این سیستم شرایط خاصی را نمی‌طلبد، و به‌علت اجرای خشک، تغییرات آن به‌سادگی صورت می‌پذیرد. به‌علت استفاده از مصالحی که فرآوری عمده و خاص در سایت ندارند، می‌توان این سیستم را با دقت نسبتاً بالایی کنترل کرد. وابستگی این سیستم به ماشین‌آلات، منوط به‌روش اجراست، که در بعضی موارد، فقط نیاز به ماشین‌آلات سنگین برای حمل مصالح به کارگاه است.

۴-۹ عوامل مربوط به کیفیت و قابلیت‌های فنی

به‌دلیل کاهش زیاد وزن و اتلاف اندک مصالح نسبت به شیوه‌های سنتی و دستی، این سیستم برای انبوه‌سازی مناسب است، ولی اجرای ساختمان‌های بلندمرتبه در این سیستم، با مشکل مواجه است. اجرای خشک، این سیستم را برای بازدیدهای ادواری مناسب ساخته است. به‌اضافه این‌که، ایجاد تغییرات حین اجرا در نقشه‌های تأسیسات، معمولاً به‌سادگی انجام می‌شود.

استفاده از ورق گالوانیزه، پایداری این سیستم را در برابر هوازگی و میکروارگانیسم‌ها افزایش داده است [۱۶ و ۱۷]. از نظر زیست‌محیطی، این سیستم ساختمانی در زمره سیستم‌هایی است که انرژی اندکی برای ساخت اجزای آن مصرف می‌شود [۱۸].

از نقاط ضعف این سیستم، در صورتی که در اجرا تمامی نکات فنی مورد رعایت قرار نگیرد، خطر ایجاد صدا در حالت‌های انقباض و انبساط است.

همان‌گونه که در بخش‌های قبلی نیز مطرح شد، وزن کم این سیستم ساختمانی (در حدود ۶۰ درصد وزن واحد سطح سیستم‌های رایج ساخت و ساز) باعث می‌شود نیروهای اعمال‌شده در صورت وقوع زمین لرزه به‌طور قابل توجهی نسبت به ساختمان‌های متداول کم‌تر باشد، تا حدی که در اکثر موارد، اثر نیروهای اعمال‌شده



توسط باد بیشتر و تعیین‌کننده‌تر از نیروهای ناشی از زمین‌لرزه است. در ضمن، وزن کم این سیستم باعث می‌شود به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای مناطق با مقاومت خاک کم تلقی شود.

اینرسی حرارتی کم این سیستم، آن را برای استفاده دائم مانند مسکونی، با مشکلاتی روبه‌رو می‌سازد. ولی در عین حال، عملکرد آن را برای ساختمان‌های اداری، تجاری و دیگر ساختمان‌های با کاربری منقطع، بسیار مناسب می‌سازد.

عملکرد صوتی دیوارها و سقف‌های ساخته‌شده با این سیستم، در صورت رعایت تمهیدات لازم، به راحتی جوابگوی انتظارات تعیین‌شده در مقررات ملی است.

مواد تشکیل‌دهنده LSF بار حریق ندارند، ولی چنانچه ذکر شد، پروفیل‌های سرد فرم داده‌شده مقاومت کمی در برابر حریق دارند و باید به‌خوبی محافظت شوند. یکی از دلایل اصلی کاربرد گچ به‌عنوان پوشش داخلی این سیستم‌ها دستیابی به این هدف است.

با اجرای لایه بخاربند در حفاصل جداره داخلی و عایق حرارتی، می‌توان از خطر میعان در دیوارها جلوگیری کرد. به‌علاوه آن‌که، سقف سرد در این سیستم، کمک شایانی به کاهش خطر میعان خواهد کرد.

به‌رغم این‌که بار مرده این سیستم با اجزای اصلی و کاربردی آن منتقل می‌شود، ولی اجرای خشک، قابلیت تغییرات آتی را تا حدی در آن به‌وجود می‌آورد. معمولاً ساختار نمای این سیستم، از سازه آن جدا است، و از سهولت و دقت اجرای خشک برخوردار است.

از مشکلات اجرای این سیستم، مشکلات فرهنگی استفاده‌کنندگان است، زیرا نمونه مشابه این سیستم، قبلاً اجرا نشده، و شناخت کافی از نحوه بهره‌برداری و زندگی در ساختمان ساخته‌شده از آن در بین مردم وجود ندارد.

هرچند آئین‌نامه‌های معتبری در ایران در این زمینه وجود ندارد، ولی مطالعات اولیه‌ای برای این سیستم در سازمان ملی زمین و مسکن انجام شده است، که آئین‌نامه AISI را توصیه می‌کند. لازم به ذکر است سازمان NASFA^۱ نیز اقدام به تدوین یک روش تجویزی برای طراحی این سیستم کرده، و با ایجاد محدودیت‌هایی از نظر تعداد طبقات و متراژ زیربنا، امکان طراحی ساده‌ای را برای این سیستم فراهم کرده است [۱۹].

اجرای خشک، امکان برچیدن و استفاده مجدد این سیستم را ایجاد کرده است، به‌علاوه آن‌که، قطعات و اجزا عمدتاً از مصالح و فلزات قابل بازگشت به چرخه ساخته شده‌اند [۲۰].

فهرست اشکال

۱. شکل ۱ نمای خارجی و داخلی یک ساختمان در حال ساخت با سازه LSF..... ۱
۲. شکل ۲ پروفیل‌های C و U و Z شکل..... ۲
۳. شکل ۳ نحوه قرارگیری استاده‌ها در تراک (رانرها)..... ۲
۴. شکل ۴ جزییات سقف مستوی یا شیب‌دار..... ۳
۵. شکل ۵ اجزای مختلف سیستم قاب فلزی سبک..... ۳
۶. شکل ۶ لایه‌ها و اجزای تشکیل‌دهنده یک نمونه جدار خارجی..... ۴
۷. شکل ۷ اجرای شالوده گسترده..... ۵
۸. شکل ۸ جزییات اجزای تشکیل‌دهنده دیوار..... ۶
۹. شکل ۹ نمونه قاب‌های مورد استفاده در روش پانلی..... ۷
۱۰. شکل ۱۰ نصب قاب‌ها در سیستم پانلی..... ۷
۱۱. شکل ۱۱ اجرای سیستم جعبه‌ای..... ۸
۱۲. شکل ۱۲ اجزای مهاربندی دیوارها..... ۸
۱۳. شکل ۱۳ دستگاه مورد استفاده برای ایجاد کشش در قطعات مهاربندی..... ۹
۱۴. شکل ۱۴ نصب دستگاه ایجاد کشش در قطعات مهاربندی، با استفاده از سوراخ‌های اتصال پیچ..... ۹
۱۵. شکل ۱۵ نصب پیچ‌های اتصال اعضای مهاربندی پس از اعمال کشش..... ۹
۱۶. شکل ۱۶ اجرای نعل‌درگاه به دو صورت خرپا و یا تیر..... ۱۰
۱۷. شکل ۱۷ خرپاهای تشکیل‌دهنده سقف شیب‌دار..... ۱۰
۱۸. شکل ۱۸ نمونه ساختمان ساخته‌شده با سقف مستوی..... ۱۱
۱۹. شکل ۱۹ انواع پیچ‌های مورد استفاده برای اتصال قطعات سرد نورد شده..... ۱۱
۲۰. شکل ۲۰ نصب عایق حرارتی بین استاده‌ها..... ۱۲
۲۱. شکل ۲۱ نصب عایق حرارتی صلب در طرف خارجی قاب فلزی..... ۱۳
۲۲. شکل ۲۲ بست‌های گالوانیزه برای اتصال نمای آجری به استادهای دیوار..... ۱۴
۲۳. شکل ۲۳ دوغاب‌ریزی گچ در بین دو لایه کاغذ در یک کارخانه تولید تخته گچی..... ۲۱
۲۴. شکل ۲۴ نصب رانر به شالوده با استفاده از پیچ‌های عصائی انتظار..... ۲۵
۲۵. شکل ۲۵ نصب رانر به شالوده با استفاده از تیر کلاف..... ۲۶
۲۶. شکل ۲۶ اتصال جان استاد به جان رانر، به‌صورت ساده یا با استفاده از قطعه‌های تقویتی..... ۲۷
۲۷. شکل ۲۷ اتصال سیستم LSF روی بخش دیگر اجراشده با سیستم ICF..... ۲۷
۲۸. شکل ۲۸ استفاده از چوب چهارتراش و بست‌های نگهدارنده استاده‌ها..... ۲۸



- شکل ۲۹ ایجاد اتصال مورب بین استاد و رانر ۲۸
- شکل ۳۰ ایجاد اتصال افقی بین استادهای ۲۹
- شکل ۳۱ استفاده از تسمه برای مهاربندی و یا تقویت استادهای ۲۹
- شکل ۳۲ شت‌بند به شکل قطعات کوچک C، متصل شده به صورت افقی به جان استادهای ۳۰
- شکل ۳۳ جزییات مربوط به روش استاد متصل ۳۱
- شکل ۳۴ استفاده از خرپا برای اجرای سقف ۳۱
- شکل ۳۵ جزییات اجرای کف سبک تخته‌ای ۳۲
- شکل ۳۶ نمونه پوشش نهایی سقف مستوی ۳۲
- شکل ۳۷ جزییات اجرای کف بتنی روی ورق موج‌دار ۳۲
- شکل ۳۸ روش‌های اتصال اجزای سازه‌ای سقف سیستم LSF به دیوار ساخته شده با سیستم ICF ۳۳
- شکل ۳۹ روش‌های اتصال گوشه و پوشش سقف در صورت تلفیق آن با دیوار ساخته شده با سیستم ICF ۳۳
- شکل ۴۰ نصب عایق حرارتی به صورت منقطع و تودلی ۳۴
- شکل ۴۱ نصب عایق حرارتی به صورت یکسره و زیگزاگ ۳۴
- شکل ۴۲ عبور مدارهای الکتریکی از پروفیل‌ها و سیستم‌های نصب کلید و پریزهای الکتریکی و شیرآلات ۳۵
- شکل ۴۳ نماهای اجرا شده با تخته‌های سیمانی درزدار ۳۶
- شکل ۴۴ نماهای اجرا شده با تخته‌های سیمانی روی هم (با هم‌پوشانی) ۳۶
- شکل ۴۵ نمای اندود نازک روی پلی‌استایرن منبسط ۳۷
- شکل ۴۶ اتصال قطعات سفالی نما به صورت خشک بر روی دیوار LSF ۳۸
- شکل ۴۷ سقف مرکب در ساختمان LSF ۳۹
- شکل ۴۸ اتصال عضو فشاری به کلاف عرضی ۴۰
- شکل ۴۹ مسیر عبور تاسیسات ۴۱
- شکل ۵۰ جزییات بازشو درب در دیوار قائم ۴۱
- شکل ۵۱ جزییات بازشو پنجره در دیوار قائم ۴۲
- شکل ۵۲ طره در سیستم LSF ۴۲
- شکل ۵۳ تصویر مکانیزم انتقال بارهای ثقلی ۴۳
- شکل ۵۴ سیستم دهانه مهاربندی شده با اعضای قطری ۴۴
- شکل ۵۵ سیستم دیوار باربر جانبی با ورق فولادی نازک ۴۵
- شکل ۵۶ به‌کارگیری دیوارهای سازه‌ای بتن‌آرمه در ساختمان‌های LSF ۴۶
- شکل ۵۷ اتصال صفا سبک کف به تیرچه ۴۷
- شکل ۵۸ اتصال صفحه سبک سقف به تیرچه ۴۷
- شکل ۵۹ اتصال دال بتن‌آرمه به تیرچه فلزی به واسطه ورق موج‌دار ۴۸
- شکل ۶۰ اتصال جان تیرچه به جان تیر اصلی ۴۹



- شکل ۶۱ اتصال تیر اصلی به عضو فشاری ۴۹
- شکل ۶۲ اتصال عضو فشاری به کف سقف سازه ویا شالوده ۵۰
- شکل ۶۳ اتصال عضو فشاری به کلاف عرضی ۵۱
- شکل ۶۴ اتصال عضو فشاری به کف ویا شالوده ۵۲
- شکل ۶۵ اتصال عضو قطری به گره قاب ۵۲
- شکل ۶۶ دیوار گچی یک لایه ۵۶
- شکل ۶۷ دیوار گچی دو لایه (دوبل) با استفاده از چسب بین لایه‌ها ۵۶
- شکل ۶۸ کاهش مقاومت فولاد نورد سرد و گرم در دمای بالا نسبت به مقاومت آن در دمای معمولی ۵۷
- شکل ۶۹ طرح شماتیک یک دیوار سیستم قاب فولادی سبک بدون عایق حرارتی ۶۶
- شکل ۷۰ بردار شار و شدت شار حرارتی در طرح شماتیک یک دیوار بدون عایق حرارتی ۶۶
- شکل ۷۱ مقطع و پروفیل‌های هم‌دمایی و هم‌شاری در دیوار خشک با ۵ سانتی‌متر عایق حرارتی ۶۸
- شکل ۷۲ مقطع و پروفیل‌های هم‌دمایی و هم‌شاری در دیوار خشک با ۱۰ سانتی‌متر عایق ۶۸
- شکل ۷۳ نمودار تغییرات ضریب انتقال حرارت دیوار با ضخامت لایه عایق حرارتی تکمیلی ۷۳
- شکل ۷۴ مقطع و پروفیل‌های هم‌دمایی و هم‌شاری در دیوار خشک عایق تکمیلی ۱ سانتی‌متری ۷۴
- شکل ۷۵ جزییات یک نمونه پروفیل ارتجاعی آکوستیکی ۹۱
- شکل ۷۶ جزییات نصب پروفیل ارتجاعی آکوستیکی ۹۲

فهرست جداول

جدول ۱	وزن پوشش روی نسبت به ضخامت ورق یا قطعه	۱۷
جدول ۲	میزان خوردگی روی در صورت تماس با فلزات و آلیاژهای مختلف	۱۹
جدول ۳	چند نمونه جزئیات اجرایی مقاوم در برابر آتش برای دیوارهای باربر و غیرباربر LSF	۶۰
جدول ۴	چند نمونه سیستم کف مقاوم در برابر آتش	۶۳
جدول ۵	مقادیر مقاومت در برابر آتش برای حالت‌های مختلف مشخصات سقف	۶۳
جدول ۶	مقاومت حرارتی چند نمونه رایج جدارهای سیستم (LSF)	۶۹
جدول ۷	حداقل مقاومت‌های حرارتی جدارهای غیرنورگذر ($\hat{R}$ برحسب $m^2.K/W$) مطابق روش تجویزی	۷۶
جدول ۸	ضخامت‌های حداقل عایق حرارتی مورد نیاز	۷۷
جدول ۹	صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای باربر LSF	۷۹
جدول ۱۰	صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای غیرباربر LSF	۸۲
جدول ۱۱	صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای LSF	۸۴
جدول ۱۲	حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان	۸۸
جدول ۱۳	صدابندی کوبه‌ای چند نمونه از کف-سقف‌های LSF	۸۹



مراجع

- 1 Scharff, Robert. "Drywall construction handbook". McGraw-Hill, New York, 1995.
- 2 ASTM C1396/C 1396 M. "Standard specification for gypsum board". ASTM, Philadelphia, 1998.
- 3 ISO 6308. "Gypsum plasterboard-specification". International organization for standardization, Switzerland, 1980.
- 4 DIN 18180. "Gypsum plasterboard: Types, requirements and testing". Deutsches Institut für Normung, Berlin, 1989.
- 5 Prescriptive Method for Connecting Cold-Formed Steel Framing to Insulating Concrete Form Walls in Residential Construction, U.S. Department of Housing and Urban Development, The Steel Framing Alliance, The Portland Cement Association, The Insulating Concrete Form Association, Building Works, Inc., Cambridge, MA, February 2003
- 6 Report on: Thermal Performance of Lightweight Steel Framed Homes, Lightweight Steel Framing, technical bulletin, , CSSBI (Canadian Sheet Steel Building Institute), Volume 5, Number 1, July 1999
- 7 Report on: Lightweight Steel Framing Construction Techniques, CSSBI, Volume 6, Number 1, March 2001
- 8 ASTM C1396/C 1396 M. "Standard specification for gypsum board". ASTM, Philadelphia, 1998.
- 9 Technical note: Thermal design guide for exterior walls, publication RG-9405, steel in residential construction advisory group, American Iron & Steel Institute (AISI), January 1995
- 10 Scharff, Robert. "Drywall construction handbook". McGraw-Hill, New York, 1995.
- 11 Scharff, Robert. "Residential steel framing handbook". McGraw-Hill Book Company, 1996
- 12 Canadian Sheet Steel Building Institute, Residential Steel Framing, Installation Manual, CSSBI, Ontario, 1999.
- 13 مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، صرفه‌جویی در مصرف انرژی
- 14 Warnock, A.C.C., Private Communication, Sound Transmission Estimates for Steel-Framed Wall Assemblies, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario, Canada, July 28, 2003.
- 15 schallschutz mit Knauf, 1991.
- 16 DURABILITY OF COLD-FORMED STEEL FRAMING MEMBERS, American Iron and Steel Institute, October 1996
- 17 Report on: durability, Lightweight Steel Framing, technical bulletin, , CSSBI (Canadian Sheet Steel Building Institute), Volume 2, Number 2, March 1999
- 18 Report on: Life Cycle Assessment of Steel Framed Homes, Lightweight Steel Framing, technical bulletin, , CSSBI (Canadian Sheet Steel Building Institute), Volume 3, Number 1, March 1999
- 19 Prescriptive Method For Residential Cold-Formed Steel Framing, Year 2000 Edition, North American Steel Framing Alliance, Publication NT3.00, NASFA, October 2000.
- 20 Report on: Life Cycle Assessment of Steel Framed Homes, Lightweight Steel Framing, technical bulletin, , CSSBI (Canadian Sheet Steel Building Institute), Volume 3, Number 2, July 1999