مبانی مهندسی حریق

حسین هنردار
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
دانشکدهٔ مهنـدسی مکانیک، دانـشگاه تهران
h.honardar@gmail.com

از جمله مفاد مهم آزمون مهندس حرفه‌ای[۱]، مبحثی زیبا و کاربردی با عنوان مهندسی آتش‌سوزی[۲] است؛ موضوعی که سالیانی است در محفل‌های علمی و تخصصی به مبحثی داغ تبدیل شده و توجه صاحبان اندیشه و اصحاب صنعت را به‌خود جلب کرده است. در این گزارش، نخست مقدمه‌ای کوتاه دربارهٔ رخدادهای تاریخی مهم و آتش‌سوزی‌هایی مهیب بیان می‌شود. سپس پاره‌ای از ارقام و آمارهای منتشرشده از سوی سازمان‌ها، ارگان‌ها و سمن‌های فعال در حوزهٔ دانش مهندسی حریق مطرح می‌شود تا اهمیت بررسی موضوع بیش از پیش نمایان گردد. تعریف صحیحی از ماهیت آتش و عوامل ایجاد آن از دیگر مباحث مطرح‌شده در این گزارش است. در ادامه، اصطلاحاتی چون نقطهٔ شعله‌زنی، نقطهٔ آتش‌گیری و درجهٔ اشتعال تعریف می‌شود. در پایان، مباحثی چون عوامل مؤثر بر گسترش و شدت آتش‌سوزی، محصولات احتراق، فازهای چندگانهٔ آتش‌سوزی، سازوکارهای گوناگون انتقال و انتشار آتش، تقسیم‌بندی مکان‌های گوناگون از نظر خطر وقوع حریق و نهایتاً انواع آتش و دسته‌بندی‌های مرتبط با آن تشریح می‌شود.

۱. مقدمه

تاکنون اسناد و گزارش‌های بسیاری از وقوع آتش‌سوزی‌هایی مهیب و ویرانگر به‌ثبت رسیده است. حوادثی که در بسیاری از موارد صدمات و خسارت‌های جانی، مالی و فرهنگی جبران‌ناپذیری درپی داشته‌اند؛ آتش‌سوزی‌هایی که مطالعهٔ هر یک از آنها در جای خود بسیار مفید و آموزنده است. از جملهٔ این حوادث می‌توان به آتش‌سوزی مهیب شهر لندن، در سال ۱۶۶۶ م، اشاره کرد. این حادثهٔ بزرگ و ویرانگر مناطق مرکزی شهر را، از یکشنبه دوم سپتامبر لغایت چهارشنبه پنجم سپتامبر ۱۶۶۶، در کام خود فروبرد و به تلی از خاکستر تبدیل کرد [۱].

تا اواسط قرن هفدهم میلادی، هستهٔ مرکزی شهر لندن کماکان بافت قدیمی خود را حفظ کرده بود و گرداگرد آن دیواری قرار داشت که سال‌ها پیش، در زمان استیلای رومیان، ساخته شده بود. در اثر آتش‌سوزی، این قسمت از شهر به‌طور کامل ویران شد. ناحیهٔ وست‌مینسر[۳]، که بخش اشراف‌نشین شهر در آن زمان بود، قصر وایت‌هال[۴] متعلق به چارلز دوم[۵] و نواحی فقیرنشین حومهٔ لندن نیز مورد تهدید آن آتش‌سوزی مهیب قرار گرفت، اما آسیبی به آنها وارد نشد. در این حادثهٔ تلخ ۱۳۲۰۰ خانهٔ مسکونی، ۸۷ کلیسای محلی، کلیسای جامع سنت‌پل[۶] و بیشتر ساختمان‌های دولتی طعمهٔ شعله‌های آتش شدند.[۷]

از دیگر حوادث قابل‌توجه می‌توان به آتش‌سوزی بزرگی که در سال ۱۷۵۰ م در قسطنطنیه رخ داد و ده‌ها هزار منزل مسکونی را در کام خود فروبرد اشاره کرد [۲]. شش سال بعد؛ در سال ۱۷۵۶ م، پانزده هزار خانه در مسکو طعمهٔ حریق شد. در شانزدهم و هفدهم دسامبر ۱۸۳۵ بناهای موجود در منطقه‌ای مسکونی در شهر نیویورک به وسعت سیزده هکتار در آتش سوختند و به تلی از خاکستر مبدل شدند [۳]. همچنین در هشتم اکتبر ۱۸۷۱، حدود ۱۷۴۵۰ واحد مسکونی واقع در شیکاگو طعمهٔ حریق شدند [۴]. بنابر آمارهای ثبت‌شده در انگلستان، در سال ۱۹۹۶ م، بیش از ۵۳۲ هزار فقره آتش‌سوزی به‌ثبت رسیده است که از این میان حدود یک‌سوم آنها در محیط‌های کار روی داده و مرگ بیش از ۶۰۰ تن و جراحت بیش از ۱۶۰۰۰ کارگر را درپی داشته است [۲].

البته پرونده‌ها و گزارش‌های موجود تنها به این موارد ختم نمی‌شود. از جمله آتش‌سوزی‌های مهیبی که توجه بسیاری از محققان و اندیشمندان را به‌خود جلب کرد و تا سالیان متمادی دست‌مایهٔ نگارش متون و مقاله‌های متعددی در عرصه‌های گوناگون خصوصاً مهندسی آتش‌سوزی شد، مجموعه حوادث یازدهم سپتامبر سال ۲۰۰۱ است.

حوادث یازدهم سپتامبر سلسله‌ای از حملات انتحاری بود که در یازدهم سپتامبر ۲۰۰۱، توسط گروه القاعده در خاک ایالات متحدهٔ امریکا رخ داد [۵]. صبح آن روز، نوزده تن از اعضای گروه القاعده، چهار فروند هواپیمای تجاری - مسافری را ربودند. هواپیماربایان دو هواپیما را در فاصله‌های زمانی متفاوت، به‌عمد، به برج‌های دوقلوی مرکز جهانی تجارت[۸]، واقع در نیویورک، کوبیدند. در اثر این دو برخورد تمامی مسافران، همراه با جمعیت حاضر در ساختمان‌ها، کشته شدند. هر دو ساختمان، پس از دو ساعت، به‌طور کامل ویران و آسیب‌های زیادی به ساختمان‌های مجاور وارد شد. هواپیماربایان، هواپیمای سوم را به پنتاگون، واقع در ارلینگتون در ویرجینیا، زدند. اما هواپیمای چهارم در زمینی نزدیک شِـنکس‌ویل[۹]، در ایالت پنسیلوانیا، سقوط کرد. این در حالی بود که تعدادی از مسافران و خدمهٔ پرواز قبل از سقوط تلاش کرده بودند تا کنترل هواپیما را به‌دست بگیرند. اما هیچ‌یک از مسافران این پروازها زنده نماندند [۶].

شکل ۱. برج‌های دوقلوی مرکز جهانی تجارت،۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱

قربانیان این حملات ۲۹۷۴ نفر گزارش شد که با در نظر گرفتن نوزده هواپیماربا مجموع کشته‌ها به ۲۹۹۳ نفر رسید. بیشتر قربانیان این فاجعه مردم عادی و شهروندانی بودند که ملیت آنها را نود کشور گوناگون شامل می‌شد. به‌علاوه، مرگ یک نفر در اثر گردوخاک ناشی از ویرانی برج‌ها نیز گزارش شد. ایالات متحدهٔ امریکا نیز با اعلام شروع جنگ علیه تروریسم، حمله به افغانستان و طالبان و تصویب طرح لایحهٔ میهن‌پرستی امریکا[۱۰] نسبت به این فاجعه واکنش نشان داد. بسیاری از کشورها قوانین ضد تروریسم خود را تقویت کردند و اجرای آنها را گسترش دادند. برخی از بنگاه‌های تجاری در امریکا، تا آخر هفته فعالیت خود را تعطیل کردند و پس از بازگشایی، از ضرر و زیان‌های هنگفتی خبر دادند که به‌خصوص متوجه شرکت‌های هواپیمایی و بیمه‌گذار بود. خسارت‌های وارده به پنتاگون در مدت یک سال جبران و بعدها بنای یادبود پنتاگون در آن

محل ساخته شد. همچنین بازسازی برج‌های سازمان جهانی تجارت نیز آغاز شد. حوادث یازدهم سپتامبر ۲۰۰۱ تاکنون بزرگ‌ترین عملیات تروریستی تاریخ ایالات متحده بوده و پیامدهای سیاسی، اقتصادی، امنیتی، نظامی و فنی مهندسی بسیاری برای این کشور و جامعهٔ جهانی داشته است. گفته می‌شود که حادثهٔ یازدهم سپتامبر همانند حملهٔ ژاپن به بندر پرل هاربر[۱۱]، تاریخ امریکا را تغییر داده است.

از دیگر حوادث مهمی که پیامدهای چشم‌گیری در عرصهٔ علوم مهندسی داشته و در پیدایش شاخه‌ای نو از دانش مهندسی مکانیک با نام مهندسی آتش‌سوزی نقش مهمی ایفا کرده است، عبارت است از [۶]:

۱. آتش‌سوزی نخستین بانک میان‌ایالتی[۱۲] در لس‌آنجلس امریکا، چهارم مه ۱۹۸۸
۲. آتش‌سوزی تونلی در فرانسه، هجدهم نوامبر ۱۹۹۶
۳. آتش‌سوزی تونل مون‌بلان[۱۳] در ایتالیا، بیست و چهارم مارس ۱۹۹۹
۴. آتش‌سوزی مهیب برج مینزر[۱۴] در شهر مادرید اسپانیا، دوازدهم فوریهٔ ۲۰۰۵

براساس آمارهای منتشرشده از سوی سازمان مدیریت حریق ایالات متحده[۱۵]، در سال ۲۰۰۴ م شاخص تعداد حریق ۵۲۸۰ فقره به ازای یک میلیون نفر جمعیت بوده است. در همین سال، شاخص صدمات انسانی منجر به مرگ ۱۳/۳ در میلیون نفر و ۳۳/۴ دلار به ازای هر نفر جمعیت بوده است. در سال ۲۰۱۰، در ایالات متحده، بنابر آمارهای منتشرشده از سوی انجمن حفاظت در برابر حریق[۱۶] تعداد ۱۳۳۱۵۰۰ فقره آتش‌سوزی رخ داده است که شامل ۳۱۲۰ نفر تلفات انسانی، ۱۷۷۲۰ نفر مجروح و ۱۱/۶ میلیارد دلار خسارت مالی بوده است [۷].

جدای از خسارت‌های جانی و مالی این حوادث، پیامدهای زیست محیطی آنها نیز در جای خود بسیار درخور توجه است. مثلاً آتش‌سوزی چاه‌های کویت در جریان جنگ خلیج فارس علاوه بر خسارت‌های مالی بسیار، سبب آلودگی بخش وسیعی از منابع زیست محیطی و حتی ظهور و بروز بیماری‌هایی چون انواع سرطان در استان‌های جنوب و جنوب غربی ایران شد [۸].

(الف)

(ب)

شکل ۲. آتش‌سوزی مهیب برج مینزر در مادرید اسپانیا [۹]
الف) برج مینزر در میان شعله‌های آتش، دوازدهم فوریهٔ ۲۰۰۵
ب) برج مینزر پس از مهار آتش‌سوزی، سیزدهم فوریهٔ ۲۰۰۵

جنگل‌سوزی‌های گسترده در کشورهای گوناگون، که امروزه یک مشکل مهم محسوب می‌شود، از دیگر

پیامدهای بارز آتش‌سوزی و تحمیل خسارت به منابع عظیم زیست محیطی است. آمارها نشان می‌دهد که آتش‌سوزی‌های بسیار بزرگ معمولاً برای نخستین‌بار و بدون هیچ‌گونه آگاهی ملموسی برای ساکنان و شاغلان رخ می‌دهد، این در حالی است که طبق بررسی‌های انجام‌شده حداقل ۷۵ درصد از این موارد قابل پیشگیری بوده‌اند [۲]. باید دانست که حوادث تلخ و آتش‌سوزی‌های مهیب و خسارت‌ها و پیامدهای گوناگون آن تنها به کشورهای دیگر محدود نمی‌شود؛ ایران نیز در برابر چنین حوادثی چندان ایمن نبوده است. مثلاً آتش‌سوزی گمرک جلفا، در شانزدهم مرداد ۱۳۵۵، حدود یک میلیارد تومان خسارت برجای گذاشت [۱۰]. آتش‌سوزی راه‌آهن شهر نیشابور، در بیست و نهم بهمن ۱۳۸۲، نیز حادثهٔ تلخ دیگری است که سال‌ها پیش شاهد آن بودیم. بنابر بررسی‌های انجام‌شده از نتایج آمار سازمان آتش‌نشانی در ایران، در دههٔ ۷۰ شمسی همه‌ساله بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ مورد آتش‌سوزی در شهرهای گوناگون به ازای هر یک میلون نفر جمعیت ثبت شده است. هرچند در ایران، طی دو دههٔ اخیر به ارتقاء سطح ایمنی در برابر آتش‌سوزی توجه ویژه‌ای شده است، اما گسترش صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و صنایع وابسته و پایین‌دستی آن طی دههٔ ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ خورشیدی می‌تواند از بسترهای مستعد وقوع آتش‌سوزی‌های صنعتی باشد.

حال پس از بیان مقدمه‌ای کوتاه دربارهٔ اهمیت و ضرورت مطالعهٔ حریق و بررسی آثار و پیامدهای آن، ماهیت آتش و عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی، انواع آتش‌سوزی و مباحث مرتبط با آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۲. ماهیت آتش

آتش عبارت است از مجموعه‌ای از واکنش‌های شیمیایی و اکسیداسیون سریع و گرمازای مواد قابل اشتعال[۱۷] که معمولاً به‌صورت گرما و شعله ظاهر می‌شود. وقوع آتش نیاز به زمینه‌های فیزیکی و شیمیایی محل وقوع دارد. عوامل مؤثر در ایجاد آتش‌سوزی متعدد است، اما برای ایجاد آتش وجود چهار عامل اساسی، که به هرم آتش معروف‌اند، ضروری است و در صورت حذف حداقل یکی از آنها ادامهٔ حریق ممکن نخواهد بود. این عوامل عبارت‌اند از: اکسیژن، مواد سوختنی و قابل اشتعال، گرما و نهایتاً واکنش‌های زنجیره‌ای[۱۸]. در ادامه، به توضیح و تشریح هریک از این عوامل می‌پردازیم.

۲-۱. اکسیژن

کمترین تراکم اکسیژن لازم برای وقوع آتش ۱۶ درصد است. البته بیشتر آتش‌سوزی‌ها در ۱۵ درصد اکسیژن هم تا حدودی اتفاق می‌افتند. برخی مواد همچون اسید نیتریک[۱۹]، پراکسیدهای آلی[۲۰] و اکسیدهای آلی نیز در حین آتش‌سوزی بخشی از اکسیژن مورد نیاز خود را تأمین می‌کنند. برای کنترل این‌گونه از آتش‌سوزی‌ها اقدامات ویژه‌ای لازم است.

۲-۲. مواد سوختنی و قابل اشتعال

به‌طور کلی، تمامی موادی که قابلیت تجزیه و اکسیداسیون گرمازا را دارند، به‌عنوان مواد سوختنی قلمداد می‌شوند. این مواد می‌توانند جامد، مایع و گاز، با منشأ طبیعی یا مصنوعی، باشند. سرعت سوختن یا گسترش شعله در مواد متنوع متفاوت است، لذا برخی از مواد ممکن است بتوانند اکسید شوند، اما در شرایط عادی مادهٔ سوختنی تلقی نمی‌شوند.

۲-۳. گرما

برای شروع آتش به گرمای کافی نیاز است. حتی در مواردی که حریق شروع شده باشد، اگر مقدار گرما کاهش یابد، دامنهٔ آتش‌سوزی رفته‌رفته محدود و نهایتاً آتش خاموش خواهد شد.

به‌طور کلی، گرمای لازم در مطالعهٔ آتش‌گیری مواد با سه اصطلاح تعریف می‌شود، که به‌ترتیب عبارت‌اند از: نقطهٔ شعله‌زنی[۲۱]، نقطهٔ آتش‌گیری[۲۲] و درجهٔ اشتعال[۲۳]. در ادامه، هریک از این اصطلاحات تشریح می‌شوند.

۲-۳-۱. نقطهٔ شعله‌زنی

نقطهٔ شعله‌زنی اصطلاحاً به درجه حرارتی گفته می‌شود که در آن درجه حرارت، یک مادهٔ سوختنیِ مایع (یا در حال تبدیل به فاز مایع) به اندازهٔ کافی بخار شود و به‌محض نزدیک‌شدن شعله یا جرقه شعله‌ور گردد. موادی با نقطهٔ شعله‌زنی کمتر از ۳۷/۸ درجهٔ سانتی‌گراد - بسته به استانداردی که اعمال می‌گردد - قابل اشتعال، و مایعاتی با نقطهٔ شعله‌زنی بالای این دما قابل احتراق تلقی می‌شوند [۲]. ساده‌ترین آزمایش برای تعیین آن در تجهیزات و ظروف درباز نیز بدین صورت است که ابتدا نمونه را درون ظرف می‌ریزند و حرارت می‌دهند. سپس، هر چند درجه یک‌بار، شعله‌ای از روی سطح نمونه عبور می‌دهند تا بدین ترتیب نقطهٔ اشتعال تعیین شود. باید توجه داشت که این شاخص با تغییر ارتفاع شعله از سطح مایع فرق خواهد کرد. نقطهٔ شعله‌زنی بیشتر یک مقیاس تجربی و عملی است تا یک پارامتر فیزیکی. مقدار اندازه‌گیری‌شده بسته به نوع دستگاه و گوناگونی پروتکل‌های استاندارد، شامل کاهش و افزایش دما، زمان اختصاص داده‌شده برای همدماشدن بخار و مایع، حجم نمونه و حتی نحوهٔ ترکیب و مخلوط‌شدن آن نتایج متفاوتی خواهد داشت. در استاندارد ASTM D-92 این آزمایش تشریح شده است [۹].

در مورد بخارها و گازها، علاوه بر تعریف نقطهٔ شعله‌زنی، حداقل[۲۴] و حداکثر تراکم قابل انفجار[۲۵] نیز تعریف می‌شود. اگر تراکم بخار یا گاز به آن حد برسد، با تماس شعله یا در حرارت شعله‌زنی، گاز یا بخار به‌سرعت آتش می‌گیرد و در محفظه‌های بسته سبب انفجار می‌شود. این حدود تراکم شامل حداقل تراکم قابل انفجار و حداکثر تراکم قابل انفجار است [۲]. مشخص شده است که فشار هوا در تعیین نقطهٔ شعله‌زنی اثرگذار است، به‌طوری‌که در فشارهای کمتر نقطهٔ شعله‌زنی نیز پایین‌تر می‌باشد. در تراکم کمتر از حداقل تراکم قابل انفجار، به‌دلیل کمبود سوخت در هوا، و در تراکم بیشتر از حداکثر تراکم قابل انفجار، به‌دلیل کمبود اکسیژن مورد نیاز در هوا، امکان انفجار وجود ندارد، اما در شرایطی خاص امکان وقوع آتش‌سوزی وجود خواهد داشت. اگر گرمای مورد نیاز برای تداوم آتش وجود نداشته باشد، در آتش‌گیری سوخت‌ها در درجهٔ حرارت مربوط به نقطهٔ شعله‌زنی حریق ادامه نخواهد داشت، لذا برای ادامهٔ حریق به حرارت بالاتری نیاز است که اصطلاحاً به آن حرارت درجهٔ آتش‌گیری گفته می‌شود.

۲-۳-۲. نقطهٔ آتش‌گیری

نقطهٔ آتش‌گیری بیان‌کنندهٔ حداقل دمای مورد نیاز برای شروع آتش‌سوزی در یک مخلوط مایع - بخار در فضای بسته است؛ مخلوطی که در نزدیکی سطح مایع آن به‌کمک یک شعله، برای حداقل ۵ ثانیه، آتش به‌وجود می‌آید، اما لزوماً به‌معنای ادامهٔ آتش‌سوزی نیست. اصولاً نقطهٔ آتش‌گیری بالاتر از نقطهٔ شعله‌زنی است و برای مواد گوناگون تقریباً ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد بیشتر از نقطهٔ شعله‌زنی است.

۲-۳-۳. درجهٔ اشتعال

درجهٔ اشتعال یا درجهٔ خودبخود سوزی[۲۶] کمترین درجه حرارت مورد نیاز جهت ادامهٔ احتراق مادهٔ سوختنی یا آتش‌گیری آن بدون هرگونه محرک خارجی است. درجهٔ اشتعال برای هر سوخت، درجه حرارتی است که انرژی محرکهٔ آن اجزای تشکیل‌دهندهٔ مولکول‌های ماده را از هم جدا می‌کند. این درجه برای جامدات، مایعات و حتی بخارها قابل تعمیم است. در این حرارت، بخار کافی برای ادامهٔ آتش‌سوزی تولید می‌شود. مثلاً در سوختن بنزین، درجهٔ اشتعال درجه‌ای است که می‌تواند سبب شکستن پیوندهای آن برای تشکیل شعله شود. لازم به‌ذکر است که درجهٔ اشتعال هر ماده از درجهٔ آتش‌گیری آن بالاتر است. برای هیدروکربن‌های گازی این درجه حرارت از رابطهٔ ۱ به‌دست می‌آید [۲]:

$$IT\ (^{o}C) = \frac{660}{\sqrt[3]{n}} \qquad (۱)$$

به‌طوری‌که در این رابطه IT معرف درجهٔ اشتعال برحسب درجهٔ سانتی‌گراد و n تعداد کربن موجود در زنجیره است. مثلاً درجهٔ اشتعال پروپان برابر است با:

$$IT\ (^{o}C) = \frac{660}{\sqrt[3]{n}} = \frac{660}{\sqrt[3]{3}} = 457.6\ ^{o}C \cong 458\ ^{o}C$$

آتش‌گیری پایدار مواد همیشه به جرقه یا شعله نیاز ندارد، بلکه در درجه حرارت اشتعال ممکن است آتش‌گیری روی دهد و حتی خودبخود سوزی اتفاق بیافتد. در جدول ۱ درجه حرارت نقطهٔ شعله‌زنی و درجهٔ اشتعال برخی از سوخت‌های متداول آمده است.

جدول ۱. نقطهٔ شعله‌زنی و درجهٔ اشتعال برخی از سوخت‌ها [۲]

نام ترکیب	نقطهٔ شعله‌زنی (درجهٔ سانتی‌گراد)	درجهٔ اشتعال (درجهٔ سانتی‌گراد)
اتانول ۷۰ درصد	۱۶/۶	۳۶۳
بنزین	-۴۳	۱۴۶ تا ۲۸۰
نفت گاز	بیش از ۶۲	۲۱۰
سوخت جت	بیش از ۶۲	۲۱۰
نفت سفید	۳۷ تا ۷۲	۲۲۰
سوخت گیاهی (کانولا)	۳۲۷	-
نفت گاز با منشأ گیاهی	بیش از ۱۳۰	-

۲-۴. واکنش‌های زنجیره‌ای

امروزه در بحث ماهیت آتش، برای ایجاد آتش‌سوزی بعد چهارمی نیز معرفی می‌شود که آن را واکنش‌های زنجیره‌ای می‌نامند. این زنجیره در تغییر حالت ماده و شکستن مولکول‌های بزرگ به ترکیبات ساده‌تر و نهایتاً ترکیب مکرر مادهٔ سوختنی با اکسیژن حاصل می‌گردد و تداوم آتش به آن نیز وابسته است. واکنش‌های زنجیره‌ای، هرچند در شروع آتش‌گیری نقش مهمی ندارند، اما برای ادامهٔ آتش به‌منظور شکستن ترکیبات مولکولی بزرگ و تبدیل آنها به ترکیبات ساده‌تر ضروری‌اند. این عامل در گذشته جزء عوامل اصلی قلمداد نمی‌شد، اما امروزه بررسی‌های علمی وجود آن را برای تداوم آتش‌سوزی اثبات کرده است.

۳. تفاوت انفجار و احتراق

انفجار چیزی نیست جز آزادشدن انرژی با سرعت بسیار زیاد؛ انرژی‌ای که نتیجهٔ اکسیداسیدن سریع است. تفاوت احتراق و انفجار در میزان انرژی آزادشده نیست، بلکه در سرعت تولید انرژی است. مثلاً احتراق بنزین ۱۱۵۰۰ کالری انرژی به ازای هر گرم تولید می‌کند، حال آنکه انرژی تولیدشده در اثر انفجار مادهٔ منفجره‌ای چون تری نیترو تولوئن یا همان تی. ان. تی.[۲۷] فقط ۲۶۷۴ کالری به ازای هر گرم است. اما باید توجه داشت که این مقدار انرژی در ۰/۰۰۰۲ ثانیه آزاد می‌شود. بین میزان مصرف اکسیژن برای تولید انرژی حرارتی در سوخت‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد و معمولاً به ازای هر لیتر اکسیژن مصرفی برای سوختن، ۴/۷۴ کیلوکالری انرژی آزاد می‌شود.

۴. دلائل و شرایط بروز آتش‌سوزی

به‌طور کلی عوامل و شرایط متعددی می‌توانند در بروز آتش‌سوزی نقش داشته باشند که مهم‌ترین آنها عبارت است از:

۱. آتش‌گیری مستقیم: مانند نزدیک‌کردن شعله به مواد سوختنی

۲. افزایش تدریجی دما: افزایش دما در یک تودهٔ زغال سنگ یا مواد آلی و حیوانی که به‌تدریج دمای آنها در اثر فشار و فعل و انفعالات بالا می‌رود و شروع به سوختن می‌کند.

۳. واکنش‌های شیمیایی: واکنش‌هایی نظیر ترکیب آب و اسید، پتاسیم و آب، فسفر با اکسیژن هوا، اسید نیتریک با کاغذ می‌تواند عامل شروع آتش‌سوزی باشد.

۴. اصطکاک: مالش دو جسم آتش‌گیر همچون دو قطعه چوب خشک یا ترمز شدید چرخ‌های هواپیما روی باند پرواز از نمونه‌های این شرایط است.

۵. تمرکز پرتوهای مرئی و نامرئی: در این حالت به‌دلیل خاصیت ذره‌بینی، تمرکز نور روی اجسام سبب ایجاد آتش‌سوزی می‌شود.

۶. الکتریسیتهٔ جاری: حرارت حاصل از عبور جریان الکتریسیته از یک هادی با مقاومت الکتریکی بالا می‌تواند سبب ایجاد حرارت زیاد و نهایتاً بروز آتش‌سوزی شود.

۷. الکتریسیتهٔ ساکن: به‌دلیل ایجاد جرقهٔ ناشی از اختلاف پتانسیل در مکان‌هایی که دارای گاز یا بخار مواد آتش‌گیر باشند، می‌تواند اهمیت داشته باشد.

۸. رعد و برق: صاعقه دارای صدها هزار ولت اختلاف پتانسیل الکتریکی است و می‌تواند به‌راحتی سبب بروز آتش‌سوزی شود.

۹. انفجار: دینامیت یا تی. ان. تی. و بسیاری از مواد منفجره در حین انفجار می‌توانند آتش‌سوزی‌های مهیبی ایجاد کنند.

۱۰. تراکم بیش از حد مواد سوختنی: تراکم بیش از حد مواد سوختنی در حالت بخار یا گاز، مشابه آنچه در موتورهای احتراق داخلی[۲۸] روی می‌دهد، همراه با یک عامل راه‌انداز همچون جرقه می‌تواند سبب بروز آتش‌سوزی شود.

۵. عوامل مؤثر بر گسترش و شدت آتش‌سوزی

عوامل بسیاری بر گسترش آتش‌سوزی مؤثرند. پاره‌ای از آنها عبارت‌اند از:

۱. افزایش دسترسی به اکسیژن: این عامل توسط جریان هوا ممکن می‌شود. همچنین در موادی که در حین فرایند سوختن قادرند اکسیژن آزاد کنند، آتش‌سوزی گسترش بیشتری پیدا می‌کند.

۲. ثبات شیمیایی مادهٔ سوختنی: هرچه ثبات ماده از نظر حالت و ترکیب شیمیایی کمتر باشد، بر شدت آتش‌سوزی افزوده خواهد شد.

۳. سطح مادهٔ سوختنی: هرچه سطح مادهٔ سوختنی گسترده‌تر باشد، شدت و سرعت آتش‌سوزی نیز بیشتر خواهد شد. مثلاً طبقه‌بندی مواد در انبارهای بزرگ، منابع سوخت با سطوح بزرگ و پراکندگی مواد در سطح زمین، پوشش گیاهی و امثال آن از این جمله‌اند.

۶. محصولات احتراق

احتراق دو محصول اساسی و مهم دارد. نخستین محصول احتراق انرژی است. اما محصول دوم آن موادی است که گاه سبب ایجاد صدمات جدی به ادوات و افراد می‌شود. عمده‌ترین محصولات احتراق عبارت‌اند از: گازهای حاصل از احتراق، ذرات، شعله و گرما. در ادامه دربارهٔ هر یک از این محصولات توضیحاتی بیان می‌شود.

۶-۱. ذرات

آنچه را که با نام دود می‌شناسیم، در واقع مجموعه‌ای از ذرات با دامنهٔ قطر بیش از طول موج نور است که در عبور نور خلل ایجاد می‌کنند و برای سلامتی انسان خطرناک‌اند. این ذرات در دماهای پایین و در اثر احتراق ناقص تولید می‌شوند. البته در آتش‌سوزی‌های گسترده، که مواد اکسیژن کافی برای سوختن کامل در اختیار ندارند، نیز دود زیادی تولید می‌شود.

۶-۲. گازهای حاصل از احتراق

از جمله خطرناک‌ترین محصولات احتراق، که در بروز تلفات انسانی نقش مهمی دارد، گازها و بخارهای ناشی از احتراق است. در جدول ۲ عمده‌ترین مواد سوختنی و گازها و بخارهای حاصل ذکر شده است.

۶-۳. شعله

شعله قسمت قابل رؤیت حریق است که شدت گرمای آن به میزان اکسیژن در دسترس وابسته است. رنگ شعله به ماهیت مادهٔ سوختنی بستگی دارد؛ مثلاً در مواد حاوی سدیم به رنگ زرد و گازهای مواد آلی به رنگ آبی است.

جدول ۲. گازها و بخارهای حاصل از احتراق مواد گوناگون [۲]

مادهٔ سوختنی	نوع گاز یا بخار سمی حاصل
نایلون، ملامین، پلی‌اورتان	آمونیاک، سیانید هیدروژن، مونو اکسید کربن، دی اکسید نیتروژن
سوخت‌های سنگین یا ترکیبات گوگرددار	دی اکسید گوگرد
پلی وینیل کلراید (پی. وی. سی.)	بخارهای کلراید
مواد آلی گوگرددار مثل گوشت، پشم و مو	سولفید هیدروژن
فیلم فلوئوردار	گازهای اسیدی هالوژنه، هیدروژن فلوئوراید، هیدروژن بروماید
بنزین دارای سرب	مونو اکسید کربن، دی اکسید سرب

۶-۴. گرما

از جمله فراوان‌ترین محصولات احتراق، حرارت است. این محصول بسته به مدت زمان شروع حریق، نوع مادهٔ سوختنی و نیز میزان گسترش آتش می‌تواند متفاوت باشد. اغلب به‌هنگام گسترش آتش‌سوزی، دما به ۷۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۳۰۰ درجهٔ فارنهایت) می‌رسد. هرچه به‌سوزی مادهٔ سوختنی بیشتر باشد، دما نیز بیشتر خواهد بود.

۷. فازهای آتش‌سوزی

به‌طور کلی فازهای چندگانهٔ حریق را می‌توان به‌قرار زیر دسته‌بندی کرد:

۱. شروع حریق
۲. سوختن آزاد
۳. سوختن کند
۴. برگشت شعله

در مرحلهٔ شروع حریق، اکسیژن کافی در دسترس است و بیشترین محصولات آن دی اکسید کربن و منو اکسید کربن می‌باشد. حرارت شعله در این مرحله حدود ۱۰۰۰ درجهٔ فارنهایت است. گسترش حریق نیز در این مرحله تصاعدی است و مدت زمان رسیدن به اوج حرارت کوتاه و کمتر از نیم ساعت است. در مرحلهٔ سوختن آزاد اما، علاوه بر هوای داخل محوطهٔ حریق، جریان هوای بیرون نیز به‌دلیل اختلاف حرارت به‌داخل آتش کشیده می‌شود و همین هوا به‌دلیل گرم‌شدن سبب گسترش حریق می‌گردد. درجه حرارت در ارتفاع و طبقات بالای محل آتش‌سوزی تا ۱۳۰۰ درجهٔ فارنهایت نیز می‌رسد. در این مرحله، درصد اکسیژن به‌تدریج کم می‌شود و به‌حدی می‌رسد که آتش بدون شعله می‌شود. در این مرحله، شعله‌های آتش به سایر مناطق گسترش می‌یابد.

مرحلهٔ سوختن کند به نام فاز آخر موسوم است و معمولاً حریق آن شعله ندارد. وسعت آتش‌سوزی در این مرحله محدود و مراکز آتش به نقاطی منفصل مبدل می‌شود. در این مرحله، حرارت در اطراف حریق حدود ۱۰۰۰ درجهٔ فارنهایت است که به‌تدریج روبه افول می‌نهد. نکتهٔ اساسی در این فاز تراکم و فشار زیاد گازهاست. در پایان این مرحله، به‌تدریج مواد سوختنی به زغال یا خاکستر تبدیل و آتش نیز رفته‌رفته سرد می‌شود. فاز برگشت شعله لزوماً در تمام آتش‌سوزی‌ها وجود ندارد، اما اگر تراکم گازهای قابل احتراق در هوا بالا باشد، به‌دلیل اختلاط با هوا بار دیگر آتش می‌گیرد و سبب برگشت شعله می‌شود. البته این بازگشت لزوماً تداوم زیادی نخواهد داشت. باید توجه داشت که این فاز در صورتی خطرآفرین است که منابع سوختنی

جدیدی در دسترس آتش قرار بگیرد. معمولاً در عملیات اطفاء حریق، پس از خاموش‌کردن آتش، باید یک گروه عملیاتی برای مبارزه با بازگشت آتش به‌مدت یک تا دو ساعت در محل باقی بمانند. چگونگی گسترش شعله، با سرعتی که میزان حرکت شعله را روی سطوح مشخص می‌کند و با عددی مشابه آن بیان می‌شود. این سرعت وابسته به جنس مواد مشتعل و شرایط آتش است. به‌طور کلی، می‌توان گسترش شعله را به‌صورت عدد یا سرعت طولی بیان نمود که نمونه‌های آن در جدول ۳ آمده است. نمرهٔ گسترش شعله نیز در مواد گوناگون تعیین می‌شود؛ نمره‌ای که براساس نمرهٔ مبناست. نمرهٔ مبنا مربوط به آزبست[۲۹] (پنبهٔ نسوز یا پنبهٔ کوهی) و برابر با صفر است. براساس نمرات آتش‌گیری هر ماده درجه‌بندی از یک تا پنج انجام می‌شود و شامل مواد غیرقابل احتراق تا مواد تندسوز است. این درجه‌بندی در جدول ۴ و نمونه‌هایی از مواد آتش‌گیر در جدول ۵ آمده است.

جدول ۳. نمونه‌ای از گسترش آتش در زوایای گوناگون [۲]

حالت گسترش	سرعت انتشار آتش اینچ بر ثانیه
حرکت عمودی سربالای آتش	۱/۲
حرکت ۴۵ درجه	۰/۸
حرکت افقی	۰/۱
عمودی سرپایین	۰/۰۵

جدول ۴. درجه‌بندی مواد از نظر آتش‌گیری [۲]

درجات مواد از نظر گسترش حریق	نمره
درجهٔ ۱: غیرقابل احتراق	صفر تا ۱۵
درجهٔ ۲: دیرسوز	۱۶ تا ۳۰
درجهٔ ۳: کندسوز	۳۱ تا ۷۵
درجهٔ ۴: سوختنی	۷۶ تا ۲۰۰
درجهٔ ۵: تندسوز	بالاتر از ۲۰۰

جدول ۵. نمونه‌ای از درجه‌بندی مواد آتش‌گیر [۲]

ماده	نمرهٔ گسترش حریق
نمد	۳۵
فرش آکریلیک	۳۹
فرش پشمی	۷۰
چوب بلوط قرمز	۱۰۰
الوار کاج سفید	۱۳۰

۸. انتقال و انتشار آتش

به‌طور کلی، آتش به روش‌های گوناگونی گسترش می‌یابد. روش‌هایی که انتشار آتش به مکان‌های مجاور را ممکن می‌کنند، عبارت‌اند از: هدایت[۳۰]، جابه‌جایی[۳۱]، تابش[۳۲] و شعله (تماس شعله[۳۳]). در ادامه دربارهٔ هریک از این روش‌ها توضیحاتی مطرح می‌شود.

۸-۱. هدایت

این روش توسط هدایت دیوارها، فلزات و سطوح میان مواد احتراقی انجام می‌شود و نیازی به گسترش شعله ندارد. در این روش، مقاومت مصالح در برابر هدایت گرما اثر قابل توجهی در کنترل آتش‌سوزی دارد. به‌طوری‌که هرچه تراکم مصالح بیشتر باشد، مقاومت آنها در برابر گسترش شعله‌های آتش نیز بیشتر خواهد بود و در نتیجه پیشرفت آتش‌سوزی را به تأخیر خواهند انداخت. مقاومت دیوارها از میزان مقاومت در برابر آتش با واحد ساعت مقاومت بیان می‌شود. وجود فضای خالی میان دو محیط دارای مواد اشتعال‌پذیر یا فضا در بین دیوارهای جداکننده، برای به تأخیر انداختن انتقال حرارت بسیار مطلوب است.

۸-۲. جابه‌جایی

هوای گرم می‌تواند داخل ساختمان منتشر و سبب ایجاد آتش‌سوزی شود. این نوع انتقال بیشتر صعوی است. در ساختمان‌های چندطبقه لازم است تدابیر پیشگیرانه‌ای به‌منظور جلوگیری از این نوع گسترش آتش در ساختمان اتخاذ شود.

۸-۳. تابش

در این روش، انتقال حرارت توسط طیف مادون قرمز و از طریق تابش شعله یا سطوح داغ به سطوح قابل اشتعال مجاور صورت می‌گیرد. سطوح مسلح‌شده با ورقه‌های فلزی و استفاده از رنگ‌های روشن و مقاوم در برابر حرارت می‌تواند از انتقال به این روش بکاهد.

۸-۴. تماس شعله

شعله نیز می‌تواند سطوح یا مواد قابل اشتعال مجاور خود را تحت تأثیر قرار دهد و سبب گسترش دامنهٔ آتش شود.

۹. تقسیم‌بندی مکان‌ها از نظر خطر آتش‌سوزی

به‌طور کلی مکان‌های گوناگون از نظر خطر آتش‌سوزی را می‌توان به‌صورت مکان‌های کم‌خطر، مکان‌هایی با خطر متوسط گروه ۱، مکان‌هایی با خطر متوسط گروه ۲، مکان‌های پرخطر گروه ۱ و نهایتاً مکان‌های پرخطر گروه ۲ تقسیم‌بندی کرد. در ادامه در مورد هر یک از این موارد توضیحاتی ارائه می‌شود.

۹-۱. مکان‌های کم‌خطر

در این دسته از مکان‌ها مقدار مواد قابل احتراق و نرخ حرارت آزادشده یا به‌طور کلی بار آتشگیری[۳۴] محدود است و گسترهٔ آتش وسعت چندانی ندارد. چگالی مواد سوختنی به ۵۰ کیلوگرم در هر متر مربع محدود می‌شود. ساختمان‌های اداری، مسکونی، بیمارستان‌ها، مسجدها، هتل‌ها و مهمان‌سراها از جملهٔ چنین مکان‌هایی هستند. آتش‌سوزی در چنین مکان‌هایی به‌خوبی قابل کنترل است.

۹-۲. مکان‌هایی با خطر متوسط گروه ۱

در این دسته از مکان‌ها، چگالی مواد سوختنی به‌طور متوسط بین ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هر متر مربع است. در چنین مکان‌هایی مقدار ذخیرهٔ مواد سوختنی قابل توجه است، اما آتش‌سوزی در آنها قابل کنترل می‌باشد. انبار کارگاه‌های تولیدی کوچک، انبار پوشاک و بیشتر صنایع غیرحساس، پارکینگ‌ها و رستوران‌ها از جملهٔ چنین مکان‌هایی هستند.

۹-۳. مکان‌هایی با خطر متوسط گروه ۲

این گروه شامل مکان‌هایی با قابلیت اشتعال و نرخ حرارت آزادشده بوده یا تراکم مواد سوختنی در آنها بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هر متر مربع یا انبارهایی با ارتفاع چیدمان کمتر از ۴ متر می‌باشد. انبارهای صنعتی و تجاری، کارگاه‌های تولیدی و صنعتی و انبار مواد پلاستیکی از جملهٔ چنین مکان‌هایی هستند.

۹-۴. مکان‌های پرخطر گروه ۱

این گروه شامل مکان‌هایی با قابلیت اشتعال و نرخ حرارت آزادشده و سرعت گسترش بالا هستند، اما تراکم مواد

سوختنی در آنها پایین است. ساختمان‌های حساس اداری آموزشی، مخابراتی، امنیتی، کارگاه‌های کوچک مواد شیمیایی و آزمایشگاه‌ها از جملهٔ چنین مکان‌هایی هستند.

۹-۵. مکان‌های پرخطر گروه ۲

این گروه شامل مکان‌هایی با قابلیت اشتعال و نرخ حرارت آزادشده و سرعت گسترش بالا بوده یا تراکم مواد سوختنی بالاتر از ۱۰۰ کیلوگرم در هر متر مربع می‌باشد. پالایشگاه‌ها، مخازن سوخت، کارگاه‌های تولید مواد شیمیایی و محصولات نفتی، اتاق‌های رنگ، کارگاه‌های تولید مواد انفجاری و جز این‌ها از جملهٔ جنین مکان‌هایی هستند. در چنین مکان‌هایی ممکن است قابلیت و سرعت اشتعال مواد متوسط باشد، اما مقدار ذخیرهٔ مواد قابل اشتعال زیاد است و در صورت بروز آتش‌سوزی، حوادث ناگواری پیش خواهد آمد.

۱۰. اهمیت مکان‌ها از نظر فرهنگی و اقتصادی

مکان‌های گوناگون از جنبه‌های دیگری نیز می‌توانند در این گروه‌ها قرار داده شوند. از آن جمله می‌توان به ارزش اقتصادی، اهمیت مواد و تجهیزات یا اطلاعات و فناوری که دارند، ارزش معنوی و فرهنگی مواد، کالاها، تجهیزات و ساختمان‌ها اشاره کرد. لذا در کلیهٔ محاسبات مربوط به بار آتش یا محاسبات فنی برای سامانه‌های کشف، اعلام و اطفاء حریق این جنبه‌ها را نیز به‌عنوان شاخص‌های ایمنی باید در نظر گرفت.

۱۱. مراتب خطر مواد

امروزه به‌منظور پیش‌بینی و برخورد مناسب و صحیح با مخاطراتی چون آتش‌سوزی، کدها و استانداردهایی بین‌المللی مدون شده است. برای استفادهٔ صحیح از چنین استانداردهایی لازم است تا علائم و نشانه‌های مندرج روی ظروف بسته‌بندی‌های مواد گوناگون را شناخت. مثلاً در مکان‌هایی که مواد قابل اشتعال نگه‌داری و انبار می‌شوند، لازم است تا لوزی خطر[۳۵] آنها در مجاورت در ورودی و داخل انبار، در کنار محل نگه‌داری مواد، نصب شود. در برگهٔ اطلاعات ایمنی مواد[۳۶] نیز باید این ویژگی‌ها و علائم مربوطه قید گردد. کلیهٔ کدها در یک لوزی، که به چهار بخش تقسیم شده است و اصطلاحاً به آن لوزی خطر گفته می‌شود، درج می‌گردد. جزئیات این مبحث در کد NFPA-704 قابل دسترسی است [۱۲]. کلیهٔ درجات خطر بین صفر تا چهار تعیین شده‌اند و مواد را از نظر مخاطرات به‌صورت زیر درجه‌بندی کرده‌اند:

۱. خطر اشتعال
۲. خطر واکنش شیمیایی
۳. خطرات بهداشتی
۴. خطرات ویژه

در ادامه دربارهٔ هر یک از این موارد به اختصار توضیحاتی خواهیم داد.

۱۱-۱. درجه‌بندی مواد از نظر اشتعال

این بخش از لوزی خطر به رنگ قرمز است و یکی از کدهای زیر در آن درج می‌شود:

۰	آتش نمی‌گیرد.
۱	به حرارت قابل توجهی نیاز دارد تا آتش بگیرد.
۲	به حرارت کمی نیاز دارد تا آتش بگیرد.
۳	احتمالاً در شرایط عادی نیز آتش می‌گیرد.
۴	مایعات با قابلیت اشتعال بالا یا گازهای مایع‌شده که به‌سرعت آتش می‌گیرند.

۱۱-۲. پایداری مواد از نظر واکنش‌های شیمیایی

در این ویژگی، بیشتر واکنش با آب به‌هنگام حریق مد نظر است. این بخش از لوزی خطر به‌رنگ زرد است و یکی از کدهای زیر در آن درج شده است:

۰	در حالت عادی و حتی در مجاورت حریق پایدار است و با آب واکنش ندارد.
۱	در درجه‌های بالای حریق و فشار زیاد واکنش می‌دهد.
۲	به آسانی دچار تغییرات شدید شیمیایی می‌شود.
۳	به خودی خود نیز ممکن است تجزیه شود. اگر در محفظه‌ای بسته باشد، حالت انفجاری خواهد داشت.
۴	در شرایط عادی حرارت و فشار، قابلیت انفجار و تجزیه دارد. گاهی نیز در اثر ضربه منفجر می‌شود.

۱۱-۳. مخاطرات بهداشتی مواد به‌هنگام آتش‌سوزی

این بخش از لوزی خطر به رنگ آبی است و معمولاً یکی از کدهای زیر در آن درج می‌شود:

۰	به‌هنگام آتش‌سوزی خطر خاصی ندارد.
۱	مخاطرات محدودی دارد و هنگام اطفاء حریق ترجیحاً به ماسک تنفسی نیاز دارد.
۲	مخاطرات آنها محرز است و با ماسک تنفسی می‌توان به محیط آتش آنها رفت.
۳	برای سلامتی بسیار خطرناک‌اند و ورود تنها با احتیاط و لباس حفاظتی و ماسک تنفسی امکان‌پذیر است.
۴	به‌شدت مخاطره‌آمیز و مرگ‌آور است. مخاطرهٔ پوستی نیز ایجاد می‌کند.

۱۱-۴. خطرات ویژهٔ مواد

معمولاً هر یک از مخاطرات یا محدودیت‌های گوناگون مواد با علائم خاصی مشخص می‌شوند. در جدول ۶ علامت اختصاری هر خطر یا محدودیت مشخص شده است.

۱۲. انواع آتش و دسته‌بندی‌های مرتبط با آن

معمولاً برای سهولت در پیشگیری و کنترل آتش‌سوزی، آتش‌ها را برحسب ماهیت مواد سوختنی به دسته‌های گوناگونی تقسیم‌بندی می‌کنند. مثلاً در کشورهایی چون ایالات متحدهٔ امریکا و ژاپن آتش‌ها را به چهار دستهٔ A و B و C و D و در کشورهای اروپایی و استرالیا آتش‌ها را به شش دستهٔ گوناگون تقسیم‌بندی می‌کنند.

جدول ۶. علائم اختصاری مربوط به مخاطرات گوناگون مواد [۲]

نوع خطر یا محدودیت	علامت اختصاری
خاموش‌کردن با آب	W
مواد رادیواکتیو	×
اسیدی‌بودن شدید	ACID
قلیایی‌بودن شدید	ALK
خفه‌کنندهٔ تنفسی	SA
اکسیدشوندگی شدید	OXY

آتش دستهٔ A در تمامی تقسیم‌بندی‌ها، آتش حاصل از مواد جامدی است که خاکستر برجای می‌گذارد. آتش دستهٔ B نیز آتش حاصل از مواد نفتی و مایعات قابل اشتعال است. آتش دستهٔ D اما، آتش حاصل از فلزات قابل اشتعال است. در تقسیم‌بندی امریکایی آتش دستهٔ C شامل آتش‌سوزی‌های الکتریکی است، اما در تقسیم‌بندی اروپایی این دسته شامل گازهای آتش‌گیر همچون گاز مایع، گاز طبیعی، گاز طبیعی مایع‌شده و مایعاتی است که به‌سرعت تبخیر می‌شوند و آتش دستهٔ E شامل حریق الکتریکی است. به‌تازگی دستهٔ دیگری تحت عنوان آتش دستهٔ F یا K اضافه شده است. این دسته از آتش‌ها به حریق آشپزخانه و روغن‌های آشپزی مربوط می‌شود. اما باید توجه داشت که مراجع رسمی کشور تقسیم‌بندی‌های فوق را تأیید یا تدوین ننموده‌اند و به‌نظر گلمحمدی، نویسندهٔ کتاب *مهندسی حریق*، با توجه به شرایط کشور از نظر مصرف مواد آتش‌گیر نفتی، خصوصاً گازهای طبیعی و گاز مایع‌شده الگوی اروپایی، که مورد تأیید ایـزو[۳۷] نیز می‌باشد، مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد. لذا در ادامهٔ مبحث تقسیم‌بندی آتش با افزودن گروه F مورد پذیرش و بحث در این کتاب قرار گرفته است.

۱۲-۱. آتش دستهٔ A

این نوع آتش‌سوزی از سوختن مواد طبیعی قابل احتراق، عموماً جامد و دارای ترکیبات آلی طبیعی یا مصنوعی، پدید می‌آید. این منابع کاغذ، پارچه، چوب، پلاستیک و امثال آن است که پس از سوختن از خود خاکستر برجای می‌گذارند. خاموش‌کننده‌هایی که برای کنترل این دسته از آتش‌ها به‌کار می‌رود، علامتی مثلث‌شکل و سبزرنگ با نشان A دارند. مبنای اطفاء آنها نیز بر خنک‌کردن آنها (اغلب به‌کمک آب) استوار است.

۱۲-۲. آتش دستهٔ B

این نوع آتش‌سوزی از سوختن مایعات قابل اشتعال یا جامداتی که به‌راحتی قابلیت مایع‌شدن دارند، پدید می‌آید. برخی از این مواد ممکن است حلال در آب نیز باشند مانند الکل و استون، لیکن استفاده از آب، به‌دلائلی که در ادامه مطرح خواهد شد، به‌هیچ وجه برای اطفاء آنها توصیه نمی‌شود. خاموش‌کننده‌هایی که برای این دسته از آتش‌سوزی‌ها مناسب‌اند، دارای برچسب مربع قرمزرنگ با علامت B هستند. اطفاء این نوع آتش‌سوزی عموماً بر خفه‌کردن آتش استوار است.

۱۲-۳. آتش دستهٔ C

این نوع آتش‌سوزی از سوختن گازها یا مایعات و یا مخلوطی از آنها پدید می‌آید. این دسته از آتش‌سوزی‌ها نزدیک‌ترین نوع آتش‌سوزی به دستهٔ B می‌باشند و خاموش‌کننده‌های مربوط به آنها با علامت C در مربعی آبی‌رنگ مشخص می‌شوند. روش خاموش‌کردن این نوع آتش‌سوزی نیز مبتنی بر خفه‌کردن و بستن مسیر نشت می‌باشد.

۱۲-۴. آتش دستهٔ D

این نوع آتش‌سوزی از سوختن فلزاتی چون منیزیم، سدیم، پتاسیم و امثال آن پدید می‌آید. خاموش‌کننده‌های مناسب برای اطفاء این دسته از آتش‌ها با علامت ستارهٔ زردرنگ D مشخص می‌شوند.

۱۲-۵ آتش دستهٔ E

این نوع آتش‌سوزی شامل حریق‌های الکتریکی است که عموماً در وسائل الکتریکی و الکترونیکی روی می‌دهد. حریق‌هایی چون سوختن کابل‌های تابلو برق یا وسائل برقی و حتی سیستم‌های کامپیوتری از این نوع‌اند. نامگذاری این دسته از آتش نه به‌خاطر متفاوت‌بودن نوع مادهٔ سوختنی، که به‌دلیل مشخصات وقوع، اهمیت و نوع دستگاه‌هایی است که طعمهٔ حریق می‌شوند. در اطفاء این دسته از آتش‌سوزی‌ها برای تأمین ایمنی کارگران و پیشگیری از وارد آمدن صدمات بیشتر به دستگاه‌ها و تجهیزات، نیازمند استفاده از خاموش‌کننده‌های عایق الکتریسیته هستیم. راه اطفاء این نوع آتش‌سوزی‌ها قطع جریان برق و خفه‌کردن شعله‌های آتش با گاز دی اکسید کربن یا هیدرو فلورو کربن‌ها می‌باشد. خاموش‌کننده‌هایی که قابلیت کنترل آن را دارند، با حرف E مشخص می‌شوند.

۱۲-۶. آتش دستهٔ F

این نوع آتش‌سوزی به آتش ناشی از سوختن روغن‌ها و چربی‌های آشپزخانه‌ای یا آتش ناشی از دستگاه‌های پخت مواد غذایی گفته می‌شود. خاموش‌کنندهٔ مناسب برای این دسته از آتش‌سوزی‌ها نیز به نام پودر تر[۳۸] موسوم می‌باشد.

۱۳. روش‌های عمومی اطفاء حریق

به‌طور کلی اگر بتوان یکی از اضلاع هرم حریق را کنترل، محدود یا قطع کرد، آتش‌سوزی مهار خواهد شد. اگرچه واکنش‌های زنجیره‌ای لازمهٔ بروز آتش‌سوزی است، اما در وهلهٔ نخست اهمیت ندارد. روش‌های عمومی اطفاء حریق براساس ماهیت آتش عبارت‌اند از:

۱. سردکردن
۲. خفه‌کردن
۳. سدکردن یا حذف مادهٔ سوختنی

۴. کنترل واکنش‌های زنجیره‌ای

در ادامه به توضیح و تشریح هر یک از روش‌های چهارگانهٔ فوق خواهیم پرداخت.

۱۳-۱. سردکردن

از جمله روش‌های قدیمی و مؤثر برای کنترل آتش‌سوزی، سردکردن آن است. این عمل عمدتاً به‌وسیلهٔ آب انجام می‌شود. یکی از خواص گاز دی اکسید کربن نیز سردکردن آتش است، اما به اندازهٔ آب در سردکردن آتش اهمیت ندارد. میزان و روش به‌کارگیری آب در خاموش‌کردن آتش اهمیت دارد؛ این روش برای حریق‌های دستهٔ A مناسب است.

۱۳-۲. خفه‌کردن

خفه‌کردن در واقع پوشاندن آتش با موادی است که مانع رسیدن اکسیژن به محوطهٔ آتش بشود. این روش معمولاً توسط ممانعت از رسیدن هوا به‌کمک لایه‌ای از پودر شیمیایی سبک یا پودر خشک سنگین یا استفاده از کف آتش‌نشانی انجام می‌شود. اگرچه استفاده از این روش برای اطفاء تمامی آتش‌سوزی‌ها مناسب نیست، اما روش مطلوبی برای کنترل بیشتر آتش‌سوزی‌هاست. مورد استثنا احتراق موادی است که در حین سوختن تولید اکسیژن می‌کنند؛ موادی چون نیترات و زنجیره‌های آلی اکسیژن‌دار، همچنین موادی که سرعت آتش‌گیری در آنها زیاد است؛ مانند دینامیت، سدیم، پتاسیم و جز این‌ها که از این قاعده مستثنی هستند. موادی که برای خفه‌کردن به‌کار می‌روند، بایستی سنگین‌تر از هوا باشند و یا حالت پوششی داشته باشند. ضمناً مواد در دسترس همچون خاک و ماسه و پتوی خیس و پتوی آتش‌نشانی نیز می‌توانند این کار را انجام دهند.

۱۳-۳. حذف مواد سوختنی

این روش در ابتدای بروز آتش‌سوزی امکان‌پذیر است و با قطع جریان، جابه‌جا کردن مواد، جداکردن منابعی که تاکنون شعله‌های آتش به آنها نرسیده، کشیدن دیوارهای حائل یا خاکریز، همچنین رقیق‌کردن مادهٔ سوختنی مایع را شامل می‌گردد. سدکردن مسیر دسترسی آتش به مواد سوختنی، قطع جریان مادهٔ سوختنی نیز از جملهٔ این روش‌هاست.

۱۳-۴. کنترل واکنش‌های زنجیره‌ای

برای کنترل واکنش‌های زنجیره‌ای استفاده از برخی ترکیبات هالوژنه، که پیامدهای سوء زیست محیطی نداشته باشند، همچنین استفاده از گازهای بی‌اثر توصیه می‌شود. این ترکیبات علاوه بر رقیق‌سازی اکسیژن هوای اطراف محدودهٔ آتش، واکنش‌های زنجیره‌ای را نیز مهار می‌نمایند. استفاده از ترکیبات هالن[۳۹] سنتی، به‌دلیل آثار سمی مخرب، ممنوع است؛ اما جایگزین‌های مناسب آن شامل هیدرو فلورو کربن‌ها[۴۰] و گازهای بی‌اثر[۴۱] سازگار با محیط زیست و متداول می‌باشند. هیدرو فلورو کربن‌ها به‌دلیل ملاحظات قانونی زیست محیطی جایگزین هالن‌ها هستند و اثر تخریبی محدودی دارند. برخی ترکیبات جامد همچون جوش شیرین[۴۲]، کلروپتاسیم[۴۳] و پتاسیم بنفش یا کربنات پتاسیم[۴۴] نیز در این گروه قابل تعریف و مؤثرند؛ اما گران‌تر از سایر روش‌ها هستند و می‌توانند به‌صورت مکمل یا حتی انحصاری برای خاموش‌کردن حریق مواد و کالاها یا تجهیزات باارزش به‌کار می‌روند.

مآخذ

[1] Bell, Walter George. *The Story of London's Great Fire*, London: John Lane, p. 109.

[۲] گلمحمدی، رستم. *مهندسی حریق*، تهران: فن‌آوران، ۱۳۹۱.

[3] Lamb, Martha Joanna, Burton Harrison. *History of the City of New York: Its Origin, Rise and Progress*, Volume 3, New York, A. S. Barnes, 1896, p.720.

[4] Pierce, Bessie Louise. *A History of Chicago: Volume III: The Rise of a Modern City*, 1871–1893, Chicago: University of Chicago Press, 2007, p. 4.

[5] CBC News, "Bin Laden claims responsibility for 9/11", October 29, 2004, http://www.cbc.ca/world/story/2004/10/29/binladen_message041029.html, (accessed April 12, 2011)

[۶] هنردار، حسین. "مطالعهٔ آثار جریان دود و آتش حاصل از آتش‌سوزی بر مقاومت و گسیختگی سازه‌ها"، پایان‌نامهٔ کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، ۱۳۹۰.

[7] Michael J. Karter, Jr., "Fire Loss in the United States during 2010", *NFPA Journal*, September 2011, National Fire Protection Association, p. 1.

[۸] وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. "بررسی اثرات جنگ خلیج فارس (حملهٔ عراق به کویت) در بروز سرطان در استان‌های جنوب و جنوب غربی ایران"، اسفند ۱۳۸۲.

[9] The Windsor Building Fire, Huge Fire in Steel-Reinforced Concrete Building Causes Partial Collapse, http://911research.wtc7.net/wtc/analysis/compare/windsor.html (accessed Feb 12, 2011)

[۱۰] مهرداد نیکنام، *مقابله با آتش‌سوزی*، تهران: سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران، مدیریت پژوهش و آموزش، ۱۳۸۴، ص. ۴.

[11] International Standard Worldwide, "ASTM D92 - 12b Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester", http://www.astm.org/Standards/D92.htm (accessed Aug 4, 2013)

[12] NFPA 704: Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response

[۱۳] احمدپور، امین، خشایار شکیبی. *آشنایی با برگهٔ اطلاعات ایمنی مواد، دومین همایش بازرسی و ایمنی در صنایع نفت و گاز*، تهران: هم‌اندیشان انرژی کیمیا، ۱۳۹۰.

پی‌نوشت

1. Professional Engineering Exam (PE Exam)
2. fire engineering
3. Westminster
4. Whitehall or White Hall
5. Charles II (1630 – 1685)
6. St Paul's Cathedral

۷. تخمین زده شده است که خانه و سرپناه ۷۰۰۰۰ نفر از کل جمعیت ۸۰۰۰۰ نفری لندن تماماً در کام آتش فرو رفت و نابود شد. با اینکه آمار تعداد جان‌باختگان این حادثه هیچ‌گاه مشخص نشد، اما عده‌ای بر این باورند که تعداد قربانیان این حادثه چندان زیاد نبوده است؛ زیرا به‌طور رسمی تنها نام افراد کمی به‌عنوان جان‌باختگان این فاجعه به ثبت رسیده است. این در حالی است که عده‌ای از پژوهشگران این باور را به چالش کشیده‌اند و اندک‌بودن تعداد جان‌باختگان ثبت‌شده را به دو دلیل نادرست می‌دانند. اینان بر این باورند که در قرن هفدهم و در زمان آن آتش‌سوزی مهیب کسی به فکر ثبت نام جان‌باختگان طبقات فقیر و حتی متوسط جامعه نبوده است. همچنین شدت آتش‌سوزی به‌حدی بوده است که به احتمال زیاد شناسایی جسد بیشتر قربانیان، که به‌طور کامل سوخته و خاکستر شده بودند، امکان پذیر نبوده است.

8. World Trade Center
9. Shanks Ville

۱۰. لایحهٔ میهن‌دوستی امریکا بلافاصله پس از حملات یازدهم سپتامبر ۲۰۰۱ در کنگرهٔ امریکا مطرح شد و با رأی بسیار بالایی به تصویب نمایندگان سنا و کنگرهٔ امریکا رسید و بعد از امضای رئیس‌جمهور به قانونی لازم‌الاجرا تبدیل شد. این قانون با الحاق مفاد متعددی به قوانین مربوط به مهاجرت و امنیت، در واقع مقررات مربوط به اقامت، تابعیت و مهاجرت شهروندان غیرامریکایی مقیم امریکا را سخت‌تر کرد و به دستگاه اجرایی کشور اجازه داد که آزادانه‌تر و به بهانهٔ ضرورت امنیتی به اقدام پیشگیرانه در داخل امریکا دست بزند.

۱۱. پرل هاربر بندری در مجمع‌الجزایر هاوایی است. عمدهٔ شهرت این بندر به‌سبب حملهٔ ارتش ژاپن به پایگاه دریایی ایالات متحدهٔ امریکا در این بندر، در بامداد هفتم دسامبر ۱۹۴۱، است. درپی این حمله، امریکا وارد جنگ جهانی دوم شد. در حملهٔ هوایی ژاپن، صدمات سنگینی به ناوگان اقیانوس آرام امریکا وارد و در این بین هفت رزم‌ناو نابود شد. دولت امریکا نیز روز بعد به ژاپن اعلان جنگ داد و همزمان، دولت‌های بریتانیا، آلمان و ایتالیا نیز در این رویارویی صف‌آرایی کردند. تهاجم ژاپن بر حوزه‌های نفوذ امریکا و اروپاییان در خاور دور چنان گسترده و قدرتمند بود که برای حریفان مقابل، جز عقب‌نشینی و شکست چیز دیگری در برنداشت. نتیجهٔ این حمله برای نیروی دریایی امریکا فاجعه‌ای کامل بود. به‌طوری‌که ۳۶۰ هواپیمای ژاپنی توانستند پنج رزم‌ناو بزرگ امریکایی را به‌همراه سه کشتی کوچک‌تر غرق کنند. سه رزم‌ناو دیگر نیز به‌گونه‌ای آسیب دیدند که توان عملیاتی خود را از دست دادند. علاوه بر آن، ۱۸۸ هواپیمای امریکایی روی زمین نابود شدند و ۱۵۵ هواپیمای دیگر آسیب دیدند. در پایان آن روز بیش از ۲۴۰۰ کشته و ۱۲۴۰ مجروح امریکایی نیز برجای ماند.

12. Interstate Bank
13. Mont Blanc
14. Windsor tower

۱۵. سازمان مدیریت بحران فدرال (Federal Emergency Management Agency)، که به اختصار فـما (FEMA) خوانده می‌شود، از جمله سازمان‌های دولتی تابعهٔ وزارت امنیت داخلی ایالات متحدهٔ امریکاست که بنابر حکم رئیس جمهور وقت ایالات متحده، در یکم آوریل ۱۹۷۹، تأسیس شد. مأموریت اصلی این سازمان مقابله با آثار و پیامدهای مخرب بلایای طبیعی و ساختهٔ دست بشر و به‌منظور کاهش خسارات و تلفات در داخل ایالات متحدهٔ امریکا می‌باشد. از زمان تاسیس تا حملات یازدهم سپتامبر این سازمان مسئولیت اجرای دفاع غیرنظامی در امریکا را برعهده داشت. در سال ۲۰۰۳، درپی دستور جورج دبلیو بوش، فـما به یکی از سازمان‌های زیرمجموعهٔ وزارت امنیت داخلی ایالات متحدهٔ امریکا تبدیل شد. امروزه رئیس فـما گزارش‌های عملکرد سازمان تحت امرش را مستقیماً به وزیر امنیت داخلی ایالات متحدهٔ امریکا ارائه می‌دهد. این سازمان علاوه بر انجام عملیات در زمان فجایع، مأموریت‌های متعدد دیگری را نیز در جهت بهبود کیفیت زندگی مردم انجام می‌دهد. از جمله سازمان‌های تابعهٔ فـما می‌توان به سازمان مدیریت حریق ایالات متحده (United States Fire Administration) اشاره کرد.

16. National Fire Protection Association (NFPA), http://www.nfpa.org (accessed Jul 9, 2013)
17. flammable materials
18. chain reactions
19. Nitric acid (HNO3)
20. organic peroxides
21. flash point
22. fire point
23. ignition temperature (IT)
24. lower explosive level (LEL)
25. upper explosive level (UEL)
26. auto ignition temperature
27. Trinitrotoluene (TNT)
28. internal combustion engines
29. asbestos
30. conduction
31. convection
32. radiation
33. flame contact
34. fire load
35. hazard diamond

۳۶. در صنایع فرایندی، مواد شیمیایی متنوعی وجود دارد که غالباً به‌واسطهٔ خصوصیاتی چون قابلیت اشتعال، انفجار، سمیت و رادیواکتیو بودن، از جملهٔ مواد خطرناک محسوب می‌شوند. هرگونه تماس با این مواد خطرناک است و می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری به‌همراه داشته باشد. اما در مواردی چون نمونه‌گیری، تعویض کاتالیست‌ها، بارگیری برخی افزودنی‌ها و جز این‌ها، دخالت انسان در جابه‌جایی این مواد اجتناب‌ناپذیر است. مطالعهٔ گزارش‌های ثبت‌شده از حوادث حاکی است که علل ریشه‌ای بسیاری از حوادث در زمان حمل‌ونقل مواد خطرناک، آزادشدن ناگهانی و غیرقابل کنترل بودن آنهاست که پیامدهایی چون سوختگی، خفگی، مسمومیت و حتی مرگ اپراتورها را نیز درپی داشته است. به‌همین دلیل تمامی افرادی که با مواد شیمیایی سروکار دارند، باید از ویژگی‌ها و خصوصیات این مواد مطلع باشند. برای این منظور دسته‌ای از این اطلاعات مهم و ضروری به‌شکل شناسنامه‌ای با نام برگهٔ اطلاعات

دستورالعمل واحد با آن آشنا شود. به‌همین دلیل لازم است دفترچهٔ برگهٔ اطلاعات ایمنی مواد موجود در واحد، در دسترس افراد شاغل واحد قرار داشته باشد تا در صورت نیاز به آن مراجعه کنند [۱۳].

37. BS-EN3/ISO 13943:2000

۳۸. پودر تر در واقع ترکیب پودر کربنات پتاسیم یا استات پتاسیم در آب است که می‌تواند قدرت خاموش‌کنندگی آب را برای حریق مواد روغنی اصلاح کند. بدین صورت که با روغن واکنش شیمیایی می‌دهد و از شعله‌ور شدن آن جلوگیری می‌کند.

39. Halon
40. Hydro Fluro Carbons (HFC)
41. Inert gas
42. NaHCO3
43. Kcl
44. K2CO3

ایمنی مواد (Material Safety Data Sheet) یا به‌اختصار MSDS ارائه شده است. بیشتر مواد شیمیایی برای سلامتی انسان مضرند؛ اطلاعات موجود در برگهٔ اطلاعات ایمنی مواد نیز ما را از میزان آن مطلع می‌کند. خصوصاً در شرایط غیرنرمال، همچنین برای انجام کارهایی چون حمل‌ونقل، جابه‌جایی، انبار و نگه‌داری، نمونه‌گیری، بسته‌بندی، دفع ضایعات، رفع آلودگی حاصل از این مواد و جز این‌ها مراجعه به اطلاعات موجود در این برگه لازم است. آگاهی از چگونگی خنثی‌سازی و جلوگیری از انتشار مواد خطرناک، ظروفی که باید برای جابه‌جایی دستی مواد استفاده شود، وسائلی که برای بازکردن مظروف مواد استفاده شود، وسائلی که برای انتقال ماده از یک ظرف به ظرف دیگر به‌کار گرفته شود و تجهیزات حفاظت فردی که در حین کار با مواد باید استفاده شود از جمله دیگر مسائل ایمنی است که اپراتور باید در برگهٔ اطلاعات ایمنی مواد و یا

آدرس : خیابان حافظ ، روبروی دانشگاه صنعتی امیر کبیر ، کوچه آرژانتین ، پلاک ۲
فکس :۸۸۸۰۷۰۰۸ تلفن : ۸۸۸۹۲۱۴۴ ، ۸۸۸۹۵۹۶۹