

# پانل‌های ساندویچی پلی‌یورتان در ساختمان‌های کارگاهی و اسکان موقت - عملکرد در برابر آتش و توصیه‌های ایمنی

سعید بختیاری<sup>۱\*</sup>، لیلا تقی‌اکبری<sup>۲</sup>، مسعود جمالی آشتیانی<sup>۳</sup>

- ۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بخش مهندسی آتش
- ۲- دانشجوی دکتری دانشگاه علم و صنعت، کارشناس تحقیقات آتش، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بخش مهندسی آتش
- ۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بخش مهندسی آتش

bakhtiyari@bhrc.ac.ir

تاریخ پذیرش [۱۳۹۸/۱۲/۰۶]

تاریخ دریافت [۱۳۹۸/۰۵/۰۶]

## چکیده

یکی از مهمترین کاربردهای پانل‌های ساندویچی با مغزه فوم پلی‌یورتان، در کارگاه‌های ساختمانی و نیز در اسکان موقت پس از حوادث مخربی مثل سیل و زلزله است. این کانکس‌ها از نظر ایمنی در برابر آتش ضعیف و خطرناک هستند که به عنوان نمونه، وقوع حریق در چند کانکس اسکان موقت زلزله‌زدگان پس از زلزله آبان ۱۳۹۶ در استان کرمانشاه بود که ضرورت ارزیابی عملکرد آنها در برابر آتش با توجه به ماهیت قابل اشتعال فوم پلی‌یورتان مغزه پانل را بیش از پیش آشکار ساخت. در این پژوهش، ضمن مروری بر لزوم ایمنی در برابر آتش ساختمان‌های موقت در دنیا، عملکرد چند نوع پانل ساندویچی تولید داخل با روکش فلزی و مغزه فوم پلی‌یورتان و فوم پلی‌ایزوسیانورات با آزمون‌های واکنش در برابر آتش و مقاومت در برابر آتش ارزیابی شد. رفتار فوم مغزه پانل‌ها که منبع اصلی خطر هستند، نیز جداگانه ارزیابی شد. نتایج نشان داد فوم پلی‌یورتان با احراز طبقه F واکنش در برابر آتش، کندسوز نبود ولی فوم پلی‌ایزوسیانورات در طبقه E قرار گرفت. آزمون‌های مقاومت در برابر آتش روی دو جزئیات اجرایی شامل استفاده از ورق درزبند و رنگ محافظت‌کننده در برابر حریق، روی پانل‌های رایج در کاربرد ساختمان‌های موقت انجام و عملکرد آنها با هم و با پانل محافظت نشده مقایسه شد. بر اساس نتایج این پژوهش، درز بین پانل‌ها نقطه ضعف اصلی در عملکرد در برابر آتش است و محافظت درز با ورق فولادی ضمن افزایش مقاومت در برابر آتش و بهبود معیار یکپارچگی با افزایش زمان ۴۰ دقیقه نسبت به پانل محافظت نشده، از نفوذ آتش به داخل پانل جلوگیری می‌کند که در حریق واقعی، هنگام تخلیه متصرفان و عملکرد نیروهای آتش‌نشانی بسیار مهم است. در نهایت توصیه‌های ایمنی در برابر آتش برای کاربرد ایمن این نوع پانل‌ها در ساختمان‌های موقت ارائه شد.

**کلید واژه‌ها:** پانل ساندویچی، پلی‌یورتان، آتش‌سوزی، اسکان موقت و ساختمان کارگاهی، زلزله، مقاومت در برابر آتش، واکنش در برابر آتش

## ۱- مقدمه و دامنه پژوهش

از آنها در کارگاه‌های ساختمانی و اسکان موقت به دلیل داشتن مزایایی مانند سبکی، سهولت کاربرد و سرعت اجرا است. از جمله پس از زلزله کرمانشاه، اسکان موقت با کانکس تقریباً تنها

یکی از مهمترین کاربردهای پانل ساندویچی (SWP) با مغزه فوم عایق پلی‌یورتان / پلی‌ایزوسیانورات (PIR/PUR)، استفاده

گزینه مهم پس از حادثه بود. اما وقوع حریق در کانکس‌ها در اثر اتصال سیم برق یا استفاده نادرست از وسایل گرمایشی برقی و مهم‌تر از همه عدم آگاهی در زمینه ایمنی در برابر آتش، ضرورت توجه به عملکرد این نوع پانل‌ها در برابر آتش را بیش از پیش جلوه‌گر ساخت. موضوع نگران کننده، احتمال بالای خطر حریق برای مغزه فوم پلی‌یورتان به علت قابلیت اشتعال بالای آن است. این موضوع به ویژه برای کاربرد آنها در ساختمان‌های کارگاهی موقت صدق می‌کند، زیرا در این موارد، بیشتر تجهیزات محافظت در برابر آتش به طور مناسب در دسترس نیست. ضمن این که در کارگاه‌های ساختمانی موقت، احتمال خطر آتش‌سوزی به دلیل فرایندهای همراه با دمای بالا مانند جوشکاری، امکان مجاورت با مواد و مصالح قابل سوختن و یا استفاده از دخانیات، بیشتر وجود دارد.

با توجه به نبود راهنما یا دستورالعملی در کشور با رویکرد ایمنی در برابر آتش برای ساختمان‌های کارگاهی موقت ساخته شده با پانل‌های ساندویچی PUR (یا PIR) با روکش فلزی، در این پژوهش، عملکرد چند نوع از این پانل‌ها با مغزه فوم پلی‌یورتان (PUR) و پلی‌ایزوسیانورات (PIR) با آزمون‌های آتش مقیاس کوچک و متوسط ارزیابی شد.

آزمون واکنش در برابر آتش برای ارزیابی رفتار فوم مغزه پلی‌یورتان نیز به طور جداگانه صورت گرفت. آزمون‌های مقاومت در برابر آتش روی دو نوع پانل رایج در ساختمان‌های کارگاهی صورت گرفت. دو جزئیات اجرایی برای محافظت پانل پیشنهاد و آزمون شد و با نتایج آزمون روی جزئیات متداول مقایسه شد. در پایان با تحلیل نتایج آزمون و نیز در نظر گرفتن ادبیات علمی و مقررات در کشورهای دیگر، توصیه‌های ایمنی در برابر آتش برای کاربرد این نوع پانل‌ها در ساختمان‌های کارگاهی در کشور ارائه شد.

## ۲- مرور ادبیات علمی

اصولاً در ایران، مقررات ملی ساختمان بیشتر به مراحل ساخت تا پایان کار ساختمان مربوط است و تنها در مبحث ۱۲ ایمنی هنگام کار آورده شده است. در سطح جهانی، راهنما [1]، مقررات و تعدادی مدارک فنی در خصوص تأمین ایمنی در برابر آتش برای ساختمان‌های موقت وجود دارد. به عنوان

نمونه بولتن برنامه ایمنی در برابر آتش حین ساخت و ساز در شهر ساری (Surrey) کانادا توسط اداره آتش نشانی [2] ارائه شده است و مواردی مانند مدیریت ایمنی حریق، استفاده از وسایل اعلام شنیداری و روش‌های اطفای حریق و نگهداری امکانات آتش‌نشانی را در بر می‌گیرد.

اداره برنامه و بودجه موسسه بنادر، گمرک و مناطق آزاد دубی الزامات ایمنی در برابر آتش برای ساختمان‌ها، تأسیسات و سازه‌های موقت در کارگاه‌های ساختمانی برای دفاتر کار و اسکان کارکنان و کارگران را تدوین کرده است [3]. در این مدرک، ساختمان موقت به عنوان ساختمانی تعریف شده که برای مدت کمتر از ۱۸۰ روز متوالی برپا شده و مورد بهره برداری قرار گیرد. الزامات آتش شامل ضوابط راه‌های خروج، اعلام و خاموش کردن و جداسازی مقاوم در برابر آتش ارائه شده است. در آمریکا نیز مدارک متعددی برای ساختمان‌های در دست ساخت و موقت وجود دارد که از جمله مدارک NFPA یا مدارک محلی را باید نام برد.

رفتار در برابر آتش فوم سخت PUR و پانل‌های ساندویچی با مغزه فوم سخت PUR، با استفاده از آزمون‌های واکنش در برابر آتش توسط برخی پژوهشگران بررسی شده است که از جمله کارهای انجام شده به وسیله چو (Chow) [4]، بابر اسکاس (Babrauskas) [5]، پترلا (Peterella) [6]، چچین (Checcin) [7] و انجمن تولیدکنندگان ایزوسیانات اروپا [7] را می‌توان نام برد. در سال ۱۳۸۷ نیز، پروژه‌ای تحقیقاتی در خصوص عملکرد در برابر آتش پانل‌های ساندویچی و عایق حرارتی پلی‌یورتان استفاده شده در ساختمان از نظر واکنش در برابر آتش در مقیاس کوچک صورت گرفت و توصیه‌های کاربردی درباره ایمنی در برابر آتش ارائه شد [9]. براساس مطالعات انجام شده، از نقایص آزمون‌های مقیاس کوچک این است که نمی‌توان رفتار کل سیستم (پانل با اتصالات) را ارزیابی نمود. بنابراین، لازم است تا آزمون‌های آتش در مقیاس بزرگ صورت گیرد. به دلیل وجود خلأ مقرراتی در ایران درباره کاربرد پانل‌های ساندویچی پلی‌یورتان در ساختمان‌های کارگاهی و موقت به ویژه در اسکان موقت پس از حوادثی مثل زلزله، لازم است با بررسی الزامات مقررات موجود و ارزیابی آزمایشگاهی، توصیه‌های ایمنی در برابر آتش ارائه شود.

### ۳- بررسی تجربی

#### ۳-۱- مواد و مصالح

مصالح به دو صورت پانل‌های ساندویچی و مغزه فوم پلی‌یورتان و پلی‌ایزوسیانورات ارزیابی شد. نمونه‌های تأمین شده از منابع تجاری داخلی بودند که در تجهیز کارگاه‌ها و ساختمان‌های موقت در کشور به کار می‌روند. نمونه‌های آزمون، به منظور تفاوت‌گذاری در منبع تجاری با حروف M و A مشخص شدند. آزمون‌های واکنش در برابر آتش و مقاومت در برابر آتش روی نمونه‌های با کد PURSWP-M با سه جزئیات اجرایی مختلف به منظور مقایسه و ارزیابی میزان محافظت در برابر آتش و کد PIRSWP-A تنها با یک جزئیات اجرایی (نصب رایج در ساختمان‌های کارگاهی) صورت گرفت. مشخصات آزمون‌های پانل ساندویچی برای آزمون واکنش در برابر آتش در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. مشخصات نمونه‌های PUR/PIR SWP

| Sample Code                        | M (PUR)                         | A (PIR)     |
|------------------------------------|---------------------------------|-------------|
| Thickness (mm)                     | 51.2                            | 47.3        |
| Foam density (kg.m <sup>-3</sup> ) | 39.1                            | 41.5        |
| Colour                             | Cream                           | Light cream |
| Application                        | Wall SWP for construction sites |             |

Table 1. PUR/PIR SWP sample specification

آزمون‌های مقاومت در برابر آتش، پانل ساندویچی دیواری مورد استفاده با کد M با ضخامت متوسط ۵cm با روکش ورق گالوانیزه به ضخامت تقریبی ۱ mm در دو طرف و چگالی ۳۹/۱ kg/m<sup>3</sup> برای فوم PUR مغزه بود. سه جزئیات مختلف برای بررسی رفتار مقاومت در برابر آتش پانل‌ها آزمون شد. جزئیات ۱ شامل اتصال پانل‌های دیواری با کام و زبانه بود که روش معمول نصب این پانل‌ها در کارگاه‌ها است. سپس برای بررسی امکان بهبود مقاومت پانل‌ها در برابر آتش، دو جزئیات اجرایی به شرح زیر به کار گرفته شد:

- جزئیات ۲: اتصال پانل‌های دیواری غیرباربر به صورت کام و زبانه و نصب یک ورق فولادی به عرض اسمی ۱۰ cm در ارتفاع کامل پانل (حدود ۱۰۰ cm) روی محل درز بین دو پانل و محکم کردن آن به وسیله پیچ‌های فولادی خودکار، از

آن جایی که درز بین پانل‌ها نقطه ضعف مهمی برای انتقال حرارت به داخل پانل است، هدف از کاربرد این ورق، محافظت درز بین پانل‌های مجاور و ارزیابی تأثیر آن در عملکرد در برابر آتش بود.

- جزئیات ۳: استفاده از یک نوع رنگ ضد حریق پایه آبی پف‌کننده به ضخامت ۱۰۰۰ میکرون روی جزئیات نصب ۱. کد آزمون‌ها و جزئیات اجرایی آنها در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲. جزئیات اجرایی آزمون‌های مقاومت در برابر آتش

| Sample Code | Details 1 | Details 2 | Details 3 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| PUR SWP-M1  | ✓         |           |           |
| PUR SWP-M2  |           | ✓         |           |
| PUR SWP-M3  |           |           | ✓         |

Table 2. PUR SWP samples codes Fire resistance test

#### ۳-۲- روش‌های آزمون

در ارزیابی رفتار پانل‌های ساندویچی با مغزه فوم قابل اشتعال، هر دو نوع عملکرد مقاومت در برابر آتش و واکنش در برابر آتش مطرح است. مقاومت در برابر آتش تنها یک مشخصه سازه‌ای نیست، بلکه برای عناصر و ساختارهای جداکننده مانند دیوارها، پانل‌ها و سایر عناصر نیز مطرح است، که البته معیار ارزیابی آنها ادامه باربری نبوده (مگر برای دیوارهای باربر)، بلکه دو پارامتر دیگر مقاومت در برابر آتش یعنی یکپارچگی و نارسانایی سنجیده می‌شود. براین اساس در این پژوهش، کاربرد ورق درزبند به عنوان محافظ درزهای بین پانل برای حفظ یکپارچگی و جلوگیری از نفوذ دود و آتش به فضای مجاور مطرح شده است؛ علاوه بر آن ارزیابی واکنش در برابر آتش پانل ساندویچی، به معنای ارزیابی مشارکت آن در گسترش حریق است به علت وجود مغزه فوم قابل اشتعال، بسیار حائز اهمیت است.

برای ارزیابی عملکرد نمونه‌ها، آزمون‌های آتش استاندارد به شرح زیر صورت گرفت.

#### ۳-۲-۱ واکنش در برابر آتش

آزمون قابلیت افروزش مواد در معرض شعله کوچک، مطابق استانداردهای ملی ۷۲۷۱-۴ و بین‌المللی ۱۱۹۲۵-۲ ISO [10]

نصب شدند؛ در آزمون PUR SWP-M3 یک ترموکوپل اضافی (ترموکوپل شماره ۱) نیز در قسمت بالای قاب کوره نصب شد.

شکل ۱. منحنی دما-زمان استاندارد مقاومت در برابر آتش

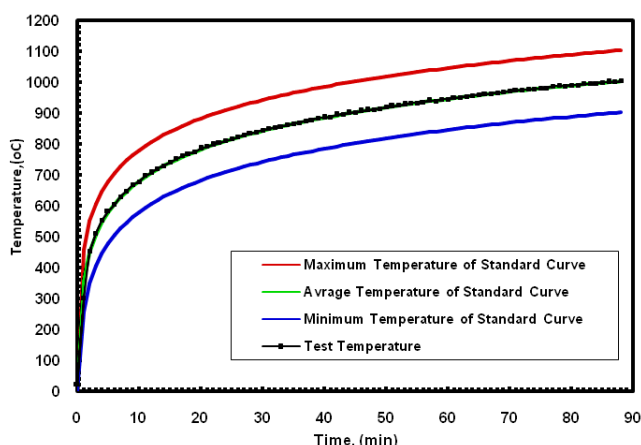


Fig. 1. Standard time-temperature curve of fire resistance test

شکل ۲. شمای ترموکوپل‌های نصب شده بر روی سطح غیر در معرض

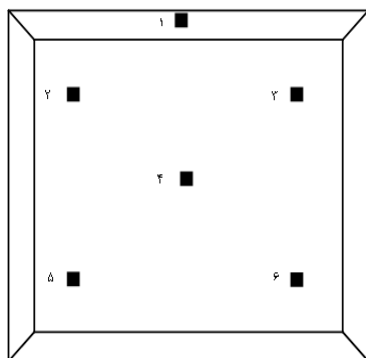


Fig. 2. Scheme of the thermocouples on the unexposed surface

## ۴- نتایج و بحث

### ۴-۱ واکنش در برابر آتش

#### ۴-۱-۱ قابلیت افروزش

نتایج آزمون‌های قابلیت افروزش بر روی فوم مغزه و پانل‌ها در جداول (۳ و ۴) آمده است.

چنانچه داده‌های جداول (۳ و ۴) نشان می‌دهند، فوم PUR به کار رفته در مغزه نوع پانل با کد M از نظر عملکرد واکنش در برابر آتش، مناسب نبوده و در طبقه F، بدترین عملکرد در برابر آتش، قرار گرفته است. این نتیجه به این معنی است که هنگام رخداد حریق، در صورت رسیدن آتش به مغزه این پانل‌ها، مغزه فوم در گسترش آتش‌سوزی شدت مشارکت خواهد داشت و با

انجام شد.

آزمون عامل مشتعل منفرد (SBI) در مقیاس متوسط، مطابق استاندارد ایران ۱۱۶۲۱ و اروپایی EN13823 [11] صورت گرفت. پارامترهای مهم که هنگام آزمون SBI ارزیابی می‌شوند، عبارتند از شدت گسترش آتش (FIGRA)، شدت گسترش دود (SMOGRA)، شدت تولید دود (SPR)، کل تولید دود (TSP)، شدت رهائش گرما (HRR) و کل رهائش گرما (THR) در مدت آزمون.

آزمون‌ها با ابعاد اسمی زیر آماده و مطابق استاندارد اروپایی EN 14509 و استاندارد ملی ۱۴۱۵۹، با استفاده از اتصالات پیچ طبق شرایط کاربرد نهایی و با فاصله هوایی حداقل ۴۰ mm نسبت به تخته پشت‌بند سیلیکات کلسیم در چرخ دستی آزمون نصب شد:

- بال کوتاه: ۱۵۰۰ × ۵۰۰ (mm) و بال بلند ۱۰۰۰ × ۱۵۰۰ (mm) که در ۲۰۰ میلی‌متر از گوشه یک درز عمودی در نظر گرفته شد.

بر اساس نتایج آزمون‌های فوق، تعیین طبقه واکنش در برابر آتش طبق استاندارد ایران ۸۲۹۹-۱ و استاندارد اروپایی EN ۱۳۵۰۱ [12] صورت گرفت.

### ۳-۲ مقاومت در برابر آتش

آزمون پانل ساندویچی با کد PURSWP-M1 متشکل از دو قسمت به عرض‌های ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر به ابعاد یک در یک متر در قاب کوره نصب شد. مقاومت در برابر آتش پانل ساندویچی با سه جزئیات متفاوت اجرایی شامل پانل بدون محافظت (شاهد)، پانل درزبندی شده با اتصال ورق فولادی در محل درز و پانل با رنگ ضد حریق ارزیابی و مقایسه شد.

آزمون مقاومت در برابر آتش مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۰۵۵-۱ و اروپایی EN 1363-1 [13] صورت گرفت. در تمام آزمون‌ها دمای متوسط کوره در مدت آزمون، به طور دقیقی در محدوده استاندارد واقع شده بود (شکل ۱).

۵ ترموکوپل بر اساس استاندارد EN 1364-1 [14] بر روی وجه غیر در معرض آزمون‌های PUR SWP-M1 و PUR SWP-A و PUR SWP-M2 (شکل ۲)، (ترموکوپل‌های شماره ۲ تا ۶) برای اندازه‌گیری دمای سطح غیر در معرض

بنابراین کاربرد آن در ساختمان کارگاهی موقت، در صورت قرارگیری در معرض یک عامل افروزش، ریسک بالای گسترش حریق خواهد داشت. از طرف دیگر، نتایج آزمون برای پانل‌ها برای هر دو مدت زمان قرارگیری در معرض شعله نشان داد که هر دو نوع پانل طبق استاندارد ملی ایران شماره ۸۲۹۹-۱، از نظر واکنش در برابر آتش طبقه E یا بالاتر را (با قرارگیری در معرض شعله به مدت ۳۰۵) احراز می‌کنند. دلیل این موضوع وجود فلز رویه است که از برخورد مستقیم شعله به فوم جلوگیری می‌نماید.

طبق نتایج بدست آمده از آزمون قابلیت افروزش، فوم پلی ایزوسیاناترات (PIR) به کار رفته در مغزه پانل ساندویچی با کد PIRSWP-A نسبت به فوم پلی‌یورتان رفتار بهتری در برابر آتش دارد. این موضوع در بررسی صورت گرفته روی PUR/PIR SWP در سال ۲۰۱۷ نیز تأیید شده است [16]. شکل‌های (۳-الف فوم PUR و ۳-ب فوم PIR) را قبل، حین آزمون و پس از آن نشان می‌دهد.

شکل ۳. الف فوم PUR زمان آزمون  
شکل ۳. ب فوم PIR زمان آزمون



Fig.3.b. PIR foam test



Fig.3. a. PUR foam test

#### ۴-۱-۲ آزمون عامل مشتعل منفرد (SBI)

نتایج حاصل از آزمون‌های قابلیت افروزش و SBI برای هر دو نوع پانل ساندویچی PUR SWP-M و PUR SWP-A در جدول (۵) آمده است.

انتشار گرما و دود سمی به بار آتش خواهد افزود. بر اساس پژوهش‌های انجام شده توسط سوندستروم در سال ۲۰۰۷ [15] یک ماده با طبقه F در صورتی که به عنوان نازک‌کاری در یک اتاق به ابعاد  $m (2/4 \times 3/6 \times 2/4)$  (آزمون گوشه اتاق) قرار گیرد، در صورت قرارگیری در معرض حریقی با شدت ۱۰۰ کیلووات بر مترمربع، ظرف کمتر از ۲ دقیقه اتاق مذکور به گرگرفتگی خواهد رسید.

جدول ۳. نتایج آزمون قابلیت افروزش بر روی مغزه و PUR SWP-M

| Parameters                    | Specimen              |                    |                    |                       |       |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-------|
|                               | PUR foam              | SWP e <sup>1</sup> | SWP s <sup>2</sup> | SWP e                 | SWP s |
| 15 (Test duration:20)         | 15 (Test duration:20) |                    |                    | 30 (Test duration:60) |       |
| Thickness (mm)                | 48.5                  |                    | 51.2               |                       |       |
| density (kg.m <sup>-3</sup> ) | 39.1                  |                    | -                  |                       |       |
| Ignition                      | ✓                     | ✓                  | ×                  | ✓                     | ×     |
| Ignition of filter paper      | ×                     | ×                  | ×                  | ×                     | ×     |
| Fs <sup>3</sup> ≥ 150 mm      | ✓                     | ×                  | ×                  | ×                     | ×     |
| Fire class                    | F                     | E                  | E                  | E                     | E     |

Table 3. Ignitability test results for PUR SWP-M and its foam core

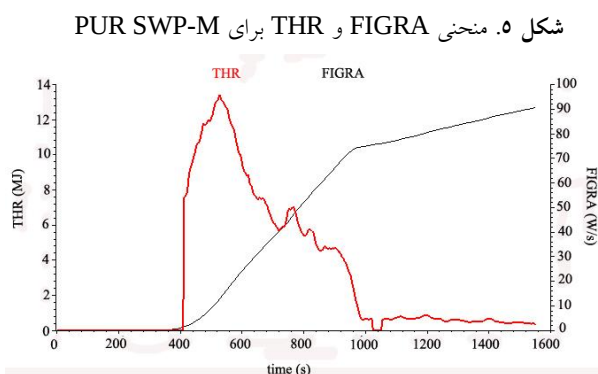
- 1- Edge flame impingement
- 2- Surface flame impingement
- 3-Flame tip reaches to 150mm above the flame application point test

جدول ۴. نتایج آزمون قابلیت افروزش روی فوم PIR مغزه SWP-A

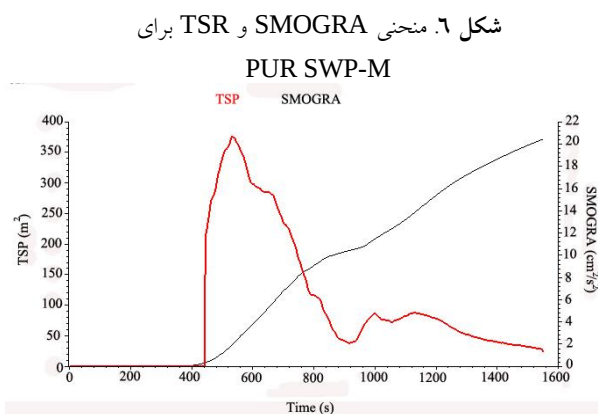
| Parameters                         | Specimen              |                       |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                    | PIR foam              |                       |
| Flame exposed duration (sec)       | 15 (Test duration:20) | 30 (Test duration:60) |
| Thickness (mm)                     | 60.2                  |                       |
| Foam density (kg.m <sup>-3</sup> ) | 41.5                  |                       |
| Ignition                           | ✓                     |                       |
| Ignition of filter paper           | ×                     |                       |
| Fs (60s) ≥ 150 mm                  | ×                     |                       |
| Fire class                         | E                     |                       |

Table 4. Ignitability test results for PIR foam

**Fig. 4.** PUR SWP-M during and after SBI test  
منحنی شاخص شدت گسترش آتش (FIGRA) و دود (SMOGRA) در شکل‌های (۵ و ۶) برای پانل ساندویچی با کد M آمده است.



**Fig. 5.** Fire Growth Index and Total heat release curves for PUR SWP-M



**Fig. 6.** Smoke Growth Index and Total smoke release curves for PUR SWP-M

پارامتر FIGRA به طور گسترده به عنوان یک ابزار طبقه‌بندی خطر گسترش حریق محصولات و سناریوهای مختلف آتش‌سوزی به کار رفته است. پارامتر شدت رشد (گسترش) آتش (FIGRA) و آزمون SBI می‌توانند به خوبی وقوع گرگرفتن در آزمون اتاق-گوشه را پیش‌بینی کنند [17]. بنابر تعریف، شاخص شدت گسترش حریق (FIGRA) برابر است با بیشترین خارج قسمت شدت رهایش گرما از آزمونه و زمان رخداد آن با استفاده از آستانه  $THR=0.2 \text{ MJ}$  و  $THR=0.4$ .

#### ۴-۲ طبقه‌بندی واکنش در برابر آتش

طبقه‌بندی واکنش در برابر آتش آزمونه‌ها بر اساس نتایج

جدول ۵. نتایج آزمون‌های واکنش در برابر آتش برای PUR SWP-M

| PIR SWP-A و          |                                      |           |           |
|----------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|
| Fire test method     | Parameter                            | PUR SWP-M | PIR SWP-A |
| EN 13823/ISIRI 11621 | Thickness (mm)                       | 51.5      | 60.1      |
|                      | Surface density (kg/m <sup>2</sup> ) | 8.4       | 7.5       |
|                      | FIGRA0.2MJ (w/s)                     | 95.7      | 29.4      |
|                      | FIGRA0.4MJ (w/s)                     | 95.7      | 21.9      |
|                      | THR600s (MJ)                         | 9.3       | 3.1       |
|                      | LFS <sup>1</sup>                     | -         | -         |
|                      | SMOGRA                               | 20.7      | 6.2       |
|                      | TSP600s (m <sup>2</sup> )            | 187.5     | 86.8      |
|                      | FDP <sup>2</sup>                     | -         | -         |
| EN ISO 11925-2       | Fs (60s) ≥ 150 mm                    | ×         | ×         |
| ISIRI 7271-4         | Ignition of filter paper             | ×         | ×         |

**Table 5.** Reaction to fire tests results for PUR SWP-M and PIR SWP-A

- 1- LFS<sup>1</sup>: Lateral flame spread on the long specimen wing and reaching the far edge of the long wing at height between 500mm and 1000mm
- 2- Flaming particles or droplets out of burner border

نتایج به روشنی عملکرد بهتر پانل ساندویچی PUR SWP-

A را از نظر واکنش در برابر آتش نشان می‌دهد. شاخص گسترش آتش (FIGRA) و دود (SMOGRA) از پانل با مغزه PIR کندسوز که در طبقه E قرار داشته است، حدود نصف تا یک سوم مقدار حاصل برای پانل‌های با مغزه PUR بوده است. شکل (۴)، پانل ساندویچی PUR SWP-M را زمان آزمون SBI و پس از آن نشان می‌دهد.

شکل ۴. PUR SWP زمان آزمون SBI و پس از آن



۱- Fire Growth Rate

۲- Smoke Growth Rate

نقش مهم روکش ورق گالوانیزه در بهبود واکنش در برابر آتش پانل کاملاً مشخص است، در عین حال، در صورت آسیب روکش، جداسازی و قرارگیری فوم مغزه در معرض شعله، بهبود خواص فوم و کندسوز بودن آن در وقوع خطرهای احتمالی پی‌درپی بسیار اهمیت دارد.

لازم به ذکر است که زیرکمیته ISO/TC ۹۲/SC۱ دو آزمون مقیاس بزرگ برای SWP را نیز مطرح نموده که در مراجع [18 و 19] ارائه شده است. از طرف دیگر، بر خلاف مصالح نازک‌کاری، در اینجا تنها بحث واکنش در برابر آتش مطرح نیست، بلکه انتظارات مقاومت در برابر آتش نیز از پانل وجود دارد که در ادامه بحث شده است.

#### ۴-۳ مقاومت در برابر آتش

در کارگاه‌های ساختمانی با پانل‌های ساندویچی، دفاتر کار و سایر واحدها به وسیله پانل‌ها از یکدیگر جدا می‌شوند. همچنین جداسازی کریدورها از دفاتر به وسیله این پانل‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین برای ارزیابی مقاومت پانل‌ها در برابر گسترش حریق از یک واحد به فضاهای مجاور، باید آزمون مقاومت در برابر آتش صورت گیرد. این آزمون به ترتیب بر روی آزمون‌های محافظت نشده با کد PUR SWP-M1 و محافظت شده (PURSWP-M2 و PURSWP-M3) صورت گرفت که نتایج در جدول (۷) آمده است.

جدول ۷. نتایج آزمون مقاومت در برابر آتش بر روی PUR SWP-M و

| PUR SWP-A     |                              |                                                     |
|---------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Specimen code | Integrity failure time (min) | Insulation fail time (min)                          |
| PUR SWP- M1   | 25                           | 9                                                   |
| PUR SWP- M2   | 63                           | 11                                                  |
| PUR SWP- M3   | 55                           | 11                                                  |
| PUR SWP- A    | 11                           | Until end of test (12min) insulation was not failed |

Table 7. Fire resistance test results for PUR SWP-M and PIR SWP-A

شکل (۷) آزمون PUR SWP-M1 و شکل (۸) منحنی دما-زمان ۵ ترموکوپل نصب شده روی آزمون‌ها در حین آزمون را نشان می‌دهد.

آزمون‌های واکنش در برابر آتش و طبق استاندارد ملی طبقه بندی واکنش در برابر آتش (INSO 8299-1) در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶. طبقه واکنش در برابر آتش برای آزمون‌های PUR SWP-M و

| PUR SWP-A   |                        |                        |                        |
|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Sample Code | Flaming droplets class | Smoke production class | Reaction to Fire class |
| PUR SWP-M   | C                      | s2                     | d0                     |
| Fire class  |                        | C-s2,d0                |                        |
| PIR SWP-A   | B                      | s2                     | d0                     |
| Fire class  |                        | B-s2,d0                |                        |

Table 6. Reaction to fire class for PUR SWP-M and PIR SWP-A

پانل PIRSWP-A با احراز طبقه بهتر واکنش در برابر آتش، عملکرد مناسب‌تری نسبت به پانل PUR SWP-M داشته است؛ ضمن اینکه خروج دود از هر دو نوع پانل با شدت زیاد بوده است.

هر چند هر دو نوع فوم (PUR و PIR) ازدو جزء اصلی ایزوسیانات و پلی ال تشکیل شده اند، ولی مقدار ایزوسیانات در فوم PIR بالاست و متشکل از ساختاری با اتصالات عرضی زیاد است. در واقع، در ساختمان پلی ایزوسیانورات، گروه‌های یورتان و حلقه‌های ایزوسیانورات حاصل از تریمر شدن گروه‌های ایزوسیانات حضور دارند. به دلیل این ساختار شیمیایی حلقوی و پیوندهای عرضی، فوم PIR ساختار پایدارتری دارد و انرژی حرارتی بیشتری برای شکستن پیوندها در آن نیاز است در نتیجه مقاومت حرارتی بیشتر و عملکرد بهتری در برابر آتش نسبت به فوم PUR دارد؛ ولی هر دو نوع فوم هنگام سوختن گاز سمی سیانید هیدروژن و دود زرد با شدت زیاد آزاد می‌کنند.

هنگام آزمون، در هیچ یک از پانل‌ها ذرات و قطرات شعله ور مشاهده نشد زیرا ماهیت مغزه هر دو نوع پانل، فوم سخت PUR/PIR است که به عنوان ماده گرماسخت (ترموست) طی سوختن ذوب نمی‌شود بلکه زغال تشکیل می‌دهد و میزان تشکیل زغال در PIR بیش از PUR است.

با توجه به نتایج آزمون قابلیت آفرزش که نشان داد فوم PUR در هر دو نوع پانل PUR SWP در طبقه F قرار دارد،

مشاهده می‌شود که استفاده از ورق درزبند حدود ۴۰ دقیقه زمان برآورده شدن معیار یکپارچگی را افزایش داده (۶۳ دقیقه در مقایسه با ۲۵ دقیقه) ولی در حفظ معیار نارسانایی تأثیر چندانی نداشته است (۱۱ دقیقه در مقایسه با ۹ دقیقه). منحنی دما-زمان ترموکوپل‌های نصب شده روی آزمون در شکل (۹) آمده است.

شکل ۹. منحنی دما-زمان PUR SWP-M2 زمان آزمون مقاومت در برابر

آتش

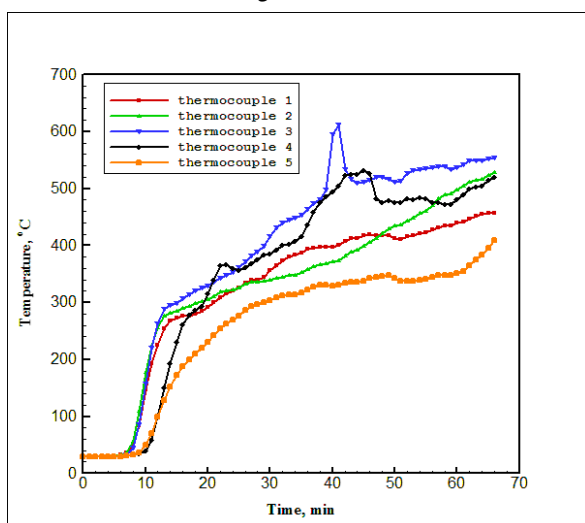


Fig. 9. Time- Temperature curve for PUR SWP-M2 during fire resistance test

به خاطر وجود درز در پانل، در صورت باز شدن درز و نفوذ شعله به آن، فوم مغزه بلافاصله در معرض آتش قرار خواهد گرفت ولی استفاده از ورق درزبند، از این خطر و در نتیجه آزاد شدن دود با شدت و سرعت زیاد جلوگیری خواهد کرد که این امر به ویژه در تخلیه افراد حین وقوع آتش و پیشگیری از ریزش پانل و تغییر شکل به دلیل گشودگی درزها و عملکرد نیروهای آتش‌نشانی اهمیت به‌سزایی دارد.

در آزمون مقاومت در برابر آتش روی پانل با کد PUR SWP-M3، شامل رنگ ضد حریق با میانگین ضخامت ۹۵۸ میکرومتر روی پانل، ساختار قاب پشتیبان و سایر جزئیات، مشابه آزمون-های قبل بود. شکل‌های (۱۰ و ۱۱) سطوح در معرض و غیر در معرض آزمون را حین آزمون نشان می‌دهند. منحنی دما-زمان ترموکوپل‌های نصب شده روی آزمون در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

شکل ۷. آزمون PUR SWP-M1 حین آزمون مقاومت در

برابر آتش



Fig. 7. PUR SWP-M1 during fire resistance test

چنانچه در شکل (۷) مشاهده می‌شود، میزان خروج دود از پانل‌ها هنگام آتش‌سوزی با شدت زیاد و در زمان طولانی بود که به دلیل سمیت بالای دود حاصل از سوختن پلی‌یورتان، به تنهایی عامل مخاطره آمیزی است.

شکل ۸. منحنی دما-زمان PUR SWP-M1 حین آزمون مقاومت در

برابر آتش

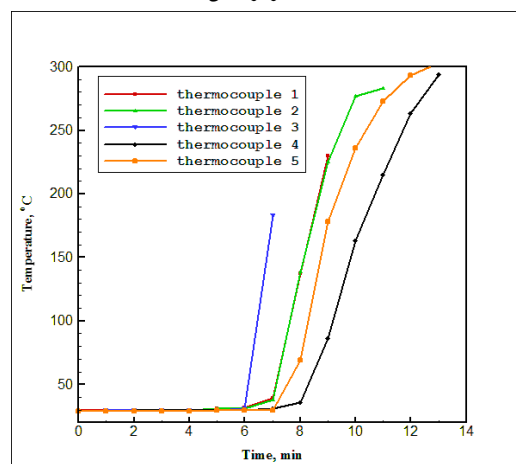


Fig. 8. Time-Temperature curve for PUR SWP-M1 during fire resistance test

در ادامه بررسی، اثر روش‌های محافظتی شامل درزبندی پانل‌ها و رنگ ضد حریق با آزمون مقاومت در برابر آتش ارزیابی شد. برای استحکام بیشتر پانل حین آزمون مقاومت در برابر آتش، دو ورق تقویتی به ضخامت ۱mm و عرض ۱۰ cm روی درز هر دو سمت در معرض و غیر معرض آزمون PURSWP-M2 قرار داده شد. ساختار قاب پشتیبان و سایر مشخصات مثل پانل PURSWP-M1 بود. زمان‌های شکست معیارهای یکپارچگی و نارسانایی در جدول (۷) آمده است.

طبق نتایج آزمون، جزئیات M2 (ورق درزبند) تا حد قابل توجهی، مقاومت در برابر آتش پانل را بهبود داده است. با مقایسه زمان شکست معیار یکپارچگی در جزئیات M1 و M2

منابع مختلف و با فرمولاسیون‌های متفاوت لازم است. پس از اتمام هر آزمون و سرد شدن، نمونه‌ها از کوره بیرون آورده و سمت در معرض شعله که متشکل از فوم زغالی بود، بررسی شد. شکل (۱۳-الف تا پ)، آزمون‌های پانل PURSWP-M1، PURSWP-M2 و PURSWP-M3 را بیرون از قاب کوره نشان می‌دهد. با وجود اینکه آزمون مقاومت در برابر آتش در مقیاس کوچک انجام شد، کمانش زیاد در ورق روکش پس از آزمون در برخی پانل‌ها از جمله PUR SWP-M1 مشاهده شد که در ابعاد بزرگ و در مقیاس واقعی قابل توجه بوده، ممکن است سبب سقوط پانل‌ها هنگام حریق شود.

شکل ۱۳. آزمون‌ها پس از خروج از قاب کوره مقاومت در برابر آتش

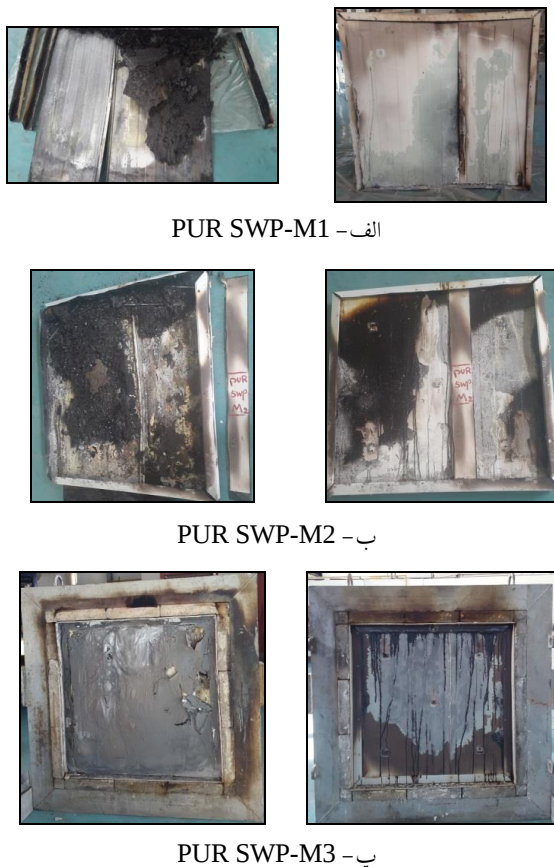


Fig. 13. PUR SWPs after test out of furnace frame

شکل (۱۴)، سطوح در معرض و غیر در معرض آزمون PIR SWP-A را پس از آزمون نشان می‌دهد. چنانچه در شکل سمت چپ از شکل (۱۴) دیده می‌شود، بازده زغال در مغزه

شکل ۱۰. سطح غیر در معرض شعله



Fig. 10. Exposed surface of PIR SWP-M3 after test

شکل ۱۱. سطح در معرض شعله



Fig. 11. Unexposed surface PIR SWP-M3 after test

شکل ۱۲. منحنی دما-زمان PUR SWP-M3 حین آزمون

مقاومت در برابر آتش

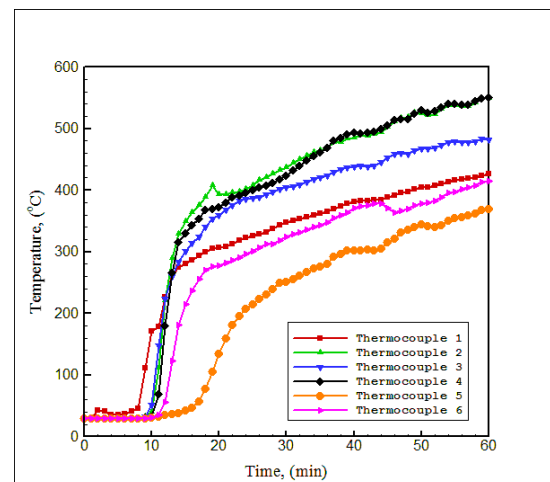


Fig. 12. Time- Temperature curve for PUR SWP-M3 during fire resistance test

در این حالت نیز، خروج دود حین آزمون با شدت زیاد بود. طبق نتایج آزمون، جزئیات M3 (رنگ ضد حریق) نیز نسبت به جزئیات M1، معیار یکپارچگی را حدود ۳۰ دقیقه افزایش داده (۵۵ دقیقه در مقایسه با ۲۵ دقیقه) ولی در حفظ معیار نارسانایی تأثیر چندانی نداشته است (۱۱ دقیقه در مقایسه با ۹ دقیقه)، از طرفی، در جزئیات M2، ورق درزبند نسبت به جزئیات M3، تا حدودی زمان یکپارچگی سیستم افزایش بیشتری نشان داده است (۶۳ دقیقه در مقایسه با ۵۵ دقیقه) ولی در هر دو جزئیات، معیار نارسانایی در دقیقه ۱۱ شکست خورده است.

یادآور می‌شود در این پژوهش فقط یک نوع خاص از رنگ بررسی شده است و روشن است نمی‌توان بر اساس آن نتیجه گرفت که کاربرد رنگ در محافظت پانل غیر مؤثر بوده است. برای ارزیابی دقیق‌تر، بررسی روی چند نوع مختلف رنگ از

می‌تواند مورد آزمایش قرار گیرد و صنعت می‌تواند از انجام این پژوهش‌ها و آزمون‌ها حمایت نماید.

موضوع مهم دیگر، خروج دود شدید و غلیظ، حین قرارگیری پانل‌ها در معرض آتش است که در تخلیه افراد حین حریق و عملکرد نیروهای آتش‌نشانی اهمیت دارد و از این رو، بهبود عملکرد فوم مغزه ضروری است. زیرا طبق شواهد آزمون، دود غلیظ و متراکم ناشی از قرارگیری مغزه فوم پانل در معرض آتش، به ویژه در فضاهای بسته با تأثیر مستقیم روی سیستم تنفسی و نیز جلوگیری از دید دقیق، به دلیل تراکم زیاد، مانع از واکنش مناسب افراد برای تخلیه می‌شود. به ویژه آنکه به دلیل ماهیت شیمیایی آن و آزاد کردن گاز سیانید منجر به خطرات جانی خواهد شد.

بر اساس نتایج مقاومت در برابر آتش، با استفاده از تمهیدات محافظتی، معیار یکپارچگی تا یک ساعت افزایش نشان داد ولی تأثیر آن بر معیار نارسانایی چندان بالا نبوده است. همچنین در تمام آزمون‌ها، غیر از آزمون پانل با مغزه فوم PUR، معیار نارسانایی در همان ۱۱ دقیقه ابتدای آزمون شکست خورد که نشان می‌دهد با وجود خواص خوب عایق حرارتی PUR، این خواص، در دمای بالا نمی‌تواند چندان ادامه یابد. بنابراین، انتقال حرارت از سمت در معرض حریق به سمت غیر در معرض به سرعت افزایش یافته و بسته به کاربری فضا، می‌تواند باعث گسترش خطرات حریق، از طریق آتش زدن مواد قابل اشتعال یا تهدید افراد شود.

با مقایسه روش‌های محافظتی اعمال شده، می‌توان نتیجه گرفت که پوشاندن درز، تأثیر به مراتب بیشتری از اجرای رنگ یا پوشش ضد حریق روی پانل نشان داده است و از نظر اقتصادی و زمان‌بری نیز در عمل به صرفه‌تر است.

### نتیجه‌گیری

– مقررات و ضوابط بین‌المللی در خصوص کاربرد ایمن پانل‌های ساندویچی در ساختمان‌های موقت بررسی شد. در ادامه، رفتار چند نوع پانل ساندویچی با مغزه PUR/PIR، مورد استفاده در ساختمان‌های کارگاهی موقت و فوم مغزه آنها در برابر آتش ارزیابی و آثار محافظت درز بین پانل‌ها به وسیله ورق فولادی و رنگ محافظت‌کننده در برابر آتش به طور

PIR بالاتر است؛ در نتیجه با تشکیل لایه عایق در برابر حرارت، باعث بهبود معیار نارسانایی خواهد شد که در نتایج آزمون دیده می‌شود.

شکل ۱۴. سطوح غیر در معرض (راست) و در معرض (چپ) PIR

SWP-A پس از سرد شدن



Fig. 14. Exposed surface (left) and unexposed surface (right) of PIR SWP-A after test

یادآوری می‌کنیم، در ارزیابی رفتار در برابر آتش پانل ساندویچی با مغزه فوم عایق، عوامل مختلفی از جمله ضخامت ورق، ماهیت فوم مغزه PUR و ضخامت فوم یا جرم ماده سوختنی تأثیرگذار است.

در نمونه‌های جزئیات ۱، PUR SWP-M1، یعنی در نمونه‌هایی که دو بخش پانل فقط با کام و زبانه به هم متصل هستند، تغییر شکل در محل درز دیده شد که می‌تواند باعث انتقال حریق به داخل مغزه پانل و گسترش حریق شود. در جزئیات ۲، PUR SWP-M2، یعنی در نمونه‌ای که محل درز با قرار دادن ورق محافظ و پیچ کردن، محافظت شده است، چنانچه در شکل (۱۳-ب) مشاهده می‌شود، در محل درز پس از قرارگیری در معرض شعله هیچ گونه تغییری رخ نداد. پوشاندن درز بین پانل‌ها تأثیر زیادی در تغییر شکل پانل و خطرات متعاقب ناشی از آن داشته است. در جزئیات ۳، PUR SWP-M3، که رنگ ضد حریق پایه آبی برای محافظت پانل به کار رفته بود، شکل (۱۳-پ)، ریزش رنگ محافظ در پانل مشاهده می‌شود و با توجه به نتایج آزمون، این نوع محافظت حتی در مقیاس کوچک نیز تأثیر محسوسی در افزایش مقاومت پانل در برابر آتش نداشته است. هر چند مقایسه صورت گرفته محدود است و ممکن است رنگ‌های ضد حریق دیگری تأثیر بهتری داشته باشند. به علاوه، امکان استفاده از هر دو تمهید رنگ ضد حریق و پوشاندن درزها، موضوع دیگری است که

تجربی بررسی شد.

استاندارد ملی ۸۲۹۹-۱ ضروری است و بسته به نیاز طرح، ممکن است طبقات بهتری نیز نیاز باشد.

- ضوابط کشورهای خارجی در رابطه با پانل‌های ساندویچی پلی‌یورتان در کارگاه‌های ساختمانی موقت بررسی شد و ضوابط دشواری در این خصوص وجود دارد. تدوین و رعایت ضوابط ایمنی در برابر آتش برای این پانل‌ها و کانکس‌ها برای ایران ضروری است. همچنین وجود ضوابط ایمنی در برابر آتش برای کاربرد این پانل‌ها به عنوان کانکس برای اسکان موقت پس از وقوع حوادثی مانند سیل و زلزله ضرورت دارد. از جمله نصب کاشف‌های خودکار حریق و وسایل خاموش‌کننده حریق در دفاتر موقت و کانکس‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. به ویژه در جاهایی که امکان سرایت آتش‌سوزی بین کانکس‌های متعدد وجود دارد، گسترش آتش‌سوزی ممکن است خیلی سریع رخ دهد.

- منابع افروزش در داخل و مجاورت پانل‌های ساندویچی پلی‌یورتان باید کنترل شود. از جمله استفاده از منابعی مانند گرم‌کن‌های برقی در این واحدها یا عملیات جوشکاری در مجاورت آنها باید با کنترل کامل HSE صورت گیرد.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام شده است. از شرکت ویم، آقایان مهندس شعاع آذر و مهندس حسینی برای تأمین و اجرای مصالح مورد نیاز در طول پروژه و نیز از همکاران محترم بخش مهندسی آتش برای همکاری در انجام این پژوهش، قدردانی می‌شود.

### مراجع

- [1] EPIC, 2012 Insulated panels for external roof and wall cladding, A guide to fire safety and performance in fire, PART 1.
- [2] Surrey Fire Services, *Construction Fire Safety Plan Bulletin*, 2013
- [3] Dubai, Department of Planning & Development, Fire Protection, *Fire Prevention & Fire/Emergency Control Regulations* (2012 Edition), Requirements for Temporary buildings, Facilities or Structures at Construction sites for the use of Offices & Labour Accommodation.

- طبق نتایج این پژوهش، محل درز پانل‌ها از نقاط ضعف مهم در صورت وقوع حریق است که باید به شکل مناسب محافظت شود. نظر به اینکه روش کلی نصب پانل‌ها در ساختمان‌های کارگاهی موقت کشور به صورت کام و زبانه است و هیچگونه اتصال یا محافظتی در محل درز به کار نمی‌رود، بنابراین، علاوه بر محکم بودن اتصال روکش فلزی پانل به سازه پشتیبان، جزئیات درزبندی نیز باید بر اساس نتایج آزمون آتش تأیید شود. در ارزیابی آزمایشگاهی، مشخص شد نصب یک نوار ۱۰ سانتی‌متری در درز بین پانل‌ها رفتار مقاومت در برابر آتش را به شکل قابل توجهی بهبود می‌دهد به طوری که طبق نتایج آزمون مقاومت در برابر آتش با استفاده از درزبند، معیار یکپارچگی با افزایش ۴۰ دقیقه نسبت به پانل بدون درزبند بهبود یافت.

- در ارزیابی آزمایشگاهی معلوم شد رفتار پانل‌ها در برابر آتش، بدون تمهیدات محافظتی، خطرناک است؛ به طوری که در همان لحظات اولیه پانل‌ها آتش گرفتند و مقادیر قابل توجهی دود و حرارت و گازهای سمی آزاد شد که در صورت رخداد حریق، زمان در اختیار برای فرار از حریق و اقدامات آتش‌نشانی را به شدت کاهش می‌دهد. کمانش پانل‌ها و تغییر شکل آنها هنگام آزمون و بالطبع، هنگام حریق ممکن است منجر به ریزش پانل‌ها شود که خود، سبب خطرانی برای کارکنان و ساکنان سایت و نیز نیروهای آتش‌نشانی و امداد است. در نتیجه ضرورت دارد پانل‌های ساندویچی PUR، قبل از کاربرد در کارگاه، آزمایش و گزارش‌های گواهی‌نامه فنی و محدودیت‌های کاربردی آنها بر اساس نتایج آزمون در نظر گرفته شود و بسته به شرایط طرح، محافظت لازم در برابر آتش به وسیله محصولات (پوشش‌ها یا رنگ‌ها) محافظت کننده در برابر آتش به طور مقتضی صورت گیرد.

- مسئله بسیار مهم دیگر، عملکرد فوم مغزه در صورت قرارگیری در معرض آتش است. بر اساس تجارب آزمایشگاهی در سطح دنیا و آزمون‌های انجام شده در این پژوهش، فوم پلی‌یورتان سخت در مغزه پانل‌های ساندویچی باید از نوع کندسوز و ترجیحاً از نوع PIR باشد. بدست آوردن کمترین طبقه E واکنش در برابر آتش مطابق با

- floorings exposed to the thermal attack by a single burning item (SBI) (in Persian).
- [12] INSO 8299-1, 2016 building products and elements- part: 1- Reaction to fire classification (in Persian).
- [13] ISIRI 12055-1, 2009 Fire resistance tests- part: 1- General requirements (in Persian).
- [14] ISIRI 12245-1, 2009 Fire resistance tests for non-loadbearing elements -part: 1- Walls (in Persian).
- [15] Sundström, B., 2007 Doctoral Thesis, The Development of a European Fire Classification System for Building Products – Test Methods and Mathematical Modelling, *Department of Fire Safety Engineering*, Lund University, Sweden, Lund.
- [16] D'Albani, A.W., 2017 Mass Mass loss and flammability of insulation materials used in sandwich panels during the pre-flashover phase of fire, *Fire and Materials*, 2017.
- [17] Bakhtiyati, S., Taghi-Akbari L., Jamali Ashtiani M., 2013 Classification of building materials and products based on reaction to fire performance, *Research digests.*, BHRC publication No:R-724 (in Persian).
- [18] ISO 13784-1. 2002 Reaction-to-fire tests for sandwich panel building systems - Part 1: Test method for small rooms.
- [19] ISO 13784-2. 2002 Reaction-to-fire tests for sandwich panel building systems - Part 2: Test method for large rooms.
- [4] Chow W.K., Fire Hazard assessment on polyurethane sandwich panels for temporary accommodation units, *Polymer Testing*, 23, 973-977, 2004.
- [5] Babrauskas V., Sandwich Panel Performance in Full-scale and Bench-scale Fire Tests, *Fire and Materials*, Vol.21, 53-65, 1997.
- [6] Petrella R.V., The assessment of full-scale fire hazards from cone calorimeter data, *Journal of Fire Science*, Vol.12, 14-42, 1994.
- [7] Checchin M. Cecchini C. Cellarosi B. and Sam F.O., Use of cone calorimeter for evaluating fire performances of polyurethane foams, *Polymer Degradation and Stability*, 64, 573-576, 1999.
- [8] Wittbecker, Daems and Werther. Performance of Polyurethane (PUR) building products in fires. European Isocyanate Producers Association (ISOPA), [http:// www.isopa.org](http://www.isopa.org).
- [9] Bakhtiyati, S., Taghi-Akbari L., Veisheh S., Research Report, BHRC publication No. R-547, 2011 Properties and application of Polyurethane Sandwich Panels and Thermal insulation in buildings and related fire safety recommendation (in Persian).
- [10] ISIRI 7271-4, 2005 Reaction to fire for building materials and products- Test methods, part -4: Ignitability of products subjected to direct impingement of flame -: Single-flame source test (in Persian).
- [11] ISIRI 11621, 2008 Reaction to fire for building materials and products- Test methods, Building products excluding

## **Polyurethane sandwich panel (PUR SWP) used in construction sites- Fire Performance and safety recommendations**

**Saeed Bakhtiyari<sup>1</sup>, Leila Taghiakbari<sup>2</sup>, Masoud Jamali Ashtiani<sup>3</sup>**

Saeed Bakhtiyari, Fire Research Department, Road, Housing & Urban Development Research Center (RHUD), P.O. Box: 13145/1696, Tehran, Iran.

Leila Taghiakbari, (Corresponding author), Fire Research Department, Building & Housing Research Center (RHUD), P.O. Box: 13145/1696, Tehran, Iran.

Masoud Jamali Ashtiani, RHUD, Tehran, Iran

\*bakhtiyari@bhrc.ac.ir

### **Abstract**

Metal faced Polyurethane/Polyisocyanurate sandwich panels are used in construction sites and temporary accommodation especially after destructive events such as flooding and earthquake, that a clear example was the temporary settlement of earthquake victims after earthquake occurrence in the Kermanshah province at November 2017. However, flammability of polyurethane foam core of these panels and the higher risk of fire in these types of buildings, highlight the importance of assessing fire performance of these panels. In this study, fire performance of several types of metal faced sandwich panels with PUR/PIR foam core produced in the country, was evaluated by reaction to fire and fire resistance tests. The reaction to fire behavior of foams was also evaluated separately. The results showed that the polyurethane foam was not fire retarded and met reaction to fire class F; but the poly-isocyanurate foam depicted a better fire behavior and met fire class E. Fire resistance tests were performed on common types of sandwich panels in the temporary buildings with two different execution details including a steel sheet fixed to the joint position in the panels and the other, fireproof paint and their fire performance was compared to unprotected panel. According to the results, deformation of the joint in sandwich panel is the main disadvantage and it is very critical in real fire due to flame spread through the joints which is critical in a real fire incident, when evacuating the occupants and acting fire brigades. Hence, protection of the joints by insertion of a protective sheet, increases fire resistance and improves the integrity by increasing the time by 40 minutes compared to the unprotected panel. Finally, fire safety recommendations were provided for the safe use of these panels in temporary buildings.

**Keywords:** Polyurethane Sandwich panel, construction sites, fire performance, earthquake, fire resistance, reaction to fire, temporary buildings