مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره نوزدهم، شماره ۱، سال ۱۳۹۸

یادداشت تحقیقاتی

بررسی شدت رهایش گرمای مصالح و مدل‌سازی حریق در ساختمان پلاسکو

سعید بختیاری[۱*]، مسعود جمالی آشتیانی[۲]

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بخش آتش و ساختمان
۲- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بخش آتش و ساختمان

bakhtiyari@bhrc.ac.ir

تاریخ دریافت: [۹۶/۱۱/۹] **تاریخ پذیرش: [۹۷/۸/۱۲]**

چکیده

حدود ساعت ۸ صبح سی‌ام دی ماه ۱۳۹۵، ساختمان پلاسکو در تهران دچار حریق شد. علت شروع حریق اتصال برق گزارش شده است. دلایل گسترش حریق و چگونگی آن بررسی شد. ساختمان پلاسکو دارای نقاط ضعف زیادی از نظر ایمنی در برابر آتش بود که موارد زیر را باید عنوان نمود: بار حریق بالا به علت مقادیر زیاد پارچه، اشکالات طرح پلکان، ارتباط کامل بین فضاها از طریق سقف‌های کاذب و شفت تأسیسات، عدم محافظت سازه فولادی در برابر آتش، عدم وجود جداسازی مقاوم در برابر آتش، عدم وجود سیستم‌های کشف، اعلام و اطفای خودکار حریق، عدم تعمیر و نگهداری صحیح از سیستم‌های موجود. آزمایش آتش روی پارچه‌ها صورت گرفت و نشان داد بار حریق در ساختمان بسیار بالا بوده است. مدل‌سازی کامپیوتری روی چگونگی گسترش حریق در ساختمان پلاسکو صورت گرفت. نتایج مدل نشان داد که حریق توانسته از طریق پنجره‌ها، فضاهای کاذب، پلکان و شفت آسانسور به فضاهای مجاور و به طبقات بالا گسترش یابد. همچنین افزایش دما در مناطق مختلف ساختمان، به علت آتش‌سوزی، نشان داده شد. نتایج نشان داد که افزایش دما در ساختمان، بخصوص در طبقات ۱۰ و ۱۱ برای رسیدن سازه به دماهای بحرانی و شکست سازه مستعد بوده است. همچنین مدل حریق نشان داد که مسیر پلکان در همان دقایق ابتدایی، به علت آکنده شدن از دود و تیرگی و نیز افزایش دما، برای افراد معمولی (بدون تجهیزات خاص) غیر قابل استفاده شده است.

واژگان کلیدی: ساختمان پلاسکو، آتش‌سوزی، مدل سازی، مقررات ساختمانی، شدت رهایش گرما

۱- مقدمه و دامنه تحقیق

در ساعت ۱۱:۳۳ پنجشنبه ۱۳۹۵/۱۰/۳۰ ساختمان پلاسکو بر اثر حریق فروریخت. این آتش‌سوزی زنگ خطری برای جامعه ایران و مسئولین بود. بنابراین لازم بود تا با بررسی ابعاد مختلف این موضوع از تجربیات و درس‌های برگرفته از آن برای کاهش خسارات اینچنینی استفاده نمود. یکی از سوالات مهم در این بررسی، چگونگی گسترش آتش‌سوزی در ساختمان و چگونگی دماهای امکان‌پذیر بود. برای پاسخ این سوال، بررسی‌های میدانی و آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی، پتروگرافی و میکروسکوپی روی نمونه‌های برداشت شده صورت گرفت. همچنین مدل‌سازی کامپیوتری روی گسترش حریق انجام شد. در این مقاله به مطالعات شدت

www.SID.ir

Archive of SID

رهایش گرمای ناشی از سوختن پارچه و نتایج مدل سازی پرداخته شده است.

۱-۱ مشخصات کلی ساختمان، مصالح و تأسیسات

ساختمان پلاسکو در ۱۳٤۱ به بهره‌برداری رسید. این سازه ۱۵ طبقه دارای اسکلت فلزی و با حدود ٦۰ متر ارتفاع، بیش از ۵۸۰ واحد تجاری را در خود جای داده بود. ساختمان برج دارای پلان مربعی به ابعاد حدود ۳۰ در ۳۰ متر بود. یک ساختمان ۵ طبقه در شمال برج پلاسکو وجود داشت که چسبیده به آن، اما از نظر سازه‌ای منفک بوده است. یک کروکی از ساختمان که توسط کمیته سازه هیأت ویژه پلاسکو از بنیاد مستضعفان تهیه شده بود، در شکل (۱) ارائه شده است.

شکل ۱. پلان پلاسکو بر اساس کروکی

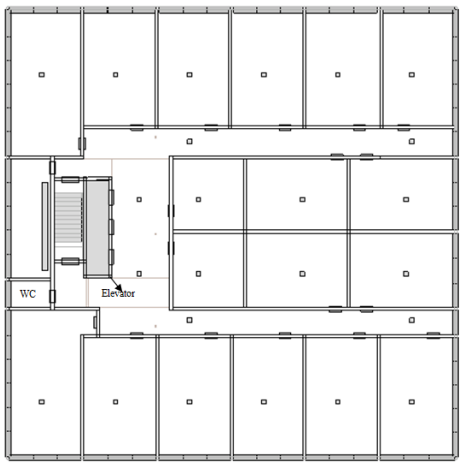

Fig. 1. Plasco building's general plan of stories

کاربری عمده ساختمان تجاری و اغلب فضاهای آن به صنف پوشاک تعلق داشته است. طراحی سازه فولادی پلاسکو به شکل لوله‌ای و نمای بیرونی آن دارای کلاف کشی فلزی بوده است [1]. ساختمان دارای یک دستگاه پلکان به صورت باز بود و متصرفین برای استفاده از آن باید بعد از عبور از یک طبقه به طبقه بعدی، از جلوی آسانسور عبور کرده، سپس وارد ردیف پلکان بعدی شود، که از نظر مقررات ایمنی در برابر آتش [2]، طراحی ضعیفی محسوب می‌شود. ارتفاع طبقات حدود ۳/۸ متر بوده است. در طبقات بالا دیوارها بیشتر آجری یا پانل‌های گچی بوده است. نازک‌کاری مغازه‌ها بیشتر اندود گچی و بعضاً پوشش MDF بوده است. دال بتنی سقف به ضخامت حدود ۳۰ cm بوده که زیر آن سقف کاذب اجرا شده بود. ارتفاع سقف کاذب که به طور سرتاسری در تمام طبقه و روی مغازه‌ها ادامه داشته است، حدود ۵۰ تا ٦۰ سانتی‌متر بود که از آن برای عبور تأسیسات و کابل‌های برق استفاده می‌شده است.

به علت اشکالات ساختاری و فنی موجود در سیستم تأسیسات ساختمان، بسیاری از ساکنین برای سرمایش و گرمایش از وسایل اضافی مانند گرم‌کن‌های برقی، گاز مایع و کولرهای گازی استفاده می‌کردند که این موضوع به شبکه توزیع برق ساختمان فشار وارد کرده است.

۱-۲ شرح مختصر حادثه و گسترش حریق

حریق قبل از ساعت ۸ صبح از یک واحد تجاری در طبقه ۱۰ در ضلع شمال غربی آغاز شد. سیم‌کشی غیر اصولی برق و وصل کردن آن به گرم‌کن برقی جزو دلایل اصلی شروع آتش‌سوزی بوده است.

شکل ۲. بالا: گسترش حریق در طبقات ۱۰ تا ۱٤ در ضلع شمال غربی، پایین: ریزش شمال غربی ساختمان

Fig. 2. top: fire development in 10th to 14th floors of the northwest; down: northwest building collapse

www.SID.ir

Archive of SID

اصول ایمنی در برابر آتش، مانند ضوابط مبحث سوم مقررات ملی ساختمان [2] در این ساختمان رعایت نشده بود، که از جمله باید موارد زیر را بر شمرد: بار حریق بالا به علت مقادیر زیاد پارچه، اشکالات طرح پلکان، ارتباط کامل بین فضاها از طریق سقف‌های کاذب و شفت تأسیسات، عدم محافظت سازه فولادی در برابر آتش، عدم وجود جداسازی مقاوم در برابر آتش، عدم وجود سیستم‌های کشف، اعلام و اطفای خودکار حریق، عدم تعمیر و نگهداری صحیح از سیستم‌های موجود.

پس از شروع در طبقه ۱۰، حریق با سرعت زیادی گسترش یافته است. در ساعت ۱۰:۵۳، قسمتی از سقف طبقه ۱۰ روی کف آن سقوط نمود. بیشترین شدت حریق در همین قسمت بوده و دماهای زیادی در آن وجود داشته است. در ساعت ۱۱:۰۱، سقف‌های قسمت شمالی ساختمان، از طبقه ۱۳ به پایین ریزش کرد. در ساعت ۱۱:۳۵، ساختمان به صورت کامل سقوط کرد که علت اصلی آن ریزش پیشرونده سقف‌ها و ضعف سازه در برابر آتش بوده است [1].

۱-۳ روش تحقیق

برای آزمون آتش از دستگاه گرماسنج مخروطی مطابق استاندارد بین‌المللی ISO۵۶۶۰ استفاده شد. شدت رهایش گرما با اندازه‌گیری اکسیژن مصرف‌شده (تقریباً برابر با ۱۳/۱ مگاژول بر کیلوگرم اکسیژن) و THR از رابطه زیر به دست می‌آید [3 , 4]:

$$THR = \int_0^{t_f} q(t).dt \qquad (۱)$$

برای مدل‌سازی گسترش حریق و دود از نرم افزار FDS (Fire Dynamic Simulation) استفاده شد.

۲- بار حریق ناشی از سوختن پارچه

۲-۱ کلیات

برای برآورد بار حریق موجود در ساختمان، یک آزمایش آتش بر روی نمونه‌هایی از پارچه‌های موجود در ساختمان پلاسکو صورت گرفت (شکل ۳). این نمونه‌ها از محل پاساژ پلاسکو برداشت شده بودند.

۲-۲ نتایج آزمون

نمونه پارچه برداشت شده شامل چند لایه روی هم با رنگ‌های مختلف و ضخامت کل ۲۲/۲ میلی‌متر بود. آزمونه تحت تابش ۵۰kW/m^2 (معادل دمای ۷۵۷ °C در مخروط الکتریکی) قرار گرفت. نتایج آزمون در جدول (۱) و نمودارهای مربوط در ادامه ارائه شده است.

شکل ۳. تصاویری از آزمون پارچه، قبل و حین آزمون

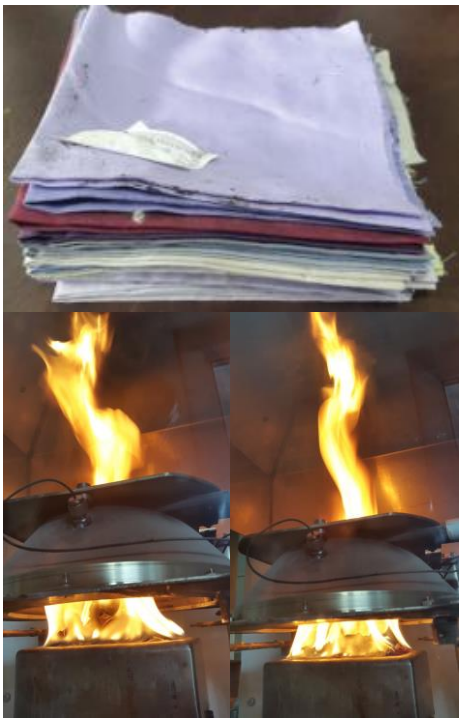

Fig. 3. Images of the fabric test before and during the test

جدول ۱. نتایج آزمون گرماسنجی روی آزمونه پارچه تحت تابش ۵۰ kW / m^2

Measurements Parameter	Result
Initial mass (g)	98.11
Mass loss at the end of the test (g)	93.04
Time to Ignition (s)	8
Flame-out time (s)	996
Test duration for calculations (s)	996
Total heat release (MJ /m^2)	192.2
Average effective heat of combustion (MJ /kg)	18.3
Av. heat release rate (kW/m^2)	194.19
Max. heat release rate (kW/m^2)	452.72
Time to reach the Max. heat release rate (s)	27
Average specific extinction area (m^2 / kg)	217.89
Average production of Carbon monoxide (g/s)	0.0035
Average production of Carbon dioxide (g / s)	0.1466

Table 1. Cone calorimeter test results for fabric specimens at 50 kW/m^2 radiation

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ٤. منحنی شدت رهایش گرما برای آزمونه پارچه

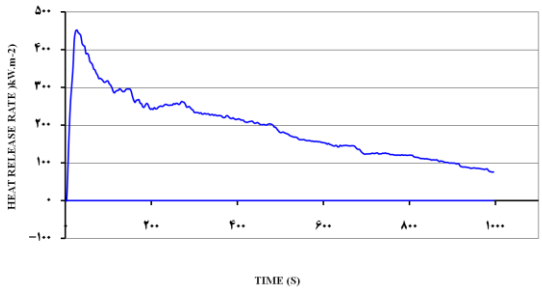

Fig. 4. Heat release curve for fabric Specimen

شکل ٥. منحنی کل رهایش گرما برای آزمونه پارچه

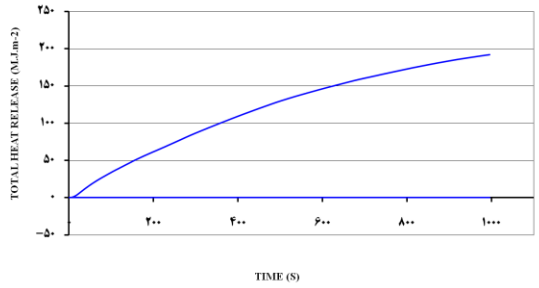

Fig. 5. Total heat release curve for fabric Specimen

شکل ٦. منحنی تولید مونوکسیدکربن برای آزمونه پارچه

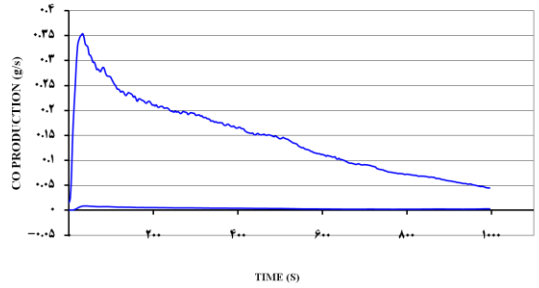

Fig. 6. Carbon monoxide production curve for fabric specimen

شکل ٧. منحنی تولید دی‌اکسیدکربن برای آزمونه پارچه

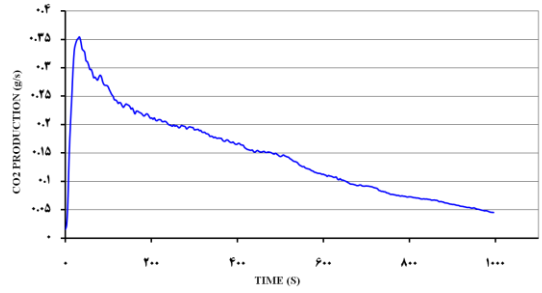

Fig. 7. Carbon Dioxide Production Curve for Fabric Specimen

زمان افروزش تحت شرایط آزمون تنها ۸ ثانیه بود. این موضوع به دلیل قابلیت اشتعال بالا و نازک بودن لایه‌های پارچه است. بیشینه شدت رهایش گرما و کل رهایش گرما در این آزمون، به ترتیب ۱۹۲ کیلو وات بر متر مربع و ٤٥٢ مگا ژول بر متر مربع بوده است که مقادیر بالایی هستند. چنانچه مقدار پارچه سوخته شده موجود در مغازه‌هایی که دچار حریق شدند، تقریباً ٥٠٠ کیلوگرم تخمین زده شود، مقدار کل حرارت ناشی از سوختن آنها تقریباً بیش از ۱۰ هزار مگاژول در هر مغازه خواهد بود که البته این اعداد تقریبی هستند. بر اساس نتایج پارچه آزمون شده دارای تمایل زیاد به رسیدن به نقطه گر گرفتگی و مشارکت بسیار زیادی در گسترش آتش سوزی داشته است. برای تحلیل بهتر ابعاد قضیه، در اینجا مقایسه نتایج آزمون آتش پارچه با تعدادی از مصالح ساختمانی قابل اشتعال رایج در کشور صورت می‌گیرد. نتایج آزمون روی این نمونه‌ها در مراجع [5 و 6] آمده است. نمونه‌ها شامل MDF، HDF، ورق مشبکی PVC، موکت و پلی‌کربنات بودند. نمونه PVC دارای شکل شبکه‌ای دو جداره با ضخامت حدود ۸ میلی متر بود و چگالی داده شده برای آن مربوط به خود ماده بود (یعنی چگالی ورق با ضخامت حدود ۰/۸ میلی متر). این مصالح در آزمایشگاه آتش مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در تراز تابشی ٥٠ kW/m^2 آزمون شده‌اند. علائم اختصاری در انتهای مقاله آورده شده است.

لازم به ذکر است که هیچکدام از این مصالح که نتایج آزمون برای آنها ارائه شده است، جزو مصالح ایمن در برابر آتش به شمار نمی‌روند که توضیح آن خارج از حوصله این مقاله است. نمونه‌های MDF، PVC و موکت از نظر زمان افروزش در حول و حوش نمونه پارچه قرار می‌گیرند. بیشینه شدت رهایش گرمای نمونه موکت تقریباً شبیه به پارچه بوده است، اما برای نمونه‌های MDF و PVC کمتر و نمونه‌های HDF و پلی کربنات بیشتر بوده است. اما چنانچه مقدار کل حرارت آزاد شده را بر اساس مبنای وزنی یکسان بر اساس گرمای مؤثر سوختن محاسبه و مقایسه نماییم، مشاهده می‌شود که کل رهایش گرمای حاصل از سوختن آن به مراتب بیشتر از مصالح نازک‌کاری موجود در بازار بوده است (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. گرمای مؤثر سوختن برای چند مصالح مختلف

Specimen	Effective heat of combustion (MJ/kg)
Tested Fabric	18.3
MDF	1.1
HDF	1.1
Textile covering	2.8
Polycarbonate	1.5

Table 2. Effective heat of combustion of several different materials

۳ مدل‌سازی کامپیوتری گسترش حریق

۳-۱ کلیات

برای درک بهتر گسترش حریق و توسعه دما، مدل‌سازی صورت گرفت. نتایج دمایی برای تحلیل شکست سازه نیز کمک مینماید. فضای مدل‌سازی شده به مساحت تقریبی m^2 ۹۰۰۰ در هر طبقه در نظر گرفته شد.

حادثه حریق از واحد تجاری نسترن در طبقه دهم شروع شد. شفت‌های پلکان، آسانسور و تأسیسات مطابق با نقشه موجود، پیاده سازی شد (شکل ۸).

شکل ۸. تصویری از پلان مدل شده

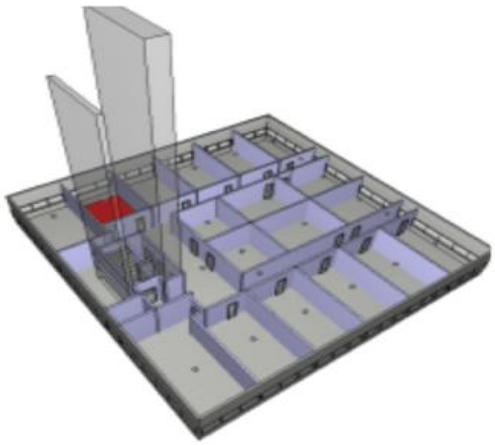

Fig. 8. A picture of the modeled plan

در این مدل‌سازی از معیارهای زیر برای محاسبه زمان ASET (زمانی که شرایط ناشی از حریق در مکان مورد نظر غیر قابل تحمل شده، از آن پس امکان خروج افراد میسر نباشد)، استفاده شده است:

– کاهش قابلیت دید به کمتر از ۱۰ متر در ارتفاع ۲ متری.

– افزایش دمای مسیر خروج به بیش از ۶۰ °c.

۳-۲ اهداف از مدل‌سازی آتش و فرضیات طراحی

هدف از مدل‌سازی، تهیه مدل گسترش حریق و دود در ساختمان بود. توسعه دما ناشی از حریق در فضاها بررسی و در اختیار کمیته تخصصی سازه قرار گرفت. دمای طبقات در فاصله ۱۰ سانتی متری از سقف کاذب و قابلیت دید در فاصله ۲ متری از کف مورد ارزیابی قرار گرفت. فرضیات زیر در مدلسازی لحاظ شده است:

– آتش سوزی از واحد نسترن در طبقه دهم شروع می‌شود.

– بر اساس آزمون‌های انجام شده در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، برای درب واحدها ۱۰ دقیقه و برای درب آسانسور با توجه به وجود شیشه ۲ دقیقه مقاومت در برابر آتش در نظر گرفته شد. پنجره‌ها دارای ۵ دقیقه مقاومت در برابر آتش است.نتایج در گزارش تلفیق هیأت ویژه پلاسکو آمده است [7].

– بر اساس اطلاعات به دست آمده، در اتاقک آسانسور همیشه باز بوده است. دریچه‌هایی به ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی متر در سقف کاذب واحدها و راهرو ها قرارداده شد.

۳-۳ آتش طرح

بر اساس BRE 368 شدت رهایش گرما بر واحد سطح برای یک آتش سوزی کنترل نشده برای تصرفات خرده فروشی kW/m^2 ۶۵۰ تعیین شده است. با توجه به اینکه مساحت واحد نسترن حدود ۳۸ متر مربع است و فرض شده است که ۶۰٪ مساحت آن معادل با ۲۳ متر مربع با کالاهای قابل سوختن اشغال شده باشد، بنابر این فرض وجود یک آتش MW ۱۵ در این واحد، قابل قبول است.

شکل ۹. پروفیل رشد آتش برای آتش سوزی کنترل نشده

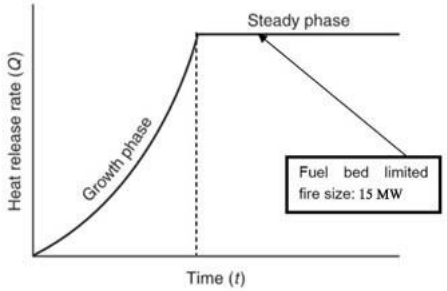

Fig. 9. Fire growth profile for uncontrolled fires

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۴ رشد حریق

برای تعیین نمودار رشد آتش از رابطه ۲ استفاده شد.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad (۲)$$

که در آن $\dot{Q}$ شدت رهایش گرما (kw)، α ضریب رشد آتش (kw/s^2) و زمان (s) است.

طبق مراجع [7 - 9] رشد آتش در مراکز تفریحی و خرید در گروه رشد سریع قرار می‌گیرد (جدول ۳). با توجه به انتخاب رشد سریع آتش، α مطابق با جدول (٤) معادل با ۰/۰٤۷ در نظر گرفته شد [10]. با فرض رشد آتش سریع و حداکثر شدت رهایش گرما، زمان رسیدن به این مقدار معادل ٥٦٦ ثانیه محاسبه می‌شود.

جدول ۳. شدت رشد بر اساس نوع تصرف

Occupancy	Growth rate
Dwellings	Fast [8]
	Medium [9,10]
Schools, offices	Medium [8,9]
	Fast [10]
Hotels, nursing homes etcetera	Fast [8,10]
Shopping centers, entertainment centers	Fast [8,9]
	Ultra Fast [10]

Table 3. fire growth rates based on occupancy type

جدول ٤. مقادیر α برای شدت‌های رشدمختلف [۱۰]

Fire growth factor	α (kw/s^2)	Fire growth factor	α (kw/s^2)
Slow	0.003	Fast	0.047
Medium	0.012	Ultra-fast	0.188

Table 5. Values for α for different growth rates [10]

شکل ۱۰: تصویری از مدل با وسایل داخل واحدها

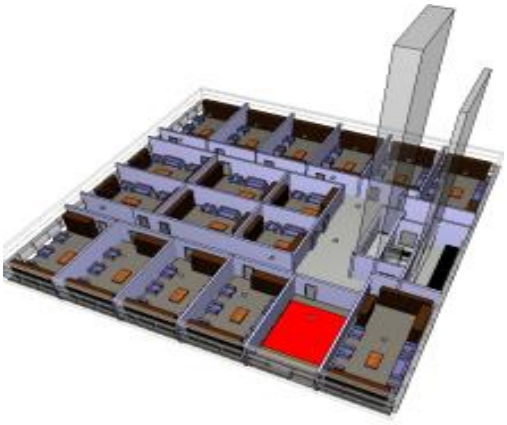

Figure 10: A captured image of the model with the assumed furniture

با توجه به اظهار شاهدان، به طور متوسط ٤/٥ m^3 پارچه در هر اتاق در نظر گرفته شد. اتاق‌ها دارای مبلمان در نظر گرفته شده است. وجود کابل‌های برق در اتاق تأسیسات و سقف‌های کاذب در نظر گرفته شد.

۳-۵ هندسه مدل

با توجه به اینکه آتش در طبقه ۱۰ برج رخ داده و به سمت بالا پیشروی کرده است، طبقات ۱۰ تا ۱۵ برج مدل شد. در شکل (۱۱) نمایی از مدل نشان داده شده است.

شکل ۱۱. تصویر کلی هندسه مدل

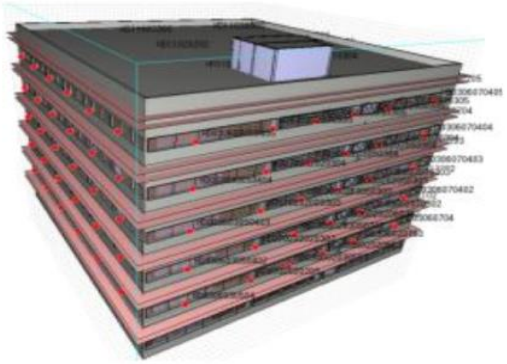

Fig. 11. General model geometry

۳-۶ نتایج مدل‌سازی

۳-۶-۱: گسترش حریق و دود در طبقات

بر اساس نتایج مدل، چگونگی گسترش حریق به طور خلاصه به صورت زیر بوده است. یادآور می‌شود در این مدل، بالطبع خاموش شدن حریق به وسیله آتش‌نشانی دیده نشده و تنها گسترش آن بر پایه دینامیک حریق تحلیل می‌شود، با این وجود بسیاری از پدیده‌ها مشابه با آنچه در واقعیت رخ داده است، ملاحظه شد.

آتش در دقایق ابتدایی از واحد نسترن خارج، در ۱۰ دقیقه اول وارد راهرو و سقف کاذب میشود. در زمان حدود ۳ دقیقه معیار قابلیت دید رد و فضا برای خروج از طبقات بالاتر از طبقه ۱۰ تیره شده است. دما در نزدیکی پلکان ظرف حدود ۵ دقیقه به بالاتر از ٦۰ درجه سلسیوس رسیده، استفاده از پلکان در طبقه ۱۰ عملاً بعد از دقیقه ۵، بدون لباس و تجهیزات ایمنی، بسیار سخت بوده است.

ظرف کمتر از ۵ دقیقه، حریق از پنجره‌های واحد نسترن به

www.SID.ir

Archive of SID

بیرون ساختمان زبانه می‌کشد و از این زمان، اجزای سازه‌ای بیرونی در معرض حریق بیرونی هستند.

شکل ۱۲. تصویر ساختمان، ۱۵ دقیقه بعد از آتش سوزی

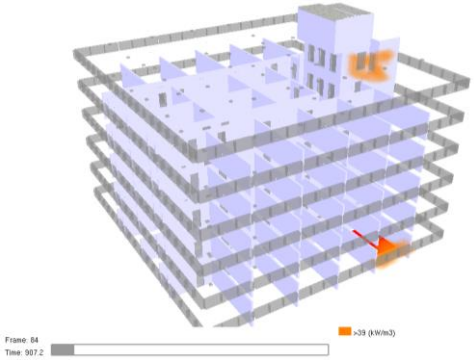

Fig. 12. model, 15 minutes after the fire

آتش از طریق راهرو و پلکان به طرف بالا زبانه می‌کشد و طی ۹۰۰ ثانیه از طریق پلکان وارد طبقه ۱۵ می‌شود. طبقه ۱۵ جزو اولین طبقاتی بوده که می‌توانسته به طور طبیعی در معرض آتش‌سوزی قرار گیرد. آتش طی ۱۱۰۰ ثانیه از طریق شفت آسانسور و پلکان به طبقه ۱۱ نفوذ، سپس طی ۱۲۰۰ ثانیه از پنجره راهروی ضلع شرقی بیرون زده، تا قبل از ثانیه ۱۸۰۰ ارتفاع شعله به دو طبقه می‌رسد. به علت وجود راهرو و پنجره در انتهای ضلع شرقی، امکان بیرون زدن شعله از پنجره‌ها در اینجا وجود داشته، اما به علت پاشیدن آب از بیرون توسط آتش نشانی، به طور کلی در این ضلع خروج شعله کمتر دیده شده است.

آتش طی ۲۱۰۰ ثانیه اتاق تاسیسات کلیه طبقات را در بر می‌گیرد.

شکل ۱۳. تصویر ساختمان، ۳۶ دقیقه بعد از آتش سوزی

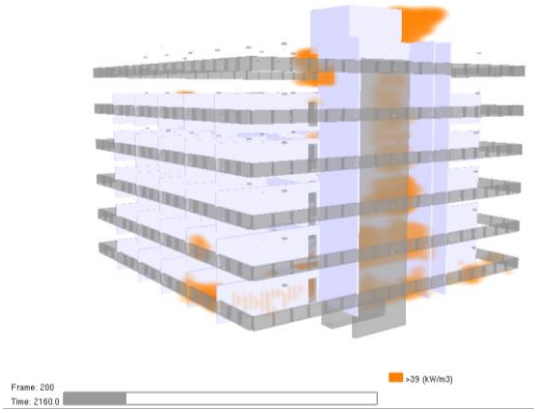

Fig. 13. model, 36 minutes after the fire

آتش طی ۲۳۰۰ ثانیه از طریق آسانسور وارد طبقه ۱۴ می‌شود و طی ۲۶۰۰ ثانیه از طریق پنجره وارد واحدهای بالای نسترن در طبقه ۱۲ می‌شود.

آتش طی ۲۸۰۰ ثانیه وارد راهروی طبقه ۱۳ می‌شود. سپس حریق طی ۳۶۰۰ ثانیه از پنجره بالای واحد نسترن (واقع در ضلع شمال غربی ساختمان) در طبقات ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۴ بیرون زده و ناظر بیرونی ۴ طبقه را در حال سوختن می‌بینند، ولی آتش هنوز وارد برخی از واحدهای تجاری نشده و بیشتر در شفت‌ها، راهروها و واحدهایی که بالای نسترن هستند، پیشروی کرده است.

شکل ۱۴. تصویر ساختمان، ۶۰ دقیقه بعد از آتش سوزی

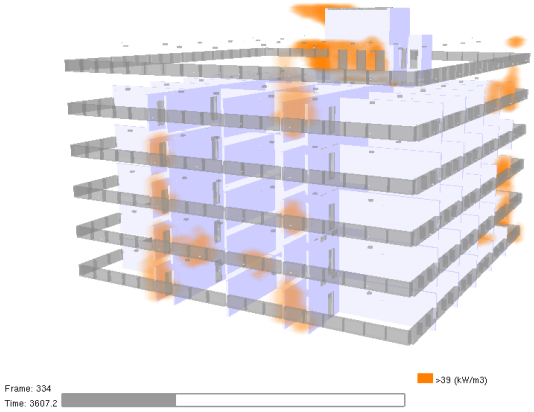

Fig. 14. model, 60 minutes after the fire

شکل ۱۵. تصویر ساختمان، ۱۲۰ دقیقه بعد از آتش سوزی

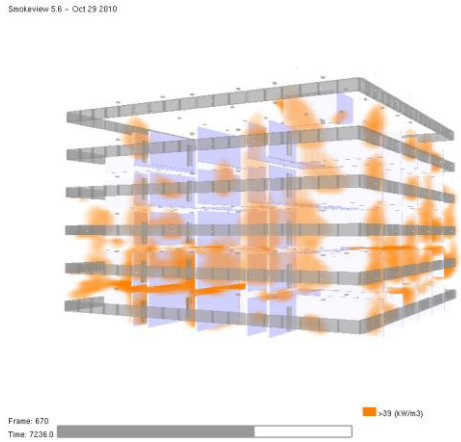

Fig. 15. model, 120 minutes after the fire

آتش تا ثانیه ۴۸۰۰ (دقیقه ۸۰) وارد واحدهای طبقه ۱۱ و قبل از ثانیه ۶۰۰۰ (دقیقه ۱۰۰) وارد واحدهای طبقه ۱۲ شده است. از ۷۲۰۰ ثانیه به بعد، تقریبا کل ساختمان در حال

www.SID.ir

Archive of SID

سوختن است و آتش به تدریج وارد تمام واحدهای تجاری می‌شود. حریق به طبقات پایین نفوذ نکرده و تنها طبقات بالای ۱۰ را در بر گرفته است.

۳-۶-۲ توسعه دما بر حسب زمان

دمای طبقات در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از سقف کاذب، اندازه-گیری شد. نتایج کامل چگونگی توسعه دما در طبقات مختلف در گزارش تلفیق هیأت ویژه پلاسکو [7] آمده است. نتایج نشان داد که حدود ۱/۵ ساعت پس از شروع حریق، دما در طبقه ۱۰، در جلوی آسانسور و پلکان به حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس و ۲ ساعت بعد از آتش سوزی به ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس رسیده است، این در حالی است که دما در فضاهای مختلف طبقه، در حال افزایش است. با توجه به وزن مواد سوختنی پیش بینی شده در مدل، دما در طبقه دهم بعد از ۲ ساعت، تا حدودی شروع به کاهش می‌کند و همان‌گونه که در شکل (۱۶) مشاهده می‌شود، حدود ۲ ساعت بعد از شروع آتش سوزی دما در قسمت جلوی آسانسور و پلکان حدود ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس است.

شکل ۱۶. تصویر شماتیک دما-زمان طبقه دهم

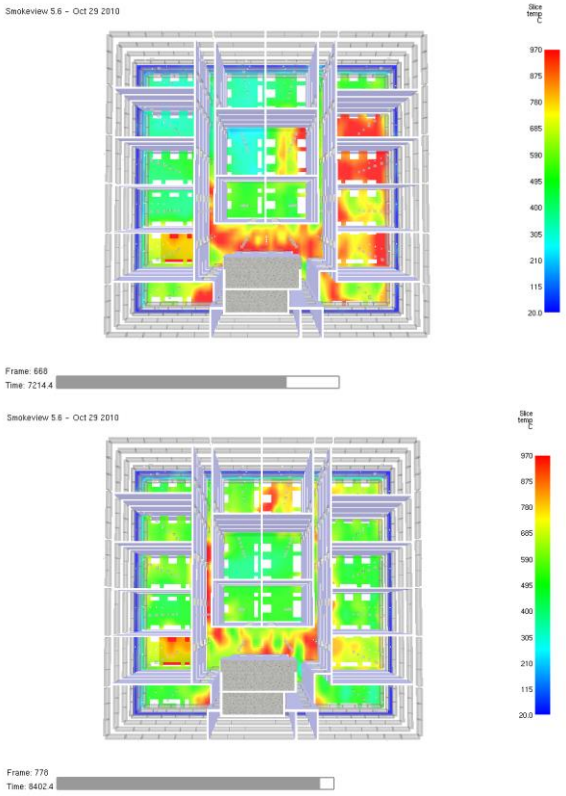

Fig. 16. Schematic image of temperature-time, 10th floor

نتایج نشان داد که با توجه به طراحی ساختمان، بیشینه دماها در قسمت جلوی آسانسور و پلکان روی می‌دهد، این نتایج با گزارش‌های ارائه شده که ابتدا این قسمت دچار ریزش شد، هماهنگ است.

مدل نشان داد که با توجه به اینکه آتش به راحتی از طریق شفت آسانسور، تأسیسات و پلکان به سمت طبقات فوقانی حرکت کرده است، بیشینه دماها در طبقات یازدهم رخ داده است. نتایج نشان داد که حدود ۱/۵ ساعت بعد از شروع حریق، دما در طبقه ۱۱ در جلوی آسانسور و پلکان (شمالی) به حدود ۷۰۰ تا ۸۰۰ و ۲ ساعت بعد از آتش سوزی به حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس رسیده است، دما در طبقه یازدهم تا ۳ ساعت بعد از آتش سوزی در محدوده ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس باقی مانده، که این امر نقش مهمی در شکست سازه‌ای ساختمان داشت.

شکل ۱۷. تصویر شماتیک دما-زمان طبقه یازدهم

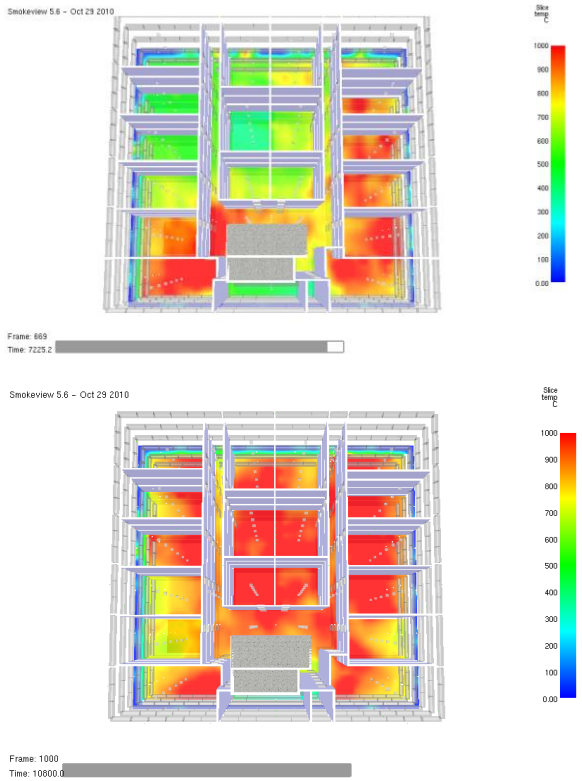

Fig. 17. The temperature-time schematic diagram, the 11th floor

مدل نشان داد، طبقات دوازدهم تا پانزدهم در فاصله زمانی ۲ تا ۳ ساعت بعد از شروع آتش سوزی، دماهای ۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس را تجربه کرده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

الف- درس‌های فنی از بعد ایمنی در برابر آتش

ساختمان پلاسکو ضعف‌های زیاد ساختمان‌های موجود از نظر ایمنی در برابر آتش را نمایان ساخت. درس‌های متعددی از این حادثه از جهات مختلف مقرراتی، مدیریت بحران، اجتماعی، حقوقی و ... حاصل شد که در گزارش تلفیق هیأت ویژه پلاسکو آمده است. در اینجا تعدادی از درس‌های برگرفته (عمدتاً از نوع فنی) ارائه می‌شود:

– طراحی ناصحیح راه‌های خروج در ساختمان‌ها می‌تواند باعث تلفات و خسارات جانی و مالی زیاد شود.

– سقف‌های کاذب، شفت‌ها و داکت تأسیساتی محافظت‌نشده راه مساعدی برای گسترش حریق در ساختمان‌ها هستند و باید حریق‌بندی لازم برای آنها صورت گیرد.

– تأمین مقاومت در برابر آتش برای سازه، به ویژه برای سازه‌های فولادی ضروری است.

– تأمین زون‌بندی حریق در ساختمان، بین واحدهای تجاری، بین واحدها با مشاعات و از همه مهم‌تر بین طبقات ساختمان ضروری است.

– نصب سیستم کشف و اعلام حریق در ساختمان‌های تجاری ضروری است.

– نصب شبکه اسپرینکلر در ساختمان‌های بلند ضروری است.

– رعایت تعمیر و نگهداری سیستم‌های ایمنی و تأسیسات در ساختمان از اهمیت بالا برخوردار است.

ب- نتیجه‌گیری‌های حاصل از آزمون‌ها و مدل‌سازی آتش

– با توجه به ارزیابی معیارهای دمایی و قابلیت دید، ساختمان پلاسکو به علت داشتن فقط یک پلکان و هندسه آن به هیچوجه دارای ایمنی مناسبی نبوده و در یک آتش سوزی گسترش یافته، زمان در دسترس برای فرار ایمن برای این برج کمتر از ٤ دقیقه بوده، این درحالی است که زمان لازم برای فرار ایمن (RSET[1]) بسیار بیشتر از این است. این موضوع می تواند برای بسیاری از ساختمان های موجود قدیمی و اماکن عمومی صدق نماید، بنابراین لازم است تا این ساختمان ها از نظر ایمنی در برابر آتش بررسی شده و اصلاحات لازم روی آنها صورت گیرد.

– آتش از طریق دریچه واحد وقوع حریق، وارد سقف کاذب و از آن طریق وارد واحدهای مختلف و باعث پیشروی آتش در طبقه دهم شده است. این امر نشان دهنده اهمیت ادامه دادن دیوارها تا سقف سازه ای و آتش بند کردن لوله ها و تاسیسات می‌باشد که در ویرایش جدید مبحث سوم مورد توجه قرار گرفته است.

– آتش بعد از خروج از واحد نسترن به علت عدم وجود دوربند پلکان و شفت ایمن، از طریق شفت‌های باز عمودی شامل، پلکان، آسانسور و اتاق تاسیسات به طبقات بالا پیشروی می‌کند، با توجه به هندسه ساختمان در صورت ایجاد یک شفت ایمن آتش به این سرعت پیشروی نمی‌کرد [11].

– آتش ابتدا از شفت‌های باز وارد طبقات ۱۱ و ۱۵ وهمچمین از طریق پنجره بالای واحد نسترن وارد طبقه ۱۲ می‌شود. به علت عدم وجود درهای مقاوم در برابر آتش برای واحدها، آتش به سرعت در واحدهای مختلف گسترش یافته است.

– مدل نشان داد که بیشینه دما در طبقه یازدهم رخ داده و برای شکست سازه‌ای مستعد بوده است.

علائم اختصاری

چگالی آزمونه (kg/m^3): ρ، ضخامت آزمونه (mm): t، زمان افروزش (s): TTI، زمان خاموشی شعله (s): FO، متوسط جرم اولیه آزمونه (g): m_i، حداکثر شدت رهایش گرما (kW/m^2): PRHR، زمان رسیدن به بیشینه شدت رهایش گرما (s): T PRHR، میانگین شدت رهایش گرما (kW/m^2): Av. RHR، و کل رهایش گرما (MJ/m^2) THR:

تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب مطالعات هیأت ویژه ریاست جمهوری برای بررسی حادثه ساختمان پلاسکو انجام شده است. مطالعات آزمایشگاهی و مدل‌سازی در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام گرفت. همچنین از همکاری‌های خانم‌ها مهندس زهرا درودیانی، لیلا تقی اکبری و الهام عسگری قدردانی می‌شود.

1 - Required Safe Egress Time

www.SID.ir

Archive of SID

References مراجع

[1] National Report of special investigation group on Plasco fire incident. Report of the Structural Committee, 1396 (In Persian).

[2] Part 3 of the national building regulations of Iran, 3rd edition, 1395 (In Persian).

[3] ISIRI 8299-1, Fire classification of construction products and building elements, using test data from reaction to fire tests, 1384. (In Persian)

[4] Bakhtiari, S., Ghasemzadeh, M. "National Project for standardization and classification of fire hazard of building materials". National Council of Scient. Res., 1380 (In Persian)

[5] Bakhtiari, S., Taghi-Akbari, L., Jamali Ashtiani, M. "Experimental study of fire risk and correlation of fire risk parameters for a number of polymer building materials". J. of Omran Modares, Volume 13, Issue 5, Winter 1392, pp. 29-40. (In Persian))

[6] Investigation on fire properties of ten building materials and simulation of their fire hazard using fire models. BHRC Publications, No. R-680, 1392. (In Persian)

[7] National report of special investigation group on Plasco fire incident, 1396 (In Persian).

[8] British Standards Institution, PD 7974-1:2003, Application of fire safety Engineering principles to the design of buildings - Part 1. London: British Standards Institution, 2003.

[9] B. Karlsson and J.G. Quintiere, Enclosure fire dynamics. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2000, pp. 39-43 .

[10] Lunds University. “Selecting design fires”, Dep. of Fire Safety Eng. and Systems Safety, Report 7032 Lund, Sweden, 2010

[11] Bakhtiyari, S., Jamali Ashtiani, M., Ghasemzadeh, M., “Design of fire exits of apartment buildings: Regulations, computer modeling and proposed guidelines”. BHRC Publications, No. R-786, 2017 (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Heat release rate of materials and fire modelling of Plasco building's incident

Saeed Bakhtiyari*[1], Masoud Jamali Ashtiani[2]

1. Fire Research Department, Building & Housing Research Center (BHRC), P.O. Box: 13145/1696, Tehran, Iran
2. Fire department, BHRC, Tehran, Iran

***bakhtiyari@bhrc.ac.ir**

Abstract

At about 8.00 am of 20th December 2015, a fire started in a shop in Plasco building, located in center of Tehran, which at the end resulted in catastrophic collapse of the building and claimed the lives of 22 fire fighters and other people. According to the findings of the investigations, the main reason of ignition was non-permitted extension of cablings in the shop of the scene; for use of electrical heating devices. Plasco building was constructed before compiling of national building codes of Iran; hence fire safety rules were not properly implemented in the design of the building. In the other hand, the national building codes of Iran consists only the requirements for the new buildings and approximately no regulation has been pointed there for existing buildings. The incident was an alarm to the general public and accounted organizations that there might be many other buildings like Plasco in the large cities, which are threatening the safety of the users and the city. Therefore a national committee was appointed to investigate the different aspects of the incident and offers the solutions and measures which should be taken to prevent the similar experiences in the future.The fire safety problems of the building were investigated. Some important shortages were as follows: high fire load in the building, especially because of high content of flammable textiles and clothes, open stairways without a protected shaft, open connection between false ceilings of all shops and corridors in the stories, lack of fire resistant shafts of mechanical installations between floors, lack of fire protection of steel structure, lack of any fire detection and automatic sprinkler in the building. The existing hose-reels didn't have a regular maintenance and hence they could not be properly used by fire fighting forces. The Plasco was collapsed after about three and half hours of the ignition. Therefore the question was arisen how was the scenario of the fire growth and temperature rise in the building. Different tests were carried out on the sample materials taken from the debris of the building. The place of the building and depot of debris was visited by different special teams. Steel, concrete and other materials, which some of them were molten due to high temperature, was taken for further experimental works. Physical, mechanical, XRD/XRF, petrography and other tests have been carried out, from them only heat release test is discussing in this paper. The results showed high amount of HRR of the burned textile specimen. There were more than 580 mercantile units in Plasco, which most of them were clothing shops or related works. This high content of the textiles and clothing created a high fuel load in the building. A fire modeling was carried out using FDS software and showed how the flames could be raised through windows, shafts and stairways to upper floors. The temperature rise was also investigated by the model. The results showed that the temperature rise, especially in floors 10 and 11 was suit for collapse of structural elements which was widely discussed in report of structure committee.

Keywords: Plasco building, fire modeling, building regulation, cone calorimeter, heat release rate

www.SID.ir