

بررسی عملکرد حرارتی سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک (LSF)

محمد قاسمی^۱، رضا رهگذر^۲، مجید جابرزاده^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- عضو هیئت علمی مؤسسه آموزش عالی هاتف زاهدان

mohandesi_61@yahoo.com

خلاصه

یکی از نگرانی‌های معمول در مواجهه با سیستم‌های ساختمانی دارای ساختار فلزی، کارایی آنها در جلوگیری از اتلاف انرژی است. در این مقاله، ضمن بررسی عملکرد حرارتی سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک (LSF)، 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. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش ضخامت دیوار، قرار دادن یک لایه سیلیکون میان استاد(وادار) و پوشش خارجی دیوار، قرار دادن یک لایه نازک عایق حرارتی بعنوان پوشش خارجی دیوار و کاهش انتقال حرارت در اجزای فلزی بعنوان روش‌هایی جهت بهبود عملکرد حرارتی دیوار در این سیستم‌ها در نظر گرفته می‌شوند.

کلمات کلیدی: اتلاف انرژی، عملکرد حرارتی، سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک (LSF)، مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان

۱. 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 [1]. 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^۴ ایجاد شده توسط قطعات فلزی، اطمینان حاصل شود. جدارهای خارجی سیستم قاب فولادی سبک (LSF)^۵ از سه جزء اصلی 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.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان (نویسنده رابط)

^۲ عضو هیئت علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان

^۳ عضو هیئت علمی مؤسسه آموزش عالی هاتف زاهدان

^۴ نقاطی از ساختمان که به علت ناپیوستگی عایق حرارتی پوسته خارجی، مقاومت حرارتی در آنها کاهش می‌یابد و باعث افزایش موضعی میزان انتقال حرارت می‌شود.

^۵ Light-Weight Steel Frame

• عایق حرارتی احتمالی که در بین دو تخته گچی قرار می‌گیرد و نقش مهمی در عملکرد حرارتی و صوتی دیوار دارد. در این مقاله، به بررسی عملکرد حرارتی سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک (LSF) پرداخته و 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 نیز راه‌هایی برای بهبود عملکرد حرارتی این سیستم ارائه می‌شود.

۲. تحلیل عملکرد حرارتی سیستم LSF

با توجه به اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در سال‌های اخیر، تأمین مقاومت حرارتی مناسب در طراحی ساختمان‌ها بسیار مهم می‌باشد [2]. از دید حرارتی، گچ به کار رفته در تخته‌های گچی ضریب هدایت حرارت کمی دارد و طبق مقادیر ارائه شده در مبحث 19 مقررات ملی ساختمان بین 0.35 (W/m.K) تا 0.50 (W/m.K) برآورد می‌شود. ولی ضخامت لایه‌های گچی به قدری کم است که در نهایت، لایه گچی تأثیر چندانی بر روی مقاومت حرارتی کل سیستم ندارد [3].

ورق‌های سرد نورد شده با وجود ضخامت کم و فاصله زیاد از یکدیگر (معمولاً ۴۵، ۶۰ یا ۹۰ سانتیمتر)، پل‌های حرارتی قابل توجهی ایجاد می‌نمایند که باید حتماً در بیلان حرارتی سیستم در نظر گرفته شود.

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. از مسائل مهم دیگری که باید در مورد این سیستم مد نظر 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 هوابندی نبودن و عدم پیش‌بینی لایه‌های بخاربند مناسب ظاهر می‌شود [1].

۳. اثر پل‌های حرارتی بر روی ضریب انتقال حرارت سیستم LSF

با توجه به این نکته که اجزای فلزی، پل‌های حرارتی قابل ملاحظه‌ای را در سیستم LSF ایجاد می‌نمایند، امکان محاسبه ضرایب انتقال حرارت با در نظر گرفتن مقاومت لایه‌ها به صورت سری و با محاسبات ساده میسر نمی‌باشد و لازم است تأثیر پل‌های حرارتی، با ارزیابی‌های دقیق‌تر لحاظ شود. تعیین مقادیر عددی پل‌های حرارتی می‌تواند به روش‌های مختلف صورت گیرد [3]:

- با استفاده از روش و ضرایب منطقه‌ای
 - با استفاده از جداول ارائه شده برای گونه‌های مختلف دیوارهای خارجی (به صورت پارامتریک)
 - با شبیه‌سازی انتقال حرارت به صورت دو یا سه بعدی، به کمک نرم‌افزارهای تخصصی
 - با اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت در آزمایشگاه، با استفاده از دستگاه محفظه گرم محافظت شده.
- دقت مقادیر ارائه شده در دو روش اول بالا نیست و برای نمونه، برای روش اول بین 2 تا 15 درصد تغییر می‌کند. در صورتی که دقت زیادی مدنظر باشد، لازم است پس از تعیین ضریب هدایت حرارت اجزای مختلف تشکیل‌دهنده این سیستم، با استفاده از شبیه‌سازی عددی و نرم‌افزارهای تخصصی موجود در این زمینه، ضریب انتقال حرارت تعیین شود. یا این که نمونه واقعی دیوار در آزمایشگاه ساخته شود و توسط یکی از روش‌های استاندارد معتبر (نظیر محفظه گرم محافظت شده)، ضریب انتقال حرارت سطحی متوسط دیوار اندازه‌گیری شود.

۴. عایق‌کاری حرارتی بخش‌های مختلف ساختمان

۱.۴. 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 خرابایی برای تأمین ایستایی سقف را فراهم می‌سازد و از طرف دیگر باعث می‌شود آب‌بندی سقف نیز به سهولت وبا 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 زیر شیروانی 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 [4].

با توجه به این که 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 که ضخامت عایق حرارتی در این روش به هیچ وجه نمی‌تواند از جان پروفیل‌های مورد استفاده به عنوان استاد^۱ (وادار) 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 [5].

۲.۴. کف

برای کف ساختمان نیز حالت‌های مختلفی را می‌توان در نظر گرفت. کف می‌تواند روی گرده‌رو 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 [1].

حالت دیگر، پیش‌بینی یک گرده‌رو بدون تهویه، یا با تهویه کم است. در این حالت، انتقال حرارت از کف در دو مرحله، اول به طرف گرده‌رو و سپس 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 بلوک‌کاژ) است. در این حالت نیز نیازی به عایق کاری تمامی سطح کف وجود ندارد و کافی است عایق کاری دیوارها تا پی ادامه یابد یا اینکه یک عایق پیرامونی، به عرض حدود یک متر زیر کف در نظر گرفته شود.

۳.۴. دیوار

در سیستم LSF، عایق کاری حرارتی دیوار شباهت زیادی به عایق کاری حرارتی سقف یا کف دارد و عایق حرارتی به صورت قطعات آماده (معمولاً تخته‌ای شکل) بین استادها قرار می‌گیرد [1].

۵. نقاط ضعف سیستم LSF از دید انتقال حرارتی و روش‌های رفع آن‌ها

^۱ عضو سازه‌ای قائم سیستم دیوار LSF

همانگونه که در بخش‌های قبلی نیز مطرح شد، ضعف اصلی سیستم LSF 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 [6].

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.

بهبود عملکرد حرارتی دیوار، در جهت دستیابی به مقاومت‌های تعیین شده در مقررات ملی ساختمان، به چند روش می‌تواند انجام گیرد. در ادامه، مطرح‌ترین روش‌ها در این زمینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۱.۵. افزایش ضخامت دیوار

از نظر اجرایی، ساده‌ترین روش افزایش ضخامت دیوار و در نتیجه افزایش 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 مورد نظر باید عایق‌های حرارتی با ضخامت بالاتر از معمول مورد استفاده قرار گیرد که از نظر اقتصادی فاقد توجیه قوی است.

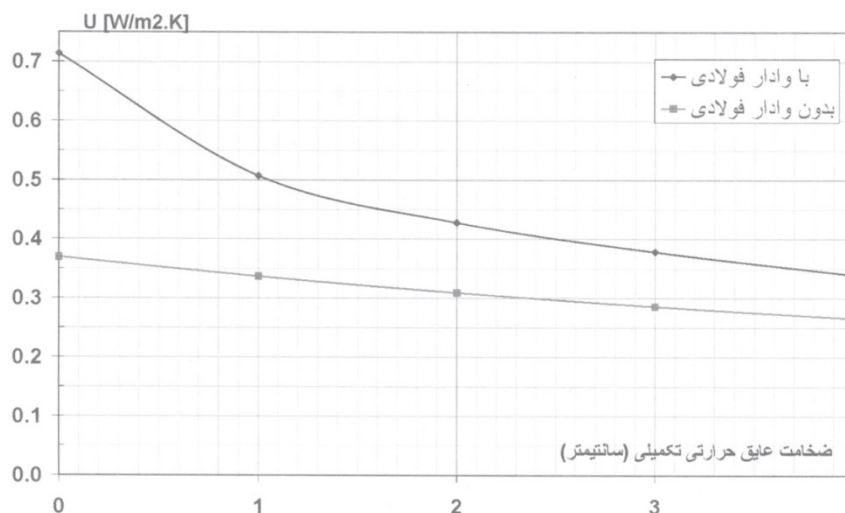
۲.۵. قرار دادن یک لایه سلیکون میان استاد (وادر) و پوشش خارجی دیوار

قرار دادن یک لایه سلیکون میان استاد (وادر) و پوشش خارجی دیوار می‌تواند تا حد کمی اثر پل حرارتی را کاهش دهد. به عنوان نمونه، مقدار مقاومت حرارتی جدار دارای لایه خارجی تخته سه‌لایی، عایق پشم شیشه 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 سلیکون، از $1.39 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ به $1.48 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ (به میزان ۶ درصد) افزایش می‌یابد.

۳.۵. قرار دادن 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 به طور چشمگیری کاهش می‌دهد. در عمل، افزودن یک لایه ۲۵ میلی‌متری پلی‌استایرن منبسط با مقاومت حرارتی برابر $0.88 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ در یک دیوار متداول، باعث می‌شود مقاومت حرارتی کلی دیوار تا حدود $1.06 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ افزایش یابد. میزان این تغییر قابل توجه است و در نتیجه انجام این کار از توجیهی قوی برخوردار است.

در شکل ۱، برای یک دیوار با ۱۰ سانتیمتر عایق پشم شیشه 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 شده است. 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 [3].



شکل ۱- تغییرات ضریب انتقال حرارت دیوار با ضخامت لایه عایق حرارتی تکمیلی

۴.۵. کاهش انتقال حرارت در اجزای فلزی

- مؤثرترین اقداماتی که برای کاهش اثر اجزای فلزی بر روی ضریب انتقال حرارت مجموعه می توان انجام داد به شرح زیر است [1]:
- کاهش ضخامت ورق های سرد نورد شده. این اقدام در اکثر موارد به دلیل انتظارات سازه ای از اجزای فلزی عملی نمی باشد. 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 بریدگی های عمود بر جهت مسیر جریان حرارت
- سومین نوع اقدام مؤثرترین روش محسوب می شود و مطالعات و تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده است.

۶. امکان سنجی جواب گویی به ضوابط مبحث نوزدهم

در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (صرفه جویی در مصرف انرژی) ضوابط مربوط به پوسته خارجی ساختمان مطرح شده است [7]. برای تعیین میزان حداقل مقاومت حرارت یا میزان حداکثر ضریب انتقال حرارت دو روش طراحی وجود دارد:

- روش کارکردی (روش الف)
 - روش تجویزی (روش ب)
- لازم به توضیح است گروه ساختمان از نظر صرفه جویی در مصرف انرژی به عوامل ویژه اصلی بستگی دارد. این عوامل عبارتند از:
- کاربری ساختمان
 - گونه بندی جغرافیایی نیاز انرژی گرمایی - سرمای سالانه محل استقرار ساختمان
 - سطح زیربنای مفید ساختمان
 - نوع شهر محل استقرار ساختمان

۱.۶. گروه ساختمان و روش های تعیین میزان عایق کاری حرارتی حداقل

با توجه به عوامل ویژه اصلی تعیین شده در مبحث 19 مقررات ملی ساختمان، گروه ساختمان از نظر مصرف انرژی مشخص می‌شود. میزان عایق کاری حرارتی حداقل مورد نیاز در جدارهای پوسته خارجی به گروه ساختمان و روش طراحی در نظر گرفته شده بستگی دارد. در ادامه، تفاوت‌های اصلی بین روش‌های طراحی و میزان حداقل عایق در حالت‌های مختلف مشخص می‌شود.

۱.۱.۶. روش کارکردی (روش الف)

این روش در تمامی حالات قابل استفاده است و مبنای آن میزان کل انتقال حرارت از جدارهای پوسته خارجی ساختمان است. در نتیجه، در صورت طراحی مطابق این روش، محدودیتی در خصوص مقاومت حرارتی یا ضریب انتقال حرارت هر یک از اجزا مطرح نیست و باید مجموعه جدارها جوابگوی انتظارات تعیین شده باشد. به عبارت دیگر، پایین بودن مقاومت حرارتی بخشی از جدارها را می‌توان با افزایش مقاومت دیگر جدارها جبران نمود. بدیهی است نامتعادل بودن مقاومت‌های حرارتی باعث افزایش میزان عایق مورد استفاده و در نتیجه افزایش هزینه‌های عایق کاری خواهد شد.

۲.۱.۶. روش تجویزی (روش ب)

این روش در مورد ساختمان‌های مسکونی 1 تا 9 طبقه، به صورت منفرد یا مجتمع و با زیربنای کمتر از 2000 مترمربع و ساختمان‌های گروه 3، از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، قابل استفاده است.

در این روش، حداقل مشخصات حرارتی قابل قبول جدارهای پوسته خارجی، براساس گروه ساختمان از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در دو مجموعه راه‌حل فنی زیر ارائه می‌شود و لازم الاجراست:

- راه‌حل‌های فنی ب-۱) مجموعه راه‌حل‌های فنی، با بهره‌گیری از پنجره‌های برتر که برای ساختمان‌های دارای شرایط استفاده از روش تجویزی و واقع در گروه‌های ۱، ۲ یا ۳ از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در نظر گرفته شده است.
 - راه‌حل‌های فنی ب-۲) مجموعه راه‌حل‌های فنی، با بهره‌گیری از پنجره‌های ساده که برای ساختمان‌های دارای شرایط استفاده از روش تجویزی و واقع در گروه‌های ۲ یا ۳ از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در نظر گرفته شده است.
- مطابق مجموعه راه‌حل‌های فنی ب-۱، جدارهای نورگذر ساختمان باید به لحاظ مشخصات حرارتی از انواع برتر این جدارها باشند، در حالی که بر اساس مجموعه راه‌حل‌های فنی ب-۲، استفاده از پنجره‌های ساده نیز مجاز است، ولی دیوارهای ساختمان باید مقاومت حرارتی بیشتری نسبت به مجموعه راه‌حل‌های فنی ب-۱ داشته باشند.

در هر یک از مجموعه راه‌حل‌های فنی، الزامات زیر در مورد مشخصات حرارتی جدارهای ساختمان تعیین شده است:

- حداقل مقاومت حرارتی دیوارها، در دو حالت مجاورت دیوار با فضای خارج یا فضای کنترل نشده و بر اساس نحوه‌ی عایق کاری حرارتی (خارجی، داخلی، میانی و همگن)
- حداقل مقاومت حرارتی بام، در دو حالت مجاورت بام با فضای خارج یا فضای کنترل نشده و بر اساس نحوه‌ی عایق کاری حرارتی بام و دیوارهای ساختمان
- رده‌بندی کیفی جدارهای نورگذر ساختمان
- حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا، در دو حالت مجاورت کف با فضای خارج یا فضای کنترل نشده و بر اساس نحوه‌ی عایق کاری حرارتی کف مجاور هوا و دیوارهای ساختمان
- روش قابل قبول عایق کاری حرارتی کف روی خاک (سراسری یا پیرامونی) و حداقل مقاومت حرارتی عایق حرارتی مورد استفاده.

در این روش باید به اثر دو عامل مهم زیر در تعیین میزان عایق حرارتی مورد نیاز توجه داشت:

(۱) اثر بهره‌گیری مناسب از نور خورشید

در صورتی که ساختمان دارای شرایط استفاده از روش تجویزی، مطابق پیوست ۳ مبحث ۱۹ دارای نیاز غالب گرمایی و قادر به بهره‌گیری مناسب از انرژی خورشیدی باشد، می‌توان حداقل مقاومت‌های حرارتی ارائه شده در راه‌حل‌های فنی را با ضریب ۰/۹۵ کاهش داد.

(۲) اثر بهره‌گیری از سایه‌بان مناسب

در صورتی که ساختمان دارای شرایط استفاده از روش تجویزی، مطابق پیوست ۳ مبحث ۱۹ با نیاز غالب سرمایی باشد و تمامی جدارهای نورگذر پوسته‌ی خارجی ساختمان نیز سایه‌بان‌های معین شده در مبحث ۱۹ را داشته باشند، می‌توان حداقل مقاومت‌های حرارتی ارائه شده در راه‌حل‌های فنی را با ضریب ۰/۹ کاهش داد.

در روش ب، ضوابط و راه‌حل‌های فنی برای گروه‌ها و حالات مختلف عوامل ویژه فرعی مشخص شده و در بخش ۱۹-۳-۲ مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان 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 مبحث ۱۹ 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.

۱.۲.۱.۶. راه‌حل‌های فنی در شرایط استاندارد عوامل ویژه فرعی طرح

این راه‌حل‌ها شامل رعایت حداقل مقاومت‌های حرارتی \bar{R} بر حسب $(m^2.K/W)$ در مورد جدارهای پوسته خارجی ساختمان (با استفاده از جدول ۱)، و نیز مشخصات پنجره‌های مورد استفاده با فرض وجود شرایط استاندارد عوامل ویژه فرعی است. تعریف شرایط استاندارد برای عوامل ویژه فرعی به شرح زیر است:

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

جدول ۱- حداقل مقاومت‌های حرارتی جدارهای غیرنورگذر (\bar{R} بر حسب $m^2.K/W$) مطابق روش تجویزی

گروه ۳	گروه ۲	گروه ۱	گروه ساختمان از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی	
۱/۵	۲/۱	۲/۸	سبک ^۱	دیوار
۱	۱/۴	۱/۹	سنگین ^۲	
۰/۸	۱/۱	۱/۵	مجاور فضای کنترل نشده	
۲/۷	۳/۷	۵	سبک	سقف
۲/۲	۳	۴	سنگین	
۱/۷	۲/۳	۳/۱	مجاور فضای کنترل نشده	
۱/۶	۲/۲	۳	سبک	کف
۱/۳	۱/۸	۲/۴	سنگین	

^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.

۱	۱/۳	۱/۸	مجاور فضای کنترل نشده	کف روی خاک
۲	۲/۷	۳/۷	عایق پیرامونی	
۰/۹	۱/۳	۱/۷	عایق زیر تمام سطح	

در صورتیکه طراحی با این روش انجام شود، لازم است در هر جدار $R > \hat{R}$ باشد. در این رابطه، \hat{R} از جدول ۱ به دست می‌آید و R مقاومت حرارتی جدار یک یا چند لایه ساختمان است.

اما همانگونه که در بخش‌های 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 ضرایب انتقال حرارت یا مقاومت حرارتی دیوار وجود ندارد. از طرف دیگر، ساختار دیوارها و سقف‌های مطرح در این سیستم بگونه‌ای 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، به خصوص برای ساختمان‌های گروه ۱، بالا باشد.

برای روشن شدن این مطلب، در جدول ۲ ضخامت‌های حداقل عایق حرارتی مورد نیاز، با فرض ۳۰ درصد کاهش مقاومت حرارتی^۱ ناشی از وجود استادهای فلزی و با در نظر گرفتن ضریب هدایت حرارت عایق برابر با 0.041 (W/m.K) (در جهت اطمینان) ارائه می‌شود:

جدول ۲- ضخامت‌های حداقل عایق حرارتی مورد نیاز

ضخامت عایق حرارتی (سانتی‌متر)	مقاومت حرارتی ($\text{m}^2.\text{K/W}$)
۲	۰/۳۸
۴	۰/۷۳
۶	۱/۰۸
۸	۱/۴۳
۱۰	۱/۷۸
۱۲	۲/۱۳
۱۴	۲/۴۸
۱۶	۲/۸۳

همانگونه که ملاحظه می‌شود در روش طراحی تجویزی، در صورتیکه 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 استادهای نصب شود، و یا اینکه طراحی با استفاده از روش کارکردی انجام شود.

۷. نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث مطرح شده در بخش‌های قبل، از این مقاله نتایج زیر به دست می‌آید:

- سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک (LSF) در زمره سیستم‌هایی است که می‌تواند عملکرد حرارتی قابل قبولی داشته باشد، مشروط بر این که جزئیات اجرایی مناسبی (مطابق آنچه در بخش‌های قبلی به آن‌ها اشاره گردید) برای آن در نظر گرفته شود.

^۱ 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.



- اثر پل‌های حرارتی ایجاد شده از اجزای فلزی سیستم LSF را می‌توان با اضافه نمودن لایه‌های عایق و یا راهکارهایی از قبیل اضافه کردن چند خم کوچک در مقطع پروفیل برای طولانی کردن مسیر جریان حرارت و یا اضافه کردن شیارها و بریدگی‌های عمود بر جهت مسیر جریان حرارت کنترل نمود.
- میزان عایق‌کاری حرارتی حداقل مورد نیاز در جدارهای پوسته خارجی به گروه ساختمان و روش طراحی در نظر گرفته شده (در مبحث 19 مقررات ملی ساختمان) بستگی دارد.

۸. مراجع

۱. محمدکاری، ب. و احمدی، ر. (۱۳۸۹)، "سیستم قاب سبک فولادی"، چاپ دوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران.
۲. فلاح، م. ح. و سلمان‌پور، ف. (۱۳۹۱)، "معرفی و بررسی سیستم ساختمانی سبک فولادی در صنعتی‌سازی مسکن"، اولین کنفرانس ملی مصالح و سازه‌های نوین در مهندسی عمران، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.
۳. نشریه شماره ۶۱۳ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (۱۳۹۱)، "آیین نامه طراحی و اجرای سازه‌های فولادی سرد نورد (بخش غیرسازه)".
4. Scharff, R. (1995), "Drywall Construction Handbook," McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
5. Scharff, R. (1996), "Residential Steel Framing Handbook," McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
6. Canadian Sheet Steel Building Institute (1999), "Residential Steel Framing," Installation Manual, CSSBI, Ontario.
۷. مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۸۱)، "صرفه‌جویی در مصرف انرژی".