معیارهای طراحی ایستگاه‌های روزمینی در سامانه‌ی راه‌آهن شهری (مترو) از منظر پدافند غیرعامل

برگرفته شده از پایان نامه "اصول و ضوابط پدافند غیرعامل در طراحی ایستگاه های روزمینی مترو"

محمدعلی جربان*: کارشناسی ارشد، پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، majarban@gmail.com
غلامرضا جلالی فراهانی: استادیار، دانشگاه عالی دفاع ملی
جابر دانش: دکترای شهرسازی، دانشگاه تربیت مدرس
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

هرچند در بسیاری از خطوط متروی کشور، ایستگاه‌های روزمینی درصد قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند، بااین‌وجود در پژوهش‌ها و مطالعات علمی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در مورد ایستگاه‌های زیرزمینی شاخص‌هایی همچون قرارگیری در عمق زمین و قابلیت بهره‌برداری چندمنظوره، باعث شده است که پژوهش‌گران حوزه‌ی پدافند غیرعامل توجه خود را بیشتر به آن حوزه معطوف کنند، درحالی‌که امنیت و پایداری عملکرد یک خط مترو، مستلزم تداوم عملکرد کل اجزای آن است. استخراج و اولویت‌بندی معیارهای طراحی معماری ایستگاه‌های روزمینی از منظر پدافند غیرعامل و تشریح آن‌ها در قالب اصول و ضوابط طراحی، هدف اصلی این تحقیق است. تحقیق حاضر در زمره‌ی تحقیقات توسعه‌ای است که در مرحله‌ی جمع‌آوری اطلاعات و منابع نظری تحقیق از منابع کتابخانه‌ای و روش مشاهده، استفاده شده است و برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم‌افزارهای SPSS و Expert Choice بهره‌برداری شده است. یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که از میان اصول طراحی معماری، سه اصل بهره‌گیری از فرم بهینه، نمای مقاوم و شکل‌پذیر، معماری داخلی ساده و خوانا، مؤثرترین و مهم‌ترین اصول طراحی معماری با رویکرد دفاع غیرعامل است که برای هرکدام از آن‌ها تحلیل لازم ارائه شده و ضوابطی در قالب الزام و ملاحظه مطرح گردیده است.

واژه‌های کلیدی: *معیارهای طراحی، ایستگاه روزمینی، سامانه‌ی راه‌آهن شهری، پدافند غیرعامل*

A Framework for Designing Subway-Surface Station with The Approach of Passive Defense

Mohammad Ali Jarban[1*], Gholam Reza Jalali Farahani[2], Jaber Danesh[3]

Abstract

Although subway-surface station plays a significant role in many countries, these stations attract lower consideration in scientific research. Some factors such as being in the depth of earth and capability for multi-purpose use, cause more attraction for underground stations; although safety and stability of a subway line require its business continuity. The main purpose of this research is to extract and prioritizing of architectural design of above ground stations based on passive defense criteria. In this research, data collection has been carried out from the library studies and direct observation. Data analysis was carried out by employing SPSS and Expert Choice software. Results show that among principles of architectural design, three principles, include optimum form, flexible and resistant surface and suitable and stable interior design, from a passive defense point of view are most important and effective principles. The necessary requirements and framework were analyzed and developed for each of these principles.

Keywords: *design factors, subway-surface station, urban railroad system, passive defense*

1 Master of Passive Defence –Malek Ashtar Industrial Univercity; Email: majarban@gmail.com
2 Asistant Professor, Suoreme National University
3 Ph.D of Urban Design – Tatbiyat Modares University

مقدمه

مترو یا سامانه‌ی راه‌آهن شهری، یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری است که نقش بسزایی در کاهش مشکلات ترافیکی امروز شهرها دارد، در اولویت طرح‌های حمل‌ونقل عمومی کلان‌شهرهای کشور قرار گرفته است. به‌طورکلی، این شبکه دارای پنج رکن «تونل و خط»، «ایستگاه و تأسیسات»، «قطار»، «مخابرات و پایش» و «تأمین‌کننده‌ی انرژی» است [۱] و از حیث قرارگیری نسبت به سطح زمین به سه گروه هوایی، زمینی و زیرزمینی تقسیم می‌گردد [۲]. واژه‌ی مترو اولین مفهومی را که در ذهن متبادر می‌سازد، همان متروی زیرزمینی است و این در حالی است که ایستگاه‌های روزمینی، بخش اعظمی از این شبکه را به خود اختصاص داده و اهمیت ویژه‌ای در پایداری شبکه‌ی حمل‌ونقل شهری دارد. با توجه به تراکم بالای ساختمان‌ها و خیابان‌ها و تأسیسات شهری، علی‌رغم هزینه‌ی بالای احداث تونل و ایستگاه‌های زیرزمینی، طراحان شهری ناگزیر به استفاده از متروی زیرزمینی در مراکز شهرها هستند، ولی با فاصله گرفتن از مراکز شهرها، از این تراکم کاسته شده و استفاده از خطوط متروی زیرزمینی توجیه اقتصادی خود را از دست می‌دهد. تا جایی که استفاده از خطوط روزمینی نسبت به زیرزمینی ارجحیت می‌یابد. بر همین اساس بسیاری از خطوط متروی احداث‌شده در کشور دارای بخش‌های روزمینی است. برای نمونه بیش از ۳۰ درصد از ایستگاه‌ها و حدود ۵۰ درصد از طول خط یک و صد درصد خط ۵ متروی تهران به‌صورت روزمینی اجرا شده است.

همان‌طور که قابل پیش‌بینی است، با توجه به عملکرد مترو و نقش ایستگاه‌ها در این شبکه، وقوع مشکل در یک ایستگاه، می‌تواند کل سیستم را با مشکل روبه‌رو کند. بخش روزمینی به علت قرارگیری در سطح و داشتن ویژگی‌هایی از قبیل دید هوایی، استحکام کمتر و غیره در برابر بسیاری از تهدیدات، آسیب‌پذیری بالاتری نسبت به بخش زیرزمینی آن دارد و این تحقیق لزوم توجه به حوزه‌ی روزمینی را بیشتر آشکار می‌کند.

بر اساس الزامات رایج طراحی ایستگاه‌های مترو، عوامل متعددی از قبیل جمعیت منطقه، دسترسی‌های موجود، توسعه‌ی آتی، وضعیت اقلیمی، زمین‌شناسی منطقه و غیره در مکان‌یابی و طراحی ایستگاه‌ها، مؤثرند. دفاع غیرعامل نیز باید به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حوزه‌های تأثیرگذار در کلیه‌ی مراحل مکان‌یابی، طراحی و ساخت سامانه‌های متروی روزمینی، مورد توجه قرار گیرد. یک طرح پایدار برای ایستگاه‌های متروی روزمینی، علاوه بر اینکه مستلزم داشتن ارزیابی جامعی از شاخص‌های مختلف معماری، سازه، تأسیسات مکانیکی و برقی و غیره است، نیازمند داشتن شناخت کاملی از الزامات پدافند غیرعامل است. دستیابی به این الزامات نیز از شناسایی تهدیدات پیش روی این حوزه، بررسی آسیب‌پذیری‌های ایستگاه‌های موجود، ارزیابی کلیه‌ی شاخص‌ها و الزامات مختلف طراحی و نهایتاً استخراج شاخص‌های دفاع غیرعامل برای اعمال در طرح‌ها است.

در این مقاله ابتدا مبانی نظری تحقیق بیان شده که شامل کلیاتی در خصوص ایستگاه‌های مترو و فضاهای اصلی آن و همچنین تهدیدات اصلی متوجه آن است. در فرایند تدوین معیارهای پدافند غیرعامل در طراحی ایستگاه‌های روزمینی مترو، این معیارها به دو بخش اصول و ضوابط تقسیم گردید. در بخش استخراج اصول طراحی ایستگاه‌های روزمینی سامانه‌ی راه‌آهن شهری، از منابع مختلف نسبت به تجمیع کلیه‌ی اصول مرتبط اقدام و پس از غربال‌گری بر اساس شاخص‌های علمی و فنی، از طریق پرسش‌نامه اولویت‌بندی شده‌اند. بر اساس نتایج پرسش‌نامه، سه اصلی حائز بالاترین رتبه شدند که شامل اصول مربوط به فرم، نما و معماری داخلی سازگار با پدافند غیرعامل است. نهایتاً برای هر یک از اصول مذکور، ضوابطی استخراج و مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج نهایی این تحقیق، اصول اساسی طراحی ایستگاه‌های روزمینی و مهم‌ترین ضوابط طراحی مربوط به هر یک از آن اصول است.

پیشینه، هدف و اهمیت پژوهش

به‌طورکلی پژوهش‌هایی که مترو را از منظر پدافند غیرعامل مورد بررسی قرار داده‌اند، از چند رویکرد مختلف قابل بررسی هستند. در زمینه‌ی شناسایی و استخراج تهدیدات مترو، سید جواد هاشمی فشارکی و همکاران به معرفی برخی تهدیدات ایستگاه‌های مترو و رتبه‌بندی آن‌ها در کل فضای ایستگاهی و همچنین تعیین درصد خطرپذیری تهدیدات مترو با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی پرداخته‌اند. معرفی و رتبه‌بندی تهدیدات انسان‌ساخت پیش روی سیستم قطار شهری به شکل مناسبی در این مقاله انجام شده است [۳]. غلامرضا جلالی فراهانی، عناوین تهدیداتی را که باید در حوزه‌ی مترو به آن توجه شود، معرفی کرده است و به تبیین راهبردهای دفاع غیرعامل در خطوط مترو (با تأکید بر متروی اهواز) پرداخته است [۴]. در سند «اقدامات ضروری برای کارکنان حمل‌ونقل» [۵] تنها به تهدیدات تروریستی، اشاره شده است که با سوابق رخداد تهدیدات در ایستگاه‌های زیرزمینی مترو منطبق است، ولی ناظر بر کل تهدیدات متصور بر ایستگاه‌های روزمینی نیست. بررسی تهدیدات ایستگاه‌های روزمینی، با در نظر گرفتن ویژگی‌های مشترک و غیرمشترک آن‌ها با ایستگاه‌های زیرزمینی، همچنین تبیین اصول طراحی و اولویت‌بندی آن‌ها برای تیپ ایستگاه‌های روزمینی منبعث از آن تهدیدات را می‌توان حوزه‌ی بهبود تحقیق‌های مذکور دانست. در زمینه‌ی شناسایی آسیب‌پذیری‌های ایستگاه‌های مترو، مصطفی غضنفری به معرفی آسیب‌پذیری‌های موجود در ایستگاه‌های مترو و ارائه‌ی راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری پرداخته است. ضمن استخراج معیارهای مختلف آسیب‌پذیری ایستگاه‌های مترو و ذکر مصادیق عینی، راهکارهای تحلیلی و دقیق ذیل هر یک از معیارهای آسیب‌پذیری ارائه نموده است. در خصوص زمینه‌ی بهبود این تحقیق، می‌توان به ورود به حوزه‌ی طراحی و بررسی آسیب‌پذیری‌های اختصاصی ایستگاه‌های روزمینی دانست [۶]. در زمینه‌ی چندمنظوره‌سازی ایستگاه‌های مترو، اسفندیار دهقانی در خصوص مناسب‌سازی ایستگاه‌های مترو به‌عنوان فضای امن پناهگاهی که مثال بسیار روشن و دقیق چندمنظوره‌سازی فضاهای

عمومی شهری، بهره‌برداری از ایستگاه‌های مترو به‌عنوان فضای پناهگاهی است، پرداخته است [۷]. حسین راجی، با در نظر گرفتن سایر ظرفیت‌های دفاعی ایستگاه‌های مترو، به تبیین معیارهای چندمنظوره‌ی ایستگاه‌های مترو از منظر پدافند غیرعامل پرداخته است. [۸]. با این وجود که نگاه بهره‌برداری چندمنظوره از ایستگاه‌های مترو، به علت عمق بالا و مصونیت آن‌ها در برابر اثر بسیاری از سلاح‌های متعارف است، در این تحقیق نیز سعی شده است که اصل چندمنظوره‌سازی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در حوزه‌ی طراحی معماری دفاعی ساختمان‌ها نیز منابعی از قبیل مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان [۹] و دستورالعمل UFC 3-101-01 وزارت دفاع ایالات‌متحده [۱۰] نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

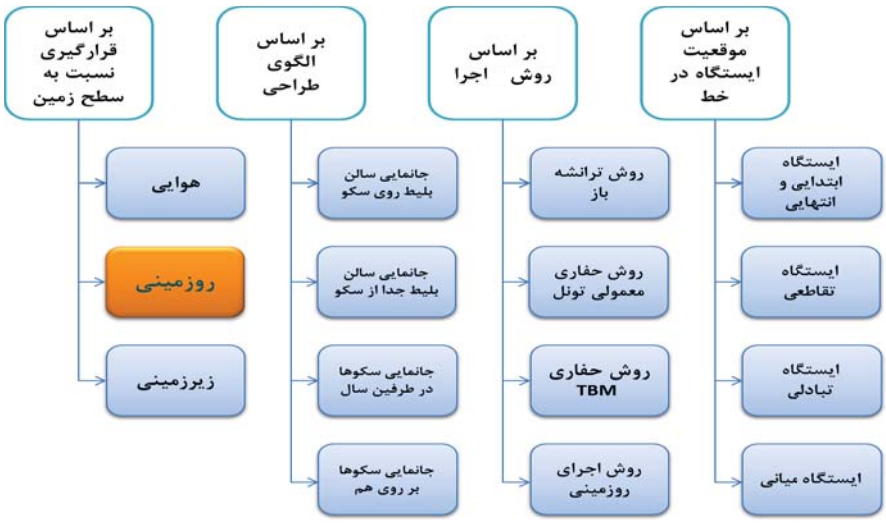
بررسی سوابق پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که نه‌تنها تاکنون نمونه‌ای منطبق با موضوع و هدف پژوهش حاضر انجام نشده است، بلکه در حوزه‌ی مطالعات پدافند غیرعامل در بخش‌های روزمینی مترو، نیز هیچ تحقیقی صورت نگرفته است. ازاین‌رو پژوهش حاضر، موضوع طراحی ایستگاه‌های روزمینی در مترو را از منظر پدافند غیرعامل مورد بررسی قرار می‌دهد. سامانه‌های شبکه‌ی حمل‌ونقل درون‌شهری به یکدیگر وابستگی دارند و بروز بحران و عدم توانایی در کنترل هر یک از ارکان این شبکه، می‌تواند اثرات گسترده و بلندمدت و صدمات جبران‌ناپذیری بر کشور تحمیل نماید [۳]. مترو به‌منزله‌ی یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری باید به‌صورت جامع مورد بررسی قرار گیرد که بخش‌های روزمینی قسمت عمده‌ای از آن را تشکیل می‌دهد. به‌منظور دستیابی به سیستم حمل‌ونقل ریلی شهری کارا و پایدار، انجام مطالعات دقیق در کلیه‌ی اجزای این شبکه ضروری است و در این راستا، تعیین شاخص‌های پدافند غیرعامل در معماری ایستگاه‌های متروی روزمینی، به‌منزله‌ی هدف اصلی این پژوهش، گامی برای تحقق اهداف پدافند غیرعامل در کلان‌شهرها است.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع پژوهش‌های توسعه‌ای است و با رویکرد توصیفی - تحلیلی به استخراج معیارها پرداخته است. در این تحقیق به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات لازم، از منابع و اسناد مکتوب و نیز پرسش‌نامه استفاده شده است. در مرحله‌ی شناسایی و اولویت‌بندی تهدیدات انسان‌ساخت عمدی پیشروی ایستگاه‌های روزمینی مترو و شناسایی اصول طراحی پدافند غیرعامل در معماری، با استفاده از روش کتابخانه‌ای به جمع‌آوری اطلاعات پرداخته شده و داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین به‌منظور اولویت‌بندی اصول طراحی معماری ایستگاه‌های روزمینی، با استفاده از توزیع پرسش‌نامه به جمع‌آوری اطلاعات لازم پرداخته شده و برای تحلیل داده‌ها از روش تحلیل AHP بهره‌برداری شده است. برای استخراج ضوابط طراحی معماری ذیل هر یک از اصول، از روش تحلیل محتوا و به‌منظور اولویت‌بندی آن‌ها نیز از روش تحلیل AHP استفاده شده است. نرم‌افزارهای SPSS و Expert Choice برای پردازش داده‌های کمی، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از آنجا که جامعه‌ی آماری هر پژوهش می‌تواند از سه روش کلی احتمالی (تصادفی)، غیر احتمالی و کارشناسی یا دلفی [۱۱] انتخاب شود، جامعه‌ی آماری این پژوهش بر اساس روش دلفی برگزیده شده است که مشتمل بر ۲۰ نفر از دانش‌آموختگان و اساتید پدافند غیرعامل (تعداد پنج نفر با مدرک دکتری و ۱۵ نفر با مدرک کارشناسی ارشد) است. پایایی این پژوهش نیز با استفاده از آزمون آلفای کرونباخ، ۰/۸۷۷ به دست آمد که بیانگر پایایی بالای ابزار تحلیل اطلاعات است. برای اولویت‌بندی اصول نیز از میان هشت اصل، سه اصل برای استخراج ضوابط انتخاب شده است.

معرفی ایستگاه‌های روزمینی مترو

ایستگاه‌های مترو را می‌توان بر اساس معیارهای متفاوتی تقسیم‌بندی نمود که در تصویر۱ انواع ایستگاه‌های مترو، به‌صورت دسته‌بندی‌شده معرفی شده است:



تصویر۱: گروه‌بندی ایستگاه‌های مترو [نگارندگان]

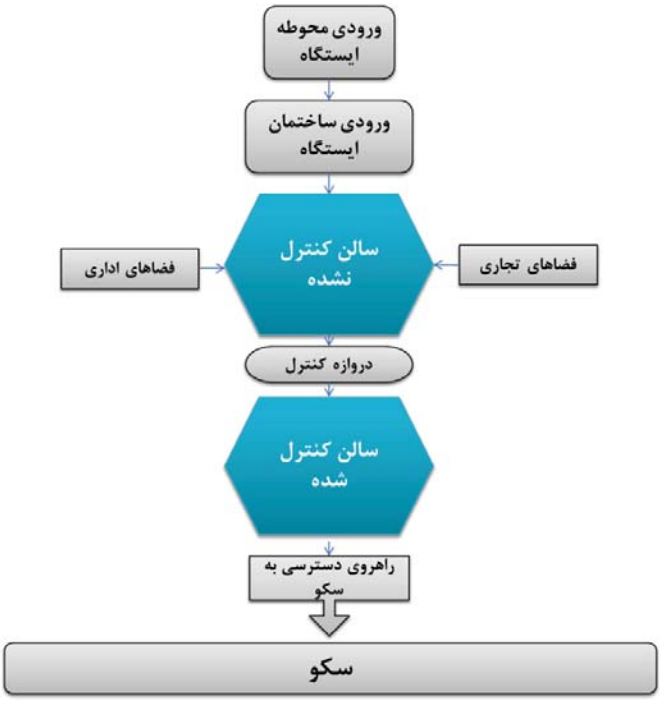
اولین گام در ارائه‌ی الزامات پدافند غیرعامل، شناخت اجزا و کارکردهای آن مجموعه است. به‌طور کلی تقریباً تمامی اجزای اصلی مترو، چه در ایستگاه‌های روزمینی و چه در ایستگاه‌های زیرزمینی، ثابت و مشترک است. تفاوت اصلی در نوع طراحی بعضی از این فضاهاست. اجزای ایستگاه‌های مترو را می‌توان در سه قالب کلی دسته‌بندی کرد: فضاهای تردد و انتقال مسافران؛ بخش‌های خدماتی و اداری؛ و بخش‌های تأسیسات و تجهیزات. تصویر ۲ به‌صورت شماتیک اصلی‌ترین فضاهایی که مسافران از ابتدای ورود به ایستگاه، با آن‌ها در ارتباط هستند را به ترتیب نشان می‌دهد.

ورودی

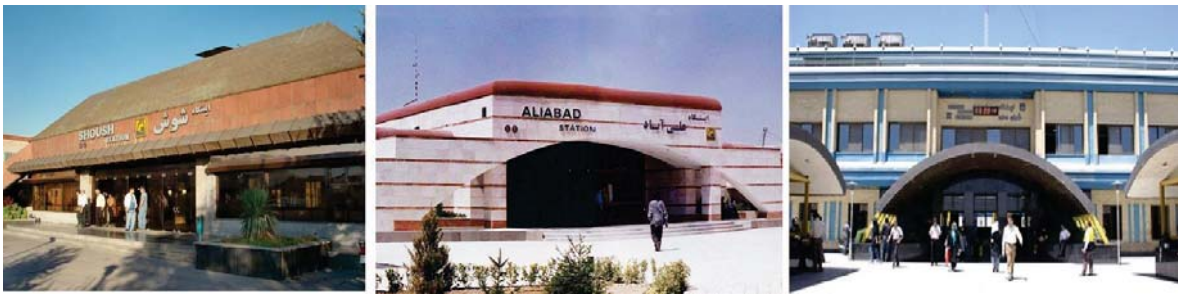
ورودی‌های مترو مهم‌ترین نقاطی هستند که نظام حمل‌ونقل مترو را به ساختار شهری موجود پیوند می‌دهند [۱۲]. ساختمان ایستگاه باید به تعداد کافی و متناسب با تعداد مسافران در حالت عادی، ساعات اوج استفاده و همچنین در مواقع اضطراری دارای ورودی و خروجی باشد [۱۳]. ایستگاه‌های متروی زیرزمینی از نظر معماری به سه دسته روباز، نیمه سرپوشیده و سرپوشیده تقسیم می‌گردند [۸]. تفاوت‌های موجود در معماری ورودی ایستگاه‌های روزمینی و زیرزمینی عمدتاً ناشی از نظر نوع دسترسی به ورودی و ملاحظات محیطی آن است. در ایستگاه‌های روزمینی (تصویر ۳) مسافران معمولاً قبل از ورود به ایستگاه، وارد محوطه‌ای نسبتاً وسیع می‌شوند و بعد از طی مسافتی وارد ایستگاه می‌گردند. در نتیجه برای ورودی ایستگاه‌های روزمینی قابلیت شناسایی سریع و جذب مسافر کمتر مطرح است و البته حساسیتی که در طراحی ورودی ایستگاه‌های زیرزمینی، با توجه به شاخص‌هایی از قبیل عمق ورودی، مدت‌زمان تخلیه، کیفیت خروج از ایستگاه و ... وجود دارد، برای ایستگاه‌های روزمینی مطرح نیست. لیکن باید در نظر داشت که ورودی ایستگاه مترو، چه از نوع زیرزمینی و چه از نوع روزمینی، یکی از مهم‌ترین نقاط ضعف ایستگاه‌ها در برابر تهدیدات است.

سالن کنترل نشده

در قسمت کنترل نشده فضاهایی از قبیل فضای انتظار، باجه‌های تلفن، فضای تجاری، سرویس بهداشتی و غیره تعریف می‌شوند [۱۵]. باید ترتیبی اتخاذ شود که موقعیت اطلاعات

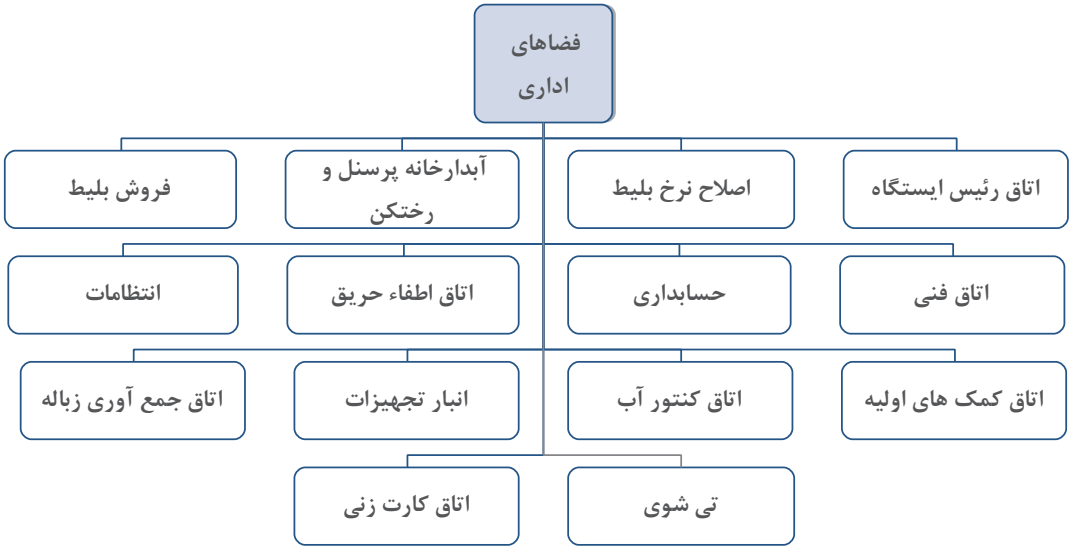


تصویر ۲: دیاگرام (طرح کلی) حرکت مسافران در ایستگاه [نگارندگان]



تصویر۳: ورودی تعدادی از ایستگاه‌های روزمینی مترو [۱۵]

تصویر ۴: سالن فروش بلیت [۱۷]



تصویر ۵: فضای اداری ایستگاه مترو [نگارندگان]

و فروش بلیت نسبت به ورودی‌های این سالن مناسب باشد، به‌گونه‌ای که در نگاه اول از محل‌های ورودی به سالن کنترل نشده جلب توجه کند و در چشم‌انداز ورودی مستقر باشد [۱۶]. همچنین تجهیزاتی از قبیل دستگاه‌های خودکار فروش بلیت، دستگاه‌های خودپرداز، آبخوری عمومی و ... در این قسمت پیش‌بینی می‌گردند. بهتر است جانمایی این دستگاه‌ها در نقاط مکث و در سلسله‌مراتب دسترسی به سکو، صورت بگیرد و در مسیر اصلی رفت و آمد مسافران جانمایی نشود. بر این اساس این دستگاه‌ها نباید در محل ورودی یا خروجی‌های سکو یا در نزدیکی خروجی اضطراری طراحی شوند (تصویر ۴) [۱۵].

سالن کنترل‌شده

این سالن، بخش کنترل‌شده‌ی سالن فروش بلیت است. در این بخش مسافران بعد از انتخاب جهت سفر خود به سمت سکوی مورد نظر حرکت می‌کنند. مسافران در این قسمت باید بتوانند به‌سرعت به سمت سکوها حرکت کنند و ایجاد فضاهای مکث و کاربری‌های جنبی در این بخش مناسب نیست (تصویر ۴) [۱۵].

فضاهای اداری

در هر ایستگاه مترو، فضاهایی برای انجام برخی خدمات و مأموریت‌ها پیش‌بینی می‌شود که اصلی‌ترین فضاهای اداری یک ایستگاه مترو شامل، ریاست ایستگاه، فروش بلیت و اطلاعات، اداری و مالی، کارت زنی کارکنان، رختکن کارکنان، اتاق حراست، راهروهای اداری، اتاق استراحت کارکنان، آبدارخانه و غذاخوری کارکنان و انبار، فضاهای اداری در یک ایستگاه مترو هستند [۱۸]. این فضا از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارت‌اند از فضاهای مدیریتی، فضاهای مالی، انتظامات و حراست و خدمات اداری که قابل استفاده برای مجموعه فضاهای اداری است [۱۹]. مهم‌ترین بخش اداری موجود در ایستگاه اتاق پایش است و پایش دوربین‌ها، اطلاعات هشداردهنده‌ی ایمنی و پیام‌های دستوری به مسافران بر عهده‌ی این بخش است [۲۰]. عمده فضاهای اداری موجود در ایستگاه‌های مترو در تصویر ۵ معرفی شده است.

فضاهای ارتباطی

فضاهای ارتباطی در ایستگاه‌های مترو به فضاهای اطلاق می‌شود که به‌منظور عبور و مرور و اتصال دو فضا به یکدیگر استفاده می‌شود. از آنجایی‌که بسیاری از مسافران ایستگاه‌ها، مطابق رفتار روزمره‌ی خود تنها با عبور از این فضاها خود را به قطار می‌رسانند، این فضاها بااهمیت‌ترین بخش‌های ایستگاه هستند [۱۷]. توجه به ابعاد و اندازه‌ی این فضاها و تناسب ابعاد با ترافیک عبور مسافران در حالت عادی و اضطراری و نیز دقت در هماهنگی و همخوانی این فضا با فضاهای اطراف ازجمله مسائل مهم در طراحی معماری آن‌ها است. بر اساس اختلاف ترازی که بین دو سطح وجود دارد فضاها می‌توانند به‌صورت رمپ، پله یا پله‌برقی و آسانسور طراحی شوند [۲۱].

سکو

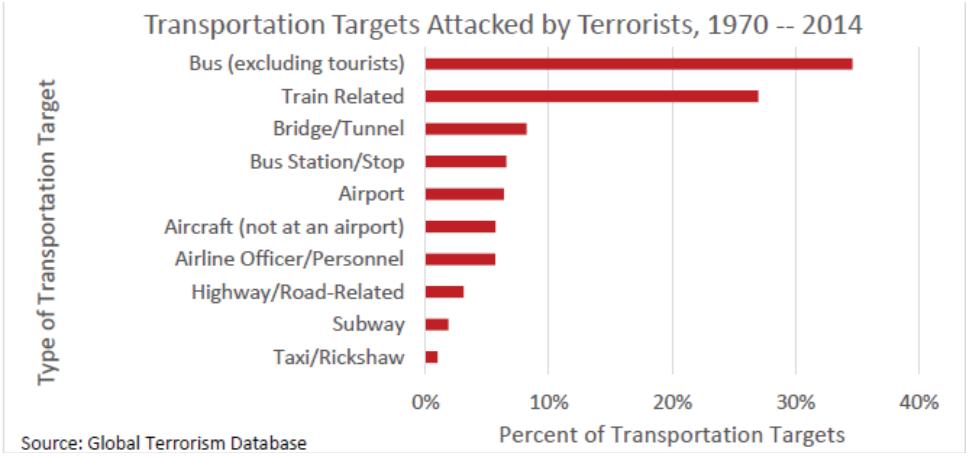
سکوی ایستگاه مترو محلی است که در آن مسافران برای سوار و پیاده شدن به قطار اقدام می‌کنند و یکی از سه‌گانه‌های اصلی اجزای ایستگاه است و شامل ریل، فضای حرکت و انتظار مسافران و بخش‌های تأسیساتی است [۱۵]. این جزء محلی است که مسافران پس از عبور از سالن فروش بلیت و محوطه‌ی کنترل برای سوار شدن به قطار به آنجا می‌روند. ابعاد سکوها توسط عوامل ترافیکی یعنی حداکثر تعداد مسافری که در ساعات پیک از آن ایستگاه استفاده می‌کنند تعیین می‌شود [۱]. در مورد سکوی ایستگاه‌های روزمینی نکته‌ی حائز اهمیت که بارزترین تفاوت ایستگاه‌های روزمینی است، در سقف آن‌هاست که در مواردی به‌صورت روباز است. در مواردی نیز از سازه‌های سبک برای پوشش سقف چنین سکوهایی استفاده می‌گردد.

بررسی تهدیدات

در دوران جدید با رشد و پیشرفت فناوری و با توجه به امکانات، توانمندی‌ها و سطح دانش جوامع، فقط قواعد و اصول جنگ دچار تغییر و تحول اساسی گردیده است و تهدید جنگ هنوز پابرجا مانده است [۲۲]. جنگ‌ها دیگر به مرزهای جغرافیایی محدود نمی‌شوند و تهاجم به شهرها با اهداف فشار به حاکمیت از طریق کشتار غیرنظامیان و افزایش نارضایتی، امروزه یکی از محورهای اساسی در دکترین (رهنامه)ی نظامی کشورهای غربی است. در سطحی پایین‌تر، تهدیدات تروریستی قرار دارند. بر اساس اسناد START[1]، بیش از ۷۴۰۰ حملات تروریستی در سراسر جهان بین سال‌های ۱۹۷۰ و ۲۰۱۴، حوزه‌ی حمل‌ونقل را هدف قرار داده است که ۵٫۳ درصد از کل حملات تروریستی را شامل می‌شود. سهم مترو ۱٫۹ درصد است. اما نمودار نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که حملات تروریستی در قطار، پس از اتوبوس در رتبه‌ی دوم قرار دارد و این دو حوزه بیش از ۶۱٫۶ درصد از کل حملات را به خود اختصاص داده‌اند. حملات به اهداف حوزه‌ی حمل‌ونقل، در ۱٫۶ موارد به بیش از ۲۵ مورد مرگ‌ومیر منجر شده است و این در حالی است که در مقایسه با سایر حوزه‌های مورد تهدید این میزان ۱٫۳ درصد است [۲۳].

سوابق رخداد تهدیدات از یکسو و آسیب‌پذیری بالای کانون‌های تمرکز جمعیت شهری از سوی دیگر، حاکی از این واقعیت است که ایستگاه‌های مترو، اهداف بسیار جذابی برای حملات تروریستی هستند. بر این اساس، تهدیدات متوجه ایستگاه‌های متروی روزمینی، که هم با متروی زیرزمینی از نظر عملکرد و هم با ایستگاه‌ها و خطوط راه‌آهن از نظر شکل دسترسی و قرارگیری در سطح زمین، دارای حوزه‌ی اشتراک است، نباید مغفول واقع گردد. همچنین گفتنی است که، بروز تهدیدات در ایستگاه‌های زیرزمینی و روزمینی مترو، نه‌تنها منجر به کشته و زخمی شدن غیرنظامیان و ایجاد رعب و وحشت می‌شود، بلکه باعث اختلال در عملکرد و تداوم خدمت‌رسانی یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری شده و موجبات افزایش نگرانی و نارضایتی مردم را ایجاد خواهد کرد. در حوزه‌ی حمل‌ونقل به دلیل تمرکز جمعیت و قربانیان احتمالی، اهداف جذابی برای حملات تروریستی هستند. دشواری محافظت از زیرساخت‌های حمل‌ونقل در عین حفظ عملکرد مناسب و مشکل بودن تعیین احتمال حمله، جذابیت این حوزه را برای تروریست‌ها افزایش می‌دهد [۲۴].

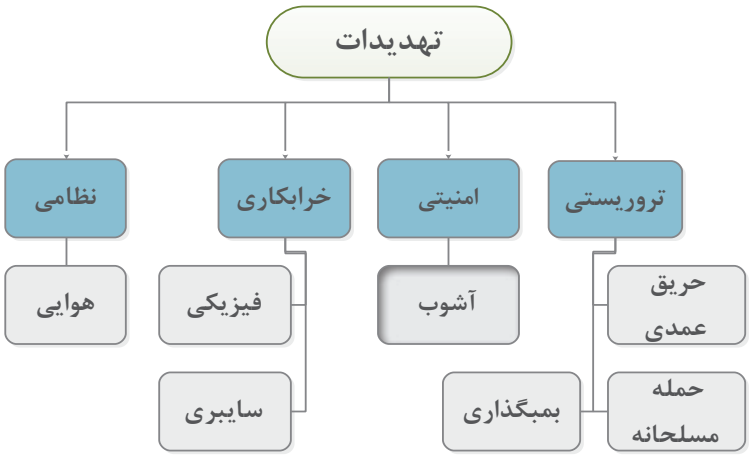
با سنجش سابقه‌ی رخداد تهدیدات انسان‌ساخت عمدی می‌توان تهدیدات متوجه ایستگاه‌های مترو که منشأ انسانی داشته و رخداد آن‌ها بر اساس انگیزه‌های متفاوت از سوی گروه‌های



تصویر ۶: سابقه‌ی رخداد تهدیدات تروریستی در حوزه‌ی حمل نقل از ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۴ [۲۳]

جدول ۱: تهدیدات انسان‌ساخت عمدی حوزه‌ی ایستگاه‌های مترو [۶]

شیوه‌ی تهدید	ابزار تهدید	گونه‌ی ابزار تهدید	محل وقوع نسبت به ایستگاه
تروریستی	بمب‌گذاری	سخت	خارج (مجاورت) - داخل
	نشر مواد سمی	سخت	خارج (مجاورت) - داخل
	حریق عمدی (آتش‌زنی)	سخت	داخل
	حمله‌ی مسلحانه	سخت	داخل
خرابکاری	فیزیکی[۲]	سخت	داخل
	سایبری	نرم	خارج (نفوذ از بیرون)
امنیتی	آشوب	سخت	داخل
	گروگان‌گیری	سخت	داخل
هوایی	حمله‌ی هوایی و موشکی	سخت	خارج (مجاورت) داخل (نفوذ آثار و امواج انفجاری به داخل)



تصویر ۷: تهدیدات انسان‌ساخت عمدی حوزه‌ی متروی روزمینی [نگارندگان]

مختلف در این‌گونه فضاها روی می‌دهد را، مطابق جدول ۲-۹. بیان داشت [۶].

در تهدیدشناسی لازم است به ویژگی متغیر بودن ماهیت تهدیدات در طی زمان و به‌تبع آن متغیر بودن اقدامات دفاعی و بازدارنده توجه شود. در نظر گرفتن یک تهدید مبنا در طراحی یک مرکز، اقدام صحیحی به نظر نمی‌رسد. از منظر پدافند غیرعامل، طرحی مناسب است که یک طیف منطقی از تهدیدات محتمل را پوشش دهد. بنابراین در این تحقیق سعی شده است که مواردی که در قالب اصول و ملاحظات ذکر می‌گردد، یک طیف منطقی از تهدیدات متصور که از منابع علمی و سوابق رخداد تهدیدات استخراج شده است را پوشش دهد. به‌منظور دستیابی به طیف تهدیدات متصور برای مترو و به‌منظور تعمیم نتایج جدول فوق به ایستگاه‌های روزمینی، پرسش‌نامه‌ای طرح و پس از تکمیل توسط جامعه‌ی نخبگان، ۷ تهدید (تصویر ۷) استخراج گردید که در ادامه، ملاک این تحقیق خواهند بود.

پیامدهای ناشی از تهدیدات مذکور را می‌توان در دو دسته‌ی اصلی قرار داد. دسته‌ی اول پیامدهای فیزیکی ناشی از این تهدیدات است که متوجه دارایی‌هایی کالبدی ایستگاه است. دسته‌ی دوم پیامدهای انسانی است که شامل تلفات مسافران و کارکنان مستقر در ایستگاه مترو است. حوزه‌ی تهدیدات سایبری که در زمره‌ی اقدامات خرابکارانه در سامانه‌های ارتباطی شبکه مترو است، کاملاً متوجه مرکز فرمان و سامانه‌های سیگنالینگ و علامت‌دهی مترو است که از حوزه‌ی بحث این تحقیق خارج است. بر این اساس، به‌منظور دستیابی به معیارهای پدافند غیرعامل در طراحی ایستگاه‌های روزمینی و کاهش آسیب‌پذیری‌ها، در فرایند استخراج اصول، پیامدهای ناشی از این تهدیدات مورد نظر قرار می‌گیرد.

اصول طراحی معماری ایستگاه‌های روزمینی در مترو

در منابع مختلف، معیارهای متعددی به‌منزله‌ی اصول پدافند غیرعامل در طراحی ساختمان‌های عمومی، بیان شده است. در کتاب الزامات معماران در دفاع غیرعامل پایدار، آقای اصغریان جدی به ۱۳ اصل، برای تزریق ژن دفاع در طرح‌ها اشاره می‌کند. این اصول عبارت‌اند از: مکان‌یابی، پراکندگی، استتار، اختفا و فریب، اغتشاش، استحکامات، تأسیسات، طراحی مبلمان شهری، طراحی معماری داخلی، قدرت مرمت‌پذیری، طراحی شبکه‌ی زیرساخت، طراحی ورودی و خروجی اضطراری، چند عملکردی فضاها و میزان حفاظت [۲۵]. آقای سید بهشید حسینی در کتاب معیارهای پدافند غیرعامل در طراحی معماری ساختمان‌های شهری، از دو دیدگاه ترکیبی (ارتباطات درون سلول

شهری) و تفریدی (بررسی بنا به‌صورت منفرد) به بررسی اصول پدافند غیرعامل می‌پردازد و به مواردی همچون تأمین شبکه‌ی ارتباطی مناسب، سهولت دسترسی به شبکه‌ی ارتباطی منطقه‌ای، سهولت دسترسی به ایستگاه‌های امداد و نجات، در دسترس بودن کاربری‌های ضروری، انعطاف‌پذیری در بافت سلول شهری، استتار ساختمان‌های مهم و باارزش اشاره می‌کند [۲۶]. داعی‌نژاد و همکاران در کتاب اصول و رهنمودهای طراحی و تجهیز فضای باز مجموعه‌های مسکونی به‌منظور پدافند غیرعامل، اصول مورد نظر در این حوزه را در قالب محافظت سلسله‌مراتب، پوشش سراسری، محافظت پویا، خودکفایی نسبی و کمترین آسیب‌پذیری تشریح می‌نمایند [۲۷]. در این منابع، به اصول پدافند غیرعامل در معماری ساختمان‌های عمومی پرداخته شده است که در ادامه به تحلیل آن و موارد مشابه اشاره و معیارهای نهایی ارائه شده است.

غربالگری اصول پدافند غیرعامل در معماری ایستگاه‌های روزمینی

در این گام، بعد از استخراج اولیه‌ی اصول از منابع فوق‌الذکر و حذف موارد تکراری، از جدول ذیل برای سنجش اولیه‌ی معیارها استفاده شده است. فرایند انجام این غربالگری به این صورت است که در گام اول، فهرستی از کلیه‌ی مواردی که به‌منزله‌ی اصول طراحی معماری ساختمان در منابع فوق‌الذکر مطرح شده‌اند تهیه شد. در گام دوم موارد تکراری حذف گردید. در گام سوم اصول طراحی مطرح‌شده، در قالب اصول کالبدی، عمومی، کارکردی و طراحی سایت طبقه‌بندی گردید. در گام چهارم این اصول با شاخص‌های فنی شامل شهرسازی، معماری، سازه و تأسیسات، همچنین از نظر موقعیت قرارگیری ایستگاه در داخل یا خارج از محدوده‌ی شهر و نیز از منظر شاخصه‌های مربوط به سطح رقومی ایستگاه مترو شامل ایستگاه‌های روزمینی و زیرزمینی، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. از میان تمامی مؤلفه‌های مذکور، بر اساس نظر جامعه‌ی نخبگان، اصول پدافند غیرعامل در معماری ایستگاه‌های روزمینی، باید چهار شاخص، ارتباط با معماری ایستگاه، ارتباط با ایستگاه‌های درون‌شهری، ارتباط با ایستگاه‌های روزمینی و ارتباط با پدافند غیرعامل را تأمین نماید.

به‌طور خلاصه، فرایند غربالگری از ستون‌های سمت راست جدول ۲ به سمت ستون‌های چپ جدول و تطبیق گام‌به‌گام اصول اولیه با شاخص‌های پدافند غیرعامل، مرتبط با طراحی ایستگاه‌های روزمینی انجام شده است. پس از تکمیل فرایند و مقایسه‌ی اصول با هر چهار دسته شاخص، فقط ۸ اصل واجد شرایط شده‌اند. توضیح آن‌که اصولی که با هر ۴ شاخص مورد نظر (ارتباط با معماری ایستگاه، ارتباط با ایستگاه‌های درون‌شهری، ارتباط با ایستگاه‌های روزمینی و ارتباط با پدافند غیرعامل) مرتبط بوده و امتیاز ۴ را کسب کرده‌اند، احصا شده و مبنای بررسی‌های بعدی قرار گرفته‌اند. نهایتاً نتیجه‌ی غربالگری انجام‌شده در جدول ۳ ارائه شده است.

به‌منظور اولویت‌بندی اصول استخراج‌شده از فرایند غربالگری، از فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) استفاده و از طریق تهیه‌ی یک پرسش‌نامه‌ی نخبگی به این امر پرداختیم. شاخص‌های مورد استفاده در این فرایند شامل تأثیرگذاری در مقاومت ایستگاه در برابر تهدیدات متصور، میزان تأثیرگذاری در تداوم فعالیت و صرفه‌ی اقتصادی است. نتایج حاصل، در جدول ۴ ذکر شده است. با توجه به نتایج پرسش‌نامه، سه اصل فرم همگن، نمای مقاوم و شکل‌پذیر، معماری داخلی ساده و خوانا، که هر سه مورد در دسته‌ی کالبدی قرار دارند، حائز بالاترین اولویت شده و در دستور کار ارائه‌ی راهکارهای طراحی معماری ایستگاه‌های روزمینی مترو از منظر پدافند غیرعامل در قالب ضوابط طراحی قرار می‌گیرند.

استخراج ضوابط طراحی معماری ایستگاه‌های متروی روزمینی

پس از تعیین مهم‌ترین اصول طراحی معماری ایستگاه‌های روزمینی مترو، به‌منظور تشریح و معرفی دقیق‌تر، ذیل هر یک از اصول مطرح‌شده، به استخراج مهم‌ترین و مؤثرترین ضوابط طراحی پدافندی می‌پردازیم. یعنی در این بخش تلاش شده است که ابعاد مختلفی که از منظر پدافند غیرعامل در خصوص فرم همگن، نمای مقاوم و شکل‌پذیر و معماری داخلی ساده و خوانا، در منابع و اسناد مختلف آمده است را تجمیع و موارد قابل انطباق با ایستگاه‌های روزمینی را بیان نماییم.

فرم همگن

درباره‌ی فرم انواع ساختمان‌ها و میزان تأثیرگذاری آن در کاهش اثر موج انفجار مطالعات مختلفی انجام شده است. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته و نیز انطباق ضوابط گسترده

جدول ۳: نتایج غربالگری اصول پدافند غیرعامل در طراحی متروی روزمینی [نگارندگان]

ردیف	اصول استخراج‌شده	دسته‌بندی
۱	مصالح مقاوم شکل‌پذیر	کالبدی
۲	فرم همگن	
۳	نمای مقاوم و شکل‌پذیر	
۴	معماری داخلی ساده و خوانا	
۵	خروجی اضطراری ایمن	
۶	بهره‌برداری چندمنظوره	کارکردی
۷	قابلیت مرمت‌پذیری	
۸	محوطه چندمنظوره	طراحی سایت

جدول ۲: استخراج اولیه‌ی اصول معمارانه‌ی پدافند غیرعامل در طراحی متروی روزمینی [نگارندگان]

نوع اصول	اصول طراحی انواع ساختمان	شاخص‌های عمومی طراحی معماری ایستگاه‌های متروی روزمینی								شاخص پدافند غیرعامل	مجموع شاخص‌ها	اصول پدافند غیرعامل در طراحی معماری ایستگاه‌های متروی روزمینی
		فنی				موقعیت		نوع				
		شهرسازی	معماری	سازه	تأسیسات	شهری		زیرزمینی	روزمینی			
کالبدی	مصالح شکل‌پذیر		×			×	*	*	×	×		مصالح مقاوم شکل‌پذیر
	فرم و شکل خارجی مقاوم		×	*		×	*		×	×	۴	فرم همگن
	نمای مقاوم		×			×	*		×	×	۴	نمای مقاوم و شکل‌پذیر
	معماری داخلی		×			×	*	*	×	×	۴	معماری داخلی ساده و خوانا
	خروجی‌های اضطراری	*	×			×	*	*	×	×	۴	خروجی اضطراری ایمن
عمومی	مکان‌یابی	*				×	*	*	×	×	۳	---------
	پراکندگی									×	۱	---------
	استتار، اختفا، فریب		×				*	*			۱	---------
	اغتشاش		×									---------
	استحکامات			*		×	*	*	×	×	3	---------
کارکردی	چندمنظوره		×			×	*	*	×	×	۴	بهره‌برداری چندمنظوره
	مرمت‌پذیری	*	×	*	*	×	*		×	×	۴	قابلیت مرمت‌پذیری
	شبکه‌های زیرساخت			*	*		*					---------
	تأسیسات	*			*	×	*	*	×	×	۳	---------
طراحی سایت	مبلمان شهری	*	×				*			×	۲	---------
	شبکه‌ی ارتباطی	*				×	*	*	×		۲	---------
	سهولت دسترسی	*				×	*	*	×			---------
	خوانایی	*	×			×		*		×	۳	---------
	دسترسی به کاربری‌های ضروری	*				×				×	۲	---------
	انعطاف‌پذیری در بافت شهری					×			×		۲	---------
	حفظ و تداوم عملکرد اولیه	*		*	*	×	*	*	×	×	۳	---------
	محوطه‌سازی مناسب		×			×			×	×	۴	محوطه چندمنظوره

توضیحات علائم جدول

× به معنی انطباق اصل با یکی از شاخص‌های چهارگانه‌ی مدنظر

* به معنی انطباق اصل با سایر شاخص‌ها

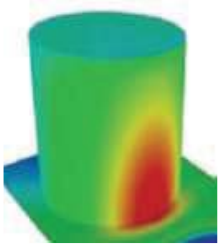
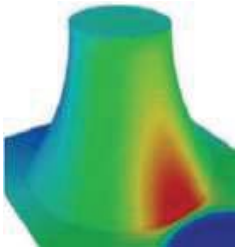
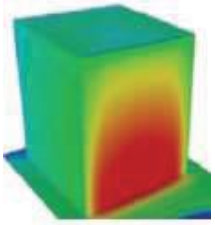
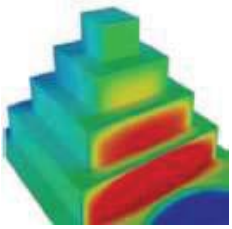
کادر خالی: به معنی ارتباط نداشتن با شاخص‌های مندرج در ردیف اول

مطرح‌شده در زمینه‌ی فرم مقاوم در برابر موج انفجار، سه مورد شامل استفاده از فرم محدب و آیرودینامیک، انطباق فرم معماری با فرم سازه و کاهش سطح مقابل موج انفجار، ضوابطی بودند که بالاترین تأثیرگذاری در کاهش اثر موج و درعین‌حال بالاترین انطباق با ایستگاه‌های روزمینی را داشتند. در ادامه به تفصیل در خصوص هر یک بحث و بررسی می‌شود.

جدول ۴: جدول رتبه‌بندی معیارهای طراحی متروی روزمینی [نگارندگان]

رتبه	معیار	معرفی اصل	امتیاز
اول	فرم همگن	استفاده از بهترین فرم که امواج ناشی از انفجار را از خود عبور داده و کمترین مقاومت را در برابر آن داشته باشد و کلیه‌ی سطوح عملکرد یکسانی داشته باشد.	۲۲،۳
دوم	نمای مقاوم و شکل‌پذیر	استفاده از نمایی که علاوه بر داشتن مقاومت کافی، دارای شکل‌پذیری بالا و سطح پوسته‌ی مناسب برای کاهش اثر موج انفجار باشد.	۱۸،۶
سوم	معماری داخلی ساده و خوانا	معماری داخلی باید به گونه‌ای باشد که هم در صورت ورود موج انفجار به داخل، از شدت آن کاسته شود و طراحی فضاها و ارتباطات آن‌ها به‌گونه‌ای باشد که کمترین آسیب به مردم برسد.	۱۶،۵
چهارم	بهره‌برداری چندمنظوره	موضوع بهره‌برداری چندمنظوره (که عمدتاً استفاده به‌منزله‌ی پناهگاه مورد نظر است) برای ایستگاه‌های متروی زیرزمینی همیشه مورد توجه بوده است، اما ایستگاه‌های روزمینی، با توجه به عدم برخورداری از عمق، از ظرفیت چندمنظوره‌سازی (پناهگاهی و ذخیره‌سازی) کمتری برخوردار است.	۱۱،۸
پنجم	قابلیت مرمت‌پذیری	منظور، تداوم فعالیت پس رخداد تهدید و قابلیت ترمیم سریع ساختمان و بازگشت به حالت اول است. اهمیت این اصل در ایستگاه‌های روزمینی، برای تداوم فعالیت کل خط (که ایستگاه روزمینی جزئی از آن است) است.	۱۰،۴
ششم	مصالح مقاوم شکل‌پذیر	منظور مقاومت و شکل‌پذیری مصالح بخش‌های مختلف ساختمان ایستگاه (با توجه به روزمینی بودن آن) است.	۸،۴
هفتم	خروجی اضطراری ایمن	اصل تخلیه‌ی اضطراری سریع و آسان در شرایط بحرانی، یکی از مهم‌ترین اصول طراحی مراکز جاذب جمعیت است.	۷،۷
هشتم	محوطه‌ی چندمنظوره	با توجه به وجود محوطه در بیشتر ایستگاه‌های روزمینی، بهره‌برداری از آن‌که مجاور یک کانون پرازدحام شهری است، می‌تواند دارای اهمیت باشد.	۴،۳

جدول ۵: نتایج تحلیل تکانه‌ی ایجادشده در فرم بر اثر انفجار

فرم	استوانه	هذلولوی	مکعب	پله‌ای
کانتور تنش				
تکانه حداکثر(NS)	۳۴۵۹۳	۲۶۸۹۲	۴۴۷۸۵	۳۳۵۳۸
رتبه	۳	۱	٤	۲

استفاده از فرم محدب و آیرودینامیک

حجم کلی و فرم ساختمان در پایداری آن بسیار مؤثر است. در مورد ایستگاه‌های روزمینی، فرم را می‌توان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های معماری دانست. برای طراحی فرم معماری، شناخت مسائلی مانند توده‌ی پیرامون ساختمان، خط آسمان، ارتباط نمای ساختمان با نماهای هم‌جوار و غیره لازم است و بررسی این عوامل برای شناخت تأثیر انفجار بر حجم و فرم و میزان مقابله با آثار آن دارای اهمیت است. پوسته‌ی خارجی را از دو منظر فرم و مصالح می‌توان مورد بررسی قرار داد. در این راستا چهار هدف قابلیت کاهش اثر انفجار، قابلیت آواربرداری، قابلیت ترمیم‌پذیری و قابلیت مقابله با آتش برای مقایسه‌ی انواع پوسته‌های خارجی، قابل بررسی است. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که پوسته‌ی خارجی محدب بیشترین سازگاری را با پدافند غیرعامل دارد [۲۸].

نورمن گبگن و تورسن داگ (۲۰۱۰) به شبیه‌سازی اثر انفجار روی انواع برگه‌های اصلی پرداخته‌اند که نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد، تکانه‌ی حداکثر ایجادشده روی فرم هذلولوی، تقریباً معادل نیمی از آن روی فرم مکعبی است (جدول ۵).

همچنین لازم است تحدب هم در پلان و هم در ارتفاع رعایت شود. برای انفجارهای روی سطح زمین تحدب در ارتفاع نسبت به تحدب در پلان از اهمیت کمتری برخوردار است و البته برای انفجارهای در هوا این نسبت برعکس است. برای نمونه فرم هرمی که کاهش سطح آن در ارتفاع به‌صورت پله‌ای است و در پلان محدب و در ارتفاع مقعر است در برابر انفجارهای روی سطح زمین نسبت به انفجارهای ایجاد شده در هوا مقاوم‌تر است [۲۹]. فرم نیم‌کره هم دارای تحدب در پلان و هم در ارتفاع است و عملکرد بهتری نسبت به فرم هرمی دارد.

تصویر ۸ : نمونه‌هایی از فرم محدب در ایستگاه‌های روزمینی قطار شهری[۱۴]

انطباق فرم معماری با فرم سازه

با توجه به این موضوع که وظیفه‌ی اصلی سازه‌ی ساختمان‌ها میرا نمودن امواج انفجار است، در حالتی که فرم معماری با فرم سازه‌ای انطباق کامل دارد، انرژی و نیروی حاصل از انفجار به‌راحتی توسط سازه جذب و به فونداسیون منتقل می‌شود. اما در حالت عدم انطباق ممکن است بارهایی ناشی از انفجار به‌درستی به سازه منتقل نگردد و قسمتی از فرم معماری (عناصر غیر سازه‌ای) ساختمان مورد آسیب قرار گیرد. در نتیجه فرم معماری کاملاً منطبق بر فرم سازه‌ای، کاملاً سازگار و عدم انطباق فرم معماری با فرم سازه‌ای بسیار ناسازگار تعیین گردید [۳۰]. در برخی از ایستگاه‌ها با استفاده از سازه‌های الحاقی و کم مقاومت فرم‌های متنوعی ایجاد می‌گردد که این عمل از دو جهت باعث افزایش آسیب‌پذیری می‌گردد (تصویر ۸).

کاهش سطح مقابل موج انفجار

فرم‌های افقی در مرحله‌ی اول و فرم‌های با تناسبات مساوی در مرحله‌ی دوم نسبت به فرم‌های عمودی و ایستاده دارای مقاومت و پایداری کمتری است، زیرا افزایش ارتفاع از سطح زمین و برگه‌های کشیده‌ی مرتفع باعث آسیب‌پذیری کمتری در برابر انفجار می‌شود [۳۱]. از سویی بیشترین اثر نیروهای امواج انفجاری بر وجوه روبه‌روی محل انفجار رخ می‌دهد و این اثر در وجوه دیگر حتی تا بیش از ۱۰ برابر امکان کاهش خواهد داشت [۲۸]. با توجه به اینکه فرم ایستگاه‌های روزمینی به‌صورت کشیده است و روشن است که هرقدر نسبت پوسته‌ی خارجی ساختمان به زیربنای آن کوچک‌تر باشد، انتقال امواج کمتری خواهد داشت [۲۷]. به‌منظور کم کردن این نسبت می‌توان بخشی از ساختمان را پایین‌تر از تراز صفر محل، در نظر گرفت. همچنین بهتر است از فرم یک طبقه استفاده نمود و از قرار دادن سالن فروش بلیت روی سکو پرهیز کرد.

نمای مقاوم و انعطاف‌پذیر

پوشش خارجی، مهم‌ترین خط دفاعی به‌منظور محافظت از ساکنان در برابر تهدیدات خارجی محسوب می‌شود. موج انفجار می‌تواند از طریق منافذ موجود در پوشش خارجی و نیز تخریب پوسته‌ی بیرونی، وارد ساختمان شود[۳۲]. در ایستگاه‌های روزمینی، نمای ساختمان باید به‌گونه‌ای طراحی گردد که در برابر امواج ناشی از انفجار، مقاومت بالایی را داشته باشد و بتواند امواج ناشی از انفجار را تا حد بالایی دفع کند و آسیب زیادی نبیند. از طرفی باید توجه داشت که یکی دیگر از شاخص‌های مطلوبیت نمای ساختمان از منظر پدافند غیرعامل، شکل‌پذیری مصالح نمای ساختمان است که با تحمل تغییر شکل‌های زیاد، انرژی ناشی از انفجار را جذب و از رسیدن آسیب زیاد به بقیه‌ی قسمت‌های ایستگاه و ورود موج انفجار به داخل، جلوگیری می‌کند. رعایت ضوابط ذیل که شامل استفاده از مصالح جاذب موج، بهره‌گیری از نورگیرهای سقفی، استفاده از دیوارهای خارجی مقاوم در برابر موج و طراحی مناسب ورودی است، نیل به هدف موردنظر را تسهیل می‌نماید.

استفاده از مصالح جاذب موج

مهم‌ترین ویژگی ساختمان مقاوم در برابر انفجار، توانایی جذب انرژی انفجاری بدون بروز شکست و فروریزش فاجعه‌آمیز در کل سازه است. مصالح ساختمانی در سازه‌های مقاوم در برابر انفجار باید دارای شکل‌پذیری و مقاومت کافی باشند [۳۳].

فارغ از مسئله‌ی شکل‌پذیری و جذب موج، بتن مسلح با توجه به مقاومت بالا در برابر انفجار، مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین مصالح ساختمانی برای طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر انفجار شناخته می‌شود. به‌طوری‌که کاربرد آن، خصوصاً برای ساختمان‌هایی که در نزدیکی منبع انفجاری قرار دارند و احتمال قرار گرفتن آن‌ها در برابر فشار بالا و تأثیرات مستقیم گرمایی در حادثه انفجار وجود دارد، مناسب‌تر است [۳۴]. اما با توجه به اهمیت مسئله‌ی زیبایی نمای ساختمان‌های شهری، باید در نظر داشت که نمای بتنی در شهرها کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد می‌توان مقاومت پایین نمای برخی از ساختمان‌های موجود را با افزایش شکل‌پذیری آن‌ها جبران نمود. از میان نماهای رایج، برخی کاملاً صلب و برخی انعطاف‌پذیر هستند. نماهای صلب مانند سنگ، در مقابل موج انفجار دچار خردشدگی و پراکندگی می‌شوند و خطرات ثانویه به وجود می‌آورند. نمای آلومینیومی، با توجه به انعطاف‌پذیری و یکپارچگی، عملکرد مناسب‌تری در برابر موج انفجار دارد [۳۵].

سطوح شیشه‌ای، با توجه به مطلوبیتی که از نظر معماران دارند، در نمای بسیاری از ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و این در حالی است که موج انفجاری با شدت بسیار کم نیز می‌توانند جداره‌ی شیشه‌ای را از بین ببرند و تکه شکسته‌های شیشه با لبه‌های برنده‌ی خود مانند تیرهای کشنده، جان هزاران انسان را

چه در بیرون و چه در درون ساختمان‌ها تهدید کنند. در خصوص پنجره‌های مورد استفاده در نمای ساختمان، برای کاهش اثر ترکش‌های ناشی از خرد شدن شیشه‌ها، ارتفاع پنجره‌ها تا حد امکان به سقف نزدیک باشد و از پنجره‌های با ابعاد بزرگ پرهیز گردد [۹]. برای ایمن‌سازی شیشه‌ها راهکارهای متنوعی وجود دارد. اما به نظر می‌رسد یکی از بهترین راهکارها استفاده از لایه‌های پوششی است که بستر اصلی آن‌ها، پلی‌استر از نوع پلی‌اتیلن (PET) است. یکی از باصرفه‌ترین و مقاوم‌ترین این پوشش‌ها، به نام عایق شیشه معروف است [۳۳]. در صورت لزوم استفاده از سطوح شیشه‌ای برای مراکز جاذب جمعیت، ازجمله ایستگاه‌های مترو، توصیه می‌شود از این نوع مصالح شیشه‌ای استفاده شود. در خصوص مصالح مربوط به اسکلت قاب‌بندی بازشوها، باید با استفاده از فنون جداسازی لرزه‌ای از اسکلت اصلی ساختمان مجزا شود [۲۶]. تصویر ۹ نمونه‌ای از ساختمان‌هایی که دارای نمایی شیشه‌ای گسترده، ولی با رعایت قاب‌بندی مناسب هستند را نشان می‌دهد.

بهره‌گیری از نورگیرهای سقفی

یکی از راهکارهایی که می‌تواند موجب کاهش استفاده از سطوح شیشه‌ای در نما گردد، استفاده از نورگیرهای سقفی است. نورگیرهای سقفی کمترین آسیب‌پذیری را در برابر انفجار غیرمستقیم دارد و با توجه به اینکه ایستگاه‌های مترو عملکردی انتقالی دارند و موضوع دید و اشراف به خارج ساختمان موضوعیتی ندارد، می‌توان از نورگیرهای سقفی، برای تأمین نور این ایستگاه‌ها استفاده کرد. در نورگیرهای سقفی باید از صفحات نشکن، به‌جای شیشه استفاده کرد [۹].

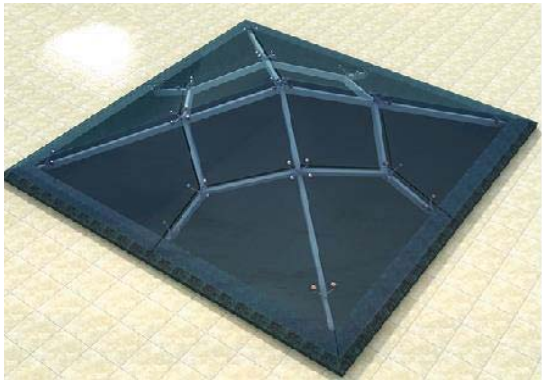
استفاده از دیوارهای خارجی مقاوم در برابر موج

دیوار خارجی ایستگاه، اولین دیوار دفاعی در برابر امواج ناشی از انفجاری است که در خارج ایستگاه اتفاق می‌افتد. دیوارهای بیرونی باید توان مقاومت در برابر فشارها و تکانه‌هایی که مبنای طراحی قرار گرفته است و به سطح دیوار وارد می‌شود را داشته باشند. همچنین دیوارهای برشی که هم برای تحمل بار قائم و افقی ضروری هستند و هم به‌منزله‌ی دیوار بیرونی به کار می‌روند، باید جزء اجزای سازه‌ای اصلی محسوب شوند. دیوارهای برشی بیرونی، باید در برابر بار انفجار از سوی تهدیدات مربوط به بنا مقاومت کنند [۳۱].

با توجه به وجود فضای باز نسبتاً وسیع در اطراف اغلب ایستگاه‌های روزمینی و امکان کاشت انواع درختان و بوته‌ها در محوطه‌ی آن، استفاده از پوشش گیاهی مناسب، می‌تواند در کاهش اثر موج انفجار در این ایستگاه‌ها مؤثر باشد.

تصویر ۹ : قاب بندی نمای شیشه ساختمان [۳۶]

تصویر ۱۰ : نور گیر سقفی سکوی ایستگاه متروی ترمینال جنوب [۱۲]



تصویر ۱۱ : نمونه‌ای از نورگیر سقفی با قاب‌بندی [۳۶]

طراحی مناسب ورودی در کاهش اثر موج انفجار و تسهیل خروج

ورودی و خروجی ایستگاه، ارتباط‌دهنده‌ی فضای زیرزمینی ایستگاه‌های مترو با محیط بیرونی است. از این رو کاهش خسارات این جزء، به کاهش تلفات انسانی منجر خواهد شد. استفاده از فرم‌های عبوردهنده‌ی امواج انفجاری در ساختمان ورودی - خروجی کمک قابل توجهی به تقلیل خسارات ورودی - خروجی می‌نماید [۶]. هیچ‌گاه نباید از درهای بادبزنی و گردان برای ورودی این‌گونه ساختمان‌ها استفاده کرد و در صورت استفاده، پیش‌بینی درِ قابل دسترس جایگزین الزامی است (در زمان بحران درهای بادبزنی و گردان باید قفل شود) [۳۳]. همچنین به‌منظور کاهش نفوذ انفجار از خارج به درون ساختمان، بهتر است که درها به‌صورت غیر متقابل طراحی شوند و نیز در ورودی و خروجی به سمت بیرون بنا باز شود [۳۷]. این کار، علاوه بر تسهیل در خروج، موجب می‌شود که هنگام انفجار خود درها به آوارهای خطرناک تبدیل نشد.

معماری داخلی ساده و خوانا

مهم‌ترین رویکردهای پدافند غیرعامل در طراحی معماری فضاهای داخلی ایستگاه‌های مترو، شامل موارد زیر است:

- کاهش آسیب‌پذیری در برابر تهدیدات
- تسهیل در تخلیه‌ی اضطراری مسافران
- امکان بهره‌برداری چندمنظوره از فضاها

با توجه به اینکه مؤلفه‌ی عمق در ایستگاه‌های روزمینی مطرح نیست، به همین علت موضوع تخلیه‌ی اضطراری و بهره‌برداری چندمنظوره، نسبت به ایستگاه‌های زیرزمینی دارای اهمیت کمتری است. البته این بدان معنا نیست که این موارد مغفول مانده و هیچ بررسی و مطالعه‌ای روی آن انجام نگیرد. تنها مسئله‌ای که در این خصوص باید مورد توجه قرار گیرد، مسئله‌ی انعطاف‌پذیری است. انعطاف‌پذیری در طراحی معماری، تغییر یا گسترش یک ساختار را برای تطابق با نیازهای عملیاتی متغیر با حداقل هزینه‌ی منابع تسهیل می‌کند. پیش‌بینی زیرساخت‌های تأسیساتی قابل تنظیم و توزیع مناسب تجهیزات، به حداقل رساندن دیوارهای داخلی دائمی و استفاده از مبلمان قابل جمع‌آوری، انعطاف‌پذیری را افزایش می‌دهد [۱۰].

در ادامه توضیحاتی درباره‌ی شاخص‌های مربوط به هر شاخص ارائه شده و نهایتاً به استخراج معیارهای طراحی معماری داخلی از منظر پدافند غیرعامل پرداخته می‌شود.

کاهش فاصله‌ی سکو تا ورودی ایستگاه

یکی از عوامل مؤثر در تخلیه‌ی ایستگاه‌ها در شرایط اضطراری و یکی از عوامل جلوگیری از ازدحام جمعیت در زمان تخلیه، توزیع مناسب خروجی‌ها در سکوهاست. مسیرهای ارتباطی داخل ایستگاه‌های مترو در راستای تسهیل خروج افراد از دو جنبه حائز اهمیت است:

- تغییر زاویه‌ی استاندارد و جلوگیری از ایجاد زوایای تند و مانع از سرعت و گاه آسیب‌رسان
- چینش مناسب مسیرهای ارتباطی بین اجزای اصلی ایستگاه برای توزیع متناسب جمعیت در سطح ایستگاه [۶].

با تدوین تمامی سناریوهای ممکن حریق در داخل ایستگاه، باید مسیرهای خروجی به تعداد و عرض مناسب برای هر ایستگاه طراحی و ساخته شود. خروجی از سطح سکو به سطح خیابان به‌وسیله‌ی پله‌برقی و پلکان‌های ایزوله در برابر حریق تأمین شود. طراحی و جانمایی خروجی‌ها باید به‌گونه‌ای انجام گیرد، تا همه‌ی افراد فرصت استفاده‌ی مساوی بهره‌برداری از آن‌ها را داشته باشند [۳۷].

رعایت سادگی و تناسب در طراحی مسیرهای خروجی

مسیریابی، یک موضوع بین‌رشته‌ای است که علوم متعددی از قبیل روانشناسی، معماری، طراحی شهری، رفتارشناسی و همچنین امکانات مدیریتی را در برمی‌گیرد [۳۸] و با توجه به اهمیت تخلیه‌ی اضطراری باید در طراحی مراکز مختلف جمعیتی مورد توجه قرار گیرد. مسیرهای خروجی باید ساده باشد و باید اطمینان وجود داشته باشد که این مسیرها به نقاط امن منتهی می‌گردند. در حالاتی که چیدمان راهروها نامعمول و شامل برگه‌های منحنی یا زاویه‌دار و مبادی خروجی و درهایی باشد که قابل تمیز دادن نباشد، مشکلات تخلیه افزایش می‌یابد. نبود اطمینان ناشی از طرح‌های ناواضح و پیچیده‌ی فضا و مسیرهای خروجی مدت‌زمان جستجو و تصمیم‌گیری را در حالت اضطراری افزایش می‌دهد و تخلیه را به تأخیر می‌اندازد [۳۹]. از دیگر اقدامات مناسب برای کاهش زمان تخلیه، نبود یا حذف عناصر غیر سازه‌ای در مسیر تخلیه است. ازجمله این عناصر می‌توان به گیت (ورودی)های قابل کنترل در سالن فروش بلیت اشاره کرد [۳۴]. ایجاد نا هم‌راستایی در چینش گیت‌ها در ایستگاه‌های دارای عرض کم سالن فروش بلیت، و نیز ایجاد فاصله بین گیت‌ها در ایستگاه‌های دارای عرض بالای سالن فروش بلیت، راهکاری مناسب برای حذف گیت‌ها از مسیر حرکت سریع مسافران است [۶].

در خصوص تخلیه‌ی اضطراری نیز گفتنی است که در کشور ما تعداد ورودی‌های ایستگاه‌های مترو معمولاً بر اساس ظرفیت مسافرگیری آن‌ها طراحی نمی‌گردد. درحالی‌که یکی از مهم‌ترین آسیب‌پذیری مراکز پرجمعیت شهری، مسئله‌ی تخلیه‌ی اضطراری و ازدحام جمعیت در محل خروجی‌ها است. تعداد متناسب با مسافر ورودی و پیش‌بینی شرایط اضطراری در زمان طراحی، منتج به افزایش حجم تخلیه‌ی مسافران در بازه‌ی زمانی کوتاه‌تر می‌گردد. علاوه بر این، واحد بودن ورودی - خروجی ایستگاه‌های مترو افزایش احتمال محبوس شدن افراد را در داخل فضای ایستگاهی بالا خواهد برد. اما در صورتی‌که ایستگاه‌ها دارای دو یا چند مسیر تخلیه و ورودی - خروجی باشند، در صورت آسیب دیدن یکی از آن‌ها، تنها سرعت تخلیه کاهش می‌یابد و خطر حبس افراد تا حد زیادی تقلیل می‌یابد [۶].

افزایش چگالی فضاها

یکی از مواردی که در مورد طراحی فضاهای معماری باید مورد توجه قرار گیرد، مسئله‌ی چگالی فضاهای داخلی است. منظور از

چگالی فضای معماری، میزان تراکم عناصر و المان‌های معماری در فضای خاص است. در فضاهایی با چگالی کم (فضای باز) حرکت امواج ناشی از انفجار به‌راحتی صورت می‌گیرد و تلفات انسانی در این فضاها افزایش می‌یابد. در این راستا مشخص گردید که از منظر پدافند غیرعامل فضاهای با چگالی کم ناسازگار و فضاهای با چگالی زیاد سازگار هستند [۲۹]. باید دقت شود که افزایش چگالی فضای داخلی ایستگاه به‌صورت کارشناسی و برنامه‌ریزی‌شده و به کمک عناصر سازه‌ای، به گونه‌ای باشد که علاوه بر کاهش امواج انفجاری، موجب کاهش تأثیرگذار خوانایی فضا و هدایت بصری در فضاهای داخلی نشود.

طراحی ارتفاع مناسب فضاها

با توجه به ویژگی‌های نشر دود، در طراحی ساختمان‌های معمول شهری، هدف ارائه‌ی طرحی است که حداقل ۲/۵ متر هوای تمیز در زیر لایه‌ی دود وجود داشته باشد [۴۰]. همچنین بر اساس نتایج شبیه‌سازی انجام‌شده در زمینه‌ی بررسی تأثیر ارتفاع بخش‌های مختلف ایستگاه مترو در کاهش بیش فشار منتقل‌شده به جزء دیگر، مشخص گردید که با اضافه شدن ۵۰ سانتی‌متر به ارتفاع مسیر ارتباطی، حدود ۱۷٪ از بیش فشار ورودی به فضای مجاور کاسته می‌گردد [۶]. پس افزایش ارتفاع، علاوه بر تأثیر مثبت در کاهش جراحات و تلفات دود ناشی از حریق، بر کاهش اثرات مخرب امواج انفجاری نیز منتهی می‌گردد. از سوی دیگر، ارتفاع مناسب فضاهای مختلف به‌ویژه فضاهایی که در زمان تخلیه‌ی ایستگاه مسافران با آن‌ها ارتباط دارند، می‌تواند آسیب‌پذیری ایستگاه‌ها را در برابر دود و خفگی‌های ایجادشده بر اثر آن، کاهش دهد.

خروج اضطراری

مهم‌ترین آسیب‌پذیری ایستگاه‌های زیرزمینی مترو در زمان حریق، خروجی‌های اضطراری رو به بالاست که هم‌راستا با جهت حرکت دود نیز هست [۴۱]. با توجه به این موضوع و همچنین امکان استفاده از خروجی‌های اضطراری مستقیم و یا حتی رو به پایین در ایستگاه‌های روزمینی مترو، لازم است این مسئله در طراحی خروجی‌های اضطراری این ایستگاه‌ها، در نظر گرفته شود. البته گفتنی است، آنچه در ایستگاه‌های روزمینی مهم‌تر به نظر می‌رسد، استفاده از معماری مناسب برای پیش‌گیری از سردرگمی مسافران در حین خروج اضطراری است.

نتیجه‌گیری

ایستگاه‌های روزمینی، به‌منزله‌ی بخشی از شبکه‌ی حمل‌ونقل ریلی شهری، دارای اهمیت بالایی است و همانند سایر اجزای شبکه‌ی حمل‌ونقل ریلی، شامل ایستگاه‌های زیرزمینی، تونل‌ها، پایانه‌ها و مراکز فرمان، اصول پدافند غیرعامل باید در بدو طراحی مورد نظر قرار گیرد. در این تحقیق ابتدا اصول اولیه در بخش‌های عمومی، کالبدی، کارکردی و طراحی سایت به دست آمد که ۲۲ مورد احصا گردید. با ارزیابی میزان اهمیت موارد ۲۲گانه از نظر شاخص‌های عمومی طراحی معماری و شاخص‌های پدافند غیرعامل، مواردی که دارای بیشترین امتیاز در ارتباط با شاخص‌ها بودند، مجدداً احصا شدند که عبارت‌اند از معماری داخلی ساده و خوانا، قابلیت مرمت‌پذیری، خروجی اضطراری ایمن، بهره‌برداری چندمنظوره، محوطه‌ی چندمنظوره، مصالح مقاوم شکل‌پذیر، فرم همگن و نمای مقاوم و شکل‌پذیر.

موارد مذکور، پس از یک‌مرتبه غربالگری و اولویت‌بندی بر اساس پرسش‌نامه، به سه اصل اساسی در معماری این ایستگاه‌ها منتج گردید که شامل «فرم همگن»، «نمای مقاوم و انعطاف‌پذیر» و «معماری داخلی ساده و خوانا» است. فرم همگن ایستگاه متروی روزمینی را می‌توان به‌طور خلاصه فرمی محدب و هماهنگ با عملکرد و سازه‌ی ایستگاه دانست. مقاومت کافی و انعطاف‌پذیری مصالح مورد استفاده در نما و طراحی صحیح بازشوها را می‌توان از مهم‌ترین معیارهای نمای مقاوم و انعطاف‌پذیر برشمرد. پس از اصول مربوط به فرم و نما که به ابعاد خارجی طراحی ساختمان ایستگاه مربوط می‌شوند، معماری داخلی حائز اهمیت است.

جدول۶: نتایج استخراج ضوابط [نگارندگان]

اصل	ضابطه
فرم همگن	استفاده از فرم محدب و آیرودینامیک
	انطباق فرم معماری بافرم سازه
	کاهش سطح مقابل موج انفجار
نمای مقاوم و شکل‌پذیر	استفاده از مصالح جاذب موج
	بهره‌گیری از نورگیرهای سقفی
	استفاده از دیوارهای خارجی مقاوم در برابر موج
	طراحی مناسب ورودی در کاهش اثر موج انفجار و تسهیل خروج
معماری داخلی ساده و خوانا	کاهش فاصله‌ی سکو تا ورودی ایستگاه
	رعایت سادگی و تناسب در طراحی مسیرهای خروجی
	تعبیه‌ی خروجی اضطراری
	طراحی ارتفاع مناسب فضاها
	افزایش چگالی فضاها

ضوابط استخراج‌شده برای معماری داخلی ساده و انعطاف‌پذیر، با هدف کاهش اثر اولیه و ثانویه‌ی موج انفجار بر مرد در درجه‌ی اول و تأسیسات ایستگاه در درجه‌ی دوم است.

با عنایت به مطالب بیان‌شده ذیل اصول سه‌گانه‌ی یادشده، ضوابطی ارائه شده است که برای تدقیق و تشریح سه اصل اساسی در طراحی معماری ایستگاه‌های روزمینی مترو از منظر پدافند غیرعامل، بیان شده است. خلاصه‌ی نتایج در جدول ۶ ارائه شده است.

پی‌نوشت

1. STUDY OF TERRORISM AND RESPONSES TO TERRORISM

۲. منظور از کار انداختن بخشی از تجهیزات و تأسیسات ایستگاه به وسیله‌ی عوامل فیزیکی است.

منابع

۱. منتظری، محمد (۱۳۸۷). سیستم‌های راه‌آهن شهری. تهران، شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه (مترو).

۲. رحیمی، الناز (۱۳۹۰). اصول طراحی ایستگاه‌های حمل‌ونقل ریلی. *مجله‌ی هنر معماری*، شماره‌ی ۲۳، ۱۰۶.

۳. هاشمی فشارکی، سید جواد؛ محمود زاده، امیر؛ شهپر، هادی (۱۳۹۰). بررسی آسیب‌پذیری متروها در برابر تهدیدات انسان‌ساز. مجموعه مقالات اولین همایش علمی - پژوهشی شهرسازی و معماری با رویکرد پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۴. جلالی فراهانی، غلامرضا (۱۳۹۰). پدافند غیرعامل در سازه‌های زیرزمینی با تأکید بر مترو. تهران، سازمان پدافند غیرعامل کشور.

5. Federal Transit Administration (2011). Immediate Actions for Transit Employees: Protecting Against Life-Threatening Emergencies. US Deoartemant of Transportation.

۶. غضنفری، مصطفی (۱۳۹۲). *آسیب‌شناسی ایستگاه‌های مترو در برابر تهدیدات انسان‌ساخت و ارائه‌ی راه‌کارهای کاهش آسیب‌پذیری (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه ولی‌عصر (عج))*. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه مالک اشتر.

۷. دهقانی، اسفندیار (۱۳۸۶). *راهکارهای پدافند غیرعامل در مناسب‌سازی ایستگاه‌های مترو به‌عنوان فضای امن پناهگاهی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مالک اشتر.

۸. راجی، حسین (۱۳۸۶). *تبیین معیارهای چندمنظوره‌سازی ایستگاه‌های مترو با رویکرد پدافند غیرعامل (نمونه‌ی موردی طراحی پناهگاه در مترو)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مالک اشتر.

۹. دفتر مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۵). مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان: پدافند غیرعامل، وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان، نشر توسعه‌ی ایران، تهران.

10. Architectural. UFC3-101-01 . UNIFIED FACILITIES CRITERIA) 2011(. change 2016.

۱۱. بایزدی، ابراهیم؛ اولادی، بهنام؛ عباسی، نرگس (۱۳۹۲). *تحلیل داده‌های پرسش‌نامه‌ای به کمک نرم‌افزار SPSS(PASW)18*. تهران، نشر عابد.

۱۲. محمودی، محمدمهدی (۱۳۸۳). ضرورت طراحی در ارتباط با فضای شهری پیرامون ورودی‌های مترو در تهران. *نشریه‌ی هنرهای زیبا*، شماره‌ی ۱۹، ۴۹.

۱۳. نصر آزادانی، سید مسعود (زمستان ۱۳۸۸). اصول و طراحی ایستگاه راه‌آهن. تهران، نشر راه‌دان.

۱۴. سایت رسمی شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه (مترو)، (لینک سایت:http://tehranmetro.com ، دسترسی در تاریخ ۱۵ اسفند ۱۳۹۵).

۱۵. سلحشور، نیما (۱۳۸۸). *طراحی معماری ایستگاه‌های قطار شهری*. تهران، نشر کارور.

۱۶. مهندسین مشاور بادبند (۱۳۸۶). مطالعات ایستگاه متروی راه‌آهن. شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه.

17. http://www.arel.ir، (access 2017/03/01)

۱۸. مهندسین مشاور بهروی تهران (زمستان ۱۳۸۶). گزارش مرحله اول ایستگاه شهید کلاه دوز. شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه.

۱۹. مهندسین مشاور گنو (۱۳۹۰). *خط چهار متروی تهران مروری بر طراحی و اجرا*. تهران: نشر فدک ایساتیس.

۲۰. نظری، عباس (۱۳۸۷). *سلامتی، ایمنی و محیط‌زیست در سیستم بهره‌برداری مترو*. تهران، شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه (مترو).

۲۱. مهندسین مشاور تدبیر عمران ایرانیان (۱۳۹۱). *مطالعات بهره‌برداری و الزامات مترو سیستم در شهر جدید گل‌بهار*. شرکت عمران شهر جدید گل‌بهار.

۲۲. جلالی فراهانی، غلامرضا؛ هاشمی فشارکی، سید جواد (۱۳۸۹). *پدافند غیرعامل در آیینه قوانین و مقررات*. تهران، سازمان پدافند غیرعامل کشور.

23. START “Terrorism in Belgium and Western Europe; Attacks against Transportation targets; Coordinated Terrorist Attacks”. March 2016. P1-3.

24. CTED “UNITED NATIONAL SECURITY COUNCIL” Trens Report, Physical Protection of Critical Infrastructure Against Terrorist Attacks. Wednesday, 8 March 2017.

۲۵. اصغریان جدی، احمد (۱۳۸۶). *الزامات معمارانه در دفاع غیرعامل پایدار*. تهران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

۲۶. حسینی، سید بهشید (۱۳۸۹). *معیارهای پدافند غیرعامل در طراحی معماری ساختمان‌های جمعی شهری*. تهران، نشر عابد.

۲۷. داعی نژاد، فرامرز (۱۳۸۵). اصول و رهنمودهای طراحی و تجهیز فضای باز مجموعه‌های مسکونی به‌منظور پدافند غیرعامل. تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۲۸. حسینی، سید باقر؛ بیطرفان، مهدی؛ هاشمی فشارکی، سید جواد؛ فرزام شاد، مصطفی (۱۳۹۲). بررسی تأثیر انفجار بر شکل (فرم) جداره خارجی ساختمان‌ها و ارزیابی جنس مصالح جداره خارجی ساختمان از منظر دفاع غیرعامل. *نشریه علوم، تحقیقات و فناوری پدافند غیرعامل*، دوره‌ی اول، شماره‌ی اول.

۲۹. معینی، مصطفی (۱۳۹۲). شاخص‌های فرم‌های معماریِ ساختمان‌های مقاوم در برابر موج انفجار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه مالک اشتر.

۳۰. بیطرفان، مهدی (۱۳۹۱). بررسی سبک‌های معماری و تدوین شاخص‌های معماری سازگار با اصول دفاع غیرعامل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه مالک اشتر.

۳۱. شمسایی زفرقندی، فتح‌الله (۱۳۹۰). فرم معماری و نقش آن در کاهش آثار انفجار، اولین همایش معماری و شهرسازی از منظر پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

32. FEMA-426. (2003) Risk Management Series, Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks against Buildings, Chapter 2, 3.

۳۳. صفوی، سید محمدمهدی؛ ستاره، علی‌اکبر (۱۳۸۸). ملاحظات طراحی نمای معماری مقاوم در برابر موج انفجار. همایش سراسری سامانه اطلاعات مکانی.

34. Huan Cheng, Xiaokuan Yang (2012). Emergency

Evacuation Capacity of Subway Stations. 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies. Changsha, China, August 1–3, 2012.

35. FEMA-427. (2003) Risk Management Series, Primer for Design of Commercial Building to Mitigate Terrorist Attacks, Chapter 6. USA.

۳۶. نخعی، جلال؛ فرقانی، سعید (۱۳۹۴). *الزامات پدافند غیرعامل نماهای شیشه‌ای ساختمان‌های مقاوم در برابر انفجار*. تهران، انتشارات امارت پارس.

37. Joe Paveley (2010). Pre-Final Refrence Design. Sydney Metro.

38. Kuo-Chung WEN and Wei-Chen- SHEN-A study of way finding in Taipei Metro Station Transfer: Multi-agent Simulation Approach. Chinese Culture University, Taiwan.

۳۹. جان کارمودی، ریموند استرلینگ (۱۳۸۸). *طراحی فضاهای زیرزمینی*. ترجمه‌ی وحید رضا ابراهیمی. مشهد، نشر مرندیز.

۴۰. پاول استولارد؛ جان آبرامز (۱۳۸۷). *اصول ایمنی حریق در ساختمان‌ها، راهنمای طراحی برای معماران*. ترجمه‌ی عبدالصمد زرین قلم؛ سعید بختیاری. تهران، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

41. Tsukahara, M., Koshiba, Y., & Ohtani, H. (2011). Effectiveness of downward evacuation in a large-scale subway fire using Fire Dynamics Simulator. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26(4), 573-581.