ایمنی در تونل‌های جاده‌ای و ریلی

۲. مبانی و ضوابط ایمنی آتش در خطوط متروی شهری

کد موضوعی: ۲۵۰
شماره مسلسل: ۱۶۹۳۴
اسفندماه ۱۳۹۸

معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی
دفتر: مطالعات زیربنایی

به نام خدا

فهرست مطالب

چکیده ۱
مقدمه ۲
۱. استانداردهای موجود برای مدیریت آتش در مترو ۴
۱-۱. استاندارد NFPA 130 آمریکا ۴
۱-۲. استاندارد اروپا ۵
۱-۳. استاندارد ژاپن ۶
۲. ایمنی خطوط مترو ۶
اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن ۷
۳. مؤلفه‌های ایمنی مترو در حوادث آتش‌سوزی ۱۰
۳-۱. مسیرهای میانی برای خروج ۱۰
۳-۲. زمان تخلیه مسافران ۱۱
۳-۳. بار آتش و تخلیه دود ۱۲
۳-۴. عملیات تهویه هنگام آتش‌سوزی ۱۸
۳-۵. پیاده‌راه داخل تونل (Walkway) ۲۰
۳-۶. عملکرد قطار در هنگام اضطرار ۲۱
۳-۷. تجهیزات اضطراری ۲۱
۴. سایر مؤلفه‌های ایمنی خطوط مترو ۲۵
۴-۱. سیگنالینگ ۲۵
جمع‌بندی ۲۷
منابع و مآخذ ۲۹

ایمنی در تونل‌های جاده‌ای و ریلی
۲. مبانی و ضوابط ایمنی آتش در خطوط متروی شهری

چکیده

مترو، وسیله انتقال سریع و انبوه مسافران در بسیاری از شهرهای بزرگ به‌عنوان ستون فقرات سیستم حمل‌ونقل تلقی می‌شود. در مقایسه با سایر وسائط نقلیه، معمولاً گزارش‌های ایمنی مطلوبی برای مترو وجود دارد بااین‌حال به‌دلیل حجم انبوه مسافران و تعداد محدود خروجی‌ها در یک محیط بسته در حادثه‌ای مانند آتش‌سوزی احتمال آسیب و تلفات بالاست. ارتباط مهمی بین تونل‌های مترو و ایستگاه‌های زیرزمینی آن از نقطه‌نظر ایمنی وجود دارد. ایستگاه‌ها دسترسی به قطار و امکان تخلیه اضطراری و نجات افراد در هنگام خطر را فراهم می‌کنند. قطارهایی که دچار حادثه می‌شوند اغلب باید در نزدیک‌ترین ایستگاه توقف کنند. در خطوط مترو به‌دلیل طولانی بودن مدت زمان مداخله خدمات امداد و نجات به‌سبب محدودیت و دشواری دسترسی به تونل زیرزمینی نسبت به سایر سیستم‌های حمل‌ونقل مانند تونل‌های جاده‌ای است، نجات فردی نقش بسیار مهمی در حفظ جان افراد دارد. ازاین‌رو لازم است با تأمین امکانات و تجهیزات مورد نیاز این امکان را برای مسافران درگیر حادثه فراهم کرد تا بتوانند در هنگام وقوع حوادث جان خویش را نجات دهند. این اقدامات ایمنی می‌تواند شامل تعبیه مسیرهای خروج، نصب علائم راهنما، به‌کارگیری سیستم‌های تهویه و مقابله با دود و سایر تجهیزات اضطراری

تسهیل فرار و امداد و نجات باشد. لازم است به‌منظور اطمینان از کمیّت و کیفیت عملکرد امکانات مورد اشاره، از ضوابط دستورالعمل‌ها و استانداردهای مختص به این حوزه بهره گرفته شود.

مقدمه

مترو یا قطار شهری یکی از سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی است که کاربرد آن با گسترش شهرها در حال افزایش است. اولین تونل مترو در نیمه دوم قرن نوزده در لندن و نیویورک احداث شد و طی دهه‌ها این سیستم پیشرفت و ترقی کرد. از جمله مزایای مترو می‌توان به کاهش آلودگی هوا، کاهش آلودگی صوتی، کاهش مصرف انرژی، افزایش سرعت حمل‌ونقل و بالا رفتن ایمنی تردد اشاره کرد. از طرفی مسئله حمل‌ونقل عمومی به عنوان یکی از مسائل مهم در توسعه پایدار شهری بوده و ازاین‌رو تأمین زیرساخت‌های مورد نیاز برای استفاده از حمل‌ونقل کارآمد شهری دارای اهمیت است. یکی از مسائل مهم در سیستم مترو، تأمین ایمنی آن به منظور حفظ جان انسان‌ها و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در آن است. آتش‌سوزی، تصادفات و حوادثی از این قبیل در شبکه مترو نه تنها باعث از دست رفتن و آسیب به جان انسان‌ها می‌شود بلکه باعث تخریب محیط شده و زندگی روزمره شهروندان را تحت تاثیر قرار می‌دهد و از سوی دیگر تبعات اقتصادی بارزی را نیز به دنبال دارد. بنابراین نظارت بر بهره‌برداری از مترو به صورت عادی و عملکرد آن در شرایط اضطراری دارای اهمیت ویژه بوده و نیازمند رعایت استانداردهای مختص به خود است.

برخی از حوادث ثبت شده در متروی کشورهای مختلف به این شرح است: ایستگاه متروی کینگزکراس-لندن (۱۹۸۷) تلفات ۳۱ نفر، متروی باکو-آذربایجان (۱۹۹۵) تلفات

۲۸۶ نفر، تونل کاپران-اتریش (۱۹۹۶) تلفات ۱۵۵ نفر، تونل مونت بلانچ بین فرانسه و ایتالیا (۱۹۹۹) تلفات ۳۹ نفر، متروی دائگو-کره جنوبی (۲۰۰۳) تلفات ۱۹۲ نفر. این مثال‌ها احتمال بالای آسیب در حوادث مترو در عین ایمن بودن نسبت به سایر سیستم‌های حمل‌ونقل شهری را نشان می‌دهند به‌خصوص اگر حادثه آتش‌سوزی با ابعاد بزرگ شامل چندین قطار باشد و احتمال نجات یافتن افراد به‌صورت فردی ممکن نباشد. ازاین‌رو نگرانی در مورد ایمنی تونل‌ها افزایش می‌یابد. مشخصه مهم آتش‌سوزی در فضای زیرزمینی این است که دود در جهت موافق با جهت فرار مسافران به‌سمت سطح حرکت می‌کند، از طرفی دود از ورود عملیات امداد و نجات به درون محوطه جلوگیری می‌کند. ازاین‌رو، سیستم‌های تهویه و ابزارهای مقابله با آتش در تونل‌های مترو پیچیده‌تر از ساختمان‌ها و سیستم‌های آتش‌نشانی دیگر است. ایمنی آتش در یک سیستم از طریق ترکیبی از طراحی ابزارها، تجهیزات، سخت‌افزار و نرم‌افزار و روش‌ها و عملیات صورت می‌گیرد که همگی برای تأمین نیازهای محافظت یک مجموعه از تأثیرات آتش به‌کار بسته می‌شوند. نکته مهم دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد هزینه بالای اقدام‌های تأمین ایمنی و امنیت است که ضرورت برقراری تعادل بین هزینه و فایده را ایجاب می‌کند.

در این گزارش ایمنی خطوط مترو به‌خصوص از لحاظ ایمنی در برابر آتش‌سوزی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور استانداردهای موجود در دنیا از جمله ضوابط استاندارد NFPA 130 به‌عنوان یک استاندارد فراگیر برای مؤلفه‌های مختلف ایمنی استخراج و مطالعه شده و در برخی از مؤلفه‌ها مقایسه‌ای بین این استاندارد و استاندارد اروپا و ژاپن صورت گرفته است. ضوابط مورد بررسی شامل ضوابط هندسی، مشخصات سازه‌ای، امکانات و تجهیزات اضطراری، عملیات و اقدامات در مواقع حوادث و مواردی از این قبیل است.

۱. استانداردهای موجود برای مدیریت آتش در مترو

برخی از کشورها استانداردهایی مختص به خود برای طراحی و مدیریت آتش در مترو براساس نوع تونل دارند و در برخی از کشورها این استانداردها موجود نیست که در این صورت از استانداردهای سایر کشورها برای تأمین ایمنی خطوط استفاده می‌شود. در زیر به برخی از این استانداردها که برای ساخت و بهره‌برداری از خطوط مترو کاربرد دارد اشاره شده است. یکی از معروف‌ترین این استانداردها، استاندارد NFPA 130 آمریکا است که یک استاندارد بسیار سخت‌گیرانه بوده و ضوابط آن برای تأمین ایمنی مترو در برابر آتش در این گزارش مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد برخی از مؤلفه‌های ایمنی، یک بررسی و مقایسه اجمالی بین این استاندارد و استاندارد ژاپن و اروپا براساس نیازمندی‌های ایمنی و مدیریت آتش در مترو انجام شده است.

۱-۱. استاندارد NFPA 130[1] آمریکا

انجمن ملی آتش‌نشانی آمریکا استانداردها و آیین‌نامه‌هایی را جهت ایمنی در برابر آتش تهیه و منتشر می‌کند. استاندارد ایمنی در برابر آتش به نام NFPA 130 ضوابط حفاظت و ایمنی جانی در مقابل آتش در سیستم‌های حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی زیرزمینی، سطحی و مرتفع شامل تمام بخش‌های سیستم ازجمله قطارها، مسیر ریلی، سیستم تهویه، ارتباطات و کنترل را تبیین می‌کند و به‌طور گسترده در کشورهایی که فاقد استاندارد مختص به خود هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد. این استاندارد که به‌عنوان مرجع نیز

1. American National Fire Protection Association

شناخته می‌شود یکی از سخت‌گیرانه‌ترین ضوابط طراحی مترو را دارد و به همین دلیل برای ارزیابی خطوط متروی قدیمی (قبل از ۱۹۸۳ میلادی) قابل کاربرد نیست. در صورتی که ضوابط این استاندارد به‌طور سخت‌گیرانه به‌کار بسته شود ابعاد تونل و ایستگاه‌ها بزرگ و هزینه ساخت آنها نیز بالا خواهد بود.

۲-۱. استاندارد اروپا

تونل‌های زیرزمینی ازجمله تونل‌های مترو در برخی ملزومات ایمنی مشترک با تونل‌های جاده‌ای هستند اما عموماً قوانین رایجی برای طراحی تونل‌های مترو (به‌عنوان مثال طراحی سیستم تهویه) در اروپا وجود ندارد، به‌عبارت‌دیگر سیستم‌های متروی متعددی براساس استانداردهای ایمنی مختلف در کشورهای اروپایی احداث شده‌اند و استاندارد فراگیر منحصر به‌فردی برای تمام آنها وجود ندارد. در اروپا چند استاندارد ملّی برای مترو ازجمله در کشورهای اتریش، فرانسه، آلمان، ایتالیا و اسپانیا موجود است. در بسیاری از موارد، استاندارد و ضوابط تونل‌های مترو به‌طور انحصاری توسط شرکت‌ها و سازمان‌های مربوط به مترو استخراج و به‌کار گرفته می‌شوند. گفتنی است استاندارد دیگری با عنوان استاندارد راه‌آهن اروپا برای ایمنی آتش EN45545[1] وجود دارد که رعایت ضوابط آن در اروپا الزامی بوده و هدف آن محافظت از مسافران و کارکنان در برابر آتش‌سوزی‌های ناوگان راه‌آهن است. این استاندارد مورد توجه سازندگان ناوگان راه‌آهن ازجمله قطارهای سریع‌السیر، قطارهای محلی، مترو و قطارهای دو طبقه است.

1. European Railway Standard for Fire Safety EN45545

۳-۱. استاندارد ژاپن

ژاپن یکی از بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین خطوط مترو را در جهان دارد. ازاین‌رو استاندارد مدیریت و بهره‌برداری از مترو در هنگام وقوع آتش‌سوزی در تونل و ایستگاه‌های زیرزمینی در سال‌های بسیار قبل در ژاپن تدوین و براساس تجربه‌های آتش‌سوزی‌های مترو در سراسر دنیا بازنگری و به‌روزرسانی شده است. پس از آتش‌سوزی ایستگاه کامیا-چو در سال ۱۹۶۸ میلادی که باعث کشته شدن ۱۱ نفر شد استفاده از مصالح غیرقابل اشتعال و غیرآتش‌زا در ساختمان ایستگاه‌ها و ناوگان مترو در ضوابط ژاپن گنجانده شد. در سال ۱۹۷۵ پیوست «استاندارد مدیریت ایمنی آتش برای ایستگاه‌های مترو و غیره[1]» به‌عنوان یک پیوست ویژه به آیین‌نامه وزارت زیرساخت‌های زمینی، حمل‌ونقل و گردشگری ژاپن اضافه شد. پس از حادثه آتش‌سوزی در کره شمالی در سال ۲۰۰۳ که سبب کشته شدن ۱۹۲ نفر شد، استاندارد مدیریت ایمنی آتش ژاپن به‌طورکلی بازنگری شد. ازآنجاکه پیش‌تر استفاده از مصالح غیرقابل اشتعال در این استاندارد مطرح شده بود، تجربه این اتفاق سبب افزودن یک بار طراحی آتش به این استاندارد به منظور ارزیابی مدت زمان تخلیه مسافران در هنگام آتش‌سوزی شد. نسخه بازنگری شده این آیین‌نامه در سال ۲۰۰۴ ابلاغ شد.

۲. ایمنی خطوط مترو

حوادث خطوط مترو به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فرد آن ازجمله سیستم سازه‌ای فشرده، تراکم جمعیت بالا، تعداد محدود خروجی‌ها و مواردی ازاین‌قبیل پیامدهای قابل توجهی

1. The Standard of Fire Safety Management for Metro Station, etc.

به دنبال دارند. با توجه به اهمیت مترو در حمل‌ونقل درون‌شهری پیش‌بینی تمهیدات و انجام اقداماتی به‌منظور جلوگیری از وقوع حوادث و پاسخ به شرایط اضطراری به‌خصوص آتش‌سوزی در خطوط مترو ضروری است.

اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن

اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن (UIC)[1] به‌منظور ارتقای استانداردسازی در ترددهای ریلی در سال ۲۰۰۱ راهنمایی درخصوص ایمنی در تونل‌های ریلی ارائه کرد. در این راهنما اقدامات ایمنی مختلف در سه بخش زیرساخت‌ها، ناوگان و عملیات ارزیابی شده و توصیه‌هایی داده شده که برخی از آنها به شرح زیر است:

اقدامات زیرساختی:

اقدامات جلوگیری از وقوع تصادف:

- تجهیزات ردیابی قطار و کنترل ترافیک،
- تجهیزات ارتباطی،
- بازرسی و نگهداری زیرساخت‌ها.

اقدامات کاهش پیامدها:

- افزایش سطح مقطع تونل‌ها،
- تأمین ایمنی در برابر آتش،
- تجهیزات تهویه.

اقدامات تسهیل فرار و نجات جان خویش:

1. International Union of Railways

- مسیرهای فرار،
- روشنایی اضطراری،
- تلفن اضطراری،
- خروجی اضطراری،
- تسهیل امداد بیرونی،
- شرایط دسترسی تونل،
- ابزارهای اتصال ارت،
- تأمین آب و برق،
- ابزارهای ارتباطی،
- تجهیزات و فضاهای نجات.

اقدامات ناوگان مترو:

ـ اقدامات جلوگیری از وقوع تصادف:

- طراحی ایمنی در برابر آتش،
- سیستم‌های تشخیص سریع حادثه،

ـ اقدامات کاهش پیامدها:

- خنثی‌سازی ترمز اضطراری،
- تجهیزات اطفای حریق نصب شده روی قطار،
- سیستم کنترل تهویه،
- نشانگرهای خروج قطار از ریل.

اقدامات تسهیل فرار و نجات جان خویش[1]:

- تأمین امکانات فرار و طراحی واگن‌ها بر این اساس،
- کنترل درب‌ها و ابزارهای بازکننده اضطراری.

اقدامات عملیاتی:

ـ اقدامات جلوگیری از وقوع تصادف:

- ضوابط و نقشه عملکرد در شرایط اضطراری،
- ضوابط و ممنوعیت‌ها برای حمل‌ونقل کالاهای خطرناک.

اقدامات کاهش پیامدها:

- اقدام سریع کنترل ترافیک در صورت بروز حوادث (به‌عنوان مثال توقف سایر قطارها).

ـ اقدامات تسهیل فرار:

- اطلاع‌رسانی اضطراری به مسافران جهت آمادگی،
- آموزش پرسنل قطار.

ـ اقدامات تسهیل امداد و نجات:

- برنامه‌های نجات اضطراری،
- تمرین با عوامل امداد و نجات،
- اطلاع از حمل‌ونقل کالاهای خطرناک.

1. Self-rescue

۳. مؤلفه‌های ایمنی مترو در حوادث آتش‌سوزی

براساس آمار، آتش‌سوزی در بالاترین رده از حوادث مترو با سهم ۳۰ درصدی از کل حوادث رخ داده در همه جهان است. ارزیابی خطر آتش‌سوزی در مترو می‌تواند به شناسایی عوامل خطرساز، شدت حوادث احتمالی، کارایی سیستم مقابله با حوادث از دو منظر کفایت و قابلیت اعتماد و درنهایت تعیین یک راه‌حل مؤثر از لحاظ ایمنی و هزینه کمک کند. مؤلفه‌های سیستم ایمنی مترو می‌توانند در سه دسته کلی دسته‌بندی شوند که شامل سیستم تشخیص آتش، سیستم محافظت از آتش و سیستم تخلیه است که در ادامه این مؤلفه‌ها به طور جزئی‌تر مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳-۱. مسیرهای میانی برای خروج

براساس ضوابط NFPA 130 حداکثر فاصله بین ایستگاه‌ها یا دسترسی‌ها در داخل تونل ۷۶۲ متر است. اگر فاصله بیش از این مقدار باشد باید شفت تخلیه میانی برای دسترسی به سطح زمین در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن هزینه تملک زمین و هزینه ساخت، احداث شفت میانی تنها به‌منظور تخلیه مسافران بسیار هزینه‌بر خواهد بود. ازاین‌رو، ایجاد شفت میانی تنها با هدف تخلیه مسافران در بسیاری از خطوط مترو متداول نیست مگر اینکه فاصله بین ایستگاه‌ها بسیار زیاد باشد. در بسیاری از تونل‌های متروی شهرهای جهان ازجمله در اروپا و ژاپن شفت‌های تخلیه وجود ندارد که برخی دلایل نبود این شفت‌ها می‌توان به فاصله حدوداً یک کیلومتری و زمان سفر کمتر از ۲ دقیقه‌ای بین دو ایستگاه متوالی در این خطوط اشاره کرد به‌نحوی‌که در صورت وقوع آتش‌سوزی در قطار، معمولاً قطار خود را به ایستگاه بعدی می‌رساند و احتمال توقف آن بین دو ایستگاه کم

است. از طرفی قطارهای خطوط مترو مواد قابل اشتعال جابه‌جا نمی‌کنند و برای ساخت ناوگان و ایستگاه‌ها از مصالح غیرقابل اشتعال استفاده شده است.

۲-۳. زمان تخلیه مسافران

به‌منظور اطمینان از ایمنی مسافران در هنگام وقوع آتش‌سوزی زمان تخلیه مسافران پارامتر مهمی است. زمان تخلیه، مدت زمان لازم برای خروج مسافران از نقطه خطر به نقطه امن است و اگر طولانی باشد ممکن است مسافران با آتش یا دود دچار سانحه و آسیب شوند. تعداد و عرض پله‌ها یکی از پارامترهای مهم در تخلیه مسافران است. ضوابط NFPA 130 برای زمان تخلیه مسافران بسیار سخت‌گیرانه است و به مسیرهای تخلیه وسیع و بزرگی منجر می‌شود که در برخی موارد در ایستگاه‌های با عمق زیاد برآوردن این ضوابط بسیار مشکل است. براساس ضوابط این استاندارد باید فضای خروج کافی برای تخلیه ایستگاه وجود داشته باشد به‌نحوی‌که افراد در کمتر از ۴ دقیقه تخلیه شوند و زمان تخلیه دورترین نقطه ایستگاه تا نقطه امن باید کمتر از ۶ دقیقه باشد. با توجه به اینکه زمان مورد نیاز برای تخلیه مسافران به‌شدت وابسته به بار آتش طراحی و غلظت و سرعت انتشار دود است لذا در استاندارد NFPA 130 به این مسئله توجه نشده و زمان تخلیه ثابتی در نظر گرفته شده است. این زمان می‌تواند بنا به مشخصات ایستگاه ازجمله هندسه ایستگاه (ارتفاع سقف، عرض کریدور و پله‌ها و ...)، آهنگ آزاد شدن حرارت در مصالح مورد استفاده در ایستگاه و سیستم‌های تهویه اضطراری متغیر باشد. نکته دیگری که وجود دارد تعریف نقطه امن است. درحالی‌که نقطه امن اغلب فضای آزاد در سطح زمین تلقی می‌شود در برخی موارد نقطه امن می‌تواند فضایی داخل ایستگاه مانند سالن‌های فروش بلیت یا مسیرهای داخل ساختمان

ایستگاه در صورت اطمینان از ایمنی آنها در نظر گرفته شود.

استاندارد NFPA 130 حداقل مشخصاتی را برای سکو، راهروها و رمپ‌های خروج و تخلیه مسافران در نظر گرفته است. براساس این استاندارد حداقل عرض خالص در این نواحی که برای تخلیه استفاده می‌شوند باید برابر با ۱۱۲ سانتی‌متر باشد. در محاسبه عرض خالص به ازای هر دیوار کناره ۳۰ سانتی‌متر و به ازای لبه باز سکو ۴۶ سانتی‌متر باید کسر شود. حداکثر سرعت متوسط پیمایش افراد در سکو، راهرو و رمپ‌ها برابر با ۳۷/۸ متر بر دقیقه (۰/۶۳ متر بر ثانیه) و در فضاهای داخلی ایستگاه به‌دلیل مسطح بودن و کاهش تراکم جمعیت ۶۱ متر بر دقیقه (۱ متر بر ثانیه) است. بنابراین حداکثر ظرفیت سکو، راهرو و رمپ‌ها برابر با ۰/۰۸۱۹ فرد بر میلی‌متر-دقیقه (۱/۳۶۵ فرد بر متر-ثانیه) خواهد بود. حداقل عرض آزاد پله‌ها باید برابر با ۱۱۰ سانتی‌متر باشد. سرعت پیمایش در پله برابر با ۱۴/۶۳ متر بر دقیقه (۰/۲۴ متر بر ثانیه) در جهت قائم و ظرفیت پله و پله برقی برابر با ۰/۰۵۵۵ فرد بر میلی‌متر-دقیقه (۰/۹۲۵ فرد بر متر-ثانیه) است. زمان تخلیه مسافران در استاندارد ژاپن براساس بار آتش و تخلیه دود تعیین می‌شود که در ادامه ارائه شده است.

۳-۳. بار آتش و تخلیه دود

ایمنی مسافران در صورت وقوع آتش‌سوزی براساس شرایط دود در ایستگاه در مدت زمانی ارزیابی می‌شود که تخلیه مسافران به منطقه ایمن صورت می‌گیرد. کنترل دود عاملی اساسی در راهکارهای محافظتی است. یک روش ساده استفاده از سیستم تهویه طولی است بدین‌نحو که دود به پایین دست در خلاف جهت حرکت مسافران هدایت شده و با سیستم تهویه از تونل خارج شود و همزمان مسافران به بالادست هدایت شوند که عاری از دود است.

۱-۳-۳. بار آتش طراحی و روش ارزیابی تخلیه

براساس استاندارد ژاپن بار آتش به دو دسته تقسیم می‌شود: دسته اول آتش‌سوزی نرمال است که منبع آن در موتور یا ماشین‌آلات کمکی ناوگان مترو یا در محل کیوسک‌ها و مغازه‌های داخل ایستگاه است و دسته دوم آتش‌سوزی ناشی از سوخت مانند گازوئیل و غیره است. تفاوت این دو نوع آتش در ماهیت آنهاست به‌نحوی‌که قدرت آتش نرمال معمولاً کمتر و در مراحل آغازین آتش‌سوزی حرارت آن پایین است و مدت زمان نسبتاً بیشتری طول می‌کشد تا آتش شعله‌ور شود. بنابراین در این نوع آتش‌سوزی انتشار دود مشکل‌ساز نیست و عامل اصلی برای تخلیه ایمن، اطمینان از میدان دید کافی مسافران است. در طرف مقابل آتش‌سوزی ناشی از سوخت ماهیت متفاوتی با آتش‌سوزی نرمال دارد. آتش ناشی از سوخت قدرت بیشتر و از لحظه آغاز شدت ثابتی دارد، دمای آن بسیار بالاست و دود ناشی از آن به‌صورت یک لایه در زیر سقف جمع شده و به سمت پایین و اطراف گسترده می‌شود. درنتیجه در این نوع آتش‌سوزی عامل مهم سرعت انتشار دود است و برای تخلیه ایمن، باید فضای کافی برای تخلیه و خروج افراد مهیا باشد.

بار آتش طراحی و روش ارزیابی تخلیه مسافران براساس آیین‌نامه ژاپن با توجه به اینکه آتش نرمال یا ناشی از سوخت باشد متفاوت است. در مورد آتش نرمال، زمان تخلیه براساس غلظت دود در سکو ارزیابی می‌شود. در صورتی که آتش نرمال در سکو اتفاق بیافتد غلظت دود باید کمتر از $۰/۱\ m^{-1}$ باشد و اگر آتش نرمال در مسیرهای داخل ایستگاه‌ها اتفاق بیافتد حجم موجود برای دریافت دود باید بزرگ‌تر از حجم کل دود باشد تا زمانی که تخلیه کامل صورت گیرد. در مورد آتش ناشی از سوخت، مدت زمان تخلیه براساس مدت زمان گسترش دود تا جایی که برای تخلیه مانع و اختلال ایجاد کند ارزیابی

می‌شود. در صورتی که آتش‌سوزی ناشی از سوخت اتفاق بیافتد فضای تخلیه از کف سکو یا در ایستگاه‌ها تا زیر لایه دود که در زیر سقف تجمع کرده (ارتفاع تنفس) باید تا قبل از اتمام عملیات تخلیه بیش از ۲ متر باشد.

۲-۳-۳. روش محاسبه مدت زمان تخلیه

به‌منظور محاسبه مدت زمان مورد نیاز برای تخلیه مسافران به نقطه امن، مدت زمان صف (Queue Time) به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$T = Q / (N \times B)$$

در این رابطه T مدت زمان صف (ثانیه)، Q تعداد تخلیه‌شوندگان (فرد)، N ضریب فرار جمعیت (فرد بر متر-ثانیه) و B عرض پله (متر) است. به‌منظور محاسبه زمان پیمایش مسیر با افرادی که تخلیه می‌شوند، t، و زمان صف، T، سرعت پیمایش مسیر و ضریب فرار جمعیت براساس آیین‌نامه ژاپن به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

سرعت پیمایش مسیر: در سطوح مسطح ۱ متر بر ثانیه و در سطوح پله ۰/۵ متر بر ثانیه

* سرعت پیمایش براساس NFPA 130 در راهرو و سکو برابر با ۰/۶۳ متر بر ثانیه، در پله‌ها ۰/۲۴ متر بر ثانیه و در سایر نقاط ایستگاه ۱ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

ضریب فرار جمعیت: در سطوح مسطح ۱/۵ فرد بر متر-ثانیه و در سطوح پله ۱/۳ فرد بر متر-ثانیه

* ضریب فرار جمعیت براساس NFPA 130 در سطوح مسطح ۱/۳۶۵ و در سطوح پله ۰/۹۲۵ فرد بر متر-ثانیه در نظر گرفته شده است.

با توجه به مقادیر عددی در نظر گرفته شده برای سرعت پیمایش و ضریب فرار جمعیت و همچنین عرض مفید مسیرهای خروج، می‌توان گفت که مدت زمان تخلیه با

فرض ضوابط استاندارد NFPA 130 بیشتر از مدت زمان تخلیه براساس ضوابط استاندارد ژاپن برای تعداد افراد مشابه خواهد بود.

در صورتی که برآوردها نشان دهد تخلیه در آتش‌سوزی ناشی از سوخت مدت زمان زیادی را می‌طلبد باید تمهیدات دیگری نیز اندیشیده شود ازجمله:

- در نظر گرفتن مسیر فرار اضافی یا تعریض مسیر فرار برای کاهش مدت زمان تخلیه،
- افزایش حجم فضای موجود برای پذیرش دود،
- جداسازی کیوسک‌ها یا اتاق‌های نیرو که می‌توانند منشأآتش‌سوزی باشند توسط جداره‌های مقاوم در برابر آتش و نصب آبپاش،
- محدود کردن تعداد فروشگاه‌ها در داخل ایستگاه،
- پیش‌بینی سایر تمهیدات و تجهیزات برای تخلیه امن مسافران.

۳-۳-۳. تجربه‌های آزمایش آتش در مؤسسه تحقیق و آزمایش ملّی سوئد

مؤسسه تحقیق و آزمایش ملّی سوئد دولتی است که در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی و آزمایشگاهی در بعد ملّی و بین‌المللی فعالیت می‌کند. تحقیقات آتش در این مؤسسه در سال ۱۹۹۳ آغاز شد و تمرکز آن بر ایمنی آتش از دو دیدگاه شامل جنبه‌های تکنیکی و پاسخ به شرایط اضطرار است. براساس یافته‌های این آزمایش‌ها مشاهده شده است که:

- اگرچه در اکثر موارد شدت آتش (شدت گرمای آزاد شده) در نظر گرفته می‌شود اما نرخ رشد آتش نیز دارای اهمیت برابر یا حتی بیشتر است.
- ارتفاع تونل بر نرخ رشد آتش تأثیر می‌گذارد. ارتفاع کم باعث افزایش دما می‌شود.
- دود به‌سرعت افزایش و انتشار می‌یابد و مردم ممکن است تنها یک تا دو دقیقه زمان برای فرار داشته باشند.

- تهویه ممکن است به گسترش آتش کمک کند به‌خصوص تهویه طولی که می‌تواند گسترش آتش در طول تونل را افزایش دهد.
- دود در جهت تهویه طبیعی جریان پیدا می‌کند.
- دپارتمان‌های آتش‌نشانی نیاز به برنامه‌های شفاف برای پاسخ به شرایط اضطراری دارند که می‌تواند از طریق آموزش یا مانور انجام شود.
- مردم گرفتار در حادثه اغلب مطابق با پیش‌بینی‌های عملیات امداد و نجات رفتار نمی‌کنند.

۴-۳-۳. استفاده از مصالح غیرقابل اشتعال

مؤثرترین راه مقابله با خطر آتش‌سوزی استفاده از مواد و مصالح غیرقابل اشتعال در تونل، ایستگاه‌ها و ناوگان مترو تا حد ممکن و جلوگیری از وخیم‌تر شدن آتش‌سوزی است. براساس استاندارد ژاپن منظور از مصالح سازه‌ای دیوار، تیر، ستون، دال، کف، پله و غیره است. مصالح نازک‌کاری داخلی سطوح را پوشش می‌دهند و باید در هنگام آتش‌سوزی به مدت ۲۰ دقیقه موارد زیر را برآورده کنند:

- مصالح نباید آتش بگیرند،
- مصالح نباید دچار تغییر شکل، ذوب و ترک شوند که برای مقابله با آتش خطرناک است،
- مصالح نباید دود و گازهای سمی از خود متصاعد کنند.

ازجمله مصالحی که این نیازها را برآورده می‌کنند می‌توان به بتن، فولاد، آهن، کاشی‌های سرامیکی، آلومینیوم، صفحات فلزی، شیشه و آجر اشاره کرد. در مورد سایر مصالح برای تأیید عدم اشتعال نیاز به انجام آزمایش است. بخش‌ها و اجزایی مانند تابلوهای راهنما، علائم مسیر نابینایان، آسانسور، دستگاه‌های فروش بلیت، سیستم روشنایی و سایر تجهیزات الکترومکانیکی از این مصالح مستثنا هستند هرچند ترجیح بر استفاده از مصالح

غیرقابل اشتعال در این موارد نیز است. درخصوص لوازم و اشیای موجود در ایستگاه‌ها مانند صندلی، سطل زباله، گیت‌ها، ماشین‌های فروش خودکار و غیره نیز بهتر است از جنس مصالح غیرقابل اشتعال یا دیرسوز استفاده شود تا عملکرد ایستگاه در جلوگیری از وقوع آتش‌سوزی و گسترش آن بهبود یابد.

با توجه به اینکه امکان شروع آتش‌سوزی به‌دلیل نقص سیستم‌ها و دستگاه‌های الکتریکی وجود دارد بنابراین لازم است اتاق‌های توزیع برق و نیرو و دستگاه‌های الکتریکی در داخل ساختمان ایستگاه توسط جداره‌های مقاوم در برابر آتش از جنس مصالح غیرقابل اشتعال جداسازی شوند. این جداره‌ها می‌توانند از نوع درها یا حائل‌های خودکار مقاوم در برابر آتش باشند که هنگام آتش‌سوزی به‌طور خودکار بسته می‌شوند. مصالح مورد استفاده برای این جداره‌ها می‌تواند از نوع دیوارهای بتن مسلح، بلوک‌های بتنی، آجر یا سایر مصالح غیرقابل اشتعال باشد. حائل آتش باید در بازشوها تعبیه شود و منافذ و سوراخ‌های ایجاد شده برای عبور کابل و غیره در آنها باید با ملات مناسب پر شود.

در بسیاری از ایستگاه‌های مترو فروشگاه‌هایی وجود دارد که به‌طور عمده شامل دو دسته فروشگاه‌هایی که فروشنده و خریدار هر دو می‌توانند داخل آن شوند و فروشگاه‌هایی به شکل کیوسک که فقط فروشنده داخل آن قرار دارد. در نوع اول فروشگاه‌ها عمدتاً بزرگ و دارای مقدار زیادی مواد و اشیا قابل اشتعال هستند و براساس آیین‌نامه ژاپن باید با جداره‌های مقاوم در برابر آتش و دود جداسازی شوند و از آبپاش‌های تعبیه شده برای جلوگیری از گسترش آتش در مراحل اولیه نیز استفاده شود. کیوسک‌ها به‌دلیل موقعیت قرارگیری و اندازه کوچک آنها اغلب قابلیت جداسازی جداره‌ها را ندارند بنابراین باید مصالح استفاده شده در آنها از نوع غیرقابل اشتعال باشد.

۴-۳. عملیات تهویه هنگام آتش‌سوزی

تحلیل مهندسی سیستم تهویه مترو باید با شبیه‌سازی صحیح و مدل‌سازی دینامیکی عددی جریان هوا طبق سناریوهای آتش‌سوزی انجام شود. سیستم تهویه اضطراری باید بتواند از مسافران، کارمندان و پرسنل امداد و نجات در مقابل آتش و دود محافظت کرده و قابلیت تأمین جریان هوای مورد نیاز را به مدت حداقل یک ساعت یا بیشتر از مدت زمان مورد نیاز برای تخلیه افراد داشته باشد. اگر آتش‌سوزی در قطار هنگامی که قطار داخل تونل است اتفاق بیافتد، دود باید با سیستم تهویه تونل تخلیه شود. سیستم تهویه اضطراری براساس NFPA 130 باید برای موارد زیر طراحی شود:

۱. تأمین محیط قابل تحمل در طول مسیر تخلیه در حادثه آتش‌سوزی در ایستگاه‌ها،
۲. ایجاد جریان هوای کافی برای جلوگیری از بازگشت دود به مسیر تخلیه،
۳. قابلیت رسیدن به حالت کارایی کامل در مدت ۱۸۰ ثانیه،
۴. قابلیت انطباق با بیشترین تعداد قطاری که می‌تواند در مسیر تهویه و تخلیه دود باشد در شرایط اضطراری.

طراحی سیستم تهویه باید موارد زیر را دربرگیرد:

۱. نرخ آزاد شدن حرارت آتش براساس هر نوع مصالح و ماده‌ای که بتواند در افزایش بار آتش مشارکت کند،
۲. نرخ رشد و گسترش آتش،
۳. هندسه ایستگاه و تونل،
۴. مجموعه فن‌ها، شفت‌ها و ابزارهای مورد استفاده برای هدایت جریان هوا در ایستگاه‌ها و مسیر قطار در داخل تونل،

۵. برنامه‌ای از پیش تعیین شده برای پاسخ در زمان اضطرار که بتواند پاسخ سریع براساس فرمان رسیده از بخش نظارت مرکزی در هنگام حادثه را فراهم کند،

۶. تحلیل قابلیت اطمینان سیستم تهویه که شامل زیرسیستم‌های الکتریکی، مکانیکی و کنترل و نظارت باشد.

براساس استاندارد NFPA 130 فن‌های اضطراری سیستم تهویه باید قابلیت اقناع ملزومات تهویه اضطراری برای هدایت هوای تونل در هر دو جهت (بنا به نیاز) را داشته باشند. موتور فن‌های تهویه اضطراری باید به‌نحوی طراحی شوند که در کمتر از ۳۰ ثانیه از حالت توقف به حد سرعت کامل خود برسند که این زمان برای موتورهای سرعت متغیر کمتر از ۶۰ ثانیه در نظر گرفته می‌شود. فن‌های سیستم تهویه، موتور آنها و سایر اجزای وابسته که در مسیر جریان هوا قرار دارند باید به شکلی طراحی شوند که بتوانند در دمای محیط ۲۵۰ درجه سانتیگراد برای حداقل یک ساعت فعالیت کنند. این دما براساس تحلیل‌های مهندسی می‌تواند کمتر در نظر گرفته شود اما درهرحال نباید کمتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد باشد. استارترهای موتور فن و ابزارهای کنترلی مرتبط با آن باید تا حد امکان از مسیر جریان هوای مستقیم دور باشند. فن‌هایی که برای راحتی مسافران و کارمندان تعبیه شده‌اند و عضوی از سیستم تهویه اضطراری نیستند باید به‌صورت خودکار در زمان تشخیص موقعیت اضطراری آتش خاموش شوند تا تداخلی با جریان هوای تهویه اضطراری ایجاد نکنند. این فن‌ها و سایر فن‌های اضطراری در اتاق‌های کنترل قطار، اتاق ارتباطات و سایر موارد مشابه باید در تحلیل مهندسی شناسایی شده و در زمان اضطرار به عملکرد خود ادامه دهند. شفت‌های تخلیه اضطراری مسافران باید به‌نحوی جانمایی و یا محافظت شوند که باعث گردش و ورود مجدد دود به داخل سیستم از طریق مجاری

باز نشوند. شروع عملکرد سیستم تهویه اضطراری و اجزای آن باید از اتاق نظارت مرکزی کنترل شود. از طرفی باید امکان کنترل محلی نیز فراهم شود تا در صورت از کار افتادن اتاق کنترل و نظارت مرکزی سیستم قابل دسترسی و کنترل در محل باشد.

براساس آزمایش‌های آتش‌سوزی داخل تونل ژاپن مشاهده شده اگر آتش در معرض مکش یا دمش هوا با سرعت ۴ الی ۵ متر بر ثانیه یا سریع‌تر قرار گیرد، آتش به‌دلیل تأمین اکسیژن بیشتر شدت می‌یابد و اگر آتش تحت مکش یا دمش هوا با سرعت ۲ الی ۳ متر بر ثانیه قرار گیرد دود به آرامی تخلیه می‌شود که البته این پدیده ممکن است به ویژگی‌های آتش‌سوزی در یک مکان مشخص وابسته باشد.

۵-۳. پیاده‌راه داخل تونل (Walkway)

زمانی‌که قطار به هر دلیلی درون تونل توقف می‌کند، گاهی لازم است مسافران از قطار پیاده شده و به ایستگاه بعد بروند که اگر دلیل توقف، آتش‌سوزی در قطار باشد تخلیه مسافران از قطار و هدایت آنان به ایستگاه یک ضرورت خواهد بود. در صورتی که اختلاف تراز بین درب قطار و مسیر داخل تونل زیاد باشد پرش افراد برای خروج از قطار می‌تواند خطرناک و حادثه‌آفرین باشد. به همین دلیل نیاز به ایجاد پیاده‌راهی هم‌تراز با درب قطار است که خود مستلزم بزرگ‌تر شدن مقطع تونل است و افزایش هزینه ساخت را به‌دنبال خواهد داشت. عرض مورد نیاز برای پیاده‌راه باید حداقل ۶۱۰ میلی‌متر براساس استاندارد NFPA 130 باشد. این پیاده‌راه می‌تواند برای عملیات بازرسی دوره‌ای تونل نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۶. عملکرد قطار در هنگام اضطرار

حوادث رخ داده در خطوط مترو طی چهار دهه گذشته سبب بازنگری در عملکرد قطار هنگام حادثه و بهبود و ارتقای آن شده است. در حال حاضر اصل اولیه در عملکرد قطار در خطوط مترو هنگام بروز آتش‌سوزی، هدایت قطار به سکوی اولین ایستگاه بدون توقف در میانه مسیر به‌منظور تخلیه مسافران و انجام عملیات آتش‌نشانی است. به محض اطلاع راهبر قطار از وقوع آتش‌سوزی، به قطاری که در جلوی قطار سانحه دیده حرکت می‌کند اطلاع داده می‌شود تا به ایستگاه بعدی برود تا قطار سانحه‌دیده بتواند در اولین ایستگاه توقف کند. قطارهای در حال حرکت در مسیر مخالف نیز اطلاع می‌یابند تا در ایستگاه مجاور توقف کامل داشته و داخل تونل نشوند. اگر آتش‌سوزی در ایستگاه اتفاق بیافتد به قطارها اطلاع داده می‌شود تا به ایستگاه مورد نظر نزدیک نشوند.

۳-۷. تجهیزات اضطراری

به‌منظور تشخیص و اعلام آتش، راهنمایی مسافران برای خروج و انجام عملیات آتش‌نشانی، در داخل ایستگاه‌های مترو یک‌سری تجهیزات اضطراری نصب می‌شوند. براساس استاندارد NFPA 130 سیستم‌های روشنایی اضطراری، سیگنالینگ حفاظتی، سیستم ارتباط و مخابرات اضطراری و مرکز کنترل آتش باید به سیستم برق اضطراری متصل باشند. اصلی‌ترین اجزای تجهیزات اضطراری به شرح زیر است:

۳-۷-۱. تجهیزات اعلام آتش

تجهیزات اتوماتیک اعلام

تجهیزات اتوماتیک تشخیص و اعلام آتش (حرارت و دود) باید در سکو، دفتر ایستگاه،

اتاق نیرو و توزیع برق، اتاق دستگاه‌ها و سیستم‌ها و در فروشگاه‌های داخل ایستگاه نصب شوند. اطلاعات تجهیزات اعلام آتش باید در دسترس اتاق کنترل بوده و سیگنال‌های رسیده از تجهیزات قابل ردیابی برای تعیین موقعیت منبع آتش باشد.

تلفن و دکمه‌های اعلام فشاری

این تجهیزات برای اعلام آتش‌سوزی ازسوی مسافران یا کارکنان ایستگاه مترو به اتاق کنترل استفاده می‌شوند و باید در مکان‌های مناسب و متعددی نصب شوند.

سیستم دوربین‌های مداربسته

این سیستم برای اعلام آتش‌سوزی نیست اما می‌تواند برای رصد وضعیت ایستگاه مفید باشد و سایر حوادث را نیز با آن مشاهده کرد.

۲-۷-۳. تجهیزات ارتباطی

این تجهیزات شامل تلفن معمولی، تلفن داخلی، تلفن فرمان و غیره در اتاق کنترل اضطراری برای تماس با واحدهای آتش‌نشانی، ایستگاه پلیس، مرکز کنترل عملیات و مکان‌هایی مانند اتاق‌های نیرو و سکو نصب می‌شوند. به‌منظور فراهم کردن بهتر اطلاعات و راهنمایی مناسب تخلیه در هنگام اضطرار، سیستم آدرس عمومی باید در اتاق کنترل اضطراری نصب شود.

۳-۷-۳. تجهیزات راهنمای تخلیه

در ایستگاه‌ها موارد زیر باید فراهم شوند:

- مسیر تخلیه حداقل در دو انتهای سکو به طرف سطح زمین. عرض مؤثر مسیر تخلیه باید حداقل ۱/۵ متر باشد و پلکان آن نباید از نوع مارپیچ به‌دلیل عرض کم پله در بخش داخلی باشد،

- سیستم روشنایی اضطراری،
- علائم راهنما و چراغ‌های نشان‌دهنده مسیر برای خروج که باید به رنگ سبز بوده و در جایی نصب شوند که قابل تشخیص باشند.

دو مورد آخر باید در تونل نیز تعبیه شوند. برق سیستم روشنایی داخل تونل باید مجزا از برق قطار باشد و علائم نشان‌دهنده مسیر و فاصله و چراغ‌های راهنما در فواصل حداکثر ۱۰۰ متری نصب شوند.

۴-۷-۳. تجهیزات کنترل دود

تجهیزات تخلیه دود

فن‌های تهویه به‌عنوان سیستم تخلیه دود باید نصب شده و دارای برق اضطراری باشند.

پرده دود

به‌منظور محافظت از مسیرهای تخلیه و همچنین مسیرهای داخل ایستگاه به‌عنوان نقطه امن، پرده دود باید بین مسیر قطار و سکو، بین سکو و محوطه ایستگاه و در پای اتاق پله بنا به نیاز نصب شود. ارتفاع پرده دود ۵۰ سانتی‌متر از سقف به‌سمت پایین است.

۵-۷-۳. جداسازهای مقاوم در برابر آتش

اگر ایستگاه به خط متروی دیگر یا به فروشگاه‌های زیرزمینی متصل است، جداسازهای آتش باید در محل اتصال تعبیه شود. این جداسازها در محل پای پله، بین سکو و محوطه ایستگاه و یا سایر مکان‌ها بنا به نیاز برای تخلیه ایمن مسافران می‌توانند نصب شوند. جداسازها باید به‌طور خودکار براساس اعلام سیستم‌های تشخیص آتش یه به‌طور دستی توسط کارکنان تا ارتفاع ۲ متری از تراز کف پایین آمده و پس از تخلیه کامل به‌صورت دستی توسط کارکنان کاملاً بسته شود.

۶-۷-۳. تجهیزات اطفای آتش

کپسول‌های اطفای آتش و سیستم اطفا آب مرکزی باید در نقاط مختلف نصب و قابل استفاده برای کارکنان و مسافران باشد. آبپاش‌های سقفی خودکار با ظرفیت $1/6\ m^3$ (۸۰ لیتر در ۲۰ دقیقه) در دفاتر ایستگاه و فروشگاه‌ها تعبیه شود. در اتاق‌های تجهیزات الکتریکی با توجه به اینکه در صورت استفاده از آب امکان آسیب دیدن دستگاه‌ها وجود دارد توصیه می‌شود از اطفاکننده‌های خشک یا گازی استفاده شود. اگرچه اصل اولیه هنگام بروز آتش‌سوزی در قطار داخل تونل رساندن قطار تا اولین ایستگاه است اما برای کنترل مواقعی که قطار داخل تونل متوقف می‌شود باید سیستم اطفای آب مرکزی در فواصل ۵۰۰ متری در تونل نیز تعبیه شود.

۷-۷-۳. اتاق کنترل اضطراری

اتاق کنترل اضطراری باید در هر ایستگاه برای جمع‌آوری اطلاعات، ارتباط با واحد کنترل، واحد آتش‌نشانی و مراکز اورژانس، هدایت مسافران برای تخلیه ایستگاه، مانیتورینگ، کنترل جداسازها و سایر اقدامات در نظر گرفته شود.

۸-۷-۳. عملکرد اپراتورها

عملکرد اپراتورها در هنگام بروز سانحه در کنترل شرایط اضطراری نقش مهمی دارد. از مهم‌ترین ویژگی‌های اپراتورهای تجهیزات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. ایمنی مسافران و پرسنل را هم در شرایط عادی و هم در زمان بروز حادثه در نظر بگیرند.

۲. عملکرد مناسب همه اجزای تجهیزات را حین وضعیت نرمال رصد کرده و در زمان بروز حادثه آنها را برای شرایط اضطرار تنظیم کنند.

۳. از همه تجهیزات سازه‌ای و الکترومکانیکی محافظت کنند.

در زمان اضطرار اپراتور تجهیزات باید به‌طور تنگاتنگ با نیروهای امدادی داخلی و بیرونی همکاری کند. وظایف و نقش‌ها ممکن است براساس نوع سیستم و حادثه و عوامل و شرایط محیطی تغییر کند.

۴. سایر مؤلفه‌های ایمنی خطوط مترو

ایمنی خطوط مترو تنها منحصر به زمان اضطرار نیست و بهره‌برداری از خطوط مترو در زمان عادی نیز مستلزم تأمین ایمنی مسافران است. یکی از مؤلفه‌های اصلی ایمنی بهره‌برداری، تردد ایمن قطارها بدون خطر برخورد است که دستیابی به آن نیازمند استفاده از ابزارهای خاص خود است. از سیستم ایمنی تردد قطار با عنوان سیستم سیگنالینگ یاد می‌شود که در ادامه به برخی از اجزای آن پرداخته شده است.

۴-۱. سیگنالینگ

سیستم سیگنالینگ سیستم کنترلی است که بر مسیر ترافیک و تردد قطارها نظارت دائمی و پیوسته دارد. سیستم سیگنالینگ در سیستم حمل‌ونقل ریلی در پاسخ به دو نیاز اصلی شامل ایمنی حرکت قطارها و بهره‌برداری بهینه از خطوط مترو مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از سیستم سیگنالینگ در خطوط مترو امکان تأمین ایمنی بالا و توان جابه‌جایی بیشتر مسافر با افزایش تعداد قطار و سرعت فراهم می‌شود. سیستم سیگنالینگ شامل زیرسیستم‌های مختلفی است که به دو دسته تجهیزات On-Board که بر روی قطار نصب می‌شوند و تجهیزات On-Ground که داخل تونل یا ایستگاه نصب می‌شوند

تقسیم می‌شود. در زیر به برخی از این تجهیزات اشاره می‌شود.

۴-۱-۱. اینترلاکینگ

قوانین حاکم بر سیستم سیگنالینگ را اینترلاکینگ می‌گویند. درواقع اینترلاکینگ یک سیستم کنترل ترافیک از نوع On-Ground است که اطلاعات را از سیستم‌های سیگنالینگ موجود مانند ماشین سوزن، مدار خط، چراغ و ... دریافت کرده و طبق قوانین از پیش تعیین شده فرامین تردد قطار را صادر می‌کند.

۴-۱-۲. مدار خط (Track Circuit)

با استفاده از سیستم مدار راه به‌عنوان یک سیستم On-Ground می‌توان اطلاعات لحظه به لحظه از وضعیت مسیر و موقعیت و سرعت قطار را به‌دست آورد. این سیستم با تقسیم مسیر ریلی به بخش‌های جدا از هم از لحاظ الکتریکی و تشکیل مدارهای الکتریکی با استفاده از ریل‌ها و محور قطار کار می‌کند و اطلاعات مربوط به حرکت قطار را در اختیار سیستم اینترلاکینگ قرار می‌دهد که اینترلاکینگ نیز این اطلاعات را به سیستم ATP منتقل می‌کند.

۴-۱-۳. محافظت اتوماتیک قطار (ATP)

این سیستم یک نوع از سیستم‌های محافظتی On-Board است که به‌طور پیوسته وظیفه کنترل قطار براساس اطلاعات دریافتی از سیستم اینترلاکینگ را برعهده دارد. ازجمله سرعت قطار را بین دو ایستگاه متناسب با سرعت مجاز کنترل کرده و در زمان عبور از سرعت مجاز توسط راهبر سرعت را با فعال کردن اتوماتیک ترمز اضطراری کاهش می‌دهد. این سیستم می‌تواند قطار را براساس اینترلاکینگ بدون دخالت راهبر در محل ایستگاه

متوقف کند و همچنین بر باز نبودن درب‌های قطار نیز نظارت می‌کند.

۴-۱-۴. ماشین سوزن

از سوزن‌ها برای تغییر مسیر قطار روی ریل استفاده می‌شود و به‌وسیله‌ای که باعث جابه‌جایی تیغه‌های ریل می‌شود ماشین سوزن می‌گویند.

جمع‌بندی

با توجه به اهمیت مترو در حمل‌ونقل درون‌شهری و نیاز روزافزون کلان‌شهرها به توسعه شبکه‌های آن، تأمین ایمنی خطوط مترو از جنبه حفظ جان مسافران و نیز حفاظت از سرمایه‌های ساختمان و تجهیزات مترو اهمیت زیادی دارد. تمرکز این گزارش بر ایمنی خطوط مترو از لحاظ آتش‌سوزی است و در این راستا چند مورد از استانداردهای موجود در دنیا برای تأمین ایمنی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین استانداردهایی که مورد استناد بسیاری از کشورهای فاقد استاندارد ملّی برای تأمین ایمنی آتش‌سوزی در مترو نیز است استاندارد NFPA 130 آمریکاست. این استاندارد، ضوابط سخت‌گیرانه‌ای را برای تأمین ایمنی در برابر آتش‌سوزی در خطوط مترو در نظر گرفته که رعایت همه این ضوابط مستلزم صرف هزینه‌های بالا و ارزیابی‌ها و طراحی‌های دقیق و جامع است. استاندارد مدیریت ایمنی آتش برای ایستگاه‌های متروی ژاپن یکی دیگر از استانداردهای موجود است که در مقاطع زمانی مختلف براساس داده‌ها و تجربه‌های حوادث آتش‌سوزی در خطوط متروی دنیا مورد بازبینی قرار گرفته و ارتقا یافته است. در اروپا نیز الزامات منحصر به‌فردی برای تعیین ضوابط ایمنی خطوط مترو در مقابل آتش‌سوزی وجود ندارد

و برخی از کشورهای اروپایی استانداردهای ملّی خود را دارند. براساس مباحث مطرح شده درخصوص ایمنی خطوط مترو، با توجه به زمان مداخله نسبتاً طولانی عملیات امداد و نجات در حوادث مترو، ایجاد زمینه نجات جان خویش دارای اهمیت است. این امر با تأمین مسیرهای خروج کافی، سیستم تهویه و تخلیه دود با کارایی مناسب، نصب علائم و تجهیزات راهنما و به‌طورکلی تأمین اقدامات و تمهیداتی که مدت زمان کافی را در اختیار افراد برای خروج از تونل به فضای امن قرار دهد می‌تواند میسر شود. جزئیات این تجهیزات و اقدامات که در گزارش مورد بررسی قرار گرفته توسط استانداردهای ایمنی مترو در برابر آتش‌سوزی قابل دستیابی است. علاوه بر شرایط اضطراری که هنگام وقوع حوادث ایجاد می‌شود، بهره‌برداری ایمن از مترو نیز بسیار با اهمیت بوده و ارتباط تنگاتنگی با ایمنی تردد قطارها دارد که این مسئله نیز از طریق برنامه‌ریزی و کنترل تردد با استفاده از سیستم سیگنالینگ قطارها می‌تواند حاصل شود. در کنار موارد ذکر شده، ایمنی مترو از لحاظ آلودگی محیطی نیز باید مورد توجه واقع شود. مواردی مانند استفاده از آزبست در سیستم ترمز قطار که برای سلامت انسان‌ها مضر است، مشکلات تهویه هوای ایستگاه‌ها و حفظ سلامت پرسنل بهره‌برداری به عنوان افرادی که بیشترین زمان را در فضای بسته ایستگاه و یا قطار سپری می‌کنند در کنار مسافران مترو حائز توجه و اهمیت است.

منابع و مآخذ

1. "Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems", NFPA 130, *National Fire Protection Association*, 2007.
2. "Technical Regulatory Standards on Japanese Railways", *Railway Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan*, 2012.
3. Ernst, S., et al. "Underground Transportation in Europe, Safety, Operations and Emergency Response", *International Technology Scanning Program*, 2006.
4. "Safety in Railway Tunnels; Recommendations for Safety Measures", UIC (International Union of Railways), *Ernst Basler & Partners*, 2001.
5. "JICA Preparatory Survey on Greater Cairo Metro Line No. 4", *Japan International Cooperation Agency*, 2010.
6. Wu, J., Z. Hu., J. Chen, Z. Li, "Risk Assessment of Underground Subway Stations to Fire Disasters Using Bayesian Network", *Journal of Sustainability, Section of Sustainable Urban and Rural Development*, 2018.
7. Bettelini M., "A System Approach to Safety Underground", *Journal of Underground Space*, 2019.
8. Gravit, M., A. Vaititckii, A. Shpakova, "Subway Constructions Fire Ssafety Regulatory Requirements", *15th International Scientific Conference on Underground Urbanization as a Prerequisite for Sustainable Development*, 2016.
9. "Guidelines for Tunnel Safety", *SafeT, Work Package 7*, 2007.
10. Gabay, D., R. France, "Compared Fire Safety Features for Metro Tunnels", 1st International Symposium, Prague, 2004.
11. Kashef, A., "International Tunnel Fire-Safety Design Practices", ASHRAE *Journal, National Research Council, Canada*, 2007.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

شناسنامه گزارش | **شماره مسلسل: ۱۶۹۳۴**

عنوان گزارش: ایمنی در تونل‌های جاده‌ای و ریلی ۲. مبانی و ضوابط ایمنی آتش در خطوط متروی شهری

نام دفتر: مطالعات زیربنایی (گروه عمران و شهرسازی)

تهیه و تدوین: سارا حمیدپور

ناظران علمی: حسین افشین، محمدتقی فیاضی

ویراستار تخصصی: ـــــ

ویراستار ادبی: ـــــ

واژه‌های کلیدی:

۱. ایمنی

۲. آتش‌سوزی

۳. خطوط متروی شهری

۴. بهره‌برداری

تاریخ انتشار: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱