

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

سعید بختیاری^{۱*}، کیان خلیلی جهرمی^۲، بهروز محمدکاری^۳، محمدجعفر هدایتی^۴

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

۴- کارشناس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

bakhtiyari@bhrc.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۱۴

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 50×25 سانتی‌متر و حداقل 14kg/m^3 برای بلوک‌های 50×20 سانتی‌متر می‌تواند معیار پذیرش را برآورده سازد. عرض بهینه لبه‌ی نشیمن بلوک‌ها در محل قاعده 27 ± 2 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 ترم، 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

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

محصولات پلی‌استایرن منبسط‌شده (EPS) در سال‌های اخیر

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 حمل و نقل 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 پلی‌استایرن و سیستم سقف تیرچه و بلوک اجراشده با آن تحقیق و بررسی شد. رفتار پلی‌استایرن معمولی و خودخاموش‌شو در برابر آتش به وسیله 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 شماره 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 Wickström, Thureson, Scudamore و Collier را می‌توان نام برد [۳؛ ۴؛ ۵؛ ۶]. با توجه به رفتار خاص پلی‌استایرن در دماهای بالا، برای ارزیابی و تحلیل دقیق رفتار آن در برابر

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 پایه کلیات مفاد استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۰۹ در مورد بلوک‌های سقفی و استاندارد ملی ایران به شماره ۵۱۹ در مورد 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 دربرگیرنده 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 هیدرولیکی ۳۰ تنی و پمپ دستی وارد شد و میزان بار در هر لحظه به وسیله نیروسنج قرائت و اطلاعات حاصل به کمک دستگاه داده‌پرداز الکترونیکی ثبت شد. علاوه بر نیروهای استاتیکی برگرفته از استاندارد، به دلیل وارد آمدن 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 وارد آمدن بار دینامیکی نیز زمان اجرا بر همین اساس در نظر گرفته شد. حرکت این وسیله در جهت عمود بر راستای تیرچه‌ها باعث بالا و پایین رفتن و ضربه زدن به بلوک‌ها می‌شود. در صورتی که نیروی وارد به چرخ فرغون پر از بتن برابر 150 kg و ارتفاع حرکت قائم آن حدود 10 cm فرض شود، ضربه وارد به

آتش، نیاز است تا اثر سنج‌های مختلف مؤثر بر رفتار آن در این دماها بررسی شود. از جمله این سنج‌ها 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 انجام شده

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 به وسیله 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 کندسوز شده از مواد اولیه خارجی (آلمان و کره جنوبی) (نمونه‌های FR1، FR2 و FR3) تهیه شد. برای سایر آزمون‌ها از نمونه‌های بلوک‌های کندسوز شده استفاده شد. نوع معمولی و کندسوز شده 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^۱

1- Cone Calorimeter

بلوک به صورت زیر به دست می‌آید:

$$150 \times 10 = 1500 \text{ kg.cm}$$

برای آزمایش ضربه، یک وزنه انعطاف‌پذیر $23/5 \text{ kg}$ انتخاب و ارتفاع رهاسازی آن براساس رابطه زیر معادل‌سازی شد:

$$150 \times 10 = 23.5 \times h \rightarrow h = \frac{150 \times 10}{23.5} = 63.8 \approx 65 \text{ cm}$$

بنابراین آزمایش ضربه با رهاسازی وزنه $23/5$ کیلوگرمی از ارتفاع 65 سانتی‌متری روی بلوک انجام شد. - تعیین ضریب هدایت حرارتی بلوک: با دستگاه جریان حرارت سنچ^۱ ساخت کارخانه Netsch آلمان اندازه‌گیری شد. اندازه نمونه $300 \times 300 \times 100$ میلی‌متر و محدوده اندازه‌گیری دستگاه $0/5 - 0/05 \text{ W/m.K}$ 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^۲ انجام گرفت [۱۰]. - آکوستیک: صدابندی سقف تیرچه و بلوک ساخته شده با دو نوع بلوک‌های توپر و حفره‌دار پلی‌استایرن با ضخامت 25 cm در حالت میدانی براساس استاندارد ISO 140-7 در بندهای بسامدی یک‌سوم زمانی از 100 تا 3150 هرتز اندازه‌گیری شد. ضخامت کف بتنی 5 سانتی‌متر و دارای 10 سانتی‌متر پوکه معدنی، 2 سانتی‌متر ملات ماسه سیمان، 2 سانتی‌متر موزاییک و 2 سانتی‌متر اندود گچی زیر سقف با استفاده از رابیتس (ضخامت نهایی برابر با 46 سانتی‌متر) بود. صدابندی سقف در برابر صدای کوبه‌ای^۳ به وسیله یک

عدد که گویای صدابندی سقف است، براساس روش بیان‌شده در استاندارد ملی ایران $2-8834$ درجه‌بندی می‌شود. این عدد به عنوان تراز صدای کوبه‌ای معمول‌شده وزن‌یافته^۴ (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 35 kW/m^2 اندازه‌گیری شد. ضخامت آزمون‌ها ثابت و تقریباً 4 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. اثر ضخامت و چگالی نمونه بر رفتار پلی‌استایرن در برابر آتش به وسیله 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 67 تا 90 ثانیه به دست 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 خودخاموش‌شو 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 کندسوز شده EPS در تراز تابشی $35 \text{ (kW/m}^2\text{)}$

خاصیت	T1	FR1	FR2	FR3
$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	۱۷	۱۷	۲۰	۱۷
t (mm)	۴۶	۴۱	۴۶	۴۸
TTI (s)	۶۷	۹۰	۷۰	۸۳
FO (s)	۴۱۷	۳۴۶	۴۹۰	۴۰۳
Av. RHR $\text{(kW/m}^2\text{)}$	۷۳٫۰	۱۱۹٫۵	۸۲٫۷	۸۶٫۷
PRHR $\text{(kW/m}^2\text{)}$	۳۲۰٫۱	۲۶۴٫۱	۲۱۳٫۴	۲۴۲٫۷
T PRHR (s)	۹۰	۱۱۰	۸۰	۹۰
Av. EHC (MJ/kg)	۳۱٫۵	۳۹٫۶	۳۴٫۱	۳۴٫۶
THR $\text{(MJ/m}^2\text{)}$	۲۵٫۵	۲۸٫۹	۳۴٫۰	۲۷٫۱
Av. SEA $\text{(m}^2\text{/kg)}$	۶۹۰٫۵	۶۰۹٫۷	۶۸۱٫۱	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 35 kW/m^2 ، بیش از 300 kW/m^2 و برای انواع کندسوز شده حداکثر 250 و بیش‌تر آن کم‌تر از 200 kW/m^2 بود. علت این موضوع وجود افزودنی کندسوزکننده است که با اختلال در واکنش‌های احتراق باعث کندشدن واکنش‌ها شده، 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 غیرقابل قبول در برابر آتش است. ریچاردسون براساس نتایج گرماسنج مخروطی، تحت تابش 50 kW/m^2 به مدت ۱۵ دقیقه، طبقه‌بندی زیر را ارائه کرد [۱۲]:

طبقه ۱: موادی که در کل به مقدار 5 MJ/m^2 یا کم‌تر حرارت آزاد کنند و PRHR آن‌ها 10 kW/m^2 باشد، طبقه ۲: موادی که THR آن‌ها کم‌تر از $25 \text{ (MJ/m}^2\text{)}$ و PRHR آن‌ها 100 kW/m^2 باشد، طبقه ۳: کل حرارت آزاد شده 50 MJ/m^2 یا کم‌تر و PRHR کم‌تر از 150 kW/m^2 باشد، طبقه ۴: کل حرارت آزاد شده حداکثر 100 MJ/m^2 و حداکثر شدت آن 300 kW/m^2 باشد؛ طبقه ۵- حداکثر حرارت آزاد شده بیش از 100 MJ/m^2 و PRHR بیش از 300 kW/m^2 است.

مواد طبقات ۴ 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 $12/5$ 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 ۴ و D برای چگالی 26 kg/m^3 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 غیرقابل قبول است. براساس نتایج آزمون، نوع کندسوز شده جزو طبقات ۴ 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].

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

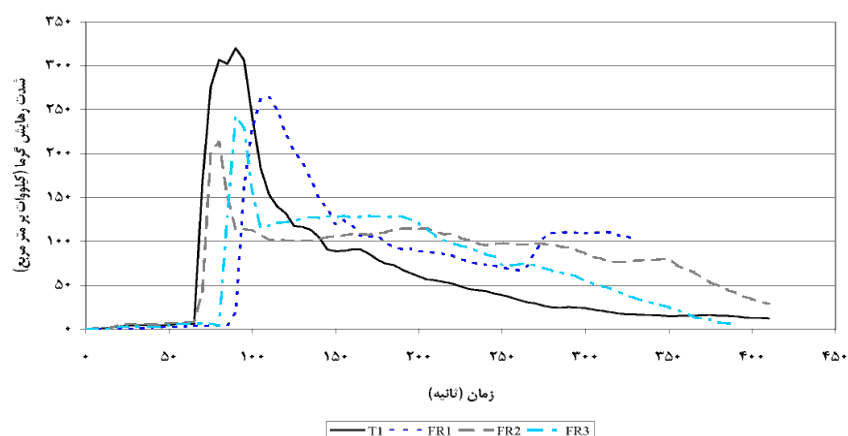
۲-۴- مقاومت مکانیکی و نحوه شکست بلوک‌های

سقفی و تعیین معیارها و محدودیت‌ها

۴-۲-۱- آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی

آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی روی ۶۰ نمونه بلوک با ابعاد ۵۰×۲۵ سانتی‌متر و ۵۰ نمونه بلوک با ابعاد ۵۰×۲۰ سانتی‌متر انجام و ظرفیت باربری بلوک‌ها براساس چگالی میانگین آن‌ها بررسی شد. نتایج در جدول‌های ۳ و ۴ 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 لبه نشیمن بلوک اتفاق افتاده است. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که عرض لبه نشیمن بلوک کم‌تر از حد کافی باشد. با اندازه‌گیری مشخص شد که آزمون‌های با عرض لبه نشیمن کم‌تر از میلی‌متر ۲۵ عملکرد مطلوبی در آزمایش بارگذاری بلوک نداشته است، و باعث شکست آن‌ها از لبه نشیمن می‌شود. اگر نتایج نمونه‌هایی که شکست آن‌ها از لبه نشیمن رخ داده است از منحنی‌ها حذف شود، شکل ۳ به دست می‌آید. با برآزش 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 ۳۵ (kW/m²)

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

کد نمونه	چگالی (kg/m³)	زمان افروزش (sec)	حداکثر شدت رهایش گرما (kW/m²)	کل رهایش گرما (MJ/m²)	طبقه براساس روش ریچاردسون	طبقه‌بندی با Conetools
FR4	۱۳/۶	۳۵	۲۴۴/۶	۱۷/۹	۴	D
FR5	۲۶/۰۴	۲۷	۳۲۱/۵	۱۹/۷	۵	E
T2	۲۳/۹	۴	۴۰۲/۵	۳۰/۵	۵	F یا E

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

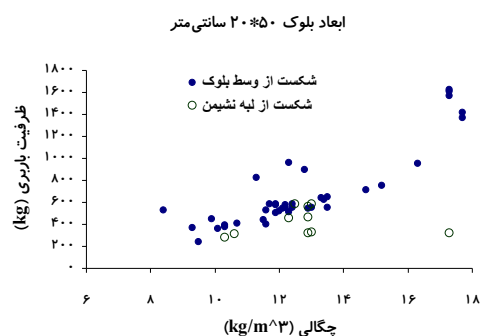
شماره نمونه	چگالی (kg/m ³)	نیروی شکست (kg)	شماره نمونه	چگالی (kg/m ³)	نیروی شکست (kg)	شماره نمونه	چگالی (kg/m ³)	نیروی شکست (kg)
۱	۱۲٫۷	۷۳۵	۲۱	۱۰٫۴	۸۷۸	۳۱	۱۰٫۴	۸۷۸
۲	۱۳٫۷	۹۶۶	۲۲	۱۰٫۸	۵۱۲	۳۲	۱۰٫۸	۵۱۲
۳	۱۳٫۸	۱۰۵۳	۲۳	۱۰٫۸	۵۱۱	۳۳	۱۰٫۸	۵۱۱
۴	۱۴٫۱	۶۱۳	۲۴	۱۱٫۳	۵۴۴	۳۴	۱۱٫۳	۵۴۴
۵	۱۴٫۱	۹۵۰	۲۵	۱۱٫۶	۱۰۳۲	۳۵	۱۱٫۶	۱۰۳۲
۶	۱۴٫۲	۹۵۰	۲۶	۱۱٫۶	۱۰۱۲	۳۶	۱۱٫۶	۱۰۱۲
۷	۱۴٫۴	۹۹۰	۲۷	۱۱٫۷	۱۰۲۰	۳۷	۱۱٫۷	۱۰۲۰
۸	۱۴٫۵	۸۷۷	۲۸	۱۲٫۸	۷۹۷	۳۸	۱۲٫۸	۷۹۷
۹	۱۴٫۵	۹۴۷	۲۹	۱۲٫۸	۱۰۱۰	۳۹	۱۲٫۸	۱۰۱۰
۱۰	۱۴٫۷	۶۰۳	۳۰	۱۲٫۸	۱۰۲۴	۴۰	۱۱٫۴	۶۴۴
۱۱	۱۴٫۷	۷۹۳	۳۱	۱۲٫۸	۱۰۵۰			
۱۲	۱۴٫۸	۷۷۲	۳۲	۱۳٫۹	۸۰۷			
۱۳	۱۵٫۰	۹۵۴	۳۳	۱۴٫۵	۵۰۴			
۱۴	۱۵٫۲	۹۴۹	۳۴	۱۴٫۷	۹۱۹			
۱۵	۱۵٫۲	۷۶۰	۳۵	۱۴٫۸	۸۷۱			
۱۶	۹٫۱	۴۵۶	۳۶	۱۶٫۳	۹۵۲			
۱۷	۹٫۴	۳۸۸	۳۷	۱۶٫۵	۶۰۰			
۱۸	۹٫۵	۳۱۰	۳۸	۱۶٫۶	۹۰۷			
۱۹	۹٫۸	۴۳۹	۳۹	۱۰٫۸	۴۰۶			
۲۰	۱۰٫۱	۴۳۹	۴۰					
۴۱	۱۲٫۰	۷۰۰	۴۱	۱۲٫۰	۷۰۰			
۴۲	۱۲٫۲	۶۶۷	۴۲	۱۲٫۲	۶۶۷			
۴۳	۱۲٫۳	۷۰۰	۴۳	۱۲٫۳	۷۰۰			
۴۴	۱۲٫۸	۸۴۷	۴۴	۱۲٫۸	۸۴۷			
۴۵	۱۳٫۰	۶۸۷	۴۵	۱۳٫۰	۶۸۷			
۴۶	۱۳٫۱	۸۵۲	۴۶	۱۳٫۱	۸۵۲			
۴۷	۱۳٫۳	۹۰۷	۴۷	۱۳٫۳	۹۰۷			
۴۸	۱۳٫۳	۸۴۷	۴۸	۱۳٫۳	۸۴۷			
۴۹	۱۳٫۶	۷۳۶	۴۹	۱۳٫۶	۷۳۶			
۵۰	۱۳٫۸	۴۱۹	۵۰	۱۳٫۸	۴۱۹			
۵۱	۱۳٫۸	۸۴۲	۵۱	۱۳٫۸	۸۴۲			
۵۲	۱۴٫۱	۴۳۰	۵۲	۱۴٫۱	۴۳۰			
۵۳	۱۴٫۲	۸۸۳	۵۳	۱۴٫۲	۸۸۳			
۵۴	۱۴٫۲	۷۵۷	۵۴	۱۴٫۲	۷۵۷			
۵۵	۱۴٫۳	۸۹۱	۵۵	۱۴٫۳	۸۹۱			
۵۶	۱۴٫۳	۸۶۷	۵۶	۱۴٫۳	۸۶۷			
۵۷	۱۴٫۴	۴۳۰	۵۷	۱۴٫۴	۴۳۰			
۵۸	۱۴٫۹	۸۰۶	۵۸	۱۴٫۹	۸۰۶			
۵۹	۱۵٫۳	۸۴۶	۵۹	۱۵٫۳	۸۴۶			
۶۰	۱۶٫۰	۸۵۸	۶۰	۱۶٫۰	۸۵۸			

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

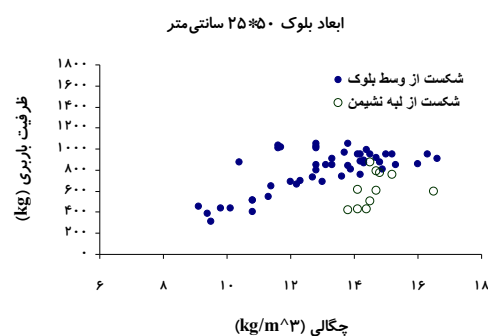
جدول (۴) نتایج آزمایش‌های بارگذاری بلوک با ابعاد مقطع ۵۰×۲۰ سانتی‌متر و به طول یک متر

شماره نمونه	چگالی (kg/m ³)	نیروی شکست (kg)	شماره نمونه	چگالی (kg/m ³)	نیروی شکست (kg)	شماره نمونه	چگالی (kg/m ³)	نیروی شکست (kg)
۱	۹٫۹	۴۴۷	۱۸	۹٫۳	۳۷۱	۳۵	۱۷٫۷	۱۳۷۰
۲	۱۱٫۶	۵۲۸	۱۹	۹٫۵	۲۴۲	۳۶	۱۷٫۷	۱۴۲۰
۳	۱۱٫۷	۵۸۶	۲۰	۱۰٫۱	۳۶۳	۳۷	۱۱٫۵	۴۴۴
۴	۱۱٫۹	۵۰۶	۲۱	۱۰٫۳	۲۸۴	۳۸	۱۱٫۶	۳۹۸
۵	۱۱٫۹	۵۸۱	۲۲	۱۰٫۳	۳۹۱	۳۹	۱۱٫۹	۵۷۳
۶	۱۲٫۰	۵۱۹	۲۳	۱۰٫۳	۳۸۰	۴۰	۱۲٫۳	۵۱۴
۷	۱۲٫۱	۵۴۴	۲۴	۱۰٫۶	۳۱۰	۴۱	۱۲٫۴	۵۸۲
۸	۱۲٫۲	۵۵۳	۲۵	۱۰٫۷	۴۰۸	۴۲	۱۲٫۹	۵۴۶
۹	۱۲٫۲	۵۷۴	۲۶	۱۱٫۳	۸۲۵	۴۳	۱۳٫۳	۶۴۴
۱۰	۱۲٫۳	۴۵۶	۲۷	۱۲٫۳	۹۶۰	۴۴	۱۳٫۵	۶۴۶
۱۱	۱۲٫۴	۵۵۰	۲۸	۱۲٫۵	۵۸۱	۴۵	۱۳٫۸	۳۲۲
۱۲	۱۲٫۹	۴۶۷	۲۹	۱۲٫۸	۹۰۰	۴۶	۱۳٫۹	۳۱۷
۱۳	۱۳٫۰	۵۵۱	۳۰	۱۲٫۹	۵۶۳	۴۷	۱۴٫۵	۳۲۵
۱۴	۱۳٫۴	۶۲۳	۳۱	۱۳٫۰	۵۸۲	۴۸	۱۴٫۷	۵۷۸
۱۵	۱۳٫۵	۵۵۰	۳۲	۱۷٫۳	۱۶۲۵	۴۹	۱۵٫۲	۵۶۵
۱۶	۸٫۴	۵۲۶	۳۳	۱۷٫۳	۱۵۷۰	۵۰	۱۶٫۳	۶۳۸
۱۷	۹٫۲	۴۶۰	۳۴	۱۷٫۳	۱۶۱۰			

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

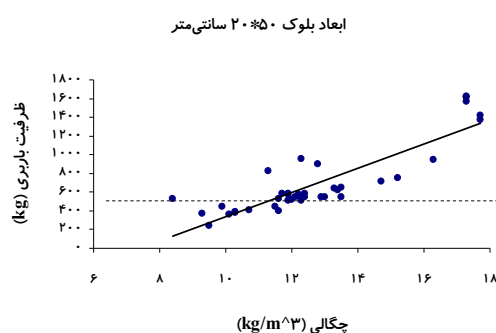


(ب)

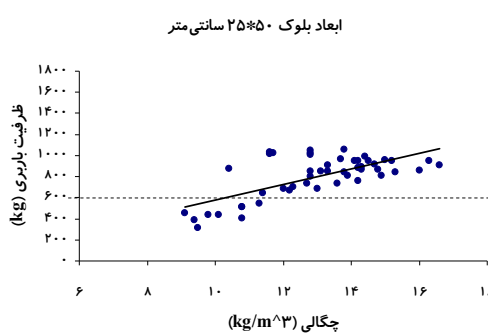


(الف)

شکل ۲ ظرفیت باربری براساس چگالی، الف: بلوک‌های به ابعاد ۵۰×۲۵ cm، ب: بلوک‌های به ابعاد ۵۰×۲۰ cm



(ب)



(الف)

شکل (۳) برازش نتایج با حذف نمونه‌های شکسته‌شده از لبه نشیمن، الف: بلوک‌های ۵۰×۲۵ cm، ب: بلوک‌های ۵۰×۲۰ cm

جدول (۵) نتایج آزمایش‌های بارگذاری بلوک با ابعاد مقطع ۵۰×۲۰

سانتی‌متر و به طول یک متر

شماره نمونه	طول (cm)	عرض (cm)	ارتفاع (cm)	تعداد ضربه تا شکست
۱	۲۵٫۰	۴۹٫۷	۲۴٫۷	۲
۲	۲۵٫۲	۵۰٫۳	۲۵٫۰	۲
۳	۲۵٫۰	۴۹٫۶	۲۴٫۷	۲
۴	۲۵٫۰	۴۹٫۷	۲۴٫۷	۱
۵	۲۵٫۱	۴۹٫۳	۲۵٫۲	۱
۶	۲۵٫۱	۴۹٫۳	۲۵٫۰	۱
۷	۲۵٫۲	۴۹٫۴	۱۹٫۸	۱
۸	۲۵٫۳	۴۹٫۵	۱۹٫۹	۱
۹	۲۵٫۲	۴۹٫۴	۱۹٫۷	۱

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.

۴-۲-۳- معیار پذیرش ظرفیت باربری بلوک‌های پلی‌استایرن سقفی

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

به دست می آید، داشته باشد.

۴-۲-۴- ارزیابی نتایج آزمایش ها براساس معیار

پذیرش

نتایج نشان داده شده در شکل های ۲ و ۳ براساس طول بلوک ها معادل ۱۰۰ سانتی متر درج شده است. بنابراین براساس معیارهای مذکور در بند گذشته، ظرفیت باربری آن ها برابر با ۶۶۷ کیلوگرم خواهد بود. خط چین نشان داده شده در منحنی های شکل ۳ معیار پذیرش است و نقاط بالای خط چین نتایج مطلوب آزمایش را نشان می دهند. این شکل ها نشان می دهند که تقریباً تمام بلوک های با ابعاد مقطع ۵۰×۲۵ سانتی متر با چگالی بیش از ۱۲ kg/m³ و بلوک های با ابعاد مقطع ۵۰×۲۰ سانتی متر با چگالی بیش از ۱۴ kg/m³ تاب باربری قابل قبول داشته اند. کاهش ارتفاع بلوک، از لنگر ماند مقطع می کاهد و باعث کاهش مقاومت آن تحت بارهای ضمن اجرا می شود. بنابراین در تولید بلوک هایی با ارتفاع کم تر از ۲۵ cm و یا با عرض بیش از ۵۰ cm، باید، برای تأمین مقاومت مورد نیاز، تدابیری مانند افزایش چگالی بلوک به کار برده شود. باید توجه داشت که عوامل دیگری نیز وجود دارند که گاهی اوقات باعث نقص این موضوع و سبب پراکندگی نتایج می شوند که از جمله پارامترهای تولید بلوک مانند نوع ماده اولیه، دمای پخت، میزان رطوبت پخت و نحوه نگهداری نمونه در ساعت های اولیه پس از پخت از لحاظ دما و رطوبت را باید نام برد.

۴-۳- مقاومت حرارتی سقف تیرچه و بلوک با

بلوک پلی استایرن منبسط شده و پارامترهای مؤثر

در سقف های تیرچه و بلوک پلی استایرن، وجود تیرچه های بتنی باعث می شود تا پل های حرارتی قابل توجهی در بین بلوک ها ایجاد شود. مطالعات متعدد درخصوص جدارهای

۱- با توجه به پاسخ نامطلوب عمده بلوک ها به آزمایش دینامیکی ضربه، اعمال بارهای ضربه ای مانند تردد وسایل روی بلوک ها، 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 بلوک های پلی استایرن یک الی دو متر است، مقاومت این بلوک تحت بارهای منفرد نسبت به بلوک های سفالی یا بتنی به مراتب بیش تر است. اما در صورت نیاز به استفاده از بلوک های کوچک، برای پرکردن سطوح کوچک ما بین تیرچه ها، کم ترین طول قابل قبول برای برشکاری بلوک پلی استایرن مقدار ۳۰ cm توصیه می شود.

۳- با در نظر گرفتن دو شرط ذکر شده و به استناد مفاد آیین نامه بارگذاری ساختمان ها (استاندارد ۵۱۹) که باید کلیه اعضای سقف، از جمله بلوک ها، پیش از گیرش بتن تاب تحمل بارهای ضمن اجرا را داشته باشند، ظرفیت باربری مجاز بلوک های پلی استایرن با عرض ۵۰ سانتی متر برابر با ۲۰۰ کیلوگرم به ازای هر ۳۰ سانتی متر از طول بلوک پیشنهاد می شود. این مقدار برای طول های بیش از ۳۰ سانتی متر طبق رابطه خطی زیر افزایش پیدا می کند که در آن C ظرفیت باربری مجاز بلوک (کیلوگرم) و l طول بلوک (میلی متر) است:

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

به عنوان مثال بلوک با ابعاد مقطع ۵۰×۲۵ سانتی متر و به طول یک متر باید باری معادل ۶۶۷ 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 رابطه بالا

یک‌سره اجرا شده 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 بلوک‌ها با مشخصات مندرج در جدول (۶)، 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 (۷) ارائه شده است. برای انجام محاسبات، ضریب هدایت حرارت برای بلوک (با توجه به نتایج آزمایش) برابر 0.04 W/m.K و برای بتن با استفاده از داده‌های ارائه‌شده در مبحث ۱۹ معادل 1.75 W/m.K در نظر گرفته شد.

جدول (۶) اندازه‌های بلوک سقفی و تیرچه بررسی‌شده برای مقاومت

حرارتی

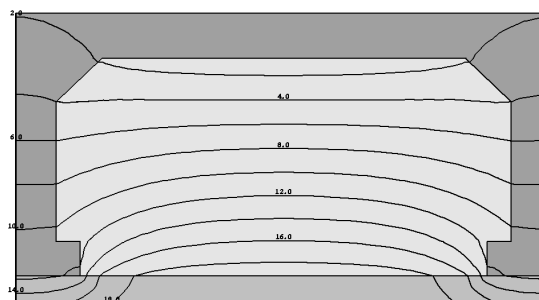
مقدار (میلی‌متر)	مشخصه
۵۰۰	عرض بلوک
۲۰۰	ارتفاع بلوک
۵۰۰	عرض و ارتفاع پخی بلوک
۳۰	عرض نشیمنگاه بلوک
۵۰	ارتفاع نشیمنگاه بلوک
۵۰	ضخامت بتن روی بلوک
۱۰۰	عرض تیرچه بتنی

جدول (۷) ضریب هدایت حرارتی برای چند نمونه پلی‌استایرن

منبسط‌شده برحسب چگالی

ردیف	چگالی (kg/m^3)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)
۱	۹۷	۰.۰۴۲۸
۲	۱۳۷	۰.۰۳۶۹
۳	۲۰۱	۰.۰۳۵۸
۴	۲۵۱	۰.۰۳۵۱
۵	۳۰۳	۰.۰۳۳۳

پوسته خارجی چندجزئی با مشخصات حرارتی متفاوت، اهمیت اثر پل‌های حرارتی را روشن می‌سازند [۱۴؛ ۱۵]. 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 در نظر گرفته شده است [۱۶]. در ویرایش جدید مبحث ۱۹ 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 در نظر 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 ۴).

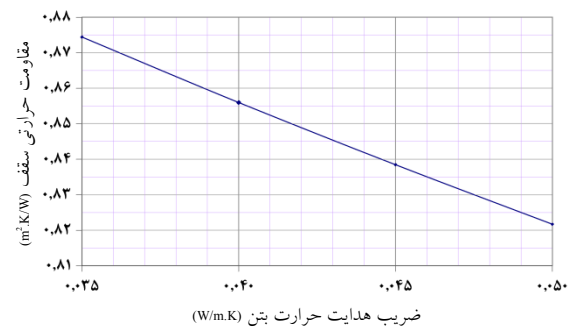


شکل (۴) نمونه خطوط هم‌دمایی در یک سقف تیرچه و بلوک

با توجه به تفاوت زیاد بین ضرایب هدایت حرارت پلی‌استایرن منبسط‌شده و بتن (حدود ۱ به ۵۰)، اثر این پل‌های حرارتی چشمگیر است و باعث می‌شود مقاومت حرارتی سقف در حدود یک پنجم حالتی باشد که عایق به‌صورت

۴-۳-۱- تأثیر ضریب هدایت حرارتی بلوک

ضریب هدایت حرارتی بلوک پلی استایرن 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 در نظر گرفتن درصد میلگرد زیاد) اثر تغییر مقاومت حرارتی از حالت مبنا نیز کمتر خواهد بود. با توجه به محاسبات انجام شده برای مقادیر مختلف ضریب هدایت حرارت عایق حرارتی از 0.035 W/m.K تا 0.050 W/m.K ، کاهش 12.5 درصدی ضریب هدایت حرارت عایق باعث $2/2$ درصد افزایش مقاومت و افزایش 25 درصدی ضریب هدایت عایق باعث $4/0$ درصد کاهش مقاومت حرارتی سقف می‌شود.

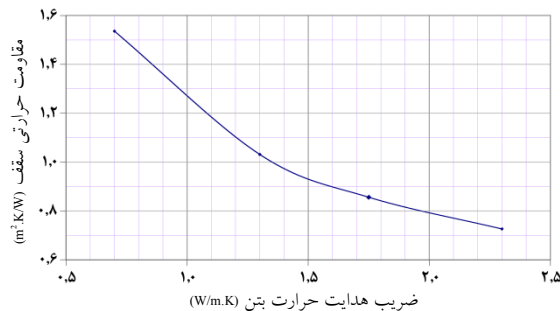


شکل (۵) مقاومت حرارتی سقف برحسب ضریب هدایت حرارتی پلی استایرن منبسط شده

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 0.50 W/m.K تا 2.3 W/m.K بررسی شد. با توجه به محاسبات انجام شده، کاهش 60 درصدی ضریب هدایت بتن باعث افزایش $79/4$ درصدی مقاومت حرارتی می‌شود. در ضمن، افزایش 31 درصدی ضریب هدایت بتن باعث می‌شود تا مقاومت حرارتی سقف به میزان $15/2$

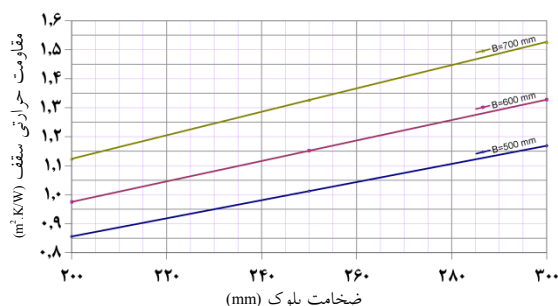
درصد کاهش پیدا کند (شکل (۶)). در نتیجه می‌توان گفت که استفاده از بتن‌های سبک‌تر با هدایت حرارت کم‌تر تأثیر بیش‌تری بر روی مقاومت حرارتی سقف خواهد داشت.



شکل (۶) مقاومت حرارتی سقف برحسب ضریب هدایت حرارتی بتن

۴-۳-۳- تأثیر ضخامت و عرض بلوک پلی استایرن منبسط

برای بررسی اثر تغییرات ضخامت و عرض بلوک در مقاومت حرارتی سقف، ضخامت بلوک‌ها بین 200 تا 300 میلی‌متر و عرض آن‌ها بین 500 تا 700 میلی‌متر در نظر گرفته شد. تغییر مقاومت حرارتی سقف برحسب ضخامت بلوک پلی استایرن روندی تقریباً خطی دارد (شکل (۷)). با توجه به نتایج به دست آمده، افزایش 5 درصد ضخامت بلوک باعث می‌شود که مقاومت حرارتی به میزان 36 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. به این ترتیب، کاربرد بلوک‌های با عرض بیش‌تر از نظر حرارتی دارای توجیه است.



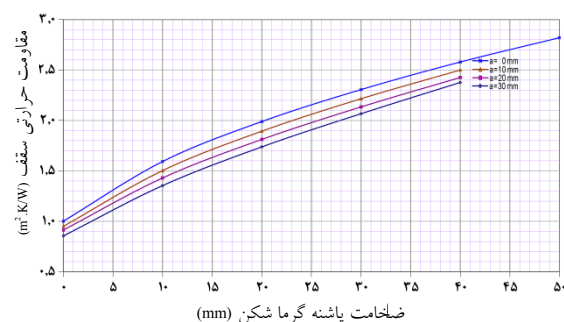
شکل (۷) مقاومت حرارتی سقف برحسب ضخامت و عرض بلوک (B)

۴-۳-۴- تأثیر ابعاد لبه نشیمن بلوک

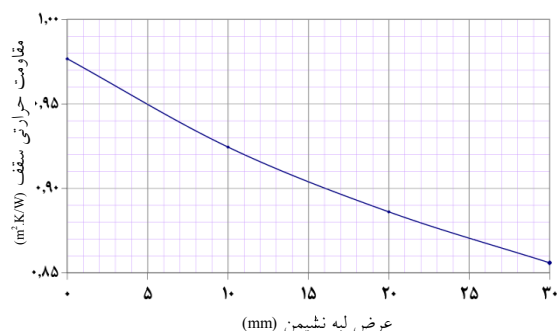
وجود لبه نشیمن و درنظر گرفتن ابعاد حداقلی برای آن، برای تثبیت بلوک در محل پیش‌بینی شده در زمان بتن‌ریزی امری ضروری است. با این وجود در این تحقیق، برای ارزیابی اثر تغییرات احتمالی در ابعاد آن، محاسبات لازم انجام گرفت. مقادیر عرض و ارتفاع لبه نشیمن به‌ترتیب از صفر تا ۳۰ و از صفر تا ۵۰ میلی‌متر متغیر درنظر 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 ۴ 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 (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



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

۴-۳-۵- 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 استوانه‌ای شکل، به قطر حدود ۶۰ 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.

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 به‌دست آمده (شکل ۱۰) نشان داد که افزایش مقاومت حرارتی سقف، برای هر

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) در نظر گرفته شود.

۵- نتیجه‌گیری

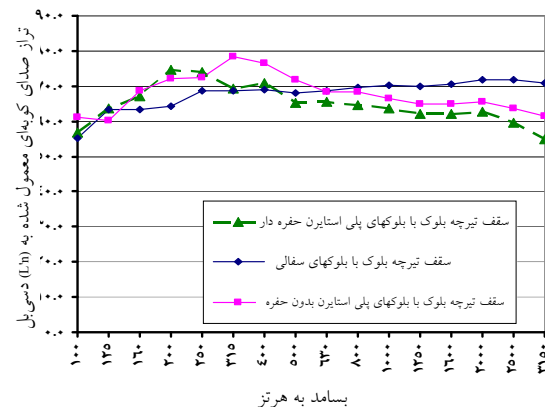
مطالعات و آزمایش‌های وسیعی درباره خواص فنی پلی‌استایرن منبسط و کاربردهای آن در ساختمان انجام شد. تعداد زیادی آزمون مختلف شامل آزمایش‌های آتش، فیزیکی، مکانیکی و حرارتی روی نمونه‌های مختلف پلی‌استایرن منبسط‌شده انجام شد. نتایج مهم به شرح زیر است:

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 12 kg/m^3 برای بلوک‌های با ابعاد مقطع 50×25 سانتی‌متر و حداقل 14 kg/m^3 برای بلوک‌های با ابعاد مقطع 50×20 سانتی‌متر می‌تواند معیار پذیرش را برآورده سازد. عرض لبه نشیمن بلوک‌ها در محل قاعده $27 \pm 2 \text{ mm}$ مناسب تشخیص داده شد.

۳- اثر پارامترهای مختلف روی مقاومت حرارتی سقف

هم‌چنین، درخصوص اثر دندانه‌هایی که در زیر بلوک برای درگیرشدن گچ با بلوک در نظر گرفته می‌شود، ارزیابی‌ها نشان داد که این دندانه‌ها باعث می‌شود مقاومت حرارتی بلوک حدود ۳ تا ۴ درصد کاهش پیدا کند.



شکل (۱۱) تراز صدای کوبه‌ای معمول‌شده برای سقف تیرچه بلوک‌های پلی‌استایرن حفره‌دار و بدون حفره در مقایسه با سقف تیرچه با بلوک‌های سفالی (ضخامت نهایی سقف‌ها حدود ۴۵ سانتی‌متر)

۴-۴- رفتار آکوستیکی سقف

نتایج صداپندی کوبه‌ای سقف در نمودار (شکل ۱۱) نشان داده شده است. از بررسی نتایج به دست آمده در مورد سقف با بلوک‌های پلی‌استایرن با حفره ($L'_{nw}=69$) و سقف با بلوک‌های پلی‌استایرن بدون حفره ($L'_{nw}=72$) و مقایسه آن با سقف تیرچه با بلوک‌های سفالی ($L'_{nw}=77$)، می‌توان نتیجه گرفت که سقف تیرچه با بلوک‌های پلی‌استایرن (با هر دو شکل توپر یا حفره‌دار) صداپندی 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

publication, No. 4, 7th ed., American Concrete 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, Energy 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،

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.

۴- 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 در نظر گرفته شود.

۶- علائم و اختصارات

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

۷- مراجع

[1] Hurt, M.K.; "Formwork for concrete"; *Special*

- شماره ۳، شهریور ۱۳۸۶.
- [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.
- [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 پلی‌وینیل استات"، *مجله علمی-پژوهشی/میرکبیر*، سال هجدهم، شماره ج-۶۶، تابستان ۱۳۸۶.

«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 Jahromi², B.M. Kari³, M.J. Hedayati⁴

1- Fire & Building Dept., Building & Housing Research Center, Tehran, Iran

2- Structural Eng. Dept., Building & Housing Research Center, Tehran, Iran

3- Energy & Environmental 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 $27 \pm 2 \text{ mm}$ 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, Energy 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.