مجله علمی- پژوهشی
«عمـران مـــدرس»
دوره دوازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۱

یادداشت تحقیقاتی:

بررسی خواص فیزیکی، مکانیکی و ایمنی در برابر آتش برای بلوک‌های سقفی پلی‌استایرن منبسط‌شده در سیستم سقف تیرچه– بلوک

سعید بختیاری[1*]، کیان خلیلی جهرمی[2]، بهروز محمدکاری[3]، محمدجعفر هدایتی[4]

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

۲- کارشناس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

٤-کارشناس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

bakhtiyari@bhrc.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۱٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

چکیده– خواص و عملکرد بلوک پلی‌استایرن منبسط‌شده در سیستم سقف تیرچه بلوک، با انجام آزمایش‌ها و مطالعات وسیع، شامل آزمون‌های آتش، بارگذاری استاتیکی و دینامیکی، مطالعات حرارتی و آکوستیکی بررسی شد. رفتار در برابر آتش به‌وسیله آزمون گرماسنج مخروطی و مطابقت نتایج با روش‌های مختلف طبقه‌بندی ارزیابی شد. نتایج آزمایش‌های آتش و بررسی‌های به‌عمل آمده نشان داد که انواع خودخاموش‌شو (یا کندسوز شده) پلی‌استایرن منبسط‌شده نیز در برابر حریق رفتار خطرناکی بروز داده و باید در برابر آتش محافظت شوند. هم‌چنین، استفاده از اتصال مکانیکی پوشش محافظت‌کننده به سیستم سقف ضروری است. مقاومت خمشی بلوک‌ها با چگالی‌ها و ابعاد هندسی مختلف با انجام آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی و دینامیکی بررسی و شرایط بهینه برای آن تعیین شد. براین‌اساس رعایت حداقل چگالی $12kg/m^3$ برای بلوک‌های ۲۵×۵۰ سانتی‌متر و حداقل $14kg/m^3$ برای بلوک‌های ۲۰×۵۰ سانتی‌متر می‌تواند معیار پذیرش را برآورده سازد. عرض بهینه لبه‌ی نشیمن بلوک‌ها در محل قاعده ۲±۲۷ میلی‌متر به دست آمد. هم‌چنین، اثر بلوک پلی‌استایرن در مقاومت حرارتی سقف‌های تیرچه و بلوک با آرایش‌های هندسی مختلف بررسی و رفتار حرارتی سیستم سقف، براساس استاندارد بین‌المللی EN ISO 10211 و با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی تِرم[1]، ارزیابی شد. افزایش ضخامت یا عرض بلوک و درنظر گرفتن یک پاشنه در بخش تحتانی بلوک، به شرط رعایت مسائل ایمنی سازه و حریق، باعث بهترشدن عملکرد حرارتی سقف می‌شود. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که سقف تیرچه و بلوک با بلوک پلی‌استایرن منبسط‌شده رفتار آکوستیکی تقریباً معادل با سقف مشابه با بلوک سفالی دارد.

واژگان کلیدی: سقف تیرچه بلوک، پلی‌استایرن منبسط‌شده، عایق حرارتی، واکنش در برابر آتش، آکوستیک.

۱- مقدمه

محصولات پلی‌استایرن منبسط‌شده (EPS) در سال‌های اخیر جاذبه زیادی را در بخش‌های مختلف صنعت ساختمان نظیر قالب‌بندی سازه‌های بتنی، بلوک‌های سقفی و عایق حرارتی پیدا کرده‌اند. از این میان به بلوک‌های سقفی قابل

1- THERM

کاربرد در سقف‌های تیرچه و بلوک توجه زیادی شده است. علی‌رغم مزایای گوناگون (مانند سبکی و خواص خوب عایق حرارتی)، پلی‌استایرن منبسط‌شده نقاط ضعف دارد که از جمله مقاومت مکانیکی پایین، ضعف در برابر حلال‌ها و از همه مهم‌تر رفتار خطرناک در برابر آتش را باید نام برد. مشکلات و سؤال‌های اساسی که در زمینه کاربرد بلوک پلی‌استایرن منبسط‌شده در سیستم سقف تیرچه و بلوک وجود داشت و این تحقیق برای ارائه پاسخ به آن‌ها انجام شد، به شرح زیر است:

پلی‌استایرن منبسط‌شده از نظر مشخصات مختلف در برابر آتش جزء مواد خطرناک در بین پلاستیک‌ها به شمار می‌رود. اگرچه در نوع کندسوز، رفتار آن در برابر آتش به وسیله افزودنی‌هایی نظیر هگزا برمو سیکلو دودکان (HBCD) اصلاح می‌شود، اما نوع کندسوز نیز قابل اشتعال است و رفتار آن در برابر آتش باید بررسی شود. مسئله دیگری که از نظر ایمنی اهمیت دارد، تحمل بارهای زمان اجرا مانند وزن بتن تازه، رفت‌وآمد کارگران برای حمل‌ونقل مصالح یا بتن‌ریزی دستی آن‌هاست. از طرف دیگر با وجودی که فوم پلی‌استایرن یک عایق حرارتی بسیار خوب محسوب می‌شود، به علت وجود تیرچه‌ها به عنوان پل‌های حرارتی، میزان تأثیر این عایق نیاز به بررسی دارد. همچنین، عملکرد سقف‌های اجراشده با این بلوک‌ها از نظر آکوستیکی مورد سؤال است که این موضوع نیز جای بررسی دارد.

به منظور بررسی مسائل بالا، در این پژوهش خواص فوم پلی استایرن و سیستم سقف تیرچه و بلوک اجراشده با آن تحقیق و بررسی شد. رفتار پلی‌استایرن معمولی و خودخاموش‌شو در برابر آتش به‌وسیله آزمایش‌های متعدد بررسی و با توجه به نتایج، نیازهای محافظتی آن تعیین شد. مقاومت مکانیکی بلوک، با توجه به ابعاد و موقعیت آن در سیستم تیرچه و بلوک، بررسی و شرایط لازم برای کاربرد مناسب و بهینه آن در سیستم سقف تعیین شد. به‌علاوه، با استفاده از آزمون‌های هدایت حرارتی روی بلوک‌های با شکل‌های هندسی مختلف و کاربرد نرم‌افزارهای تخصصی، مقاومت حرارتی سقف تعیین و روش‌های بهینه‌سازی آن بحث شده است. عملکرد آکوستیکی سقف به‌وسیله اندازه‌گیری میدانی بررسی و با عملکرد سقف‌های معمولی تیرچه و بلوک مقایسه شد. نتایج آزمایش، تحلیل‌ها و توصیه‌های کاربردی حاصل از آن در این مقاله ارائه شده است. این پژوهش و نتایج ارائه‌شده در این مقاله کاملاً جدید بوده و پیش از این پژوهش مشابه در ادبیات علمی ارائه نشده است.

۲- مرور ادبیات علمی

سیستم سقف تیرچه-بلوک جزء سیستم‌های مورد قبول در آیین‌نامه‌های بین‌المللی نظیر آیین‌نامه‌های ACI است [۱]. یکی از تغییرات عمده که به‌تازگی در سیستم سقف تیرچه بلوک به‌وجود آمده است، استفاده از بلوک‌های پلی‌استایرن به جای بلوک‌های سفالی و بتنی در ایران است. درخصوص کاربرد این نوع بلوک در سیستم‌های سقف تیرچه و بلوک تحقیقات چندانی در ادبیات علمی به چشم نمی‌خورد. در استاندارد شمارهٔ ۲۹۰۹ ایران [[۲]]، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی لازم برای بلوک‌های سقفی قابل کاربرد در سقف‌های تیرچه بلوک، ارائه شده است، اما حوزه کاربرد آن قطعات توخالی از جنس سفال و انواع بتن است.

آزمایش‌های آتش روی فوم پلی‌استایرن به‌وسیله پژوهشگران انجام شده است که از جمله کارهای Thureson، Wickström، Scudamore و Collier را می‌توان نام برد[۳؛ ٤؛ ٥؛ ٦]. با توجه به رفتار خاص پلی‌استایرن در دماهای بالا، برای ارزیابی و تحلیل دقیق رفتار آن در برابر

آتش، نیاز است تا اثر سنجه‌های مختلف مؤثر بر رفتار آن در این دماها بررسی شود. از جمله این سنجه‌ها می‌توان چگالی و ضخامت پلی‌استایرن را نام برد. در حالی که در مقالات و مدارک فنی مربوط به رفتار EPS این عوامل به طور دقیق بررسی نشده است [۵-۹].

۳- آزمایش‌ها و بررسی‌های انجام‌شده

در این پژوهش، آزمایش‌ها و بررسی‌های زیر روی خواص فوم پلی‌استایرن انجام شد:

- رفتار در برابر آتش به روش تجربی و استفاده از نرم‌افزار
- بارگذاری استاتیکی و دینامیکی روی بلوک‌های سقفی
- تأثیرات ابعاد روی خواص مکانیکی بلوک
- تعیین ضریب هدایت حرارتی بلوک و مدل‌سازی مقاومت حرارتی سقف به‌وسیله نرم‌افزار
- اندازه‌گیری انتقال صدای کوبه‌ای سقف به طبقه پایین

۳-۱- مواد

برای بررسی رفتار در برابر آتش، هر دو نوع معمولی و کندسوز آزمایش شد. نمونه‌های معمولی از شرکت پتروشیمی تبریز (T) و نمونه‌های کندسوزشده از مواد اولیه خارجی (آلمان و کره جنوبی) (نمونه‌های FR1، FR2 و FR3) تهیه شد. برای سایر آزمون‌ها از نمونه‌های بلوک‌های کندسوزشده استفاده شد. نوع معمولی و کندسوزشده در ماهیت تفاوتی از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی ندارند.

۳-۲- روش‌ها و استانداردهای مرجع

برای انجام آزمون‌ها و محاسبات از دستگاه‌ها و استانداردهای زیر استفاده شد.

- آزمایش آتش: با استفاده از دستگاه گرماسنج مخروطی[1] براساس با استاندارد ISO 5660 انجام شد. اطلاعات حاصل از آزمون شامل نقطه افروزش، شدت رهایش گرما، کل رهایش گرما و برخی گازهای سمی است که در این مقاله روی پارامترهای حرارتی و افروزش بحث شده است.
- بارگذاری استاتیکی و دینامیکی بلوک‌ها: بررسی‌های مکانیکی مربوط به بلوک‌های پلی‌استایرن سقفی بر پایهٔ کلیات مفاد استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۲۹۰۹ در مورد بلوک‌های سقفی و استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۵۱۹ درمورد بارهای وارد بر ساختمان انجام شد [۲]. برای بارگذاری استاتیکی از قاب‌های بارگذاری آزمایشگاه و دو تکیه‌گاه سخت و موازی و متغیر نسبت به یکدیگر در پایین، متناسب با مشخصات پاشنه تیرچه و دربرگیرندهٔ طول نشیمن بلوک، استفاده شد. بارگذاری به صورت نواری در طول بلوک به صورت تدریجی، یکنواخت و با سرعت ۸ تا ۱۲ کیلوگرم در ثانیه با جک هیدورلیکی ۳۰ تنی و پمپ دستی وارد شد و میزان بار در هر لحظه به‌وسیله نیروسنج قرائت و اطلاعات حاصل به‌کمک دستگاه داده‌پرداز الکترونیکی ثبت شد. علاوه بر نیروهای استاتیکی برگرفته از استاندارد، به دلیل واردآمدن نیروهای دینامیکی زمان اجرا روی سقف، آزمایش‌های بارگذاری دینامیکی ضربه نیز انجام شد. روش‌های متفاوتی برای بتن‌ریزی روی سقف تیرچه بلوک وجود دارد که یکی از آن‌ها بتن‌ریزی دستی است که در آن برای حمل بتن به طور عمده از فرغون استفاده می‌شود. از آن‌جا که بیش‌ترین مسئله ایمنی زمان اجرا در همین نوع بتن‌ریزی مطرح است، بنابراین نحوه واردآمدن بار دینامیکی نیز زمان اجرا بر همین اساس درنظر گرفته شد. حرکت این وسیله در جهت عمود بر راستای تیرچه‌ها باعث بالا و پایین‌رفتن و ضربه‌زدن به بلوک‌ها می‌شود. در صورتی که نیروی وارد به چرخ فرغون پر از بتن برابر ۱۵۰ kg و ارتفاع حرکت قائم آن حدود ۱۰ cm فرض شود، ضربهٔ وارد به

1- Cone Calorimeter

بلوک به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$۱۵۰\times۱۰=۱۵۰۰\text{kg.cm}$$

برای آزمایش ضربه، یک وزنهٔ انعطاف‌پذیر ۲۳/۵ kg انتخاب و ارتفاع رهاسازی آن براساس رابطه زیر معادل‌سازی شد:

$$150\times10=23.5\times h\rightarrow h=\frac{150\times10}{23.5}=63.8\approx65cm$$

بنابراین آزمایش ضربه با رهاسازی وزنهٔ ۲۳/۵ کیلوگرمی از ارتفاع ٦٥ سانتی‌متری روی بلوک انجام شد.

- تعیین ضریب هدایت حرارتی بلوک: با دستگاه جریان حرارت‌سنج[1] ساخت کارخانه Netsch آلمان اندازه‌گیری شد. اندازه نمونه ۳۰۰×۳۰۰×۱۰۰ میلی‌متر و محدوده اندازه‌گیری دستگاه ۰/۵ W/m.K–۰/۰۰۵ است. آزمون براساس استاندارد EN 12667 انجام شد.

- مقاومت حرارتی سقف: بررسی با استفاده از نتایج آزمون‌های ضریب هدایت حرارتی، مقادیر ارائه شده در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان برای ضرایب هدایت حرارتی مصالح و استفاده از نرم‌افزار ترم[2] انجام گرفت [۱۰].

- آکوستیک: صدابندی سقف تیرچه و بلوک ساخته‌شده با دو نوع بلوک‌های توپر و حفره‌دار پلی‌استایرن با ضخامت ۲۵ cm در حالت میدانی براساس استاندارد ISO 140-7 در بندهای بسامدی یک‌سوم زمانی از ۱۰۰ تا ۳۱۵۰ هرتز اندازه‌گیری شد. ضخامت کف بتنی ۵ سانتی‌متر و دارای ۱۰ سانتی‌متر پوکه معدنی، ۲ سانتی‌متر ملات ماسه سیمان، ۲ سانتی‌متر موزاییک و ۲ سانتی‌متر اندود گچی زیر سقف با استفاده از رابیتس (ضخامت نهایی برابر با ٤٦ سانتی‌متر) بود. صدابندی سقف در برابر صدای کوبه‌ای[3] به‌وسیله یک عدد که گویای صدابندی سقف است، براساس روش بیان‌شده در استاندارد ملی ایران ۲-۸۸۳٤، درجه‌بندی می‌شود. این عدد به عنوان تراز صدای کوبه‌ای معمول‌شده وزن‌یافته[4] (L'nw) برای سقف است و هر چه مقدار آن باشد، صدابندی کوبه‌ای سقف بیش‌تر است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- رفتار در برابر آتش

پارامترهای حرارتی و دود برای نمونه‌های معمولی و خودخاموش‌شو تحت تابش ۳۵ kW/m^2 اندازه‌گیری شد. ضخامت آزمونه‌ها ثابت و تقریباً ٤ سانتی‌متر درنظر گرفته شد. اثر ضخامت و چگالی نمونه بر رفتار پلی‌استایرن در برابر آتش به‌وسیله بختیاری و تقی‌اکبری بحث شده است [۱۱]. نتایج آزمون‌ها در جدول ۱ ارائه شده و بحث و بررسی روی آن‌ها در ادامه آمده است.

۴-۱-۱- اثر نوع پلی‌استایرن منبسط‌شده

رفتار فوم پلی‌استایرن از دو نوع معمولی و کندسوز بررسی شد. نمونه‌ها به محض قرارگیری در معرض حرارت، ذوب شد و از منبع حرارت عقب‌نشینی کردند. نتایج در جدول (۱) ارائه شده است.

زمان افروزش (TTI): زمان افروزش از الگوی خاصی تبعیت نکرد و بین ٦٧ تا ۹۰ ثانیه به‌دست آمد؛ بنابراین نمی‌تواند عامل شناسایی دقیقی بین نمونه‌های معمولی و کندسوز باشد. علت موضوع در مرجع ۱۱ بحث شده است.

کل گرمای رهاشده (THR) و گرمای مؤثر سوختن (Av. EHC): برای این دو پارامتر، تفاوت خاصی بین دو نوع معمولی و خود خاموش‌شو مشاهده نشد. علت این است که هر دو نوع قابل سوختن بوده و در حضور منبع اشتعال

1- Heat Flowmeter
2- THERM
3- Impact Isolation
4- Weighted normalized impact sound

خارجی تقریباً تا انتها می‌سوزند.

جدول (۱) نتایج آزمایش آتش روی نمونه‌های معمولی و کندسوزشده EPS در تراز تابشی (kW/m^2) ۳۵

خاصیت	T1	FR1	FR2	FR3
ρ (kg/m^3)	۱۷	۱۷	۲۰	۱۷
t (mm)	٤٦	٤١	٤٦	٤٨
TTI (s)	٦٧	۹۰	۷۰	۸۳
FO (s)	٤١٧	٣٤٦	٤۹۰	٤۰۳
Av. RHR (kW/m^2)	۷۳٫۰	۱۱۹٫۵	۸۲٫۷	۸٦٫۷
PRHR (kW/m^2)	۳۲۰٫۱	۲٦٤٫۱	۲۱۳٫٤	۲٤۲٫۷
T PRHR (s)	۹۰	۱۱۰	۸۰	۹۰
Av. EHC (MJ/kg)	۳۱٫۵	۳۹٫٦	۳٤٫۱	۳٤٫٦
THR (MJ/m^2)	۲۵٫۵	۲۸٫۹	۳٤٫۰	۲۷٫۱
Av. SEA (m^2/kg)	٦۹۰٫۵	٦۰۹٫۷	٦۸۱٫۱	۷۳۵٫۳

شدت رهایش گرما (RHR): منحنی‌های RHR در شکل ۱ آمده است. نتایج نشان داد که PRHR مهم‌ترین شاخص متفاوت حرارتی بین دو نوع معمولی و کندسوز است. حداکثر شدت رهایش گرما برای نوع معمولی، تحت تابش kW/m^2 ۳۵، بیش از kW/m^2 ۳۰۰ و برای انواع کندسوزشده حداکثر ۲۵۰ و بیش‌تر آن کم‌تر از kW/m^2 ۲۰۰ بود. علت این موضوع وجود افزودنی کندسوزکننده است که با اختلال در واکنش‌های احتراق باعث کندشدن واکنش‌هاشده، شدت رهایش گرما کاهش پیدا می‌کند. این موضوع باعث کاهش مشارکت فوم در گسترش آتش‌سوزی شده، کلاس آن در دسته‌بندی مواد، از نظر واکنش در برابر آتش، را بهبود می‌دهد.

۴-۱-۲- ارزیابی و طبقه‌بندی خطرپذیری حریق

استاندارد اروپا مصالح را براساس رفتار واکنش در برابر آتش به طبقات A تا F طبقه‌بندی می‌کند که در آن طبقه A نشانگر مصالح بدون اثر در آتش‌سوزی و F مصالح با واکنش غیرقابل‌قبول در برابر آتش است. ریچاردسون براساس نتایج گرماسنج مخروطی، تحت تابش kW/m^2 ۵۰ به مدت ۱۵ دقیقه، طبقه‌بندی زیر را ارائه کرد [۱۲]:

طبقه ۱: موادی که در کل به مقدار MJ/m^2 ۵ یا کم‌تر حرارت آزاد کنند و PRHR آن‌ها ۱۰ kW/m^2 باشد، طبقه ۲: موادی که THR آن‌ها کم‌تر از (MJ/m^2) ۲۵ و PRHR آن‌ها ۱۰۰ kW/m^2 باشد، طبقه ۳: کل حرارت آزادشده MJ/m^2 ۵۰ یا کم‌تر و PRHR کم‌تر از kW/m^2 ۱۵۰ باشد، طبقه ٤: کل حرارت آزادشده حداکثر MJ/m^2 ۱۰۰ و حداکثر شدت آن kW/m^2 ۳۰۰ باشد؛ طبقه ۵- حداکثر حرارت آزادشده بیش از MJ/m^2 ۱۰۰ و PRHR بیش از kW/m^2 ۳۰۰ است.

مواد طبقات ٤ و ۵ جزو مواد خطرناک‌اند و معمولاً براساس مقررات ساختمان برای استفاده از چنین موادی باید از یک لایه پوشش محافظت‌کننده مانند یک لایه تخته گچی با ضخامت حداقل ۱۲٫۵ میلی‌متر استفاده نمود.

برای ارزیابی خطرپذیری حریق نمونه‌های EPS براساس روش ریچاردسون، آزمایش بر روی چند نمونه در kW/m^2 ۵۰ به عمل آمد که نتایج در جدول ۲ آمده است. هم‌چنین، با استفاده از نتایج آزمون و نرم‌افزار Conetools، تخمین طبقه اروپایی برای شرایط آزمون صورت گرفت که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. چگالی نمونه روی نتایج مؤثر بود، به‌طوری که طبقات خطرپذیری حریق ٤ و D برای چگالی kg/m^3 ۱۳٫٦ و طبقات ۵ و E برای چگالی kg/m^3 ۲٦ به‌دست آمد. تحلیل نتایج آزمون آتش به شرح زیر است:

• هر دو نوع معمولی و کندسوز EPS در برابر منبع آتش قابل اشتعال‌اند. رفتار نوع معمولی به مراتب خطرناک‌تر و استفاده از آن در ساختمان غیرقابل‌قبول است. براساس نتایج آزمون، نوع کندسوزشده جزو طبقات ٤ یا ۵ روش ریچاردسون و D یا E براساس استاندارد اروپا قرار گرفت. بنابراین برای استفاده از این نوع پلی‌استایرن نیز نیاز به

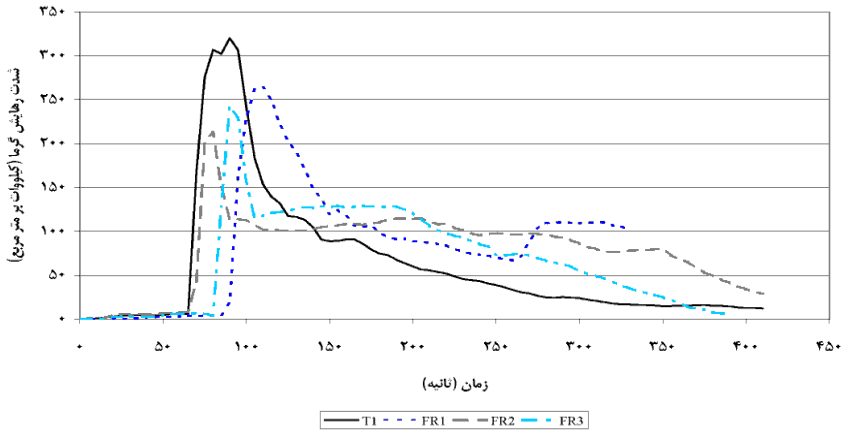
کاربرد پوشش محافظت‌کننده است. خواص پوشش‌های محافظت‌کننده پایه گچی در مرجع بحث شده است [۱۳].

• پلی‌استایرن منبسط‌شده در معرض حرارت به‌سرعت عقب‌نشینی می‌کند؛ بنابراین پوشش محافظت‌کننده باید اتصال مکانیکی به سازه داشته باشد. برای جلوگیری از گسترش آتش‌سوزی بین واحدهای مستقل، بلوک‌های پلی‌استایرن نباید بین واحدها امتداد پیدا کند.

۴-۲- مقاومت مکانیکی و نحوه شکست بلوک‌های سقفی و تعیین معیارها و محدودیت‌ها

۴-۲-۱- آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی

آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی روی ۶۰ نمونه بلوک با ابعاد ۲۵×۵۰ سانتی‌متر و ۵۰ نمونه بلوک با ابعاد ۲۰×۵۰ سانتی‌متر انجام و ظرفیت باربری بلوک‌ها براساس چگالی میانگین آن‌ها بررسی شد. نتایج در جدول‌های ۳ و ٤ آمده است. نمودار ظرفیت باربری بلوک‌های آزمون‌شده براساس چگالی آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. در این منحنی‌ها، دایره‌های توخالی نمایانگر نمونه‌هایی‌اند که شکست در آن‌ها قبل از رسیدن به ظرفیت نهایی خود از لبهٔ نشیمن بلوک اتفاق افتاده است. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که عرض لبهٔ نشیمن بلوک کم‌تر از حد کافی باشد. با اندازه‌گیری مشخص شد که آزمونه‌های با عرض لبهٔ نشیمن کم‌تر از میلی‌متر ۲۵ عملکرد مطلوبی در آزمایش بارگذاری بلوک نداشته است، و باعث شکست آن‌ها از لبهٔ نشیمن می‌شود. اگر نتایج نمونه‌هایی که شکست آن‌ها از لبهٔ نشیمن رخ داده است از منحنی‌ها حذف شود، شکل ۳ به‌دست می‌آید. با برازش بهترین خطوط از میان نتایج حاصل در این منحنی‌ها، تأثیر افزایش چگالی مصالح بلوک بر افزایش ظرفیت باربری بلوک‌ها مشاهده می‌شود.



شکل (۱) منحنی‌های شدت رهایش گرما برای چند نمونه معمولی و کندسوزشده EPS در تراز (kW/m^2)۳۵

جدول (۲) نتایج آزمون و طبقه‌بندی خطرپذیری حریق برای ۲ نمونه پلی‌استایرن کندسوزشده

کد نمونه	چگالی (kg/m^3)	زمان افروزش (sec)	حداکثر شدت رهایش گرما (kW/m^2)	کل رهایش گرما (MJ/m^2)	طبقه براساس روش ریچاردسون	طبقه‌بندی با Conetools
FR4	۱۳٫٦	۳۵	۲٤٤٫٦	۱۷٫۹	٤	D
FR5	۲٦٫۰٤	۲۷	۳۲۱٫۵	۱۹٫۷	۵	E
T2	۲۳٫۹	٤	٤۰۲٫۵	۳۰٫۵	۵	F یا E

جدول (۳) نتایج آزمایش‌های بارگذاری بلوک با ابعاد مقطع ۲۵×۵۰ سانتی‌متر و به طول یک متر

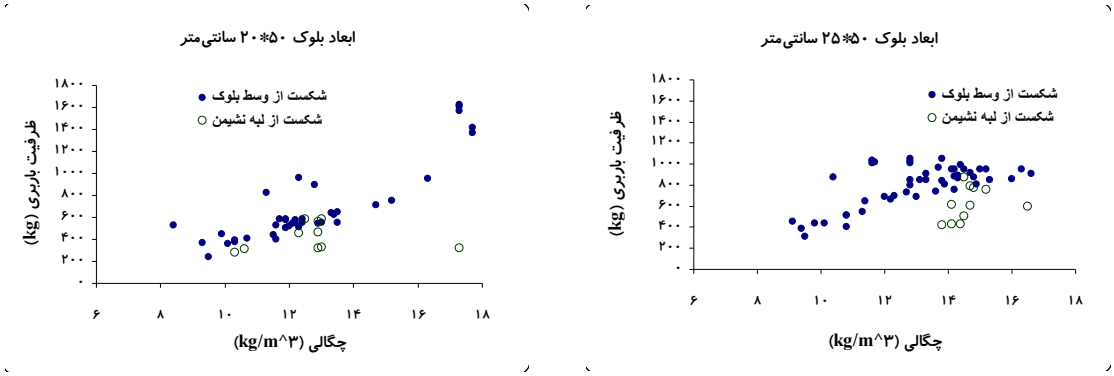
شمارهٔ نمونه	چگالی(kg/m^3)	نیروی شکست(kg)
۱	۱۲٫۷	۷۳۵
۲	۱۳٫۷	۹۶۶
۳	۱۳٫۸	۱۰۵۳
*٤	۱٤٫۱	٦۱۳
٥	۱٤٫۱	۹٥۰
٦	۱٤٫۲	۹٥۰
۷	۱٤٫٤	۹۹۰
*۸	۱٤٫٥	۸۷۷
۹	۱٤٫٥	۹٤۷
*۱۰	۱٤٫۷	٦۰۳
*۱۱	۱٤٫۷	۷۹۳
*۱۲	۱٤٫۸	۷۷۲
۱۳	۱٥٫۰	۹٥٤
۱٤	۱٥٫۲	۹٤۹
*۱٥	۱٥٫۲	۷٦۰
۱٦	۹٫۱	٤٥٦
۱۷	۹٫٤	۳۸۸
۱۸	۹٫٥	۳۱۰
۱۹	۹٫۸	٤۳۹
۲۰	۱۰٫۱	٤۳۹
۲۱	۱۰٫٤	۸۷۸
۲۲	۱۰٫۸	٥۱۲
۲۳	۱۰٫۸	٥۱۱
۲٤	۱۱٫۳	٥٤٤
۲٥	۱۱٫٦	۱۰۳۲
۲٦	۱۱٫٦	۱۰۱۲
۲۷	۱۱٫۷	۱۰۲۰
۲۸	۱۲٫۸	۷۹۷
۲۹	۱۲٫۸	۱۰۱۰
۳۰	۱۲٫۸	۱۰۲٤
۳۱	۱۲٫۸	۱۰٥۰
۳۲	۱۳٫۹	۸۰۷
*۳۳	۱٤٫٥	٥۰٤
۳٤	۱٤٫۷	۹۱۹
۳٥	۱٤٫۸	۸۷۱
۳٦	۱٦٫۳	۹٥۲
*۳۷	۱٦٫٥	٦۰۰
۳۸	۱٦٫٦	۹۰۷
۳۹	۱۰٫۸	٤۰٦
٤۰	۱۱٫٤	٦٤٤
٤۱	۱۲٫۰	٦۸۹
٤۲	۱۲٫۲	٦٦۷
٤۳	۱۲٫۳	۷۰۰
٤٤	۱۲٫۸	۸٤۷
٤٥	۱۳٫۰	٦۸۷
٤٦	۱۳٫۱	۸٥۲
٤۷	۱۳٫۳	۹۰۷
٤۸	۱۳٫۳	۸٤۷
٤۹	۱۳٫٦	۷۳٦
*٥۰	۱۳٫۸	٤۱۹
٥۱	۱۳٫۸	۸٤۲
*٥۲	۱٤٫۱	٤۳۰
٥۳	۱٤٫۲	۸۸۳
٥٤	۱٤٫۲	۷٥۷
٥٥	۱٤٫۳	۸۹۱
٥٦	۱٤٫۳	۸٦۷
*٥۷	۱٤٫٤	٤۳۰
٥۸	۱٤٫۹	۸۰٦
٥۹	۱٥٫۳	۸٤٦
٦۰	۱٦٫۰	۸٥۸

* در این موارد شکست از محل لبهٔ نشیمن بلوک به‌وقوع پیوسته است.

جدول (٤) نتایج آزمایش‌های بارگذاری بلوک با ابعاد مقطع ۲۰×۵۰ سانتی‌متر و به طول یک متر

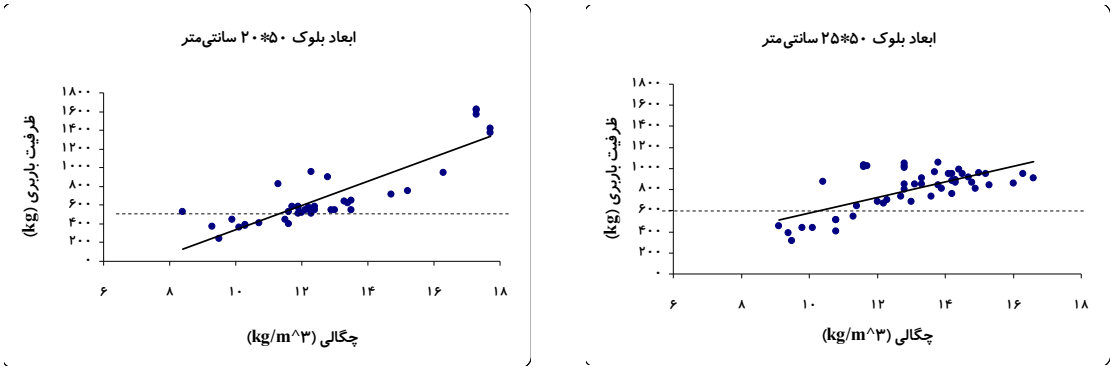
شمارهٔ نمونه	چگالی(kg/m^3)	نیروی شکست(kg)
۱	۹٫۹	٤٤۷
۲	۱۱٫٦	٥۲۸
۳	۱۱٫۷	٥۸٦
٤	۱۱٫۹	٥۰٦
٥	۱۱٫۹	٥۸۱
٦	۱۲٫۰	٥۱۹
۷	۱۲٫۱	٥٤٤
۸	۱۲٫۲	٥٥۳
۹	۱۲٫۲	٥۷٤
*۱۰	۱۲٫۳	٤٥٦
۱۱	۱۲٫٤	٥٥۰
*۱۲	۱۲٫۹	٤٦۷
۱۳	۱۳٫۰	٥٥۱
۱٤	۱۳٫٤	٦۲۳
۱٥	۱۳٫٥	٥٥۰
۱٦	۸٫٤	٥۲٦
۱۷	۹٫۲	٤٦۰
۱۸	۹٫۳	۳۷۱
۱۹	۹٫٥	۲٤۲
۲۰	۱۰٫۱	۳٦۳
*۲۱	۱۰٫۳	۲۸٤
۲۲	۱۰٫۳	۳۹۱
۲۳	۱۰٫۳	۳۸۰
*۲٤	۱۰٫٦	۳۱۰
۲٥	۱۰٫۷	٤۰۸
۲٦	۱۱٫۳	۸۲٥
۲۷	۱۲٫۳	۹٦۰
*۲۸	۱۲٫٥	٥۸۱
۲۹	۱۲٫۸	۹۰۰
*۳۰	۱۲٫۹	٥٦۳
*۳۱	۱۳٫۰	٥۸۲
۳۲	۱۷٫۳	۱٦۲٥
۳۳	۱۷٫۳	۱٥۷۰
۳٤	۱۷٫۳	۱٦۱۰
۳٥	۱۷٫۷	۱۳۷۰
۳٦	۱۷٫۷	۱٤۲۰
۳۷	۱۱٫٥	٤٤٤
۳۸	۱۱٫٦	۳۹۸
۳۹	۱۱٫۹	٥۷۳
٤۰	۱۲٫۳	٥۱٤
٤۱	۱۲٫٤	٥۸۲
٤۲	۱۲٫۹	٥٤٦
٤۳	۱۳٫۳	٦٤٤
٤٤	۱۳٫٥	٦٤٦
*٤٥	۱۳٫۸	۳۲۲
*٤٦	۱۳٫۹	۳۱۷
*٤۷	۱٤٫٥	۳۲٥
٤۸	۱٤٫۷	٥۷۸
٤۹	۱٥٫۲	٥٦٥
٥۰	۱٦٫۳	٦۳۸

* در این موارد شکست از محل لبهٔ نشیمن بلوک به‌وقوع پیوسته است.



(الف) (ب)

شکل۲ ظرفیت باربری براساس چگالی، الف: بلوک‌های به ابعاد cm ۲۵×۵۰، ب: بلوک‌های به ابعاد cm ۲۰×۵۰



(الف) (ب)

شکل (۳) برازش نتایج با حذف نمونه‌های شکسته‌شده از لبهٔ نشیمن، الف: بلوک‌های cm ۲۵×۵۰، ب: بلوک‌های cm۲۰×۵۰

۴-۲-۲- آزمایش‌های بارگذاری دینامیکی

نتایج آزمایش‌های ضربه در جدول (۵) ارائه شده است. شش نمونه از بلوک‌ها با اولین ضربه و سه نمونه از آن‌ها با دومین ضربه شکسته شدند و ظرفیت باربری لازم را نداشتند.

جدول (۵) نتایج آزمایش‌های بارگذاری بلوک با ابعاد مقطع ۲۰×۵۰ سانتی‌متر و به طول یک متر

شمارهٔ نمونه	طول (cm)	عرض (cm)	ارتفاع (cm)	تعداد ضربه تا شکست
۱	۲۵٫۰	٤۹٫۷	۲٤٫۷	۲
۲	۲۵٫۲	۵۰٫۳	۲۵٫۰	۲
۳	۲۵٫۰	٤۹٫٦	۲٤٫۷	۲
٤	۲۵٫۰	٤۹٫۷	۲٤٫۷	۱
۵	۲۵٫۱	٤۹٫۳	۲۵٫۲	۱
٦	۲۵٫۱	٤۹٫۳	۲۵٫۰	۱
۷	۲۵٫۲	٤۹٫٤	۱۹٫۸	۱
۸	۲۵٫۳	٤۹٫۵	۱۹٫۹	۱
۹	۲۵٫۲	٤۹٫٤	۱۹٫۷	۱

٤-۲-۳- معیار پذیرش ظرفیت باربری بلوک‌های پلی‌استایرن سقفی

در استاندارد ۲۹۰۹ ایران مقاومت بلوک‌های سفالی و بتنی در برابر بارهای زمان اجرا معادل kg ۲۵۰ به ازای هر cm ۲۵ طول بلوک توصیه شده است. با درنظرگرفتن تفاوت‌های بین بلوک پلی‌استایرن و بلوک‌های سفالی یا بتنی، معیار پذیرش ظرفیت باربری این نوع بلوک به صورت زیر توصیه می‌شود:

۱- با توجه به پاسخ نامطلوب عمدهٔ بلوک‌ها به آزمایش دینامیکی ضربه، اعمال بارهای ضربه‌ای مانند تردد وسایل روی بلوک‌ها، از جمله حرکت فرغون روی سقف، مجاز نبوده و در صورت استفاده از این وسیله روی سقف باید، با قراردادن الوار به نحو مناسب بر سقف، سطحی هموار جهت عبور وسایل حمل بتن مهیا کرد.

۲- با توجه به اینکه طول بلوک‌های پلی‌استایرن یک الی دو متر است، مقاومت این بلوک تحت بارهای منفرد نسبت به بلوک‌های سفالی یا بتنی به مراتب بیش‌تر است. اما در صورت نیاز به استفاده از بلوک‌های کوچک، برای پرکردن سطوح کوچک ما بین تیرچه‌ها، کم‌ترین طول قابل قبول برای برشکاری بلوک پلی‌استایرن مقدار ۳۰ cm توصیه می‌شود.

۳- با درنظر گرفتن دو شرط ذکرشده و به استناد مفاد آیین‌نامهٔ بارگذاری ساختمآن‌ها (استاندارد ۵۱۹) که باید کلیهٔ اعضای سقف، ازجمله بلوک‌ها، پیش از گیرش بتن تاب تحمل بارهای ضمن اجرا را داشته باشند، ظرفیت باربری مجاز بلوک‌های پلی‌استایرن با عرض ۵۰ سانتی‌متر برابر با ۲۰۰ کیلوگرم به ازای هر ۳۰ سانتی‌متر از طول بلوک پیشنهاد می‌شود. این مقدار برای طول‌های بیش از ۳۰ سانتی‌متر طبق رابطهٔ خطی زیر افزایش پیدا می‌کند که در آن C ظرفیت باربری مجاز بلوک (کیلوگرم) و l طول بلوک (میلی‌متر) است:

$$C = \frac{l}{300} \times 200$$

به عنوان مثال بلوک با ابعاد مقطع ۲۵×۵۰ سانتی‌متر و به طول یک متر باید باری معادل ٦٦٧ کیلوگرم را به صورت نواری و در وسط بلوک تحمل کند. بدیهی است که در صورت کاهش ارتفاع یا افزایش عرض بلوک باید مقاومت آن به نحوی افزایش پیدا کند (مثلاً با افزایش چگالی) تا ظرفیت باربری مورد انتظار که از رابطهٔ بالا به‌دست می‌آید، داشته باشد.

۴-۲-۴- ارزیابی نتایج آزمایش‌ها براساس معیار پذیرش

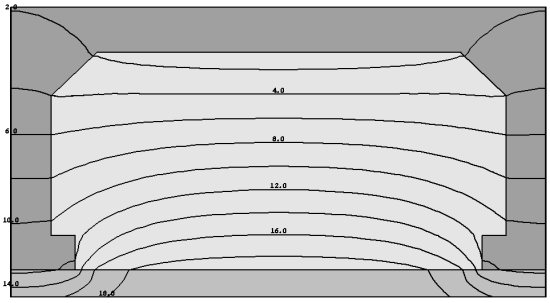
نتایج نشان داده‌شده در شکل‌های ۲ و ۳ براساس طول بلوک‌ها معادل ۱۰۰ سانتی‌متر درج شده است. بنابراین براساس معیارهای مذکور در بند گذشته، ظرفیت باربری آن‌ها برابر با ٦٦٧ کیلوگرم خواهد بود. خط‌چین نشان داده شده در منحنی‌های شکل ۳ معیار پذیرش است و نقاط بالای خط‌چین نتایج مطلوب آزمایش را نشان می‌دهند. این شکل‌ها نشان می‌دهند که تقریباً تمام بلوک‌های با ابعاد مقطع ۲۵×۵۰ سانتی‌متر با چگالی بیش از $12\ kg/m^3$ و بلوک‌های با ابعاد مقطع ۲۰×۵۰ سانتی‌متر با چگالی بیش از $14kg/m^3$ تاب باربری قابل قبول داشته‌اند. کاهش ارتفاع بلوک، از لنگر ماند مقطع می‌کاهد و باعث کاهش مقاومت آن تحت بارهای ضمن اجرا می‌شود. بنابراین در تولید بلوک‌هایی با ارتفاع کم‌تر از ۲۵ cm و یا با عرض بیش از ۵۰ cm باید، برای تأمین مقاومت مورد نیاز، تدابیری مانند افزایش چگالی بلوک به‌کار برده شود. باید توجه داشت که عوامل دیگری نیز وجود دارند که گاهی اوقات باعث نقض این موضوع و سبب پراکندگی نتایج می‌شوند که از جمله پارامترهای تولید بلوک مانند نوع مادهٔ اولیه، دمای پخت، میزان رطوبت پخت و نحوهٔ نگهداری نمونه در ساعت‌های اولیه پس از پخت از لحاظ دما و رطوبت را باید نام برد.

۴-۳- مقاومت حرارتی سقف تیرچه و بلوک با بلوک پلی‌استایرن منبسط‌شده و پارامترهای مؤثر

در سقف‌های تیرچه و بلوک پلی‌استایرن، وجود تیرچه‌های بتنی باعث می‌شود تا پل‌های حرارتی قابل توجهی در بین بلوک‌ها ایجاد شود. مطالعات متعدد درخصوص جدارهای

پوسته خارجی چندجزئی با مشخصات حرارتی متفاوت، اهمیت اثر پل‌های حرارتی را روشن می‌سازند [١٤؛ ١٥]. با توجه به اثر تعیین‌کننده پل‌های حرارتی، در بسیاری از مقررات ملی، نظیر مقررات کشور فرانسه، مراجعی برای تعیین یا روش‌هایی برای محاسبه اثر پل‌های حرارتی درنظر گرفته شده است [١٦]. در ویرایش جدید مبحث ١٩ مقررات ملی ساختمان نیز به این موضوع توجه شده است.

در عمل طول بلوک‌های پلی‌استایرن قابل توجه و فاصله بین دو بلوک متوالی قابل چشم‌پوشی است؛ بنابراین شبیه‌سازی عملکرد حرارتی سقف تیرچه و بلوک را می‌توان به‌صورت دوبعدی انجام داد. از طرف دیگر، با توجه به این که صفحات قائمی که از میان تیرچه‌ها عبور می‌کنند در حقیقت صفحات تقارن تلقی می‌شوند، شبیه‌سازی را می‌توان به این صفحات محدود کرد و انتقال حرارت عمود بر صفحات را برابر صفر درنظر گرفت (شرایط مرزی آدیاباتیک). با بررسی خطوط هم‌دمایی به‌دست آمده از محاسبات عددی برای انواع مختلف تیرچه و بلوک پلی‌استایرن، اثر پل‌های حرارتی ناشی از تیرچه‌ها به وضوح مشخص می‌شود (شکل ٤).



شکل (٤) نمونه خطوط همدمایی در یک سقف تیرچه و بلوک

با توجه به تفاوت زیاد بین ضرایب هدایت حرارت پلی‌استایرن منبسط‌شده و بتن (حدود ١ به ٥٠)، اثر این پل‌های حرارتی چشمگیر است و باعث می‌شود مقاومت حرارتی سقف در حدود یک پنجم حالتی باشد که عایق به‌صورت یک‌سره اجراشده است. با توجه به تنوعی که در بلوک‌های پلی‌استایرن متداول در کشور وجود دارد، لازم است که تأثیر پارامترهای مختلف مشخص شود. به این ترتیب، امکان بهینه‌سازی بلوک‌ها و انطباق آن با انتظارات مختلف مطرح فراهم می‌شود. ارزیابی‌ها و مقایسه‌های انجام‌شده در این تحقیق، با مبنا قراردادن بلوکی با مشخصات مندرج در جدول (٦)، صورت گرفته است. هم‌چنین، برای این تحلیل به ضرایب هدایت حرارتی بلوک و سایر مصالح به‌کار رفته نیاز است. بنابراین ضریب هدایت حرارتی برای چند نمونه پلی‌استایرن برحسب چگالی اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول (٧) ارائه شده است. برای انجام محاسبات، ضریب هدایت حرارت برای بلوک (با توجه به نتایج آزمایش) برابر ٠/٠٤ W/m.K و برای بتن با استفاده از داده‌های ارائه‌شده در مبحث ١٩ معادل ١/٧٥ W/m.K درنظر گرفته شد.

جدول (٦) اندازه‌های بلوک سقفی و تیرچه بررسی‌شده برای مقاومت حرارتی

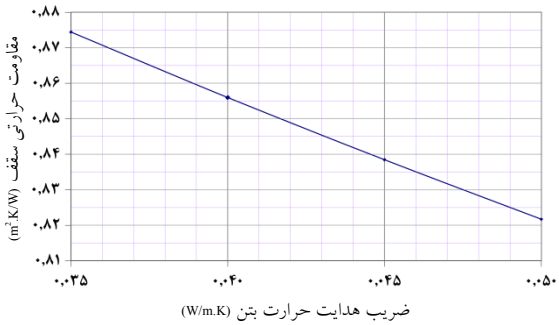
مشخصه	مقدار(میلی‌متر)
عرض بلوک	٥٠٠
ارتفاع بلوک	٢٠٠
عرض و ارتفاع پخی بلوک	٥٠٠
عرض نشیمنگاه بلوک	٣٠
ارتفاع نشیمنگاه بلوک	٥٠
ضخامت بتن روی بلوک	٥٠
عرض تیرچه بتنی	١٠٠

جدول (٧) ضریب هدایت حرارتی برای چند نمونه پلی‌استایرن منبسط‌شده برحسب چگالی

ردیف	چگالی (kg/m^3)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)
١	٩/٧	٠/٠٤٢٨
٢	١٣/٧	٠/٠٣٦٩
٣	٢٠/١	٠/٠٣٥٨
٤	٢٥/١	٠/٠٣٥١
٥	٣٠/٣	٠/٠٣٣٣

۴-۳-۱- تأثیر ضریب هدایت حرارتی بلوک

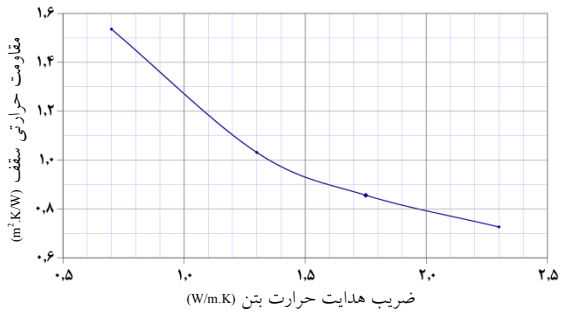
ضریب هدایت حرارتی بلوک پلی‌استایرن منبسط تأثیر قابل توجهی بر مقاومت حرارتی سقف دارد (شکل (۵). اما این اثر با توجه به پل حرارتی ناشی از بتن تیرچه کاهش پیدا می‌کند. در این شرایط، با افزایش ضریب هدایت حرارت بتن (در صورت کاربرد بتن‌های سنگین یا درنظر گرفتن درصد میلگرد زیاد) اثر تغییر مقاومت حرارتی از حالت مبنا نیز کمتر خواهد بود. با توجه به محاسبات انجام‌شده برای مقادیر مختلف ضریب هدایت حرارت عایق حرارتی از ۰٫۰۳۵ W/m.K تا ۰٫۰۵۰ W/m.K، کاهش ۱۲٫۵ درصدی ضریب هدایت حرارت عایق باعث ۲/۲ درصد افزایش مقاومت و افزایش ۲۵ درصدی ضریب هدایت عایق باعث ٤/۰ درصد کاهش مقاومت حرارتی سقف می‌شود.



شکل (۵) مقاومت حرارتی سقف برحسب ضریب هدایت حرارتی پلی‌استایرن منبسط‌شده

۴-۳-۲- تأثیر ضریب هدایت حرارتی بتن

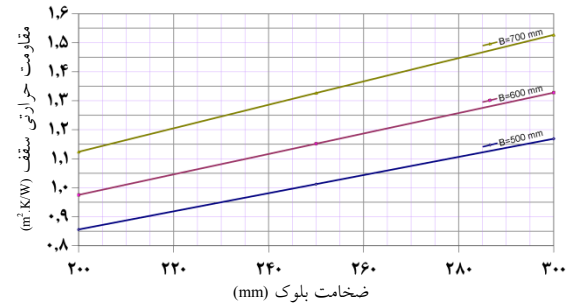
برای تعیین اثر تغییرات ضریب هدایت حرارت بتن استفاده شده در ساخت سقف تیرچه و بلوک، مقادیر ضریب هدایت بین ۰٫۵۰ W/m.K تا ۲٫۳ W/m.K بررسی شد. با توجه به محاسبات انجام‌شده، کاهش ٦۰ درصدی ضریب هدایت بتن باعث افزایش ۷۹/٤ درصدی مقاومت حرارتی می‌شود. در ضمن، افزایش ۳۱ درصدی ضریب هدایت بتن باعث می‌شود تا مقاومت حرارتی سقف به میزان ۱۵/۲ درصد کاهش پیدا کند (شکل ٦). در نتیجه می‌توان گفت که استفاده از بتن‌های سبک‌تر با هدایت حرارت کم‌تر تأثیر بیش‌تری بر روی مقاومت حرارتی سقف خواهد داشت.



شکل (٦) مقاومت‌حرارتی‌سقف برحسب ضریب هدایت حرارتی بتن

۴-۳-۳- تأثیر ضخامت و عرض بلوک پلی‌استایرن منبسط

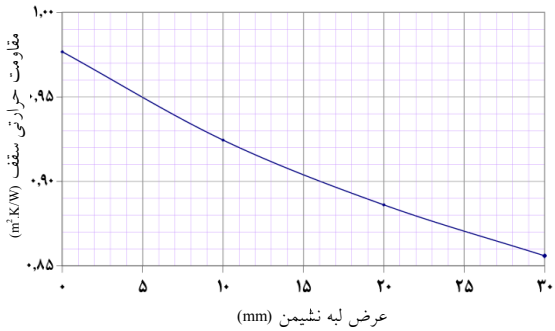
برای بررسی اثر تغییرات ضخامت و عرض بلوک در مقاومت حرارتی سقف، ضخامت بلوک‌ها بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر و عرض آن‌ها بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر درنظر گرفته شد. تغییر مقاومت حرارتی سقف برحسب ضخامت بلوک پلی‌استایرن روندی تقریباً خطی دارد (شکل ۷). با توجه به نتایج به‌دست آمده، افزایش ۵ درصد ضخامت بلوک باعث می‌شود که مقاومت حرارتی به میزان ۳٦ درصد بیشتر شود. تأثیر عرض بلوک بر مقاومت حرارتی سقف، با افزایش عرض آن، روندی صعودی دارد، زیرا با افزایش عرض اثر پل حرارتی ناشی از تیرچه بتنی کاهش پیدا می‌کند. به‌این ترتیب، کاربرد بلوک‌های با عرض بیش‌تر از نظر حرارتی دارای توجیه است.



شکل (۷) مقاومت حرارتی سقف برحسب ضخامت و عرض بلوک (B)

۴-۳-۴- تأثیر ابعاد لبه نشیمن بلوک

وجود لبه نشیمن و درنظر گرفتن ابعاد حداقلی برای آن، برای تثبیت بلوک در محل پیش‌بینی شده در زمان بتن‌ریزی امری ضروری است. با این وجود در این تحقیق، برای ارزیابی اثر تغییرات احتمالی در ابعاد آن، محاسبات لازم انجام گرفت. مقادیر عرض و ارتفاع لبه نشیمن به‌ترتیب از صفر تا ۳۰ و از صفر تا ۵۰ میلی‌متر متغیر درنظر گرفته شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، کاهش عرض لبه نشیمن به میزان ۱۰ میلی‌متر نسبت به مقدار متعارف، باعث می‌شود مقاومت حرارتی حدود ۳ تا ٤ درصد افزایش پیدا کند (شکل ۸). اثر کاهش ارتفاع لبه نشیمن نسبت به مقدار متعارف نیز اجرای سقف را با مشکلاتی روبه‌رو می‌سازد و اثربخشی آن بر مقاومت حرارتی سقف نیز بسیار ناچیز است.

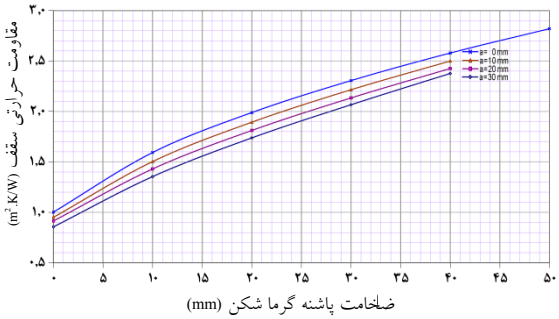


شکل (۸) رابطه مقاومت حرارتی سقف با عرض لبه نشیمن بلوک

۴-۳-۵- تأثیر ضخامت پاشنه گرماشکن بلوک پلی‌استایرن

محاسبات نشان داد که حذف پل حرارتی در بخش تحتانی تیرچه، به‌وسیله یک پاشنه گرماشکن، اثر قابل توجهی دارد و باعث می‌شود پل حرارتی ناشی از تیرچه به میزان چشمگیری کاهش پیدا کند (شکل ۹). برای محاسبات ضخامت عایق حرارتی پاشنه زیر تیرچه بین صفر و ۵۰ میلی‌متر درنظر گرفته شد. نتایج به‌دست‌آمده (شکل ۱۰) نشان داد که افزایش مقاومت حرارتی سقف، برای هر سانتی‌متر افزایش ضخامت پاشنه، بین ۵۸ تا ۱۷۸ درصد و به طور متوسط ۱۱۵ درصد است که به‌مراتب مؤثرتر از اقداماتی است که در بخش‌های قبلی مطرح شد. شایان ذکر است که در اینجا بحث انجام‌شده روی پاشنه حرارتی با فرض سیستم تیرچه و بلوک است و سیستم‌های غیر از تیرچه و بلوک را دربر نمی‌گیرد.

شکل (۹) مقطع شماتیک یک سقف تیرچه- بلوک با بلوک‌های دارای پاشنه گرماشکن

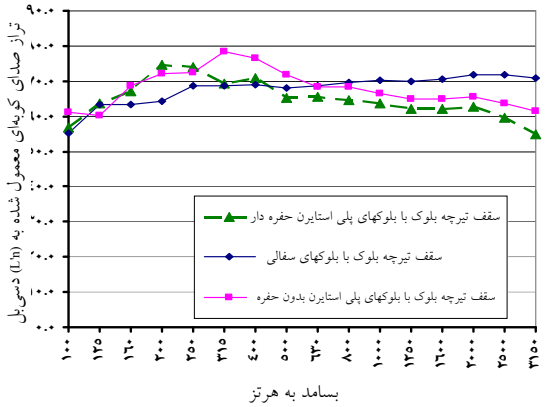


شکل (۱۰) مقاومت حرارتی سقف برحسب ضخامت پاشنه گرماشکن و عرض تکیه‌گاه بلوک

۴-۳-۶- تأثیر حفره‌ها و دندانه‌های تحتانی در بلوک

درنظر گرفتن حفره‌های به نسبت کوچک در بلوک پلی‌استایرن باعث می‌شود مصرف عایق تا حدی کاهش پیدا کند که البته میزان آن بستگی به چگالی بلوک دارد (زیرا اغلب در حالت حفره‌دار نیاز به چگالی بیش‌تر می‌باشد). نتایج محاسبات نشان داد که حذف یک ردیف حفره‌های استوآن‌های‌شکل، به قطر حدود ٦۰ میلی‌متر با فواصل مرکز به مرکز حدود ۹۰ میلی‌متر، باعث می‌شود مقاومت حرارتی سقف اندکی (حدود ۱ تا ۲ درصد بسته به شکل و تعداد حفره) کاهش پیدا کند.

هم‌چنین، درخصوص اثر دندانه‌هایی که در زیر بلوک برای درگیرشدن گچ با بلوک درنظر گرفته می‌شود، ارزیابی‌ها نشان داد که این دندانه‌ها باعث می‌شود مقاومت حرارتی بلوک حدود ۳ تا ٤ درصد کاهش پیدا کند.



شکل (۱۱) تراز صدای کوبه‌ای معمول‌شده برای سقف تیرچه با بلوک‌های پلی‌استایرن حفره‌دار و بدون حفره در مقایسه با سقف تیرچه با بلوک‌های سفالی (ضخامت نهایی سقف‌ها حدود ٤٥ سانتی‌متر)

۴-۴- رفتار آکوستیکی سقف

نتایج صدابندی کوبه‌ای سقف در نمودار (شکل ۱۱) نشان داده‌شده است. از بررسی نتایج به‌دست آمده در مورد سقف با بلوک‌های پلی‌استایرن با حفره (L'nw=٦٩) و سقف با بلوک‌های پلی‌استایرن بدون حفره (L'nw=٧٢) و مقایسه آن با سقف تیرچه با بلوک‌های سفالی (L'nw=٧٧)، می‌توان نتیجه گرفت که سقف تیرچه با بلوک‌های پلی‌استایرن (با هر دو شکل توپر یا حفره‌دار) صدابندی کوبه‌ای تقریباً معادل با سقف‌های تیرچه و بلوک با بلوک‌های سفالی دارد. باید توجه کرد که براساس مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول‌شده وزن‌یافته (L'nw) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در ساختمان‌های مسکونی ۵۰ دسی‌بل است. بنابراین برای برآورده‌شدن الزامات مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان برای سقف‌های تیرچه و بلوک با بلوک پلی‌استایرن منبسط‌شده نیز لازم است تا تمهیدات و جزئیات اضافی مانند اجرای کف شناور، استفاده از کفپوش‌های سخت (پارکت) با زیرلایه الاستیک و یا نصب پوشش کف الیافی (مانند فرش یا موکت) درنظر گرفته شود.

۵- نتیجه‌گیری

مطالعات و آزمایش‌های وسیعی درباره خواص فنی پلی‌استایرن منبسط و کاربردهای آن در ساختمان انجام شد. تعداد زیادی آزمون مختلف شامل آزمایش‌های آتش، فیزیکی، مکانیکی و حرارتی روی نمونه‌های مختلف پلی‌استایرن منبسط‌شده انجام شد. نتایج مهم به شرح زیر است:

۱- استفاده از نوع معمولی پلی‌استایرن منبسط‌شده در ساختمان از نظر ایمنی در برابر آتش، خطرناک و غیر قابل قبول است. برای استفاده از نوع کندسوزشده نیز نیاز به کاربرد پوشش محافظت‌کننده می‌باشد. پلی‌استایرن در معرض گرما به سرعت عقب‌نشینی می‌کند، بنابراین پوشش محافظت‌کننده باید اتصال مکانیکی به سازه (مانند اتصال رابیتس به تیرچه‌ها) داشته باشد. برای جلوگیری از گسترش آتش‌سوزی بین واحدهای مستقل، باید از امتداد بلوک‌های پلی‌استایرن در بین این واحدها جلوگیری شود.

۲- معیار پذیرش برای ظرفیت باربری بلوک‌های پلی‌استایرن منبسط‌شده تعیین و ارائه شد. در صورت رعایت نکات فنی مناسب در فرایند تولید، چگالی حداقل ۱۲ kg/m^3 برای بلوک‌های با ابعاد مقطع ۲۵×۵۰ سانتی‌متر و حداقل ١٤ kg/m^3 برای بلوک‌های با ابعاد مقطع ۲۰×۵۰ سانتی‌متر می‌تواند معیار پذیرش را برآورده سازد. عرض لبه نشیمن بلوک‌ها در محل قاعده ۲۷±۲ mm مناسب تشخیص داده شد.

۳- اثر پارامترهای مختلف روی مقاومت حرارتی سقف

بررسی شد. افزایش ضخامت و عرض بلوک تأثیر محسوسی بر روی مقاومت حرارتی سقف دارد و چنان‌چه افزایش ضخامت سقف بلامانع باشد می‌توان، به جای بلوک‌های با ضخامت و عرض استاندارد، از بلوک‌های عریض‌تر و با ضخامت بیش‌تر استفاده کرد. عرض و ارتفاع لبه نشیمن تأثیر اندکی بر مقاومت حرارتی سقف دارد. اضافه‌کردن یک پاشنه پلی‌استایرن به قسمت تحتانی بلوک در زیر تیرچه بتنی اثر مثبت از این نظر دارد.

٤- آزمایش‌های صدابندی کوبه‌ای سقف با بلوک‌های پلی‌استایرن نشان داد که خواص آکوستیکی این جزئیات از سقف‌های مشابه با بلوک سفالی کمی بهتر است. با این وجود هم‌چنان، برای برآورده‌شدن الزامات مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان و برای سقف‌های تیرچه و بلوک با بلوک پلی‌استایرن منبسط‌شده نیز لازم است تا تمهیدات و جزئیات اضافی، مانند اجرای کف شناور یا نصب پوشش کف با یک زیر لایه الاستیک درنظر گرفته شود.

۶- علائم و اختصارات

چگالی آزمونه	ρ (kg/m^3)
ضخامت آزمونه	t (mm)
زمان افروزش	TTI (s)
زمان خاموشی شعله	FO (s)
کل رهایش گرما	THR (MJ/m^2)
حداکثر شدت رهایش گرما	PRHR (kW/m^2)
زمان رسیدن به حداکثر شدت رهایش گرما	T PRHR (s)
میانگین گرمای مؤثر سوختن	Av. EHC (MJ/kg)
کل تولید دود	TSR (m^2/m^2)
میانگین سطح تیرگی ویژه	Av. SEA (m^2/kg)

۷- مراجع

[1] Hurt, M.K.; "Formwork for concrete"; *Special publication*, No. 4, 7th ed., American Cconcrete Institute, ACI 347-04, 2005.

[۲] استاندارد ملی ایران شماره ۲۹۰۹. "ویژگی‌ها و روش‌های آزمون تیرچه و بلوک سقفی"، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۵.

[3] Thureson, P.; The report of Project 4 of the EUREFIC fire research programme; Swedish National Testing and Research Institute, Boras, 1991.

[4] Wickström, U., Göransson, U.; "Full-scale/Bench-scale correlations of wall and ceiling linings"; *Journal of Fire and materials*; 16, 1992, pp. 15-22.

[5] Scudamore, M. J., Briggs, P. J. and Prager, F. H.; "Cone calorimetry – A review of tests carried out on plastics for the Association of Plastics Manufacturers in Europe"; *Journal of Fire and Materials*, 15, 1991, pp. 65-84.

[6] Collier, P. C. R., Baker, G. B.; improving the fire performance of Polystyrene insulated panels in New Zealand, Research Report, Building Research Association of New Zealand, 2004.

[7] EPSASA; Selection guide introducing Expanded Polystyrene; EPS Association of South Africa, Midrand, 2002.

[8] EUMEPS, Behaviour of EPS in case of fire, European Manufacturers of EPS, Brussels, 2002.

[9] BS 6203; Guide to fire characteristics and fire performance of expanded polystyrene materials (EPS and XPS) used in building application; British Standard Institute, UK, 2003.

[10] Therm, ver.5.2, Enery Efficiency and Renewable Energy Program, US Department of Energy.

[۱۱] بختیاری سعید ، تقی‌اکبری لیلا ؛ "بررسی تجربی رفتار پلی‌استایرن انبساط‌یافته در برابر آتش"، *مجله علمی-پژوهشی علوم و تکنولوژی پلیمر*، سال بیستم،

شماره ۳، شهریور ۱۳۸٦.

[12] Richardson, L. R.; Brooks, M. E.; Combustibility of Building Materials; *Fire and Materials*, Vol. 15, 1991.

[۱۳] بختیاری سعید ، جعفرپور فاطمه ، فیروزیار فهیمه، هدایتی محمدجعفر ، محمد کاری بهروز؛ "بهبود مقاومت در برابر آتش و خواص فیزیکی – مکانیکی اندود و تخته‌های گچ و گچ/پرلیت به وسیله الیاف شیشه و امولسیون پلی‌وینیل‌استات"، *مجله علمی- پژوهشی امیرکبیر*، سال هجدهم، شماره ج-٦٦، تابستان ۱۳۸٦.

[14] Kosny, J., Kosseda, E.; "Multi-dimentional heat transfer through complex building envelope assemblies in hourly energy simulation programs". *Energy and Buildings*, 34, 2002, pp. 445-454.

[15] Hagentoft, C.E.; "Steady-state heat loss for an edge-insulated slab: Part I". *Building and Environment* 37, 2002, pp. 19–25.

[16] Règles Th-U, fascicule 5, ponts thermiques, Réglementation Thermique, 2000.

«Research Note»

Investigation on Physical, Mechanical and Reaction-to-Fire Properties of EPS Blocks in Block and Joist Floor System

S. Bakhtiyari[1*], K. Khalili Jahromi[2], B.M. Kari[3], M.J. Hedayati[4]

1- Fire & Building Dept., Building & Housing Research Center, Tehran, Iran
2- Structural Eng. Dept., Building & Housing Research Center, Tehran, Iran
3- Energy & Environmantal Design Dept., Building & Housing Research Center, Tehran, Iran
4- Acoustic Dept., Building & Housing Research Center, Tehran, Iran

bakhtiyari@bhrc.ac.ir

Abstract:

One of the important applications of Expanded Polystyrene (EPS) in Iran is its use as infill block in Block and Joist Reinforced Concrete Floors. The properties and performance of EPS blocks in this floor system, including reaction-to-fire, mechanical properties, thermal resistance and acoustical performance of the system, was studied. Fire behavior of blocks was tested with ISO 5660 cone calorimeter test method. The fire properties of standard and flame retarded types of EPS were measured and discussed, including time to ignition, average and peak values of heat release rate and total heat release. The influence of type of EPS on its fire behavior was investigated. The results showed that the time-to-ignition and total heat release parameters can not be a characteristic value for distinction between standard and fire retarded types of EPS under cone calorimeter test condition. The reason is that both types are flammable and burn completely at fire temperatures. The peak value of heat release rate (PHRR) of EPS is the most important parameter that can be utilized for distinction of Standard and flame retarded types of EPS with cone calorimeter test method. PHRR values higher than 300 kW/m^2 were achieved for standard types, but the results for flame retarded ones were less than 250 (and mostly less than 200) kW/m^2. The fire risks of specimens were also evaluated using Conecalc software and Richardson method. The results showed that even flame retarded EPS needs to be protected with a thermal barrier in building applications. Moreover, it is required that the protective barrier be mechanically fixed to the structural system, since EPS melts and recedes away heat, once it is exposed to high temperatures. Hence, it is not able to keep barrier, say plaster, in its position.

The flexural strength of blocks under static and dynamic loads and its relation with density and dimensions of blocks was evaluated. The results showed that minimum 12 and 14 (kg/m^3) density of foam is required respected for 25 and 20 cm of height of blocks with a width of 50 cm. An optimum 27±2 mm was obtained for the width of sitting section of blocks on joists. The influence of different properties and geometry of EPS block (conductivity, width, height and existence of a thermal covering layer under joists) on thermal resistance of floor system was also studied. The THERM software, Enery Efficiency and Renewable Energy Program, was used for evaluation of thermal resistance of the floor. The increase of height and width of blocks caused improvement in thermal resistance of the floor system, but the best result was obtained when a thermal covering layer was considered under the joists. The acoustical results showed that the replace of EPS blocks with hollow clay blocks does not influence importantly the impact sound insulation of the floor system. Neither of them can fulfill the impact sound acoustical requirements and need to be improved with an extra system, like a floating floor or an appropriate elastic floor covering for this purpose.

Keywords: Expanded polystyrene (EPS), Block and joist floor system, Thermal insulation, Fire safety, Impact sound.