

مدعی خواست که از بیخ کند ریشه ما غافل از آنکه خدا هست در اندیشه ما

مقدمه

طراحی سازه های مقاوم در برابر آتش، با دو رویکرد عمده انجام می گیرد:

- رویکرد مهندسی ایمنی آتش (Fire Safety Engineering)

- رویکرد مهندسی ایمنی سازه ها در آتش (Structural Fire Safety Engineering)

رویکرد اول به منظور ارائه یک راه حل بهینه با توجه به کاربرد تدابیر پیشگیرانه و حفاظتی برای کاهش تلفات جانی و خسارات مالی، انجام می شود. رویکرد دوم برای پیش بینی رفتار سازه ای یک عضو منفرد و نیز رفتار کل سازه تحت شرایط آتش سوزی ، تعیین مدت زمان پیش از فروریزش سازه و دمای بحرانی با حداکثر دقت به کار می رود . رویکرد مهندسی ایمنی سازه ها در آتش، یک بحث نسبتاً جدید بوده و تنها در چند دهه گذشته توسعه یافته است. پیش بینی رفتار سازه تحت تاثیر آتش، برای کل سازه، کار پیچیده ای می باشد. حمله تروریستی 11 سپتامبر با توجه به نتایج مخربی که در برداشت انگیزه بیشتری را برای انجام چنین مطالعاتی در سطح جامعه جهانی ایجاد کرده است .

تحلیل آتش بر مبنای رویکرد مهندسی ایمنی سازه ها در آتش جامع و فراگیر بوده و با دقت بیشتری رفتار سازه ای مصالح در معرض گرم شدگی را پیش بینی می کند. حوادث آتش سوزی عموماً به شدت در نواحی کوچکی از ساختمان ، متمرکز شده و آن قسمت را تحت تاثیر قرار می دهند. بر مبنای رویکرد مهندسی ایمنی سازه ها در آتش می توان ساختمان ها را به صورت سازه های نامعین به نحوی طراحی نمود که وقتی یک عضو به سبب آتش سوزی گسیخته می شود امکان به اشتراک گذاری و توزیع بارها در المان های سخت تر و قوی تر در ناحیه سرد وجود داشته باشد. در چنین ساختمان هایی، گسیختگی را نباید تحت عنوان از دست دادن ظرفیت باربری یا تغییر شکل بیش از حد هر عضو منفرد تعریف کرد؛ چرا که بارها می توانند توسط سایر اعضا تحمل شوند. بنابراین حفاظت اعضای سازه ای در برابر آتش می تواند کاهش یابد. این امر باعث صرفه جویی قابل توجه در هزینه مصالح می گردد.

امروزه، رویکرد مهندسی سازه به کار رفته در طراحی ایمنی در برابر آتش، عموماً مبتنی بر برنامه های کامپیوتری کاربرپسند است. طراحی می تواند در زمان کمتر و با هزینه کمتر انجام شود. برنامه های کامپیوتری می توانند جنبه های مختلف رفتار سازه را لحاظ کرده و طراحی

ایمنی سازه در برابر آتش را منعطف تر و اقتصادی تر نمایند. ارزیابی چنین رفتاری با استفاده از رویکرد طراحی آتش خالص، بسیار دشوار یا غیر ممکن است. در این کتاب سعی شده تا کلیاتی از دینامیک آتش در سازه ها، اثرات دماهای بالا بر رفتار انواع مصالح شامل فولاد، بتن، چوب و ... و همچنین طراحی انواع سازه های فولادی، بتنی و چوبی در آتش ارائه شود. مطالب این کتاب به منظور آشنایی با مفهوم آتش و طراحی سازه های ایمن در برابر آتش مفید می باشد ولیکن به منظور کسب اطلاعات جامع در خصوص هر کدام از موضوعات ارائه شده در کتاب مطالعات تکمیلی در آن حوزه لازم و ضروری است.

با تشکر

پاییز 1391

مولفین

, Yahyai@kntu.ac.ir Amir_saedi_d@yahoo.com

	فهرست
1	علائم
	فصل اول
25	مهندسی ایمنی در برابر آتش
	فصل دوم
41	فلسفه طراحی
	فصل سوم
55	روش توصیه شده
	فصل چهارم
75	رفتار آتش سوزی های طبیعی
	فصل پنجم
113	مشخصات مصالح در دماهای بالا
	فصل ششم
187	روش محاسبه
	فصل هفتم
215	طراحی المان های بتنی
	فصل هشتم
257	طراحی المان های فولادی

فصل نهم

309 سازه های مرکب

فصل دهم

337 طراحی المان های چوبی

فصل یازدهم

359 مصالح بنایی ، آلومینیوم ، پلاستیک ها و شیشه

فصل دوازدهم

367 قاب ها

فصل سیزدهم

389 ارزیابی و تعمیر سازه های آسیب دیده در آتش سوزی

1- مهندسی ایمنی در برابر آتش

قبل از پرداختن به مبانی موضوع مهندسی ایمنی در برابر آتش و بررسی تأثیرات آن بر کل برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت سازه‌ها، لازم به نظر می‌رسد که تعریفی از آن ارائه شود. تاکنون تعریف دقیقی برای «مهندسی ایمنی در برابر آتش» وجود نداشته است، با این حال تعریف ذیل قابل قبول می‌باشد:

مهندسی ایمنی در برابر آتش عبارت است از به کار بستن اصول علمی و مهندسی بر اثرات آتش به منظور کاهش خسارات جانی و مالی با استفاده از اندازه‌گیری خطرات موجود و ارائه‌ی راهکاری بهینه به منظور ایجاد تدابیر حفاظتی و پیشگیرانه.

مفاهیم مهندسی ایمنی در برابر آتش در هر موقعیتی که آتش‌سوزی خطری بالقوه تلقی می‌شود، کاربرد دارند. گرچه این کتاب بیشتر در مورد ساخت سازه‌ها نوشته شده است، اما می‌توان از اصولی مشابه، برای تاسیسات نفتی و گازی و یا سایر سازه‌ها مانند پل‌های بزرگراه نیز استفاده کرد. در تاسیسات نفتی و گازی بیشتر خطرات به گسترش سریع آتش و در نتیجه سرعت بالای افزایش دما مربوط می‌شود. این مسئله با در نظر گرفتن آزمایش پاسخ مواد تحت رژیم‌های گرمایی به غیر از آن دسته که مرتبط با آتش‌سوزی‌های سلولزیکی متداول می‌باشند، تشخیص داده شده است. با این وجود، روش‌های طراحی مورد استفاده، مشابه روش‌هایی هستند که در شرایط آتش‌سوزی‌های سلولزیکی رایج، استفاده می‌شوند.

هر سازه‌ی غیر ساختمانی می‌تواند خطر خسارت آتش‌سوزی را به همراه داشته باشد. اما به دلیل اینکه این خطر فوق‌العاده ناچیز است، معمولاً می‌توان از این احتمال صرف نظر کرد. با این حال، در مواردی مثل پل‌های بزرگراه که ممکن است از روی آن تانکری با محموله‌ی مواد اشتعال‌زا مانند بنزین عبور کند، این احتمال وجود دارد که تانکر با بخش سازه‌ی نگه‌دارنده‌ی پل تصادف کند. در این شرایط خسارت وارده از آتش‌سوزی می‌تواند بزرگ باشد و حتی منجر به تعویض سازه‌ی اصلی شود (Anon, 1990؛ Robbins, 1991).

بیشترین محدوده‌ی خطر خسارات آتش‌سوزی به خانه‌های یک یا دو طبقه مربوط است که عموماً به روش‌های پیچیده‌ی طراحی نیازی ندارند. در این ساختمان‌ها، مشکل، فرو ریختن سازه‌ی نیست، بلکه انتشار دود و گازهای سمی و در نتیجه عدم توانایی ساکنین برای فرار است (Malhotra, 1987).

در محدوده‌ی زمانی بزرگی در انگلستان، به استثنای سال‌های بین 1939-1945 (دوران جنگ جهانی دوم) گزارش‌های بسیار کمی از مرگ و میر سکنه به علت فروریختن ساختمان در آتش‌سوزی موجود است. با این حال موارد ناموفقی از گیر افتادن آتش‌نشان‌ها در میان ساختمان فروریخته وجود دارد که آنها هم پس از تخلیه‌ی ساختمان از سکنه به وقوع پیوسته است. این نرخ نسبتاً کم مرگ و میر ناشی از فرو ریختن ساختمان، به این معنی نیست که یکپارچگی سازه (پاسخ باربری سازه) مسأله‌ی مهمی نمی‌باشد، اما شاهده‌ی بر این مدعاست که طراحی سازه‌ی، جزئیات و اجرا در آن بازه‌ی زمانی مناسب بوده است. پیش از این اشاره شد که علت اصلی مرگ و میر خفگی می‌باشد، یعنی خفه شدن با دود و گاز، یا گیر افتادن و راه فرار نداشتن و در نتیجه در معرض اثرات ناشی از حرارت قرار گرفتن. بنابراین در نظر گرفتن تمامی مسائلی که در حفظ جان انسان‌ها اثرگذار است، در سازه‌ی که تحت آتش‌سوزی قرار گرفته، بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

1-1- اهداف طراحی

المان‌های موجود در نظام مهندسی ایمنی در برابر آتش می‌توانند به آسانی از لحاظ ارتباط با ایمنی جانی و مالی مشخص شوند. این حوزه‌ها، کاملاً از هم جدا نیستند، چرا که اقداماتی که برای افزایش ایمنی جانی انجام می‌شوند، می‌توانند افزایش ایمنی اموال را نیز در بر داشته باشند.

حوزه‌های کلیدی به صورت زیر مشخص می‌شوند:

(1) کنترل اشتعال

این مساله را می‌توان با کنترل قابلیت اشتعال مواد موجود در سازه، نگهداری و تعمیر اسکلت و روسازی ساختمان و یا با مدیریت ایمنی آتش، که شامل وضع قوانین منع سیگار کشیدن یا ایجاد شعله‌های روباز می‌باشد، محقق نمود.

(2) کنترل راه‌های فرار

این مساله را می‌توان هم با وضع الزامات قانونی جهت تهیه امکانات مناسب فرار و هم با آموزش به ساکنین محقق نمود.

(3) کشف

این بخش شامل استفاده از روش‌هایی است که از طریق آن، آتش ترجیحا در ابتدایی‌ترین مرحله‌ی ممکن کشف می‌شود.

(4) کنترل گسترش آتش

در این بخش، دغدغه‌ی اصلی، گسترش آتش چه در داخل ساختمان و چه در ساختمان‌های مجاور می‌باشد. این کنترل هم از مشخصه‌های درونی ساختمان (نظیر ایجاد محفظه ضدآتش یا کمپارتمنت) یا کنترل فاصله بین ساختمان‌ها و هم از ابزارهای مکانیکی (نظیر هواکش، پرده‌ی دود یا آب‌پاش‌ها) اثر می‌پذیرد.

(5) جلوگیری از فرو ریختن ساختمان

این مورد، اعمال ظرفیت باربری و حفظ یکپارچگی همه یا بخشی از سازه را در طول آتش‌سوزی پوشش می‌دهد.

حال هر کدام از این موارد را به تفصیل مورد بررسی قرار می‌دهیم.

1-1-1- کنترل اشتعال

این بخش را در سه زیر مجموعه مورد بررسی قرار می‌دهیم. در دو بخش اول به بررسی موضوع گسترش شعله پرداخته می‌شود و در بخش سوم به موضوع مدیریت و نگهداری سازه. اشتعال با مکانیزم‌های مختلفی می‌تواند اتفاق بیفتد. به طور کلی، این مکانیزم‌ها تصادفی هستند، مانند ته سیگارهای روشن، اتصالی وسایل الکتریکی یا بیش از حد گرم شدن دستگاه‌های مکانیکی یا الکتریکی. با این حال، نمی‌توان از آتش زنی و کارهای عمدی هم چشم‌پوشی کرد.

1-1-1-1- کنترل قابلیت اشتعال

موارد زیادی وجود داشته است که به علت نوع نامناسب روکاری‌های یک سازه، گسترش آتش‌سوزی به سرعت صورت گرفته است. بنابراین تمام موادی که در روکاری‌های هر بخشی از سازه به کار می‌روند باید به گونه‌ای باشند که گسترش شعله و قابلیت اشتعال را محدود کنند.

این مسئله به طور کلی با وضع آزمایش‌هایی روی قابلیت اشتعال یا میزان گسترش شعله با استفاده از استانداردهای داخلی و یا بین‌المللی محقق می‌شود. مانند بخش‌های مربوط به استاندارد آزمایش آتش در انگلستان (BS 476: بخش‌های 3، 6 و 7 و یا استانداردهای اروپایی معادل آنها).

همچنین حصول اطمینان از این مسئله که مصالح مورد استفاده در بخش‌های مختلف سازه موجب کاهش خطر می‌شوند، ضروری به نظر می‌رسد. مسلماً اصرار ورزیدن بر اینکه بخش‌های هر سازه هیچ سهمی در آتش‌سوزی سازه نداشته باشند، کاملاً غیر عملی است، اما ضروری است که این بخش‌ها کمترین خطر ممکن را تولید کنند. این بدین معناست که اندودهای سطحی نباید به سادگی مشتعل شوند. همچنین از آنجا که در آتش‌سوزی‌های اخیر در بریتانیا، مواردی از آتش‌سوزی در خانه‌هایی که در میلمان آنها از فوم استفاده شده مشاهده شد، استفاده از فوم‌هایی که در هنگام آتش‌سوزی به میزان بسیار زیادی گاز سمی تولید می‌کنند، باید ممنوع شود. این آتش‌سوزی‌ها باعث شده است که قانون، استفاده از این فوم‌ها را کنترل کند.

1-1-1-2- کنترل گسترش آتش

یک روش کلاسیک کنترل گسترش آتش استفاده از محفظه‌های ضدآتش افقی و عمودی است. با این حال، عملکرد این محفظه‌ها تنها تحت شرایطی که هیچ راهی برای گسترش دود و شعله به مرزهای آنها وجود نداشته باشد، رضایت بخش است. در صورتی که مرز آتش اصلی نتواند به دلیل رج بندی نامطلوب نسبت به اتاق منبع آتش، آن را فرا بگیرد، آتش می‌تواند در داخل یک اتاق یا یک محفظه ضدآتش خارج از آن نیز گسترش یابد (Hopkins, 1984). مورد جدیدتر گسترش آتش که علت آن فقدان متوقف‌کننده‌های آتش پس از تعویض نمای اصلی بود، آتش‌سوزی در برج Tore Windsor در مادرید است (Dowling, 2005؛ Redfern, 2005؛ Pope, 2006). البته در مورد یاد شده، مشکلات دیگری هم وجود داشت. به عنوان مثال شروع اطفاء حریق توسط آتش نشان‌ها بیش از حد معمول به طول انجامید و ستون‌های فولادی بالاتر از طبقه‌ی هدف‌هم، در برابر آتش محافظت نشده بودند (Arup, 2005).

مشکل دیگری که ممکن است اتفاق بیفتد، این است که گرچه مرزهای محفظه ضدآتش مورد نظر در زمان تکمیل بخش عمرانی (سازه ای) از مراحل ساخت به درستی نصب شده اند، نصب تاسیسات می‌تواند هم باعث تخریب این آتش‌بر شود و هم این که این آتش‌بر را با استانداردهای مطلوب تعویض نکند. این شرایط زمانی اتفاق می‌افتد که پس از ساخت سازه اصلاحاتی انجام می‌شود، مانند هنگامی که کاربری ساختمان قرار است عوض شود یا تاسیسات موجود در حال تعمیر و یا تعویض می‌باشند.

عدم پاکسازی زباله‌های سوختنی انباشته شده ممکن است باعث بروز مشکلاتی شوند. این زباله‌ها هم می‌توانند توسط آتش مشتعل شوند، مانند آنچه که در Bradford اتفاق افتاد (Anon, 1985, 1986) یا می‌توانند به تدریج با گسترش بسیار کند آتش، باعث ایجاد آتش خفه شوند (Anon, 1987, 1988). چنین مشکلاتی می‌توانند با اطمینان از استقرار خط مشی مدیریت موثر ایمنی آتش، کاهش یابد.

1-1-1-3- مدیریت ایمنی آتش

در اماکن مسکونی کوچک، وضع کردن دستورالعمل‌هایی برای حصول اطمینان از اینکه در شرایط آتش‌سوزی، همه‌ی افراد از اقدامات مناسب آگاه هستند و افراد مناسبی به عنوان راهنما وجود دارند که ماموران آتش‌نشانی را هدایت کنند، نسبتاً کار ساده‌ای است. در اماکن بزرگ‌تر به خصوص مناطقی که افراد درون آنها مکرراً عوض می‌شوند و انتقال جمعیت در آنها زیاد است، مانند فروشگاه‌ها، کار بسیار دشوارتر است و بنابراین لازم است که صاحبان این اماکن، که معمولاً اشخاص حقوقی هستند، یک استراتژی مدیریت ایمنی آتش ایجاد کنند و اطمینان حاصل نمایند که در همه‌ی شرایط، گروهی مسئول وجود دارد که به هنگام آتش‌سوزی کنترل کاملی روی ماجرا داشته باشند. توجه شود که این عملیات را کارکنان معمولی آن محل که هر روز در آنجا کار می‌کنند نیز می‌توانند به عهده بگیرند؛ فقط باید کاملاً آموزش دیده باشند. همچنین لازم است که آمار کاملی از کشف آتش، کنترل آتش و سیستم‌های اطفاء حریق ثبت و ضبط شود. به علاوه همواره باید کنترل کاملی از افرادی که در آن محل هستند به عمل آید تا مبدا کسی با انجام عملی باعث از کار افتادن سیستم‌ها شود. در ضمن لازم است که در مکان‌هایی که از مهندسی ایمنی آتش در طراحی ساختمان استفاده شده است، سیستم‌ها همیشه کارایی خود را حفظ کنند و هرگز نباید به دلیل مسائل مالی، با مسئله‌ی ایمنی آتش مصالحه کرد!

2-1-1- راه‌های فرار

به طور کلی الزامات قانونی جهت وجود راه‌های فرار در تمام سازه‌ها به غیر از ساختمان‌های یک طبقه‌ی ساده وجود دارد. این الزامات بر اساس مفهوم طولانی‌ترین راه فرار تا یک نقطه‌ی امن ایجاد می‌شوند، مانند درهای خروج اضطراری آتش‌سوزی و یا نردبان‌های فرار از آتش. طول ماکزیمم با توجه به نوع کاربری و همچنین روش فرار به دست می‌آید، چه در طول یک راهرو و چه از طریق محفظه ضدآتش. برای سازه‌های چند طبقه می‌توان از ایده‌ی تخلیه مرحله به مرحله استفاده کرد که در آن ابتدا تنها تعداد محدودی از طبقات که نزدیک ناحیه‌ی آتش گرفته هستند، تخلیه می‌شوند و طبقات دیگر در صورت لزوم، طی مراحل بعدی تخلیه می‌شوند.

الزامات دیگری برای تعداد راه‌های فرار و ابعاد آنها وجود دارد. این الزامات تابع نوع ساختمان، تعداد افرادی که در هر زمان ممکن است در ساختمان حضور داشته باشند و پتانسیل حرکتی آن افراد می‌باشد. اندازه‌ی راه‌های فرار باید به گونه‌ای باشد که تخلیه‌ی کامل افراد از محفظه‌ی ضدآتش به ناحیه‌ی امن و یا به خارج از ساختمان، در زمانی حدود 2/5 دقیقه صورت گیرد، به طوری که سرعت مبنا روی راه پله‌های فرار حدود 150 نفر در دقیقه در 1 متر از عرض باشد. همچنین باید توجه شود که پله‌ها در عرض‌های مشخصی ساخته می‌شوند و دو برابر کردن عرض پله باعث دو برابر شدن توان عملیاتی تخلیه نمی‌شود چرا که هر فرد فضای مشخصی را اشغال می‌کند و همچنین عرض‌های مینیمم هم باید مشخص شوند. مواردی که در بالا گفته شد، برای حالتی بود که سکنه‌ی ساختمان افراد سالم و توانمندی هستند، اما باید شرایطی را هم که احتمال وجود تعدادی افراد معلول در ساختمان می‌رود، مد نظر قرار داد (Shield, 1993).

حوادث تاریخی که بر ضرورت ایجاب الزامات برای ایجاد راه‌های فرار و تخلیه صحنه می‌گذارند، در Morris و Read (1993) موجود است. این الزامات پس از یک سری آتش‌سوزی‌های فجیع که در یک دوره‌ی حدود 50 ساله به وقوع پیوستند، وضع شدند. این دوره از سال 1881 شروع می‌شود، زمانی که آتش‌سوزی در یک سالن تئاتر در وین منجر به کشته شدن حدود 450 نفر شد، و به سال 1931 ختم می‌شود که در آن سال آتش‌سوزی کاونتری (Coventry) به وقوع پیوست. بیشتر اتفاقات گذشته که زمینه‌ساز قانونگذاری درباره این الزامات در انگلستان شده است در «گزارش وزارت کار» (Ministry of Works Report) (1952) آمده است که بر اساس قواعد بین‌المللی حال حاضر نوشته شده است.

همه‌ی راه‌های فرار باید با مواد غیر مشتعل و موادی که گازهای سمی تولید نمی‌کنند، پوشش داده شوند. به علاوه باید توجه شود که آن دسته از درهایی که رو به راه‌های فرار باز می‌شوند، می

توانند مقاومتی کمتر از مقاومت خود سازه در برابر آتش داشته باشند چرا که کاربری آنها فقط در مراحل اولیه آتش‌سوزی است که دغدغه‌ی اصلی خالی کردن ساختمان از سکنه است، نه پایداری سازه‌ای. باید توجه شود که باز نگه داشتن درهای خروج حتی با استفاده از آتش خاموش‌کن‌ها، کاملاً غیر موثر است!

این مسئله بسیار تاسف بر انگیز است که در موارد زیادی، علی‌رغم وجود درهای فرار کافی، این درها کارایی خود را به دلیل نگهداری نادرست عملاً از دست داده‌اند، چرا که در آن زمان قفل بوده و امکان باز کردن آنها وجود نداشته است. نمونه‌هایی از این مسئله در سامرلند (Anon, 1973) و آتش‌سوزی دیسکوی دوبلین (Stardust) (Anon, 1983) اتفاق افتاده است.

این مسئله بسیار مهم است که سکنه‌ی یک ساختمان نسبت به واکنش در برابر علایم هر نوع آتشی آگاه باشند. در محیط‌های خانگی که سکنه با محیط آشنا هستند، عکس‌العمل آنها در مقایسه با شرایطی که با محیط ناآشنا هستند، سریع‌تر است. هنوز مسائل بسیار زیادی وجود دارد که باید در مورد رفتار انسان در شرایط آتش‌سوزی دانست (Canter, 1985, Proulx, 1994). هر سیستم هشدار دهنده، به اصطلاح باید «کاربرپسند» باشد، یعنی استفاده از آن برای کاربر آسان باشد. هنوز به طور دقیق مشخص نشده است که آژیرها و زنگ‌های خطر بهتر است توسط ساختمان‌های پخش، به صدا در آیند یا روی بهترین راه‌های خروجی با علایم گرافیکی مشخص شوند. به هر حال در هر موردی، لازم است که راه‌های فرار به هنگام خطر با چراغ‌های اضطراری که در سیستم خود آنها نصب شده است، روشن شوند و همه‌ی علایم هشدار هم باید با انرژی‌های ذخیره‌ی اضطراری، به کار بیفتند.

مواردی وجود دارد که در آنها، افراد برای ادامه دادن به کاری که مشغول آن بوده‌اند، نسبت به علایم هشدار بی‌توجهی کرده‌اند. به عنوان مثال افرادی که در یک رستوران بوده‌اند و ترجیح داده‌اند که به خوردن غذایی که بابت آن پول پرداخت کرده‌اند ادامه دهند و نسبت به دودی که تدریجاً موجب خفگی آنها شده است، بی‌توجه بوده‌اند. شواهد حاکی از آن است که افراد معمولاً تا جایی که ممکن است به گونه‌ای رفتار می‌کنند که انگار اصلاً آتش و یا علامت هشدار دهنده‌ای وجود ندارد (Proulx, 1994).

برای صاحبان و کسانی که مجموعه‌ی ساختمانی را اجاره کرده‌اند، باید دوره‌های آموزشی لازم گذاشته شود. این دوره‌ی آموزشی باید باعث ایجاد سیاست‌های مناسب مدیریت ایمنی در برابر آتش می‌شود. در ساختمان‌هایی که می‌توان افراد و سکنه‌ی آن را تحت کنترل داشت، بخشی از این دوره‌ی آموزشی می‌تواند شامل دوره‌های تمرینی باشد. این تمرین‌ها باید به صورت ناگهانی بوده و زمان این مانورها از پیش تعیین نشده باشد، چرا که با توجه به تجربه‌ی نویسنده، وقتی زمان این مانورها از پیش

تعیین شده باشد، تمرین عملا اثر خود را از دست می‌دهد. نگارنده همچنین اشاره می‌کند که بعضا در چنین شرایطی، افرادی برای برداشتن وسایلی از دفتر کار خلاف جهت حرکت جمعیت خارج شونده از محل، حرکت می‌کنند و وقتی از آنها درباره‌ی علت این کارشان سوال می‌شود به راحتی می‌گویند که چون این فقط یک مانور بوده است این کار را کردیم!

1-1-3- کشف و کنترل آتش

به منظور اطمینان از ایمنی هنگام تخلیه ساختمان، باید از دسترسی داشتن به ابزارهای لازم جهت کشف و کنترل آتش مطمئن بود. کنترل آتش هم به جهت کاهش تولید دود که تخلیه موثر را افزایش می‌دهد و هم به جهت پایین نگه داشتن دما که موجب کاهش خسارات بعدی می‌شود، نیاز است.

1-1-3-1- کشف آتش

سیستم‌هایی که برای کشف آتش نصب می‌شوند، می‌توانند به صورت دستی، اتوماتیک و یا ترکیبی از هر دو باشند.

1) سیستم‌های دستی

سیستم‌های دستی سیستم‌های نسبتا ساده‌ای هستند؛ مانند پانل‌های شیشه‌ای شکننده‌ی قدیمی که وقتی شکسته می‌شوند، خود به خود سیستم هشدار دهنده‌ی آتش را فعال می‌کنند. اما در هر حال این سیستم‌ها به عکس العمل انسان و اینکه وجود آتش و شدت آن را تشخیص می‌دهد، نیاز دارند. بنابراین کاربری این سیستم‌ها به خصوص در جاهایی که حضور انسان به طور قطع مشخص نیست، محدود است.

2) سیستم‌های اتوماتیک

در این سیستم‌ها حسگرهایی وجود دارند که نسبت به دود یا گرمای اضافی که منتشر شده است، حساس هستند و طرز کار آنها به این صورت است که یا به طور مستقیم سیستم‌های اطفاء حریق را فعال می‌کنند مانند سر زودگداز آب‌پاش‌ها، و یا به طور غیر مستقیم سیستم‌های تخلیه و کنترل آتش را فعال می‌کنند. از آخرین پیشرفت‌های سیستم‌های اتوماتیک، می‌توان به استفاده از لیزرهای کم قدرت یا حسگرهای مادون قرمز، برای نشان دادن وجود دود اشاره کرد.

اکثر سیستم‌های اتوماتیک با تکیه بر ترکیبی از حسگرهای گرما و دود کار می‌کنند، چرا که حسگرهایی که فقط نسبت به یکی از این دو حساس هستند ممکن است به شرایط عادی و یا کاربری

ساختمانی که در آن قرار گرفته اند نیز حساسیت نشان دهند. آشپزخانه‌ها و محیط‌هایی که سیگار کشیدن در آنها ممنوع نیست، می‌توانند مشکل ساز باشند. گرچه این مشکل با ورود کنترل کامپیوتری، تا حد زیادی کاهش یافته است.

در همه‌ی موارد، به غیر از ساختمان‌های کوچک کم سکنه، هر دستگاه کشف آتش باید به سیستمی وصل باشد که هم محل وقوع آتش‌سوزی و هم نقطه‌ای که زنگ خطر در آنجا به صدا درآمده است را نشان دهد تا بتواند با به کار انداختن درهای چرخنده‌ی کرکره‌ای، محفظه‌های ضدآتش را بسته، پرده‌های دودبند و سیستم‌های تهویه‌ی اتوماتیک را به کار انداخته، همه‌ی راه‌های تخلیه را فعال نموده و هم زمان وقوع آتش‌سوزی را به نزدیک‌ترین مرکز آتش نشانی اطلاع دهد و به این ترتیب آتش‌سوزی را کنترل کند.

1-3-2- کنترل دود

این مسئله بسیار ضروری است که در طول مدت تخلیه، میزان تولید دود به گونه‌ای باشد که دید افراد در حال فرار گرفته نشود و تراز کف دود، در 15 دقیقه اول آتش‌سوزی، نباید کمتر از 3-2/5 متری از کف طبقه باشد (Morgan and Gardner, 1991; Building Research Establishment, 1987). همچنین باید الزاماتی جهت پایین نگه داشتن دمای دود تا حد بحرانی آن وجود داشته باشد. الزامات کنترل دود در دو بخش که یکی مربوط به مشکلات ناشی از مواد سمی موجود در دود و دیگری مربوط به کلیه‌ی تاثیرات بد ناشی از نداشتن دید مناسب است، وجود دارد. به طور کلی، هم ایجاد سیستم تهویه‌ی آتش جهت خروج دود و جلوگیری از گسترش آن و هم استفاده از پرده‌های دودبند در مراحل اولیه جهت انباشتن دود در یک ناحیه، لازم و ضروری است.

تنها در موارد محدودی که تهویه‌ی آتش به صورت طبیعی در مراحل اولیه آتش‌سوزی به وجود می‌آید نیازی به اعمال ملاحظات کنترل دود نیست، مانند ساختمان‌های یک طبقه که در آنها مصالح موجود در سقف دارای مقاومتی در برابر آتش نیستند و به گونه‌ای طراحی شده اند که در مراحل اولیه آتش‌سوزی مقاومت خود را از دست داده و فرو می‌ریزند. با این حال در جاهایی مثل انبار که محتویات آن می‌توانند در مراحل اولیه‌ی آتش‌سوزی گازهای سمی تولید کنند، باید تمهیداتی اندیشید که این دود قبل از فروریختن سقف در محلی مشخص انباشته شود. چنین الزامی تنها برای این است که زمان کافی برای تخلیه قبل از اینکه دود راه دید را ببندد، وجود داشته باشد. این زمان معمولاً به دلیل تعداد نسبتاً کم افراد موجود در این محل‌ها و راه‌های خروجی مناسب که در دسترس هستند، خیلی کوتاه در

نظر گرفته می‌شود. کنترل دود باید زمانی صورت گیرد که یا حجم محفظه‌های ضدآتش زیاد است و یا راه‌های فرار طولانی.

این مشکلات در ساختمان‌های پلان آزاد بزرگ، به ویژه فروشگاه‌های بزرگ و ساختمان‌های آتریوم، بسیار جدی‌تر می‌باشد. میزان دود تولیدی و تعداد سیستم‌های تهویه‌ی مورد نیاز باید تعیین شود (Morgan and Gardner, 1991؛ Marshall, 1992؛ Marshall and Morgan, 1992؛ Hansell and Morgan, 1994). نصب سیستم اتوماتیک تهویه دود به هنگام تشخیص آتش، جزء لاینفک این ساختمان‌ها می‌باشد. این سیستم‌های تهویه باید خودکار بوده و با تکیه بر تهویه‌ی طبیعی یا تهویه‌ی اجباری عمل کنند. در هر دو حالت باید نقاط دسترسی آتش نشان‌ها و امکان افتادن بخشی از روکش‌های فلزی را در نظر گرفت. در سیستم تهویه‌ی اجباری، دسترسی به یک منبع اضطراری کاملاً مطمئن ذخیره‌ی انرژی بسیار لازم و ضروری است.

1-3-3-1- سیستم اطفاء حریق

در مناطق حساس، باید دستگاه‌های اتوماتیک اطفاء حریق را نصب کرد. این سیستم‌ها یا به صورت دستی و یا به وسیله‌ی سیستم تشخیص آتش، شروع به فعالیت می‌کنند. این دستگاه‌های اتوماتیک بسته به نوع آتشی که برای آن پیش بینی شده اند، با هم تفاوت دارند. اما عملکرد کلی آنها به این طریق است که آتش را خفه می‌کنند و راه ورود اکسیژن به آن را می‌بندند. آب‌پاش‌ها هم با پایین آوردن دمای اجسام محترق، نقش مهمی را در اطفاء حریق بازی می‌کنند. تمام سیستم‌های اطفاء حریق که به عنوان بخشی از اسکلت ساختمان نصب می‌شوند باید هم دارای آتش خاموش‌کن‌های مناسب و قابل حمل و هم (امروزه به ندرت) دارای قرقره‌ی لوله‌ی آب آتش‌نشانی برای اطفاء حریق به صورت محلی باشند.

اکثر ساختمان‌ها به سیستم‌های آب‌پاشی مجهز هستند. این سیستم‌ها هم از طرف شرکت‌های بیمه به جهت کاهش خسارت‌های احتمالی و هم به جهت سبک و سنگین کردن بین سیستم‌های اکتیو و پسیوی که افراد مربوطه آنها را تصویب کرده اند، نصب شده اند. مانند آیین‌نامه‌ی ساختمان‌های ولز و انگلستان، سند مصوب B (Department of Environment, 1992a). این سیستم‌های آب‌پاش به صورت اتوماتیک با ذوب شدن المان‌های زودگداز و یا شیشه‌ی شکننده‌ی بالای آب‌پاش، وارد عمل می‌شوند. یکی از اشکالات سیستم‌های آب‌پاش، خسارت قابل توجهی است که به کف وارد می‌شود، به استثنای مواردی که در آنها علت آتش‌سوزی نشت آب در ساختمان است. در

مقابل، یکی از فواید این سیستم‌ها، کاهش میزان دود است که این امر فرصت بیشتری را برای تخلیه‌ی ساختمان فراهم می‌کند. در آزمایش‌هایی که پس از آتش‌سوزی Woolworth انجام شد (Anon, 1980؛ Stirland, 1981)، نتایج زیر به دست آمد:

ماکزیم دمایی که در تراز سقف با وجود آب‌پاش‌ها به وجود آمد، 190°C بود، در حالی که اگر این آب‌پاش‌ها وجود نداشتند، این دما به 940°C می‌رسید. حجم دود و گازهای تولیدی در 7 دقیقه‌ی اول آتش‌سوزی با وجود آب‌پاش‌ها، 1500 m^3 و بدون وجود آنها در حدود $10000\text{--}20000\text{ m}^3$ بود؛ در حالی که آب‌پاش‌ها تنها 10% از اندازه آتش را کم کرده بودند. همچنین برآورد شده بود که آب‌پاش‌ها، دقایقی اضافی را هم جهت تخلیه ساختمان ایجاد می‌کنند و آتش را در 22 دقیقه تحت کنترل کامل درمی‌آورند.

البته در برخی مناطق نگرانی‌هایی در خصوص عملکرد آب‌پاش‌ها وجود دارد، چرا که در مواردی این آب‌پاش‌ها کار نکرده‌اند. البته شواهد کاملاً صریحی از این وقایع در دست نیست. (Stirland (1981 معتقد است که این نگرانی بی‌مورد است.

علاوه بر این ممکن است مشکلاتی درون خود سیستم وجود داشته باشد که در اثر اندرکنش سیستم‌های آب‌پاش و سیستم‌های تهویه ایجاد می‌شوند. مشکلاتی که (Heselden (1984 به آنها اشاره می‌کند مربوط به همین مسئله می‌شود که آب دود را سرد می‌کند و در نتیجه خاصیت شناور بودن دود را به سمت بالا از بین می‌برد، بنابراین یک سری آزمایش‌ها در این زمینه انجام شده (Hinkley and Illingworth, 1990؛ Hinkley et al., 1992) و در ادامه‌ی آن راهنمای طراحی منتشر شد (Morgan, 1993). مشکلی که در اثر اندرکنش آب‌پاش‌ها و سیستم‌های تهویه به وجود می‌آید این است که دود دیگر بالا نمی‌رود و این مسئله وسعت دید را به هنگام تخلیه کاهش می‌دهد و دیگر اینکه بالا رفتن دود در اثر وجود سیستم‌های تهویه، پایین آمدن آب از سر آب‌پاش را به مخاطره می‌اندازد. (Day (1994 نشان داد که در انبارهایی که هر دو سیستم نصب شده‌اند، ابتدا سیستم آب‌پاش‌ها باید به کار بیفتند و سیستم تهویه‌ی دود بعد از آن باید شروع به کار کند ولی در جاهای دیگر که تخلیه‌ی ساختمان اهمیت دارد، هر دو سیستم باید با هم شروع به کار کنند.

به غیر از مواردی که آتش‌سوزی کوچک است و یا با سیستم‌های اطفاء حریق موجود در داخل ساختمان می‌توان آتش را خاموش کرد، تنها حضور به موقع تیم آتش‌نشانی در صحنه است که می‌تواند تخلیه‌ی کامل و آتش در ساختمان در حال سوختن را کنترل و از سرایت آن به ساختمان‌های مجاور جلوگیری کند. به منظور کنترل کردن تخلیه‌ی ساختمان و اطفاء حریق، باید شفت‌هایی وجود داشته باشند که دسترسی مناسبی ایجاد کنند. این شفت‌های ایمن در برابر آتش، شامل نردبان‌ها و

بالا برها هستند. به طور کلی امروزه الزامی قانونی به منظور ایجاد دسترسی مناسب برای اطفاء حریق وجود دارد.

1-1-4- ایجاد محفظه‌های ضد آتش

لازم است که در هر ساختمان بزرگی به صورت افقی، عمودی و یا ترکیبی از هر دو، محفظه‌های ضد آتش (کمپارتمنت) ایجاد شود. این الزام به منظور جلوگیری از گسترش آتش در کل ساختمان است. همچنین می‌تواند به منظور فراهم کردن شرایطی برای تخلیه‌ی مرحله به مرحله در ساختمان‌های چند طبقه وضع شده باشد، به گونه‌ای که در ابتدا تنها طبقاتی که درون محفظه آتش گرفته قرار دارند تخلیه می‌شوند و طبقات دیگر که در بالا و پایین محفظه ضد آتش قرار دارند، در مراحل بعدی تخلیه می‌شوند. به طور کلی قواعد حاکم بر ایجاد محفظه، واضح و روشن نیستند و دلیل انتخاب مقادیر ماکزیمم برای حجم و مساحت یک طبقه که موجب محدود شدن اندازه‌های محفظه‌ی ضد آتش می‌شود، به روشنی مشخص نمی‌باشد. به احتمال زیاد، بیشتر ضوابط موجود بر اساس تجربه‌های قدیمی هستند و با توجه به روش‌های بهبود یافته‌ی اطفاء حریق معتبر نمی‌باشند (Malhorta, 1993). مسئله‌ی پخش و گسترش آتش بین محفظه‌های افقی در اثر انهدام نمای دیواره‌های پرده‌ای (شیشه‌ای) لعابی را نیز باید در نظر گرفت. این مورد تا اندازه‌ای به دلیل استفاده از آلومینیوم در این سیستم‌ها می‌باشد. سیستم‌های دیوار پرده لعابی هم باید به سیستم آبپاش و هم آتش خاموش کن‌های کف کننده مجهز باشند (Morris and Jackman 2003). اطمینان از اینکه محفظه‌ها پس از تعمیرات، کارهای ترمیمی و بازسازی ساختمان حفظ می‌شوند، از اهمیت فراوانی برخوردار است.

1-1-5- گسترش آتش میان ساختمان‌ها

باید الزاماتی جهت محدود کردن گسترش آتش در نواحی مرزی از یک ساختمان به ساختمان دیگر، وضع کرد. این محدودیت‌ها باید با توجه به فاصله‌ی جانبی ساختمان‌ها، الزامات مقاومت در برابر آتش و مصالح استفاده شده در روکش‌های فلزی، وضع شوند (LPC, ABI, FPA, 2000; Read, 1991).

6-1-1- فروریختن ساختمان

به طور قطع در فاز تخلیه، ساختمان نباید دچار فروریزش کامل شود و البته بهتر است در فاز اطفاء حریق نیز این اتفاق نیفتد. تخلیه‌ی ساختمان، با فرض اینکه سکنه‌ی آن افراد سالم با قابلیت تحرک مناسب هستند، باید نسبتاً سریع صورت گیرد، چرا که راه‌های فرار، چه پله‌های اضطراری و چه راه‌های دسترسی مستقیم به خارج ساختمان، طوری طراحی شده‌اند که اجازه‌ی تخلیه‌ی کامل محفظه‌ی ضدآتش را در مدت زمان حدود $2/5$ دقیقه می‌دهند. مدت زمان اطفاء حریق ممکن است کمی به طول بیانجامد، بنابراین باید زمان کافی برای اطفاء حریق قبل از اینکه ساختمان هر گونه علامتی از فروریختن نشان دهد، وجود داشته باشد. در انگلستان، ضوابط قانونی وجود دارد که بر اساس آن، باید یک راه دسترسی ایمن به ساختمان برای سرویس‌های آتش‌نشانی در نظر گرفت. به دو شکل می‌توان از فرو ریختن سازه قبل از یک زمان معین، که طبق قرارداد به صورت مقاومت سازه در برابر آتش تعریف می‌شود، جلوگیری کرد. یکی به گونه‌ای است که ساختمان علی‌رغم سست شدن و تغییر شکل هنوز می‌تواند میزان قابل قبولی از بار اعمال شده را در این مدت زمان تحمل کند (روش پسیو (Passive approach)). دیگر آن که به هنگام طراحی عامل آتش را در نظر می‌گیرند و یا مطمئن می‌شوند که دماها هرگز به حدی که باعث ایجاد تنش مکانیکی در سازه می‌شوند، نمی‌رسند (روش اکتیو (active approach)). متأسفانه اخیراً مواردی مثل آتش‌سوزی‌های برج‌های تجارت جهانی و پنتاگون در سال 2001 وجود داشته‌اند که در آنها فروریختن (جزئی) در حین آتش‌سوزی اتفاق افتاده است. ذکر این نکته لازم است که هر دوی این موارد، آتش‌سوزی‌های عمده بوده‌اند و علت ایجاد آنها برخورد هواپیمای کاملاً بارگیری شده به این ساختمان‌ها بوده است. امروزه، در مورد قضیه‌ی برج‌های تجارت جهانی، نظر بر این است که علت اصلی فروریختن، برخورد هواپیما نبوده است، بلکه از کار افتادن سیستم‌های ایمنی در سازه‌ی اصلی در اثر این ضربه باعث آتش‌سوزی و فروریختن ساختمان شده است. چرا که بار این آتش‌سوزی، مشابه اندازه‌ی چگالی بار آتش‌سوزی در یک دفتر کار معمولی بود (Dowling, 2005). ساختمان پنتاگون تنها به صورت جزئی دچار ریزش شد؛ زیرا این سازه، ساختمان با قاب بتنی مسلح با بتن ریزی درجا بود (Mlakar et al., 2003؛ ISE, 2002).

در واقعیت، یک سازه به گونه‌ای طراحی می‌شود که در آن هر دوی این روش‌ها کارآمد باشند، گرچه در گذشته این روش‌ها به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شدند. اخیراً، حداقل در انگلستان، به این مسئله توجه شده است که این دو روش روی هم تأثیر گذار هستند و استفاده از یکی از آنها می‌تواند نیاز به استفاده از دیگری را کم کرده و یا میزان استفاده از آن را تعدیل کند. این بر هم کنش

معمولا به "Trade-off" (سبک و سنگین کردن) معطوف می‌شود. تغییرات پیشنهاد شده در مستند مصوب B (Kirby et al., 2004) احتمالا برای تقویت این شرایط ایجاد شده‌اند.

بیشتر اقدامات مربوط به کشف، کنترل و یا محاصره کردن آتش در یک ساختمان، با وضع قانون در سطح منطقه‌ای یا ملی و یا توسط دیگر نهادهای قانون‌گذار، اعمال می‌شوند. در موارد خاص، شرکت‌های بیمه ساختمان هم می‌توانند قیود دیگری را در این مورد قائل شوند.

1-2- کنترل قانونگذاری

کنترل قانونی طی یک دوره زمانی طولانی مطرح شده است تا از عموم محافظت شود و اطمینان حاصل گردد که یک چهارچوب کاری وجود دارد که اگر آتش‌سوزی بزرگی در محلی اتفاق افتاد، احتمال تکرار آتش‌سوزی مشابه آن، بسیار کم باشد. چنین کنترلی هم می‌تواند در استانداردهای ملی و بین‌المللی وضع شود و هم به صورت قانون درآید. در انگلستان بیشتر الزامات مربوط به ساختمان‌های مختلف، با کاربری‌های متفاوت، در بخش‌های مختلف استاندارد احتیاط در برابر آتش در طراحی، ساخت و استفاده از ساختمان‌ها پوشش داده شده است (BS 5588). کنترل قانونی در حالت کلی شکل مقررات ملی و محلی ساختمان سازی و یا الزامات قانونی خاص را به خود می‌گیرد. برخی از درجات کنترل ممکن است توسط شرکت‌های بیمه وضع شود. در انگلستان شرایط فعلی را Morris و Read (1993) پوشش می‌دهند که باید به عنوان مرجع مورد استفاده قرار گیرد. همچنین راهنمایی از سوی دپارتمان محیط زیست نیز منتشر شده است (1922b).

کاملا پیداست که تنها ساختمان‌های تکمیل شده نیستند که باید سیستم‌های ایمنی آتش را برای آنها در نظر گرفت، بلکه در نظر گرفتن این مسئله برای ساختمان‌های در حال ساخت و یا تحت تعمیر نیز بسیار اهمیت دارد.

1-3- احتیاط‌های مربوط به آتش در طول ساخت و نگهداری

وضعیت در طول ساخت (اجرا) و نگهداری یا تعمیر می‌تواند ذاتا بسیار جدی‌تر از ساختمان‌های تکمیل شده باشد، چرا که ممکن است میزان قابل توجهی ماده با قابلیت اشتعال بالا در محل احداث چنین ساختمان‌هایی انباشته شده باشد و روند کار در محل به گونه‌ای باشد که نیاز به اعمال گرما داشته باشند. این گرما معمولا به وسیله‌ی شعله‌های روباز تامین می‌شود. حال آنکه، ممکن است

سیستم‌های حفاظتی اکتیو و پسیو هنوز تکمیل نشده و یا فعال نباشند، مشخصات تهویه‌ای هر محفظه‌ی ضدآتش به دلیل قرار نگرفتن دیوارها و روکش‌های فلزی در جایشان آن گونه که باید نباشند، ایجاد محفظه‌های ضدآتش و متوقف کننده‌های آتش هنوز کامل نشده باشند و دسترسی به محل‌های مشخصی با توجه به روند ساخت، ممکن نباشد. بنابراین لازم است که الزامات ممکن جهت وجود یک سیستم ایمنی تمام و کمال که به یک سیستم کشف آتش مرتبط است، در نظر گرفته شود (Muirhead, 1993).

این مسائل با توجه به خسارات جدی که به این ساختمان‌ها وارد شد، پر رنگ تر شده اند:

Broadgate Centre (فاز 8) (Robbins, 1990)، Minster Court (Bishop, 1991)، London Underwriting Centre (Rosato, 1992)، Pavilion of Discovery (Expo '92) (Byrd,) (1992a, b)؛ در تمام این موارد به هنگام وقوع آتش‌سوزی، ساختمان‌ها در حال ساخت بوده اند. چنین مشکلاتی، در مواقع تعمیر، بازسازی و نوسازی ساختمان، از درجه‌ی اهمیت بیشتری برخوردار می‌شوند و بعضاً اهمیت تاریخی پیدا می‌کنند مانند Windsor Castle (Flower and Doyle,) (1992، 1993، Cockcroft)، Wiener Hofburg (Anon, 1993) یا Torre Windsor (مادرید) (Cockcroft, 1993، 1992). در مورد Windsor Castle، به دلیل کمبود متوقف کننده‌ی آتش در حفره‌های مخفی و فضاهای خالی سقف قضیه بسیار حادث‌تر بود.

روشن است که آتش‌سوزی در ساختمان‌های در حال ساخت و تعمیر برای شرکت‌های بیمه بسیار گران تمام می‌شود، این امر سبب افزایش قابل توجه هزینه بیمه در این ساختمان‌ها و وضع قانون در آیین‌نامه‌ی اجرایی در انگلستان شده است (فدراسیون کار فرمایان ساختمانی و شورای پیشگیری از خسارت، 1992). البته پیش از آن نیز، دپارتمان محیط زیست مستندات مشابهی را در ارتباط با پروژه‌ها و پیمانکاران منتشر کرده بود (Department of Environment, 1991). باید توجه داشت که بیشتر بخش‌های این مستندات به مضامین مشابهی اشاره می‌کنند و محتوای کلی آنها این است که چگونه می‌توان کارگاه خوبی داشت. هر دوی این مستندات بر ضرورت مدیریت ایمنی آتش در هر کارگاه ساختمانی تاکید می‌کنند.

با مشخص کردن حوزه‌های مربوط به مهندسی ایمنی در برابر آتش، برای ساختمان‌های کامل شده و ساختمان‌های در حال ساخت، بهتر است قبل از شروع بخش‌های دیگر خلاصه‌ای را ارائه کنیم.

4-1- خلاصه

در قسمت خلاصه به در نظر گرفتن مهندسی ایمنی در برابر آتش تحت دو عنوان تدابیر اکتیو و پسیو پرداخته می‌شود (Malhorta, 1986).

1-4-1- تدابیر اکتیو

- ایجاد سیستم‌های هشدار دهنده،
- ایجاد سیستم‌های کنترل دود،
- ایجاد سیستم‌های کنترل آتش و یا اطفاء حریق در خود ساختمان،
- کنترل مواد خطرناک،
- ایجاد دسترسی به اطفاء حریق خارجی،
- ایجاد سیستم مدیریت ایمنی آتش.

1-4-2- تدابیر پسیو

- ایجاد محفظه‌های ضدآتش به اندازه کافی،
- کنترل میزان اشتعال پذیری خود ساختمان،
- ایجاد راه‌های فرار ثابت،
- ایجاد کارایی سازه‌ای مناسب.

در این کتاب، به آخرین موارد ذکر شده پرداخته می‌شود. فصل‌های باقی مانده به تشریح فلسفه‌ی نهفته در مفهوم مهندسی ایمنی آتش، استفاده از روش‌های پیشنهادی به منظور برآورده کردن الزامات مقاومت در برابر آتش، پاسخ دما-زمان در یک محفظه‌ی ضدآتش و اساس روش‌های محاسباتی جهت تحقق الزامات مقاومت در برابر آتش، می‌پردازند. بخش‌های بعدی جزئیات مصالح مورد نیاز و روش‌های محاسباتی برای مصالح معمولی ساختمان را به عنوان المان‌های سازه‌ای و سازه‌های کامل مورد بررسی قرار می‌دهند. فصل پایانی کتاب مشکلات مربوط به ساختمان‌های تخریب شده از سوی آتش را شرح می‌دهد.