



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

بررسی پارامترهای آتش برای ده مصالح ساختمانی و تحلیل خطر حریق با نرم افزارهای شبیه سازی آتش

دکتر سعید بختیاری

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی)

مهندس مسعود جمالی آشتیانی

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی)

لیلا تقی اکبری

مهندس زهرا درودیانی

الهام عسکری مقدم

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: گ - ۶۸۰

چاپ اول: ۱۳۹۲

عنوان و نام پدیدآور	: بررسی پارامترهای آتش برای ده مصالح ساختمانی و تحلیل خطر حریق با نرم افزارهای شبیه سازی آتش سمید بختیاری... (و دیگران).
مشخصات نشر	: تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۲۰۰ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. گزارش تحقیقاتی؛ شماره نشر گ-۶۸۰.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۵۳۹۲-۷۹-۱
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: [مولفان] سمید بختیاری، مسعود جمالی، لیلا تقی اکبری، زهرا درودیانی، الهام عسکری مقدم.
یادداشت	: کتابنامه
موضوع	: مصالح ساختمانی -- خواص حرارتی -- آزمایش
موضوع	: آتش سوزی -- پیشگیری
موضوع	: آتش سوزی -- پیش بینی های ایمنی
شناسه افزوده	: بختیاری، سمید، ۱۳۴۶-
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱/ب۴-۹۲/TH۱
رده بندی دیویی	: ۶۲۰/۱۱۲۹۶
شماره کتابخانه ملی	: ۳۱۶۹۳۴۶
مصبوبه شماره ۹۲/۶۳ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بررسی پارامترهای آتش برای ده مصالح ساختمانی و تحلیل خطر حریق با نرم افزارهای شبیه سازی آتش

دکتر سعید بختیاری، مهندس مسعود جمالی آشتیانی، لیلا تقی اکبری،

مهندس زهرا درودیانی، الهام عسکری مقدم

شماره نشر: گ-۶۸۰ چاپ اول: ۱۳۹۲

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بها: ۳۵۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مسئولیت صحت دیدگاه های علمی بر عهده نگارندگان محترم می باشد

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران، بزرگراه فضل ل نور، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی،

خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

http://www.bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی:

president@bhrc.ac.ir پست الکترونیکی:

ISBN: 978-600-5392-79-1

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۳۹۲-۷۹-۱

آتش‌سوزی حادثه‌ای ناگوار است که همواره احتمال وقوع آن در ساختمان‌ها وجود دارد. هر سال عده‌ای از شهروندان بر اثر آتش‌سوزی در ساختمان‌ها جان خود را از دست داده یا دچار جراحاتی می‌شوند. همچنین میلیاردها تومان از سرمایه‌های کشور بر اثر حریق از بین می‌رود. این در حالی است که تحلیل‌های دقیق بر روی آمار آتش‌سوزی در ایران موجود نیست. به عنوان مثال تعداد معلولیت‌های دائمی، آمار موقعیت‌های شغلی که به علت آتش‌سوزی از دست رفته و یا تعداد خانواده‌هایی که دچار آسیب‌های شدید اقتصادی شده‌اند، مسائلی هستند که اطلاعی از آنها موجود نیست و از هر دو بعد انسانی و اجتماعی حائز اهمیت هستند. خسارت‌های غیر مستقیم مانند هزینه‌های بازسازی، خرید مجدد تجهیزات، از بین رفتن اسناد و مدارک، توقف چرخه فعالیت‌های اقتصادی و موارد دیگر باعث خسارت‌های مالی بسیار بیشتری از خسارت‌های مستقیم می‌شوند. ابعاد این خسارات با توسعه شهری و صنعتی افزایش می‌یابد، زیرا رشد جمعیت شهری، افزایش ساختمان‌های بلند، توسعه مراکز بزرگ تجمعی، تجاری، صنعتی و انبارها می‌توانند خطر خطر آتش‌سوزی را افزایش دهند. ضمناً با توجه به اینکه اکثر نقاط ایران در یک منطقه خطرناک از نظر وقوع زلزله قرار دارد، خطر وقوع آتش‌سوزی‌های بزرگ پس از زلزله در شهرها زیاد است.

بنابراین محافظت از ساختمان‌ها در برابر آتش از تمام ابعاد انسانی، منافع فردی، اقتصادی و حتی امنیت ملی از ضروری‌ترین نیازها و الزامات در طرح و اجرای ساختمان‌ها است. برای کاهش خسارت‌های ناشی از آتش‌سوزی باید فعالیت‌های مهمی به طور موازی و مکمل صورت گیرد. برای الزامی شدن رعایت ایمنی حریق در ساختمان‌ها باید آیین‌نامه‌ها، مقررات و استانداردهای محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش تدوین شود. تعداد زیادی از مقررات، ضوابط، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای ملی در زمینه آتش توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی با همکاری سازمان‌ها، اساتید و کارشناسان دیگر تهیه شده است. استانداردهای مقاومت در برابر آتش، واکنش در برابر آتش، طبقه بندی مواد در برابر آتش، ویژگی‌های مصالح و سیستم‌های ساختمانی در برابر آتش و ... با محوریت مرکز تهیه شده است.

خوشبختانه و با عنایت خداوند متعال، اولین آزمایشگاه مجهز آتش با دستگاه‌ها و تجهیزات به روز، در مرکز راه‌اندازی شده و پشتوانه مهمی برای مقررات و استانداردهای ملی کشور است. از جمله باید راه‌اندازی آزمایشگاه‌های مهمی مانند آزمون SBI و مقاومت در برابر آتش در مقیاس

متوسط را نام برد که همراه با استانداردهای به روز دنیا پشتوانه خوبی برای صنعت ساختمان کشور و ارتقاء ایمنی جانی و مالی در ساختمان‌ها است.

از نیازهای مهم ایمنی در برابر آتش، وضع مقررات مناسب برای کاربرد مصالح در فضاهای مختلف (مانند فضاهای سکونتی، تجمعی، راه‌پله‌ها و ...) است. همچنین مدل‌سازی حریق در ساختمان‌ها می‌تواند به طراحی بهتر ایمنی در برابر آتش و امتحان سناریوها و تمهیدات مختلف کمک شایانی نماید. این گزارش تحقیقاتی گام بسیار مهم و خوبی در این جهت است.

رفتار چند مصالح ساختمانی رایج در صنعت ساختمان کشور آزمایش و نقش بالقوه آنها در گسترش آتش‌سوزی در ساختمان با نرم‌افزارهای تخصصی بررسی شده است. یک روش جدید برای طبقه‌بندی خطر مواد در برابر آتش با آزمون‌های مقیاس کوچک ارائه شده که می‌تواند در مقررات ملی ساختمان، صنایع، مهندسان مشاور و طراحان برای ارزیابی خواص مواد در برابر آتش مورد استفاده قرار گیرد. نتایج مفیدی در خصوص رفتار مصالح در برابر آتش (از هر دو جنبه تئوری و آزمون تجربی) ارائه شده که امید است مورد توجه و کاربرد مهندسان و طراحان قرار گیرد.

سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

۱	فصل اول: مقدمه
۴	۱-۱ آشنایی با مفاهیم آتش سوزی
۶	۲-۱ موارد قابل پیش بینی مدل های آتش
۶	۱-۲-۱ شدت افروزش و سوختن سوخت های جامد مختلف
۷	۲-۲-۱ گسترش آتش سوزی و پیشروی شعله
۸	۳-۲-۱ دود، فرآورده های سمی و خطر تابش
۸	۴-۲-۱ اطفاء
۸	۵-۲-۱ اثر آتش بر روی سازه ها
۹	۳-۱ انواع اصلی مدل سازی آتش
۱۱	فصل دوم: مرور ادبیات علمی - طبقه بندی مصالح از نظر خطر حریق
۱۱	۱-۲ واکنش در برابر آتش: اصول و روش های طبقه بندی
۱۲	۱-۱-۲ طبقه بندی های مبتنی بر افروزش
۱۴	۲-۱-۲ پیشروی سطحی شعله بر روی مصالح و فرآورده های ساختمانی
۲۰	۳-۱-۲ سیستم های ملی و بین المللی طبقه بندی واکنش در برابر آتش
۲۶	۴-۱-۲ اصول و مفاهیم طبقه بندی در برابر آتش با استفاده از پارامترهای آزمون گوشه اتاق و FIGRA
۳۸	۲-۲ گسترش حریق در اتاق بر روی نازک کاری های دیوار و سقف - تجزیه و تحلیل بر اساس انتقال حرارت
۳۸	۱-۲-۲ تئوری های حرارتی برای پیش بینی زمان افروزش و پیشروی شعله
۳۸	الف- افروزش
۴۳	ب- پیشروی شعله
۴۶	۳-۲ برخی مدل های پیشرفته آتش سوزی اتاق
۴۶	۱-۳-۲ مدل Conetools
۴۸	۲-۳-۲ مدل BRANZFIRE
۵۰	۳-۳-۲ پیش بینی نتایج آزمایشگاهی

۴-۲ مرور بر برخی طبقه‌بندی‌های مهم مواد از نظر خطر آتش‌سوزی..... ۵۰

فصل سوم: مرور ادبیات علمی - مدل‌های ناحیه‌ای و میدانی مهندسی آتش..... ۶۳

۱-۳ مدل‌های ناحیه‌ای آتش‌سوزی در فضای بسته..... ۶۳

۸-۱-۳ محدودیت‌های مدل‌سازی ناحیه‌ای..... ۶۷

۲-۳ مدل‌های میدانی (CFD) برای آتش‌سوزی های فضاهای محصور..... ۶۸

۱-۲-۳ طبقه‌بندی مدل‌های میدانی و دامنه مرور..... ۶۹

۲-۲-۳ مدل‌های میدانی دو معادله‌ای برای توربولانس..... ۷۰

۳-۲-۳ مدل‌سازی توربولانس میدان جریان..... ۷۲

۴-۲-۳ مدل‌سازی احتراق..... ۷۶

۵-۲-۳ شیمی جزئیات..... ۸۰

۶-۲-۳ رفتار تابشی..... ۸۱

۷-۲-۳ تشکیل دوده..... ۸۳

۳-۳ مدل‌سازی اطفاء..... ۸۴

۱-۳-۳ بازبینی مختصر داده‌های آزمایشگاهی..... ۸۴

۲-۳-۳ مدل‌های لاگرانژی - اویلری..... ۸۵

۳-۳-۳ مدل‌های اویلری..... ۸۷

۴-۳ مدل‌سازی آتش پیشرفته..... ۸۸

۱-۴-۳ رویکردهای اصلی برای مدل‌سازی توربولانس..... ۸۸

۲-۴-۳ تکنیک LES و کاربرد آن در مدل‌سازی آتش..... ۸۹

۳-۴-۳ توسعه‌های آتی در مدل‌سازی آتش LES..... ۹۳

۵-۳ بررسی برخی مدل‌های کامپیوتری ناحیه‌ای و منطقه‌ای..... ۹۴

۱-۵-۳ مدل‌های تک ناحیه‌ای..... ۹۴

۲-۵-۳ مدل‌های دو ناحیه‌ای..... ۹۵

۲-۲-۲-۵-۳ مدل FIRM..... ۹۹

۳-۵-۳ مدل‌های میدانی..... ۱۰۱

فصل چهارم: کارهای تجربی (مواد و روش‌های آزمون)..... ۱۰۷

۱-۴ مواد..... ۱۰۷



۲-۴	روش آزمون.....	۱۰۸
۱-۲-۴	تئوری گرماسنجی بر اساس مصرف اکسیژن.....	۱۰۹
۲-۲-۴	معادلات اساسی.....	۱۱۱
فصل پنجم: نتایج و بحث.....		
۱-۵	زمان افروزش و مدت زمان شعله‌وری.....	۱۲۴
۲-۵	شدت رهایش گرما.....	۱۲۶
۳-۵	مقدار کل رهایش گرما.....	۱۲۹
۴-۵	بررسی ارتباط بین پارامترهای آتش.....	۱۳۱
۱-۴-۵	ارتباط بین پارامترهای رهایش گرما با زمان افروزش.....	۱۳۲
۲-۴-۵	ارتباط کل رهایش گرما با حداکثر شدت رهایش گرما.....	۱۳۶
۳-۴-۵	ارتباط بین حداکثر شدت رهایش گرما با میانگین شدت رهایش گرما.....	۱۳۹
۴-۴-۵	ارتباط بین رهایش دود و میانگین شدت رهایش گرما.....	۱۳۹
۵-۵	اثر تراز تابشی.....	۱۴۱
۱-۵-۵	زمان افروزش.....	۱۴۳
۲-۵-۵	شدت رهایش گرما.....	۱۴۳
۶-۵	ارزیابی و دسته‌بندی خطرپذیری آتش‌سوزی.....	۱۴۴
۱-۶-۵	رده‌بندی بر اساس معادله اوستمان و Conetools.....	۱۴۶
۲-۶-۵	ارزیابی خط بر اساس روش پترلا.....	۱۴۷
۳-۸-۵	مقایسه طبقه‌بندی‌های ریچاردسون، مبحث سوم و conetools.....	۱۴۹
۷-۵	کارهای انجام شده بر روی مدل FDS.....	۱۵۲
فصل ششم: خلاصه و نتیجه‌گیری.....		
۱۵۷		
مراجع.....		
۱۶۱		
پیوست‌ها: نتایج کامل آزمون‌های آتش بر روی آزمون‌ها.....		
۱۶۷		

چکیده

ایمینی ساختمان‌ها در برابر آتش موضوع مهمی است که در طراحی و اجرای ساختمان‌ها باید در نظر گرفته شود. آتش‌سوزی می‌تواند باعث خسارات جانی و مالی شدید و حتی ریزش کامل ساختمان شود. در سال‌های اخیر مصالح پلیمری زیادی وارد صنعت ساختمان شده که بسیاری از آنها قابلیت اشتعال بالایی دارند و کاربرد آنها در ساختمان می‌تواند خطرناک باشد. بنابراین رفتار این مواد در برابر آتش باید به وسیله آزمایش‌های آتش تعیین و طبقه‌بندی شود. همچنین لازم است تا با وضع مقررات ساختمانی مناسب، از کاربرد مصالح خطرناک در ساختمان و یا در فضاهایی که به ایمنی بیشتری نیاز است (مانند فضاهای تجمعی و راه پله‌ها) جلوگیری شود. همچنین مدل‌سازی حریق در ساختمان‌ها می‌تواند به طراحی بهتر ایمنی در برابر آتش و امتحان سناریوها و تمهیدات مختلف کمک شایانی نماید. امروزه کاربرد این مدل‌ها در دنیا در حال افزایش است و نرم‌افزارهای تخصصی به وسیله مراکز تحقیقاتی توسعه یافته‌اند. در این گزارش، ابتدا مرور نسبتاً کاملی بر روش‌های طبقه‌بندی مصالح از نظر خطر حریق ارائه شده است. مطالب تئوری مربوط به مدل‌های ناحیه‌ای و میدانی آتش بررسی و ارائه شده است. مبانی نظری و معادلات ریاضی حاکم بر این روش‌ها ارائه شده است. مدل‌های ناحیه‌ای و میدانی موجود در مهندسی آتش بررسی و مرور گردید. کاربرد نرم‌افزارهای منتخب و قابلیت‌های آنها بررسی شد.

رفتار ده مصالح ساختمانی رایج و جدید پلیمری در برابر آتش به وسیله گرماسنج مخروطی در تابش 50 kW/m^2 آزمایش شد. پارامترهای حرارتی آتش ناشی از سوختن مواد، با هدف تحلیل خطر آنها در گسترش آتش‌سوزی ارائه و بحث شده است. خطر مواد در آتش‌سوزی به وسیله روش‌های ارائه شده توسط محققین مختلف و نرم‌افزار Conetools بررسی و بحث شد. اکثر مواد بررسی شده، رفتار خطرناکی در برابر آتش داشتند. خصوصاً نمونه‌های اپوکسی، HDF، MDF و پلی‌کربنات بسیار خطرناک نشان دادند. نتایج نشان داد که پارامترهای زمان افروزش، شدت رهائش گرما و کل رهائش گرما مهم‌ترین مشخصات آتش مواد برای تعیین خطر آنها در گسترش آتش‌سوزی هستند. زمان افروزش بر روی زمان وقوع گرگرفتگی در اتاق و سرعت پیشروی سطحی شعله بر روی نازک‌کاری‌ها تأثیر مهمی دارد و نادیده گرفتن آن می‌تواند به پیش‌بینی اشتباه خطر مواد در گسترش آتش‌سوزی منجر شود. یک روش جدید برای طبقه‌بندی خطر مواد در برابر آتش تهیه شد که می‌تواند در مقررات ملی ساختمان برای ارزیابی خواص مواد در برابر آتش مورد استفاده قرار گیرد.