فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل
سال هفتم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، (پیاپی ۲۶): صص ۲۸-۱۹

ارزیابی میزان اعمال و به‌کارگیری الزامات سازه‌ای پدافند غیرعامل در سامانه قطار شهری اهواز

سید جعفر حجازی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۵

چکیده

با توجه به تهدیدات پیش‌روی کشور، احداث سازه‌های مقاوم برای مقابله با تهدیدات مختلف و نیز ایجاد پناهگاه‌ها و فضای امن در شهرها یک ضرورت ملی تلقی می‌گردد. سامانه‌های قطار شهری به‌واسطه برخورداری از مزیت‌های مختلف و با رعایت معیارها و شاخص‌هایی، از پتانسیل بالایی جهت تامین بخشی از نیاز شهرها به پناهگاه و فضای امن برخوردارند. طبعا جهت نیل به چنین هدفی لازم است با استفاده از آخرین دستاوردهای علمی و با انجام اقدامات ضروری، توان دشمن را کاهش و یا خنثی نمائیم. اعمال ضوابط و شاخص‌های پدافند غیرعامل در مراحل مختلف طراحی تا بهره‌برداری سامانه‌های قطارشهری به‌ویژه در بخش سازه از موثرترین شیوه مقابله با تهدیدات می‌باشد. سامانه درحال ساخت قطارشهری اهواز یکی از نمونه‌های مشابه در این زمینه بوده که به‌واسطه آسیب‌پذیری شهرستان اهواز در برابر تهدیدات و عدم برخورداری از فضای امن و پناهگاهی، ضروری است تا پیش از پایان عملیات اجرایی سامانه، ضمن ارزیابی آسیب‌پذیری آن در برابر تهدیدات، امکان استفاده از آن به‌عنوان فضای امن بررسی شود. با توجه به عدم وجود ضوابط و دستورالعمل‌های پدافند غیرعامل در خصوص سازه‌های در حال ساخت، لذا در پژوهش حاضر سعی شده تا با بررسی ضوابط و الزامات دستورالعمل‌های پدافند غیرعامل در طرح‌های جدید و مقایسه آن‌ها با مبانی طراحی و اجرایی سامانه در مواردی چون قرارگیری دور از دسترس جنگ‌افزار دشمن و طراحی انفجاری اجزای سازه‌ای، آسیب‌پذیری سامانه قطارشهری و نیز امکان استفاده از آن به‌عنوان فضای امن مورد بررسی قرار گیرد. براساس نتایج مطالعات انجام‌شده، سامانه مذکور در برابر تهدیدات احتمالی، آسیب‌پذیر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: تحلیل دینامیکی، بارگذاری انفجار، تیر- ستون، معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی، تفکیک متغیرها

۱- استادیار و عضو هیات علمی دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز Hejazi_j@scu.ac.ir – نویسنده مسئول

۱. مقدمه

با توجه به جایگاه منطقه‌ای کشور و اهداف آن در مبارزه با استکبار، کشور همواره در معرض انواع عملیات خصمانه و مخرب دشمن بوده و خواهد بود. از این‌رو احداث سازه‌های مقاوم برای مقابله با تهدیدهای مختلف و نیز ایجاد پناهگاه‌ها و فضای امن در شهرها یک ضرورت ملی تلقی می‌گردد.

از طرف دیگر سامانه‌های قطار شهری به‌واسطه ماندگاری طولانی، بهره‌برداری پیوسته و نفوذ در مناطق مختلف شهری و البته به‌واسطه ویژگی اساسی زیرزمینی‌بودن بخشی از سامانه، با رعایت معیارها و شاخص‌هایی، از پتانسیل مناسبی جهت تامین بخشی از نیاز شهرها به پناهگاه و فضای برخوردار می‌باشند [۱].

طبعا جهت نیل به چنین هدفی لازم است در تمام مراحل طراحی، احداث و بهره‌برداری سامانه‌های مذکور، اقدامات ضروری و مورد نیاز، انجام شده و با استفاده از آخرین دستاوردهای علمی، توان دشمن را کاهش و یا خنثی نمود. اعمال ضوابط و شاخص‌های پدافند غیرعامل در مراحل مختلف طراحی تا بهره‌برداری سامانه‌های قطار شهری به‌ویژه در بخش سازه از موثرترین شیوه مقابله با تهدیدات می‌باشد.

سامانه قطارشهری اهواز یکی از نمونه‌های مشابه در این زمینه بوده که به‌واسطه آسیب‌پذیری شهر در برابر تهدیدات و عدم برخورداری از فضای امن و پناهگاهی ضروری است تا پیش از پایان عملیات اجرایی سامانه، ضمن ارزیابی آسیب‌پذیری‌های آن در برابر تهدیدات، امکان استفاده از آن به‌عنوان فضای امن، بررسی شود [۲]. از آنجاکه رعایت ضوابط و الزامات سازه‌ای پدافند غیرعامل نقشی اساسی در دست‌یابی به اهداف فوق‌الذکر دارد، لذا در مطالعات حاضر ابتدا دفترچه‌های محاسبات فنی و نقشه‌های طرح سامانه قطار شهری اهواز مورد بررسی قرار گرفت و سپس با تشریح راهبردهای اعمال ضوابط پدافند غیرعامل، ایمنی سامانه به لحاظ تامین الزامات و ضوابط سازه‌ای پدافند غیرعامل، ارزیابی گردید.

۲. روش تحقیق

سازمان پدافند غیرعامل در راستای تقویت طرح‌های عمرانی کشور در برابر آسیب‌های مختلف، استفاده از ضوابط و معیارهای فنی پدافند غیرعامل در کلیه مراحل مطالعات شامل طراحی و اجرای پروژه‌ها را مورد تاکید قرار داده و بدین منظور آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌هایی را منتشر کرده است [۳]. لیکن به اذعان استانداردهای منتشر شده، آیین‌نامه‌ها و دستوالعمل‌های مورد نظر مربوط به ضوابط و الزامات پدافند غیرعامل طرح‌های عمرانی پیش از انجام مطالعات بوده و دستورالعمل مستقلی در خصوص سازه‌های در حال ساخت یا موجود، وجود ندارد [۴].

از طرف دیگر با توجه به ضرورت ارزیابی آسیب‌پذیری سامانه در حال ساخت قطار شهری اهواز و بررسی امکان استفاده از آن به‌عنوان فضای امن و نیز عدم وجود استاندارد و دستورالعمل لازم در خصوص سازه‌های در حال ساخت، لذا در این تحقیق سعی شده تا با بررسی ضوابط و الزامات دستورالعمل‌های پدافند غیرعامل در طرح‌های جدید و مقایسه آن با ضوابط طراحی سامانه، آسیب‌پذیری سامانه قطار شهری و نیز امکان استفاده از آن به‌عنوان فضای امن مورد بررسی قرار گیرد.

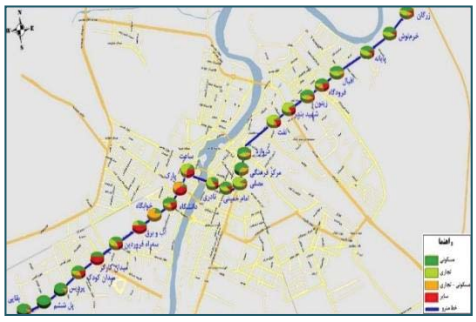
آیین‌نامه فنی سازه‌های امن (طراحی و محاسبه سازه)، دستورالعمل طراحی سازه‌ها در برابر سلاح‌های متعارف، دستورالعمل طراحی سازه‌ها در برابر انفجارات اتفاقی [۵] و مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان [۶] و نیز برخی تحقیقات منتشر شده در نشریه‌های علمی و کنفرانس‌ها، مبنای بررسی الزامات سازه‌ای پدافند غیرعامل سامانه قرار گرفته‌اند.

۳. بررسی دفترچه‌های محاسبات فنی و نقشه‌های سامانه قطارشهری اهواز [۷]

سامانه قطار شهری اهواز مشتمل بر دو تونل به نام‌های کرخه و کارون به قطر خارجی $\frac{۶}{۵}$ m و طول ۲۳ km و ۲۴ ایستگاه زیرزمینی، ۷ عدد کراس‌آور، ساختمان مرکز کنترل و دپو می‌باشد. از میان اجزای سامانه، دو مورد اخیر یعنی مرکز کنترل و سازه دپو به‌صورت روزمینی می‌باشند. عمق سربار روی تونل‌ها در بازه رودخانه معادل ۲۴ m و در باقی مسیر به‌طور متوسط ۸ m می‌باشد. ایستگاه‌ها به‌صورت دوطبقه و عمق سربار روی آن‌ها متغیر و به‌طور متوسط یک متر می‌باشد.

ایستگاه‌های واقع در ضلع شمالی و جنوبی رودخانه کارون مطابق شکل (۱) به‌ترتیب ایستگاه‌های شمالی و جنوبی نامیده می‌شوند. علاوه‌براین، شرایط ژئوتکنیک خاک منطقه در شیوه طراحی و اجرای ایستگاه‌ها موثر بوده لذا ایستگاه‌های شمالی عموماً به روش پایین به بالا و ایستگاه‌های جنوبی و کلیه کراس‌اورها به روش بالا به پایین طراحی و اجرا خواهند شد.

سیستم سازه‌ای کلیه ایستگاه‌ها و کراس‌اورها به‌صورت جعبه‌ای می‌باشند. علاوه‌براین، سازه پله دسترسی به ایستگاه‌ها (ورودی) به روش اجرای بالا به پایین و متشکل از دیوارهای U شکل می‌باشد.



شکل ۱- خط قطارشهری اهواز و دسترسی‌های ایستگاه‌ها

۳-۱. آیین‌نامه‌های بارگذاری

در بارگذاری، از آیین‌نامه بارگذاری پل‌ها (نشریه شماره ۱۳۹) و برای طرح لرزه‌ای از آیین‌نامه FHWA-NHI-09-010 March 2009 و مقاله Hashash استفاده شده است. حالت‌های بار تحلیل و طراحی عبارتند از بار مرده، زنده، فشار جانبی خاک، فشار ناشی از آب و نیروی زلزله.

۳-۲. آیین‌نامه طراحی سامانه

در طراحی اعضای سازه‌ای از آیین‌نامه AASHTO 2002 و بعضاً از آیین‌نامه بتن ACI و بتن ایران (آبا) استفاده شده است.

۳-۳- مشخصات مصالح مصرفی و خاک

کلیه آرماتورهای مصرفی از نوع AIII با تنش تسلیم kg/cm ۴۰۰۰ می‌باشند. آرماتورهای به‌کاررفته در طراحی و اجرا همگی از آرماتورهای متعارف کشور از نوع آجدار با قطر کم‌تر از mm ۳۲ (به‌ویژه ۱۶، ۲۰ و ۲۵) می‌باشند. بتن طراحی دارای مقاومت مشخصه kg/cm3 ۲۴۰ در نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد cm ۳۰×۱۵ است.

براساس دفترچه‌های مطالعات ژئوتکنیک، زمین واقع در مسیر از نوع (III) و سطح آب زیرزمینی در تراز m $\frac{۱}{۵}$ - متر می‌باشد.

۴. تشریح راهبردهای پدافند غیرعامل

براساس دستور العمل‌های بررسی‌شده در آیین‌نامه فنی سازه‌ای امن و مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان، حفظ ایستایی سازه‌ها و به حداقل‌رساندن خسارات و تلفات جانی، از مهم‌ترین اهداف سازه‌ای پدافند غیرعامل بوده و عموما توسط دو راهبرد محقق می‌شود:

احداث سازه در محل‌های دور از نقاط هدف احتمالی و طراحی سازه مقاوم در برابر انفجار، دو راهبرد مورد نظر بوده که با توجه به ملاحظات امنیتی و اقتصادی، یکی از دو راهبرد و یا هر دو با هم (ترکیبی) اعمال می‌گردد.

با توجه به تهدیدات موجود و ضرورت اعمال ضوابط پدافند غیرعامل در طرح‌های عمرانی کشور، ارزیابی آسیب‌پذیری سامانه و بررسی امکان استفاده از سامانه قطار شهری اهواز به‌عنوان فضای امن، مستلزم ارزیابی میزان اعمال و به‌کارگیری الزامات سازه‌ای بر مبنای دو راهبرد فوق می‌باشد.

۴-۱. قرارگیری سازه در محل‌های دور از دسترس جنگ‌افزار دشمن

با استناد به دستورالعمل طراحی سازه‌های امن، یکی از الزامات سازه‌ای پدافند غیرعامل در استفاده از سازه‌ها به‌عنوان فضای امن پناهگاهی، قرارگیری آن‌ها در عمق مناسب بوده و بررسی این امر مستلزم بررسی وضعیت پایداری آن‌ها در برابر انفجارهای سطحی و نیز میزان نفوذ بمب در عمق زمین می‌باشد.

با توجه به نتایج بررسی نقشه‌های سازه‌ای و دفترچه‌های محاسبات، می‌توان دریافت، عمق قرارگیری تونل‌ها عمدتا بر مبنای ملاحظات شهرسازی (احداث در زیر زمین) و ملاحظات ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی مسیر می‌باشد. در خصوص ایستگاه‌ها نیز با توجه به عمق بسیار کم سربار، این مهم برمبنای ملاحظات شهرسازی استوار می‌باشد.

با توجه به موضوعات فوق و به‌منظور ارزیابی کلی از رعایت ضوابط پدافند غیرعامل در این راهبرد از نتایج برخی مطالعات انجام‌شده به‌عنوان معیاری کلی جهت بررسی پایداری سازه‌ها استفاده شده است.

۴-۱-۱. بررسی پایداری سازه‌های زیرزمینی در برابر انفجارهای سطحی

در چند دهه اخیر تحقیقات فراوانی برای آشنایی با رفتار سازه‌های زیرزمینی در مقابل بارهای انفجاری صورت گرفته و تحلیل‌های مختلفی در خصوص تحلیل بارهای دینامیکی و عوامل موثر بر آن‌ها ارائه شده است [۸].

شکل، ابعاد و عمق قرارگیری سازه [۹] و خصوصیات مقاومتی محیط توده اطراف سازه به مثابه محیط انتقال‌دهنده امواج و بارهای ضربه‌ای [۱۰]، شاخص‌های اصلی موثر در پایداری سازه‌های زیرزمینی در برابر انفجار سطحی می‌باشند. علاوه‌بر این با افزایش عمق، نیروهای ناشی از انفجار وارده بر پوشش سازه‌ها کاهش می‌یابد. براساس منابع بررسی‌شده در محیط‌های سنگی (به‌عنوان محیط نسبتا مقاوم) عمق m ۴۰ تا ۵۰ به‌عنوان عمق بهینه پایداری سازه‌ها در برابر انفجارهای سطحی پیشنهاد شده است (دفترچه‌های محاسبات، ژئوتکنیک و آلبوم نقشه‌های اجرایی سامانه قطار شهری اهواز)

مقایسه عمق بهینه پایداری سازه‌ها با عمق قرارگیری تونل‌های سامانه قطار شهری اهواز که به‌طور متوسط در اعماق m ۸ سطح زمین (کل مسیر به استثنای بازه عبوری از رودخانه کارون) و m ۲۴ در بازه رودخانه کارون می‌باشند، بیانگر عدم پایداری تونل‌های سامانه در برابر انفجارهای سطحی می‌باشد.

با مقایسه عمق سربار روی ایستگاه‌ها (متوسط m $\frac{۱}{۵}$) با عمق بهینه ملاحظه می‌شود که سازه‌های یادشده در برابر انفجارهای سطحی آسیب‌پذیرند.

۴-۱-۲. بررسی شاخص نفوذ و برخورد مستقیم بمب با اجزای سامانه

یکی دیگر از الزامات پدافند غیرعامل قرارگیری سازه‌های زیرزمینی در عمق مناسب نسبت به‌میزان نفوذ انواع بمب متعارف می‌باشد.

محققین برای تعیین میزان نفوذ بمب‌ها روابط مختلفی ارائه داده‌اند. در این تحقیق بمب آمریکایی GP2000 با مشخصات جدول (۱) و رابطه پیشنهادی یانگ (۱۹۷۲) مطابق رابطه ۱ برای برآورد میزان نفوذ بمب استفاده گردید [۱۱]، [۱۲].

جدول ۱- مشخصات بمب *GP2000* آمریکایی

مشخصه	وزن کل	وزن خرج	قطر بدنه	نسبت لاغری	سرعت برخورد
پارامتر	۲۰۹۰ (*Ib*) ۹۵۰(*Kg*)	۱۱۰۰ (*Ib*) ۵۰۰(*Kg*)	۲۳ (*in*) ۵۸۵(*mm*)	۳/۰	۱۱۰۰ (*ft/s*) ۳۳۵(*m/s*)

$$P = 0.0031SN\sqrt{W/A}\,V^{1.8} \quad ;$$

در رابطه ۱، W وزن بمب، A سطح مقطع پرتابه، V سرعت برخورد پرتابه، S مقداری ثابت و با توجه به جنس محیط تعیین می‌گردد.

با توجه به مشخصات ارائه شده، عمق نفوذ برابر $\frac{۲}{۲۶}$ m حاصل گردید. به‌منظور اطمینان، عمق نفوذ با توجه به نمودارهای ارائه شده توسط Bangash نیز محاسبه شد [۱۳]. بر اساس نمودارهای مذکور، میزان نفوذ بمب برابر $\frac{۳}{۵}$ m بدست آمد. درمجموع از آنجا که این شاخص با افزایش ریزدانگی خاک و نیز رطوبت موجود در آن افزایش می‌یابد و با توجه به ریزدانگی خاک و بالابودن تراز آب زیرزمینی اهواز، مقدار نفوذ بمب درجهت اطمینان برابر $\frac{۳}{۵}$ m انتخاب گردید. مقایسه شاخص فوق با عمق قرارگیری تونل‌ها به‌ویژه در بازه هشت متری، موید عدم نفوذ بمب در تونل‌ها می‌باشد لیکن با توجه به فاصله کم باقی‌مانده، آسیب‌پذیری آن‌ها در اثر موج انفجار، محتمل است.

در مورد ایستگاه‌ها نیز با توجه به عمق کم سربار (متوسط $\frac{۱}{۵}$ m) و اعمال ضخامت دال بتنی سقف (۸۰cm)، میزان نفوذ بمب انتخابی بیش از مجموع کل سربار و ضخامت دال بتنی سقف می‌باشد. لذا بمب بررسی شده، قدرت نفوذ به داخل ایستگاه‌ها را دارد.

۴-۲. بررسی الزامات پدافند غیرعامل به لحاظ طراحی و اجرای سازه مقاوم دربرابر انفجار

راهبرد دیگری که در راستای اعمال ضوابط و الزامات سازه‌ای پدافند غیرعامل قابل اتخاذ می‌باشد، طراحی انفجاری سازه می‌باشد. انتخاب این راهبرد مستلزم رعایت الزامات در مراحل زیر است (آیین‌نامه فنی سازه‌ای امن):

طراحی انفجاری سازه بر اساس سطح عملکرد مورد انتظار و سطح تهدید انتخابی

تعیین آثار پایه‌ای ناشی از انفجار

بارگذاری سازه در برابر بارهای انفجاری

تعیین مشخصات مصالح سازه‌ای و رفتار المان‌های سازه‌ای تحت بار انفجار

مصالح مناسب برای بارهای انفجاری

به‌کارگیری سیستم باربر سازه‌ای مناسب

تحلیل و طراحی سازه تحت بار انفجار

۴-۲-۱. بررسی شیوه طراحی

تامین حداقل مقاومت سازه در برابر بارهای اعمال‌شده موسوم به روش مقاومت، معمول‌ترین روش طراحی سازه می‌باشد که تاکنون در کشور به‌عنوان روش کلاسیک و سنتی سازه‌های متعارف قلمداد می‌شود. با ارتقای دانش مهندسی و تجربیات زلزله‌های آمریکا و ژاپن، روش طراحی بر اساس سطح عملکرد جایگزین این روش گردید [۱۴]. بر اساس روش جدید طراحی و سطح عملکرد مستلزم تعیین روش‌هایی جهت جانمایی، طراحی، ساخت و نگهداری سازه است به‌طوری‌که این روش‌ها بتوانند عملکرد سازه را زمانی که تحت تاثیر بارهای مختلف (زلزله یا انفجار) قرار می‌گیرد، پیش‌بینی کنند. با توجه به توسعه دانش مهندسی در کشور، روش مذکور در در یک دهه اخیر به‌عنوان مبنای طراحی سازه‌ها در آیین‌نامه‌های ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها [۱۵] و نیز آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های تدوین‌شده توسط سازمان پدافند غیرعامل در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار، انتخاب شده است.

با وجود این‌که این روش مبنای آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل می‌باشد لیکن با استناد به همان منابع می‌توان از روش کلاسیک طراحی مقاومتی سازه در برابر انفجار به‌جای طراحی براساس سطح عملکرد، استفاده نمود.

مقایسه بررسی فوق با شیوه طراحی اجزای سامانه، مبین آن است که اجزای سازه‌ای سامانه به‌روش طراحی مقاومتی در برابر بارهای کلاسیک ثقلی و جانبی (زلزله) طراحی شده‌اند و نه در برابر بارهای دینامیکی نظیر ضربه و انفجار (براساس دفترچه‌های محاسبات، ژئوتکنیک و آلبوم نقشه‌های اجرایی سامانه قطار شهری اهواز).

از این‌رو اساسی‌ترین الزام آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل یعنی طراحی مقاوم اجزای در برابر بارهای انفجاری به‌طور خاص در فرایند طراحی سامانه (حتی به‌روش طراحی مقاومتی) رعایت نشده است. اما از آنجاکه بارهای ضربه و انفجار همانند بارهای جانبی نظیر زلزله ماهیت دینامیکی دارند، از این‌رو برخی مبانی طراحی سامانه با مبانی آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل در مواردی نظیر سیستم سازه‌ای

مقاوم، مصالح مصرفی، عناصر غیرسازه‌ای و اجزای فرعی نظیر ورودی‌ها و خروجی‌ها، بازشوهای تاسیساتی و حتی روش اجرای سازه و روش‌های تحلیل و طراحی که نقش اساسی در مقاومت اجزای سامانه در برابر بارهای انفجاری ایفا می‌نمایند، مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.

۴-۲-۱-۱. سیستم سازه‌ای

بر اساس آیین‌نامه سازه‌های امن، بهترین الگوی سازه‌ای مقاوم در برابر انفجار در سازه‌های مدفون، شکل سازه‌ای فشرده و ساده نظیر اشکال جعبه‌ای و سازه‌های پوسته‌ای می‌باشد. مطابق مبحث ۲۱، دیوارهای بتن مسلح پیرامونی با دال برای سازه‌های سطحی پیشنهاد شده است.

مشخصات سیستم سازه‌ای بخش‌های مختلف سامانه قطار شهری اهواز و مقایسه آن با سیستم سازه‌ای پیشنهادی توسط آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل مطابق جدول (۲) می‌باشد. مطابق جدول یادشده فقط تونل‌ها و ایستگاه‌ها به‌واسطه زیرسطحی‌بودن (مطابق شکل‌های ۱ و ۲) تامین کننده شرایط الزامات پدافند غیرعامل بدین لحاظ می‌باشند.

سازه مرکز دپو نیز مطابق شکل‌های (۳ و ۴) به‌واسطه نوع سیستم سازه‌ای نامناسب و سطحی‌بودن در برابر انواع تهدیدها، آسیب‌پذیر بوده و آسیب‌دیدن تاسیسات و قطارهای موجود در تهدیدات، محتمل است.

جدول ۲- مقایسه سیستم سازه‌ای موجود با سیستم سازه‌ای مناسب در برابر بارهای انفجاری

نام سازه	موجود	پیشنهادی آیین‌نامه	تامین ضوابط
تونل	پوسته‌ای (مقاطع پیش ساخته)	پوسته‌ای	√
ایستگاه	جعبه‌ای	جعبه‌ای	√
مرکز کنترل و فرماندهی	قاب دوگانه	دال با دیوار پیرامونی بتنی	-
مرکز دپو و پارکینگ	قاب فلزی	دال با دیوار پیرامونی بتنی	-

سیستم سازه‌ای مرکز کنترل و فرماندهی مطابق شکل‌های (۲ و ۳) از نوع دوگانه (قاب خمشی بتنی و دیوارهای برشی) می‌باشد. این سیستم جهت بارهای متداول ثقلی و جانبی مناسب است. درصورت وقوع انفجار، دیوارهای بلوک سیمانی با مقاومت بسیار کم در برابر انفجار به‌عنوان سد دفاعی عمل خواهند نمود. لازم به‌ذکر است سازه‌های کنترل و فرماندهی سامانه با توجه طبیعت هدف، می‌بایست به‌صورت زیرزمینی در نظر گرفته می‌شد.

شکل ۱- سیستم سازه‌ای جعبه‌ای ایستگاه نادری غربی

شکل ۲- سیستم سازه‌ای پوسته‌ای تونل‌های سامانه

شکل ۳- سیستم سازه‌ای دوگانه سازه مرکز کنترل

شکل ۴- سیستم سازه ای نامناسب مرکز دپو و پارکینگ

نتایج بررسی سیستم سازه‌ای سامانه قطار شهری اهواز بیانگر آن است که به‌واسطه تنوع سازه‌های سامانه، سیستم‌های سازه‌ای متفاوتی در طراحی به‌کاررفته و سازه‌های مدفون، الزامات پدافند

غیرعامل را تامین می‌نمایند هر چند بر مبنای هدف یادشده انتخاب نشده‌اند.

۴-۲-۱-۲. ارزیابی مصالح مصرفی در طرح سازه‌ای سامانه

آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل به‌لحاظ مصالح مصرفی تاحدودی با یک‌دیگر اختلاف دارند. مطابق مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان، بخش عمده‌ای از مصالح متداول در سازه‌های ساختمانی متعارف به‌ویژه بتن مسلح و فولاد، قابلیت استفاده در سازه‌های مقاوم در برابر انفجار را دارند درصورتی‌که در دستورالعمل طراحی سازه‌های امن، استفاده از بتن مسلح در سازه‌های مقاوم در برابر انفجار تاکید شده است. علاوه‌بر این استفاده از فولاد جز در بخش‌های سازه‌ای غیراصلی و فرعی مجاز دانسته نشده است.

علی‌رغم اختلاف نظر فوق، دو دستورالعمل بررسی شده در خصوص مصالح بنایی، اتفاق نظر دارند. به‌طور کلی مصالح بنایی(آجری، سیمانی و سفالی) به‌لحاظ مقاومت در برابر بارهای انفجاری با شدت زیاد یا حرارت با یک‌دیگر تفاوت اساسی ندارند و ضروری است به‌صورت مسلح یا با استفاده از روکش‌های مقاوم در برابر انفجار، استفاده شوند. علاوه‌بر این عدم مهار مناسب اجزای غیربابر به سقف و کف از دیگر اشکالات و ایرادات مربوط به نحوه استفاده از انواع مصالح بنایی می‌باشد.

مشخصات مصالح مصرفی در اجزای سامانه و مقایسه آن‌ها با مصالح پیشنهادی آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل مطابق جدول (۳) می‌باشد. مطابق جدول مذکور و توضیحات فوق، مصالح سازه مرکز دپو و پارکینگ براساس دستورالعمل طراحی سازه‌های امن به‌واسطه عدم برخورداری از مقاومت کافی در برابر بارهای انفجاری و حرارت‌های شدید، تامین‌کننده الزامات پدافند غیرعامل به لحاظ مصالح مصرفی نمی‌باشد، درصورتی‌که براساس مبحث ۲۱، تامین‌کننده الزامات پدافند غیرعامل است.

جدول ۳- مقایسه مصالح مصرفی در اجزای سامانه با مصالح پیشنهادی آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل

مصالح مناسب	مصالح مصرفی	پیشنهادی آیین‌نامه	تامین ضوابط
تونل	مقاطع پیش ساخته بتن مسلح	بتن مسلح	√
ایستگاه	بتن مسلح	بتن مسلح	√
مرکز کنترل و فرماندهی	بتن مسلح	بتن مسلح	√
مرکز دپو و پارکینگ	مصالح فلزی	بتن مسلح	-

میزان و حجم مصالح بنایی نیز در سازه‌های مختلف متفاوت و عمدتا از نوع بلوک سیمانی می باشد؛ به‌طوری‌که در ایستگاه‌ها، عمدتا از پارتیشن بندی فضاهای تاسیساتی و نیز ایجاد پوشش های مورد نیاز در ورودی‌ها و خروجی‌ها استفاده شده یا خواهد شد.

در سازه مرکز کنترل و فرماندهی با توجه به نوع اسکلت، مصالح بنایی به‌میزان بیش‌تری به‌کار رفته است. با توجه به ضعف مصالح یادشده، آسیب پذیری این مرکز، محتمل می باشد. در سازه مرکز دپو، از مصالح بنایی استفاده نشده است.

- **مصالح نما**

سنگ نما در اولویت نخست و سایر مصالح از قبیل سرامیک و شیشه در رتبه‌های بعدی به‌عنوان مصالح عمده مصرفی در نمای سازه های مختلف سامانه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

سنگ‌های نما در ایستگاه‌ها به دو شیوه خشک و تر اجرا می‌گردد (دفترچه‌های محاسبات، ژئوتکنیک و آلبوم نقشه‌های اجرایی سامانه قطار شهری اهواز).

در شیوه خشک که عمدتا مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد، نمای سنگی با استفاده از مهارهای فلزی به دیواره تثبیت می‌گردد لذا روش یادشده تا حدود زیادی تامین‌کننده الزامات پدافند غیرعامل می‌باشد. اما در شیوه تر، سنگ‌های نما به‌صورت متداول و صرفا با استفاده از دوغاب سیمان به جداره متصل می‌گردد. این شیوه اجرای نما که بیش‌تر در راه‌روها و فضاهای سالنی ایستگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌واسطه احتمال جداشدن مصالح سنگی در بارهای انفجاری توسط آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل، توصیه نمی‌شود.

۴-۲-۱-۳. ورودی‌ها و خروجی‌های ایستگاه‌ها

ورودی‌ها و خروجی‌های سازه‌های زیرزمینی به‌واسطه موقعیت قرارگیری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و تاکنون تحقیقات مختلفی در خصوص ارزیابی و تعیین ضوابط آن‌ها توسط محققین ارائه شده است. هویدافر [۱۶]، بیطرفان [۱۷] و استرلینگ [۱۸] از زمره محققین در زمینه می‌باشند. استفاده از سیستم سازه‌ای جعبه‌ای (در صورت نیاز به سیستم)، استفاده از مصالح مناسب و عدم استفاده از پنجره و شیشه در آن‌ها بخشی از الزامات بررسی شده می‌باشند.

براساس بررسی‌های انجام‌شده، سیستم سازه‌ای ورودی و خروجی‌های ایستگاه‌های سامانه مطابق شکل (۷) در بالای سطح زمین از نوع اسکلت فلزی با سقف سبک و میان‌قاب‌های بنایی (بلوک سیمانی) و در قسمت زیرسطحی همانند شکل (۸) متشکل از دیوارهای بتنی مسلح به‌صورت U شکل می‌باشد. این سیستم به‌واسطه عدم تشکیل سیستم جعبه‌ای یک‌پارچه و استفاده از مصالح فولادی در سیستم سازه‌ای تامین‌کننده آیین‌نامه طراحی سازه‌های امن نمی‌باشد.

علاوه‌براین، استفاده از میان‌قاب بنایی غیرمسلح، عدم مهار مناسب به سقف و نیز پیش‌بینی پنجره‌های شیشه‌ای متعدد در میان‌قاب‌ها از دیگر اشکالات می‌باشند.

مطابق توصیه مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان، تعداد پنجره‌ها باید تا حد امکان محدود و نیز ابعاد آن‌ها کوچک باشد. پیش‌بینی پنجره‌های متعدد و استفاده از شیشه در میان‌قاب‌های بنایی یکی دیگر از اشکالات ورودی‌هاست. علاوه‌بر این، مطابق منبع مذکور، پلکان‌ها به‌واسطه تردد افراد در شرایط اضطراری نبایستی عاملی جهت آسیب به بهره‌برداران باشند (در اثر شکست شیشه‌ها و تخریب دیوارهای بنایی).

از دیگر اشکالات ورودی‌ها و خروجی‌ها طول آن‌ها (۱۰m) است. از آنجاکه طول زیاد بازشو مانند شکل‌های (۵ و ۶) مستلزم استفاده از سیستم سازه‌ای سطحی می‌باشد، آسیب‌پذیری آن‌ها به‌واسطه استفاده از سیستم سازه‌ای فلزی و میان‌قاب‌های بنایی در برابر بارهای انفجاری، بسیار ضعیف محتمل است. لذا ورودی‌ها و خروجی ایستگاه‌ها به‌عنوان محلی جهت انتقال از سطح به عمق زمین، الزامات پدافند غیرعامل (اختفاء) را به لحاظ سیستم سازه‌ای، مصالح و طول تامین نمی‌نماید.

شکل ۵- سیستم سازه‌ای سطحی و طول نامناسب سازه ورودی ایستگاه دروازه

شکل ۶- سیستم سازه‌ای زیرسطحی و طول نامناسب سازه ورودی ایستگاه فرودگاه

۴-۲-۱-۴. بازشوهای تاسیساتی

براساس آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل، برخلاف سازه‌های متعارف، حفاظت از تاسیسات نظیر آسانسورها در سازه‌های امن به‌عنوان عامل اساسی در بهره‌برداری و دسترسی به موقعیت‌های مختلف در شرایط بحران از دو جنبه حائز اهمیت است. نخست این‌که آسیب‌پذیری پوشش‌های سازه‌ای، استفاده از تاسیسات را با اختلال مواجه می‌نماید (ایجاد آوار) و ثانیا به‌واسطه عدم مقاومت پوشش های محافظ در برابر بارهای انفجاری، تاسیسات نیز متاثر از بارهای انفجاری، آسیب خواهند دید.

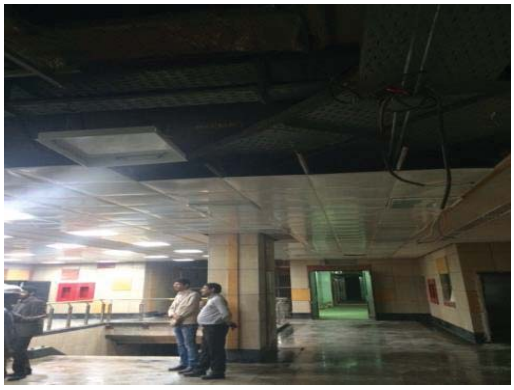
با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، دیوارهای محافظ در پیرامون آسانسورها در بالای سطح زمین مطابق شکل (۷) از نوع بلوک سیمانی و در بخش‌های زیرسطحی از نوع دیوار بتنی مسلح می‌باشد. بنابراین دیوارهای محافظ و نیز تاسیسات داخلی آن‌ها در برابر انفجارهای احتمالی سطحی، بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند.

۴-۲-۱-۵. سقف کاذب

در طرح‌های عمرانی نظیر سامانه‌های قطار شهری، عموما تاسیسات مکانیکی، تهویه، کانال‌ها و دیگر تجهیزات در زیر سقف اجرا شده و جهت مخفی‌نمودن آن‌ها از سقف کاذب استفاده می‌شود. به استناد دستورالعمل‌های بررسی شده، سقف‌های کاذب، چراغ‌ها، کانال‌ها، تأسیسات تهویه مطبوع و دیگر تجهیزات می‌توانند هنگام وقوع انفجار به قطعات خرد شده پراکنده و خطرناک تبدیل شوند و باید تا حد ممکن، طراحی و اتصال تاسیسات و سقف کاذب از نوع مستحکم‌تر و از مصالح کم‌خطر باشد تا چنین خطراتی، محدود گردد.

بررسی وضعیت سقف کاذب در موارد اجرا شده نظیر ایستگاه دروازه مطابق شکل (۸) مبین آن است که سقف کاذب به شیوه سقف‌های کاذب کلاسیک و سنتی اجرا شده و فاقد تثبیت مناسب می‌باشد.

شکل ۷- عدم رعایت الزامات پدافند غیرعامل در پیرامون آسانسورها



شکل ۸- تاسیسات زیر سقف و سقف کاذب ایستگاه دروازه

۴-۲-۱-۶. روش اجرای سازه‌ها

پراکندگی ایستگاه‌ها در نقاط شهری و تفاوت خواص ژئومکانیکی زمین در نقاط مختلف باعث گردیده تا ایستگاه‌ها با توجه به جنس زمین به دو شیوه پایین به بالا و بالا به پایین، طراحی و اجرا شوند. این موضوع از آن جهت حائز اهمیت است که در روش بالا به پایین، ابعاد و اندازه (ضخامت) المان‌های سازه‌ای سقف و دیوارهای دیافراگمی بتن مسلح که در واقع اجزای اصلی سیستم مقاوم در برابر بارهای انفجاری می‌باشند به مقدار cm ۲۰ از اجزاء سازه‌ای در روش پایین به بالا بزرگ‌تر باشند و از این‌رو ایستگاه‌هایی که به روش بالا به پایین اجرا شده یا در حال اجرا هستند از سختی و مقاومت بالاتری در برابر بارهای انفجاری نسبت به سایر ایستگاه‌ها برخوردارند. ضخامت دال سقف و دیوار دیافراگمی در روش پایین به بالا به‌ترتیب cm ۶۰ و ۸۰ است. درحالی‌که ضخامت المان‌های مورد نظر در ایستگاه‌ها با روش بالا به پایین به‌ترتیب cm ۸۰ و ۱۰۰ می‌باشد.

۴-۲-۱-۷. مقایسه ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی سامانه با ضوابط آیین‌های پدافند غیرعامل به لحاظ تحلیل و طراحی

در مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان، دو روش دینامیکی غیرخطی و استاتیکی معادل جهت تحلیل سازه‌ها پیشنهاد شده است. درحالی‌که آیین‌نامه طراحی سازه‌های امن متناسب با موقعیت سازه نسبت به محل انفجار، چهار روش تحلیل استاتیکی، تحلیل فرکانس طبیعی، دینامیکی خطی و دینامیکی غیرخطی جهت تحلیل سازه‌ها را توصیه کرده است. علاوه‌بر این براساس منابع بررسی‌شده فوق، روش طراحی حالت حدی از میان روش‌های طراحی جهت طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر انفجار توصیه شده است.

با توجه به دفترچه‌های محاسبات سازه‌ای سامانه، در طراحی اعضای سازه‌ای سامانه قطار شهری اهواز از آیین‌نامه AASHTO 2002 و بعضا از آیین‌نامه بتن ACI و بتن ایران (آبا) استفاده شده است.

براساس آیین‌نامه طراحی سازه‌های امن، آیین‌نامه بتن ایران به‌طور خاص به طراحی سازه‌ها در برابر انفجار اشاره نمی‌کند لیکن از آنجاکه روش طراحی این آیین‌نامه بر مبنای روش حالت حدی می‌باشد لذا اصول طراحی آیین‌نامه مذکور با رعایت ضوابط طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار نظیر اعمال ضرائب جزیی مقاومت برابر یک، قابل استفاده می‌باشند. علاوه‌بر این سایر آیین‌نامه‌های بتن از قبیل ACI318 در طراحی استاندارد بتن مسلح و ملزومات شکل‌پذیری آن برای طراحی مقاوم در برابر انفجار قابل استفاده‌اند. در آیین‌نامه بتن ایران، الزامات مربوط به حداقل مقاومت مشخصه بتن، مقدار فولاد حداقل، مقدار بیشینه فولادگذاری، شکل‌پذیری سازه، الزامات میلگردهای طولی و خاموت‌ها، طول همپوشانی برای میلگردها و اتصال جوشی آن‌ها بر ضوابط آیین‌نامه طراحی سازه‌های امن منطبق است.

علاوه‌بر این، براساس بررسی‌های انجام‌شده، روابط محاسبه خواص مکانیکی بتن و فولاد نظیر مدول الاستیسیته و ضریب پواسون و غیره در آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های متعارف با روابط نظیر در آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل تفاوت ندارند و در صورت انجام محاسبات طراحی انفجاری، مشخصات مکانیکی مصالح مورد نظر با استفاده از ضریب افزایش دینامیکی، اصلاح شده و مقادیر بیش‌تری برای مشخصات مذکور در طراحی انفجاری منظور می‌گردد.

۵. نتایج و بحث الزامات سازه‌ای پدافند غیرعامل و ارائه راهکار

نتایج بررسی اجزای مختلف سازه‌ای سامانه قطار شهری اهواز به لحاظ تامین الزامات سازه‌ای آیین‌نامه‌های پدافند غیرعامل بیانگر آن است که:

- هیچ‌کدام از دو راهبرد اصلی الزامات سازه‌ای پدافند غیرعامل یعنی مدفون‌کردن سازه‌ها دور از دسترس جنگ‌افزارهای دشمن و نیز طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر بارهای انفجاری به‌صورت خاص در طراحی اجزای سازه‌ای سامانه، اعمال نشده است.
- ایستگاه‌ها به‌ویژه در طبقه اول در برابر نفوذ بمب، بسیار آسیب‌پذیرند.
- با توجه به این‌که بخش قابل توجهی از اجزای سازه‌ای سامانه از قبیل تونل‌ها و ایستگاه‌ها به‌صورت زیرسطحی و زیرزمینی می‌باشند، لذا در سازه‌های یادشده، بخش قابل توجهی از الزامات سازه‌ای پدافند غیرعامل یعنی نوع مصالح انتخابی و نیز سیستم سازه‌ای مناسب تامین شده است. هرچند پیشنهاد می‌شود کفایت اعضا و المان‌های سازه‌ای در برابر بارهای انفجاری و نفوذ بمب نیز به‌صورت محاسباتی، کنترل گردد.
- سازه مرکز دپو و پارکینگ و نیز ساختمان مرکز کنترل و فرماندهی به لحاظ اعمال کم‌ترین سطح از الزامات سازه‌ای پدافند غیرعامل

(سطحی‌بودن، سیستم سازه‌ای و مصالح نامناسب) از آسیب‌پذیرترین اجزای سازه‌ای سامانه در تهدیدات احتمالی محسوب می‌شوند.

- اختلاف عمده آیین‌نامه طراحی سازه‌های امن با مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان عمدتا در استفاده از مصالح فولادی در اجزای اصلی سازه و روش‌های تحلیل می‌باشد.

۵-۱. راهکارهای پیشنهادی

برخی راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری سامانه قطار شهری اهواز به‌شرح زیر پیشنهاد می‌گردد:

- با توجه به این‌که ایستگاه‌های اجرا شده به روش بالا به پایین، ظرفیت باربری انفجاری بیش‌تری در مقایسه با ایستگاه‌هایی که با روش پایین به بالا اجرا شده‌اند، دارند پیشنهاد می‌گردد کلیه ایستگاه‌های باقی‌مانده نیز به‌روش یادشده، اجرا شوند. لازم به‌ذکر است در این راهکار هزینه‌های مطالعاتی مورد نیاز و زمان بازنگری به‌واسطه مشابهت با ایستگاه‌های مشابه اجرایی، حداقل می‌باشد.
- با توجه به آسیب‌پذیری سازه مرکز دپو و ساختمان مرکز کنترل و فرماندهی در برابر انفجارهای احتمالی، مطالعات مجزا جهت افزایش ایمنی سازه‌های مذکور انجام گردد.
- در محیط پیرامونی مرکز دپو (سوله‌ها) از دیوارهای محافظ و مقاوم در برابر انفجار استفاده شود.
- پوشش محافظ تاسیسات نظیر آسانسورها در سطح زمین نظیر پوشش تاسیسات مذکور در زیرزمین از نوع بتن مسلح (دیوار و دال) طراحی و اجرا گردد.
- در راستای رعایت اصول اساسی پدافند غیرعامل (اختفا و استتار) طول ورودی و خروجی ایستگاه‌ها بازنگری شود و از طول‌های بسیار کوتاه در مقایسه با وضع موجود، استفاده شود.
- پیشنهاد می‌گردد بخشی از بازشوی ورودی و خروجی‌ها جهت کاهش طول بازشو با استفاده از دال بتنی پوشیده شود. (رعایت اصل اختفاء و کوچک‌کردن طول بازشو)
- در صورت عدم امکان رعایت بند فوق، از سیستم‌های سازه‌ای و مصالح مقاوم در برابر انفجار در ورودی و خروجی ایستگاه‌ها نظیر دیوارهای بتنی مسلح به‌جای قاب‌های فولادی یا مصالح بنایی مسلح استفاده شود.
- نمای سنگی با استفاده از پیچ به دیوارها تثبیت گردد.
- دیوارهای جداکننده به‌صورت مقاوم در برابر انفجار استفاده شوند. دیوارهای بنایی مسلح، استفاده از پروفیل‌های فولادی، پوشش‌های الیاف پلیمری نظیر FRP از رایج‌ترین روش‌های افزایش ظرفیت انفجاری دیوارهای بنایی (جداکننده) می‌باشند.

باتوجه به نتایج بررسی، با وجودی که اجزای مختلف سامانه قطار شهری در زمان طراحی به لحاظ تامین الزامات سازه‌ای پدافند غیرعامل مورد بررسی قرار گرفته است، با این حال آن دسته از اجزای سامانه که به‌صورت زیرزمینی طراحی و در حال احداث می‌باشند، به‌واسطه مدفون‌شدن در زمین، تامین کننده برخی الزامات پدافند غیرعامل می‌باشند. درحالی‌که اجزایی که به‌صورت سطحی و روزمینی می‌باشند، تامین‌کننده الزامات مزبور نبوده و دربرابر بارهای انفجاری ضعیف نیز آسیب پذیرند.

- این مقاله از طرح پژوهشی "شیوه‌های پیاده‌سازی ملاحظات مدیریت بحران و پدافند غیرعامل در خط یک قطار شهری اهواز" که کارفرمای آن شهرداری اهواز بوده و در دانشگاه شهید چمران توسط نگارنده و با مساعدت دفتر مجری طرح‌های پژوهشی دانشگاه انجام شده، استخراج گردیده است

۶. مراجع

۱. دهقانی، اسفندیار، ایستگاه مترو، پناهگاه عمومی، پایگاه سازمان پدافندغیرعامل،۱۳۹۱.

۲. فرجی سبکبار، حسنعلی، امیدپور، مرتضی، مدیری، مهدی، بسطامی نیا، امیر، ارائه مدل پهنه بندی آسیب پذیری شهر اهواز با استفاده از مدل مرتب‌سازی گزینه ها مبتنی برپروفایل(SSP)، دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره ششم، پاییز و زمستان، ۱۳۹۳.

۳. سازمان پدافند غیرعامل کشور، معاونت فنی، دستورالعمل فنی طراحی سازه‌ها در برابر سلاح‌های متعارف، نشریه شماره ۱۰۳-۱۱۲۴، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، مهر ۱۳۹۲.

۴. سازمان پدافند غیرعامل کشور، معاونت فنی، آئین نامه فنی سازه‌های امن، طراحی و محاسبه سازه، نشریه شماره ۱۰۰-۱۱۲۳، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، مهر ۱۳۹۲.

۵. سازمان پدافند غیرعامل کشور، معاونت فنی، دستور دستورالعمل فنی طراحی سازه‌ها در برابر انفجارات اتفاقی، طراحی سازه بتن آرمه، نشریه شماره ۱۰۷-۱۱۲۶، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، مهر ۱۳۹۲.

۶. مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان، سازمان پدافند غیرعامل کشور.

۷. میرزینلی، سیدحسین، کولیوند، فرشاد، مدلسازی عددی پایداری تونل در توده سنگ ضعیف در برابر انفجارهای سطحی

با استفاده از روش عددی اجزاء مجزا، نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، ۱۳۹۰.

8. M. R. C, "Explosive and rock blasting field technical operation atlas powder company subsidiary of the tylor corporation," atlas powder company Dallas texas, 1987.

۹. ناطقی، رضا، شیوه‌های مهندسی در طراحی پدافند غیرعامل سازه های زیرزمینی، همایش سراسری پدافند غیرعامل در علوم و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین، بهمن ۱۳۹۲.

۱۰. بخشنده، حسن، تحلیل عددی تاثیر عوارض ساختاری بر انتشار موج تراکمی حاصل از انفجار در ماده بسپاری پلیمری (پلکسی گلاس)، مجله ژئوفیزیک ایران، صص. 11-1 ،۱۳۸۶.

11. "Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons," in U. S Department of the Army, 1986.

12. P. S. Bulson, "Explosive loading of engineering structures," E & FN Spon press, 1997.

13. M. Bangash, "Shock impact and explosion- structural analysis and design," Springer 2009.

۱۴. آل رسول، سهیل، مقایسه روش‌های طراحی لرزه‌ای بر اساس سطح عملکرد، پایگاه پیام عمران.

۱۵. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه شماره ۳۶۰، ۱۳۸۵.

۱۶. هویدافر، بهروز، مبانی نظری ورودی و خروجی پناهگاه‌ها با دیدگاه پدافند غیر عامل، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مالک اشتر، ۱۳۸۶.

۱۷. بیطرفان، مهدی، طراحی و مستندسازی ورودی‌ها و اجزای مربوطه در فضاهای امن، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مالک اشتر، ۱۳۹۰.

18. R. L. Sterling & J. Carmody "Overview of Subsurface Space Utilization," Underground Space Design, wiley, 1993.

Evaluation and Analysis of Passive Defense Structure Requirements in Ahvaz Metro System

S. J. Hejazi[1]

Abstract

With the probability of offensive military threats in Iran, the need for design and construction of structures which can be capable of any threats and the development of safe structures for people living in metropolitan cities in a necessity and inevitable. The design of Ahvaz Metro system with the capabilities of criterion and index has a very high potential for meeting the needs of a large urban safe structure for a large number of people especially those located in the city center. In order to reach this goal, the necessity in the use of the more update research knowledge and with preventive measures, it is possible to reduce or eliminate the enemy's threats. By implementing the criteria and instructive passive defensive measures in the different stages of design to operation especially in the civil engineering area can be regarded as the most effective step in reaching the standards. But as the first line of Ahvaz metro in under construction, the need for decreasing the threats for the city of Ahvaz located near to borders with neighboring countries is a necessity for structure evaluation and analysis of the entire line in the construction process and prior to the operation level of the project. As there is a lack of efficient criteria or instructions on passive defensive measure for the structures under construction, this research aims to evaluate and analyze the existing design criteria and instruction of passive defensive rules with the design criteria of the Ahvaz Metro for all types of explosives on the structure of the first line in order to reach the possibility of safe point for people using the metro line. The research analysis indicates that the design of the first line does not have the potential for a safe space in the case of danger due to air or ground explosions.

Key Words: *Passive Defence, Explosive design, Ahvaz Metro, Safe Space*

1 - Shahid Chamran University of Ahvaz (Hejazi_j@scu.ac.ir) - Writer-in-Charge