

فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل
سال پنجم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، (پیاپی ۱۷): صص ۶۱-۷۱

ملاحظات طراحی تاسیسات تهویه سازه‌های دفاعی زیرزمینی

حسن رادمرد^۱، محمدرضا خیراندیش^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۶

چکیده

امروزه به جهت تهدیدات دشمن، اغلب سازه‌های حیاتی و مهم در زیرزمین احداث می‌شوند. زیرزمینی بودن و استتار و اختفای این سازه‌ها شرایط و محدودیت‌های خاصی را بر تاسیسات مکانیکی آن‌ها تحمیل می‌کند که در مورد سایر ساختمان‌ها این ملاحظات به هیچ عنوان مطرح نیست. طراحی مناسب تاسیسات مکانیکی سازه‌های زیرزمینی با رویکرد پدافند غیرعامل برای شرایط عادی و بحران، آنقدر ضروری و حساس است که در صورت طراحی نامناسب تاسیسات، نه تنها آسیب پذیری کاهش نیافته، بلکه یک سازه امن زیرزمینی می‌تواند تبدیل به یک گورستان جمعی زیرزمینی شود. چرا که تاسیسات این سازه‌ها ساده‌ترین راه شناسایی آنها بوده و آسیب پذیرترین و از طرفی ضروری‌ترین بخش یک سازه زیرزمینی است. هدف این مقاله، انتقال تجارب نگارنده در مورد ملاحظات طراحی تاسیسات تهویه و سرمایش و گرمایش سازه‌های زیرزمینی با رویکرد پدافند غیرعامل خصوصا اختفا و استتار می‌باشد. انواع روش‌های متداول تهویه مطبوع و مزایا و معایب هر یک مورد بحث و بررسی قرار گرفته آنگاه با توجه به جمیع ملاحظات فنی و اقتصادی و پدافند غیرعامل، سیستم تاسیسات گرمایش و سرمایش و تهویه مناسب یک سازه زیرزمینی پیشنهاد شده است. در نهایت راهکارهای اجرایی برای جلوگیری از ورود دود و آلودگی به محل تجمع افراد و همچنین راهکارهای اجرایی برای استتار و اختفای فن‌ها در دهانه تونل و همچنین شفت‌های خروج هوای آلوده بیان شده است. راهکارهای اجرایی اشاره شده در پروژه‌های مختلف به کار برده شده و صحت عملکرد آنها اثبات شده است که به دلیل محرمانه بودن از ذکر جزئیات فنی آنها خودداری شده است.

کلیدواژه‌ها: تاسیسات مکانیکی، تهویه، سازه‌های زیرزمینی، پدافند غیرعامل

۱- مربی و عضو هیئت علمی دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع) - نویسنده مسؤول

۲- مربی و عضو هیئت علمی دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

۱- مقدمه

کشور ما ایران به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و سیاسی خود همواره در معرض انواع تهدیدات طبیعی مانند زلزله، سیل، توفان و غیره و همچنین تهدیدات انسان‌ساز مانند جنگ قرار داشته است. حفظ سازه‌های حساس و مهم کشور مانند مخابرات، صدا و سیما، ساختمان‌های فرماندهی نیروهای مسلح، ساختمان‌های مدیریت بحران و ... که در مقابل این تهدیدات در امان باشند بسیار لازم و ضروری است.

امروزه با استفاده از برنامه‌های جامع مدیریت بحران می‌توان با به‌کارگیری اقدامات مؤثر همراه با طرح‌های کاربردی و حتی‌الامکان کم‌هزینه و چندمنظوره در مرحله آمادگی قبل از بحران، به میزان زیادی از شدت و گستردگی خسارات و تلفات ناشی از خطرات کاست. از مهم‌ترین این تمهیدات، به‌کارگیری اصول پدافند غیرعامل به‌عنوان راهکاری جهت کاهش خطرپذیری در برابر خطرات مختلف و افزایش کارایی پس از وقوع خطرات است.

کشورهای مختلف جهان، با توجه به نوع احتمال تهدید متصور بر خود و با توجه به امکانات و محدودیت‌ها، جهت مقابله با تهدید، ساخت پناهگاه‌های زیرزمینی در ساختمان‌های مختلف را جهت ایمنی شهر و شهروندان خود انجام داده‌اند. در کشور ما نیز در زمان جنگ تحمیلی برای مقابله با کاهش خسارات، برخی اقدامات دفاع غیرعامل توسط نهادها و مردم صورت پذیرفت. لیکن پس از دفاع مقدس به دلیل شرایط اجتماعی، این مهم به کلی به فراموشی سپرده شد. ولی در چند سال اخیر با تشکیل سازمان پدافند غیرعامل و ایجاد رشته‌های تحصیلی مرتبط با آن در مراکز علمی و اضافه شدن مبحث بیست‌ویکم مقررات ملی ساختمان به نام پدافند غیر عامل به مباحث بیست‌گانه قبلی، و همچنین تشکیل معاونت پدافند غیرعامل در وزارتخانه‌ها و تخصیص ردیف بودجه، دوباره این امر مورد توجه قرار گرفته است.

سازه‌های زیرزمینی را می‌توان در زمان صلح به عنوان محلی برای انجام عملیات سری و امنیتی دور از دید دشمن و همچنین برای نگهداری اقلام و تجهیزات نظامی و حیاتی استفاده کرد. در زمان تهدیدات (طبیعی و انسان‌ساز) نیز محلی برای تصمیم‌گیری‌های مهم - مثلاً به‌عنوان مرکز مدیریت بحران یا مرکز فرماندهی جنگ - و استقرار نفرات، ادوات و تجهیزات در آنها برای در امان بودن به‌عنوان پناهگاه مورد استفاده قرار داد. تاسیسات این سازه‌ها در هر دو زمان صلح و بحران، مهم و ضروری

است. تاسیسات این سازه‌ها علاوه بر اینکه باید شرایط آسایش را برای ساکنین تامین نمایند، بایستی از ایمنی بالایی نیز برخوردار باشند. چون تاسیسات می‌تواند خود راه نفوذ امواج انفجار به داخل سازه باشد یا اینکه یک عامل مرگ‌بار میکروبی از طریق کانال‌های تهویه به داخل سازه توزیع شده یا اینکه دود یا حرارت ناشی از احتراق موتورخانه یا ارتعاشات موتورهای الکتریکی و ... عامل شناسایی سازه زیرزمینی شود.

در این مقاله تلاش شده است ملاحظات سیستم‌های تهویه این سازه‌ها از نگاه پدافند غیرعامل مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

۲- پیشینه تحقیق

اکثر مقالات و تحقیقات انجام‌شده در مورد تهویه سازه‌های زیرزمینی منحصر به تهویه تونل‌های راه، شبیه‌سازی جریان هوا در تونل‌ها به کمک دینامیک سیالات محاسباتی، شبیه‌سازی حریق و کنترل دود در تونل‌ها و کنترل آلاینده‌های ناشی از خودرو ها می‌باشد.

دومینگو^۱ و همکاران [۱] در مورد تحلیل و شبیه‌سازی عددی سیستم تهویه یک ایستگاه مترو زیرزمینی به روش CFD در شرایط عادی و اضطراری مطالعاتی انجام داده‌اند. هدف اصلی آنها از این تحقیق آن بوده که بررسی نمایند در یک ایستگاه مترو آیا طرح‌های اطفاء حریق و تهویه مکانیکی جهت تخلیه دود در حالات اضطراری حریق کارایی دارند؟ علت آنهم چنین بیان شده که اگر سیستم تهویه در بدترین و خطرناک‌ترین حالت که آتش‌سوزی در تونل است کارایی داشته باشد بدیهی است که در سایر حالات نیز سیستم تهویه جوابگو خواهد بود.

برخی از سازه‌های دفاعی زیرزمینی که تردد خودرو جهت تخلیه و بارگیری در آن زیاد است را می‌توان مشابه یک پارکینگ زیرزمینی در نظر گرفته و استانداردهای تهویه پارکینگ‌ها را در مورد آن اعمال نمود. چان^۲ و همکاران [۲] میزان انرژی لازم برای تهویه را در ۲۲ پارکینگ زیرزمینی در هونگ‌کونگ بررسی نموده و تمرکز مونوکسید کربن، شرایط حرارتی و عملکرد سیستم‌های تهویه را مورد آزمایش قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که حالت بهینه مصرف انرژی با تهویه در دو ارتفاع پارکینگ اتفاق می‌افتد.

تعدادی از مقالات هم اثر پیستونی (تهویه‌ای به طور طبیعی که با حرکت خودروها در تونل اتفاق می‌افتد) همچنین اثرات شفت

1- Domingo

2- Chan

در تهویه تونل‌های جاده‌ای و مترو را بررسی کرده‌اند [۵،۳ و ۴].

است. [۹]

در مرجع [۱۰] نیز برخی ملاحظات گرمایش، تعویض هوا و تهویه مطبوع در تاسیسات سازه‌های مقاوم بیان شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود همه تحقیقات انجام شده در مورد سازه‌های زیرزمینی منحصر به تونل‌ها، پارکینگ‌های زیرزمینی و مترو می‌شود. تفاوت اساسی سازه‌های دفاعی زیرزمینی با سازه‌های مذکور این است که اولاً در سازه‌های دفاعی، افراد بایستی برای طولانی مدت بتوانند در آن اقامت داشته باشند؛ در حالی که در تونل‌های شهری یا جاده‌ای که فرد، مدت زمان کوتاهی در آلودگی و دود ناشی از خودروها قرار دارد، لذا میزان آلودگی مجاز می‌تواند افزایش یابد. ثانیاً در تونل‌ها و پارکینگ‌ها و ... بحث گرمایش و سرمایش مطرح نیست ولی در سازه‌های دفاعی، این مبحث به دلیل اقامت طولانی مدت افراد از ضروریات است.

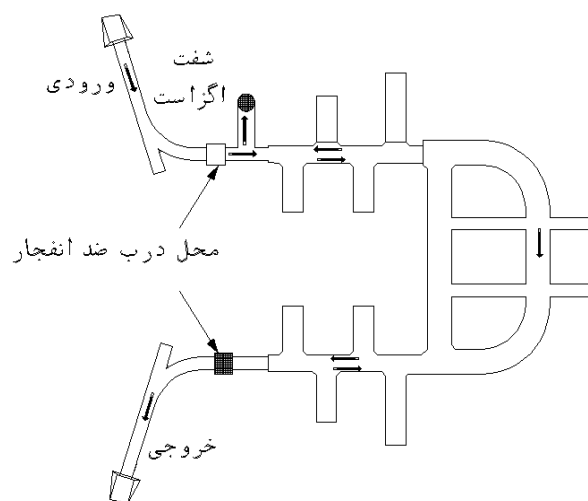
۳- تعریف

سازه‌های دفاعی زیرزمینی به جهت امن بودن در برابر انواع سلاح‌های مخرب دشمن عمدتاً در زیر کوه‌ها و تپه‌ها ساخته می‌شوند. از این سازه‌ها می‌توان در زمان صلح جهت نگهداری سلاح‌های راهبردی همچنین صنایع بسیار حساس و مهم و در زمان جنگ به عنوان پناهگاه استفاده کرد. این سازه‌ها معمولاً یک ورودی و یک یا چند خروجی دارند تا در صورت آسیب دیدن یک ورودی، از سایر ورودی‌ها قابلیت‌ها فرار وجود داشته باشد. همچنین یک راهرو اصلی جهت تردد و تعدادی سالن فرعی جهت انبار را شامل می‌شوند. یک شفت هم جهت خروج هوای آگراست وجود دارد و تهویه از طریق دسترسی‌های ورودی و خروجی صورت می‌گیرد. شکل (۱) نمونه‌ای از این سازه‌ها را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

مهم‌ترین مرجع محاسبات تاسیسات سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع، استاندارد جامعه مهندسين سيستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا، موسوم به ASHRAE¹، می‌باشد. انواع سیستم‌ها و تجهیزات تهویه مطبوع در این استاندارد به تفصیل توضیح داده شده لیکن به جز استاندارد تهویه پارکینگ سرپوشیده، در مورد الزامات تاسیسات سازه‌های زیرزمینی هیچ اشاره‌ای نشده است. [۶]

سازه این تونل‌ها بتونی بوده و در برابر امواج انفجار کاملاً مقاوم است ولی تاسیسات برقی و مکانیکی آنها در حملات احتمالی نسبت به سازه بسیار آسیب‌پذیرتر بوده و طراحی و اجرای صحیح آنها به اندازه کل سازه اهمیت دارد.

در مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان - پدافند غیرعامل - در فصل هفتم در مورد تاسیسات برقی مکانیکی سازه‌های امن و پناهگاه‌ها برخی ملاحظات ارائه شده که بعضاً در مورد تونل‌های دفاعی کاربرد نداشته و در برخی موارد ایراداتی دارد که در ادامه به آن اشاره می‌شود [۷].



شکل ۱- نمونه‌ای از سازه‌های دفاعی زیرزمینی به صورت شماتیک

۳- تاسیسات تهویه در سازه‌های زیرزمینی

انواع سیستم‌های تهویه مطبوع موجود در بازار و مزایا و معایب

مدنی در مرجع [۸] در مورد خدمات فنی تونل‌ها شامل محاسبات میزان هوای مورد نیاز و استانداردهای تهویه تونل حین حفاری و حین بهره‌برداری در کشورهای مختلف همچنین تاسیسات آبکشی و تاسیسات برقی تونل‌های راه اشاره کرده است. با توجه به اینکه تردد خودرو در تونل‌های دفاعی به میزان تونل‌های شهری و جاده‌ای نبوده و از طرفی مدت زمان توقف افراد در این دو نوع تونل تفاوت اساسی دارد و اصولاً بحث گرمایش و سرمایش در مورد تونل‌های جاده‌ای و شهری مطرح نیست از استانداردهای یادشده نمی‌توان در تونل‌های دفاعی استفاده نمود.

دپارتمان دفاعی آمریکا برخی معیارهای طراحی تجهیزات گرمایش، تعویض هوا و تهویه مطبوع سازه‌های دفاعی را بیان کرده

1- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers

ضمن اینکه دود ناشی از احتراق موجب شناسایی سازه شده و همچنین از اکسیژن هوای داخل برای احتراق استفاده می‌کند.

نصب موتورخانه در خارج سازه نیز مشکلات خاص خود را دارد. به‌عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- دود ناشی از احتراق، یک عامل شناسایی موتورخانه است.

- موتورخانه بایستی با فاصله از دهانه‌های ورودی و خروجی تونل قرار گیرد تا در صورت شناسایی و حمله، دهانه تونل آسیب نبیند. از طرفی هرچه فاصله موتورخانه از دهانه ورودی تونل افزایش یابد متناسب با آن افت فشار و تلفات حرارتی از لوله‌ها افزایش یافته و چه بسا فاصله زیاد، طراح را مجبور به تغییر نوع سیال عامل، از آب گرم به آب داغ یا بخار نماید. بدیهی است هرچه فشار و دمای سیال عامل افزایش یابد هزینه تجهیزات و کنترل و تعمیر و نگهداری سیستم به‌طور تصاعدی افزایش می‌یابد.

بزرگترین مزیت این سیستم، پایین بودن هزینه اولیه و سهولت نصب و بهره‌برداری می‌باشد. در تونل‌های زیرزمینی به علت طول زیاد کانال تا هوای تازه و فشار استاتیک بالا، عملاً امکان نصب کولر آبی وجود ندارد. ضمن اینکه تجهیزات نظامی حساس مانند موشک‌ها بایستی در شرایط خشک و خنک نگهداری شوند و رطوبت نسبتاً بالای این سیستم‌ها موجب زنگ‌زدگی قطعات فلزی شده و در نتیجه، تیرید تبخیری مناسب نبوده و تأیید نمی‌شود.

۳-۲- سیستم تهویه مطبوع هوایی

در این سیستم، از چیلر (تراکمی یا جذبی) جهت تولید برودت، هواساز جهت انتقال برودت از طریق سیال عامل هوا به فضای مورد تهویه و برج خنک‌کن یا کندانسور هوایی جهت دفع حرارت جذب‌شده در اپراتور چیلر به محیط خارج استفاده می‌شود. جهت گرمایش نیز همانند بند قبل، از مشعل و دیگ و سوختن سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود.

مزایا:

۱- امکان تامین هوای تازه و کنترل رطوبت و تمیزی هوا وجود دارد.

۲- ابعاد کانال نسبت به سیستم تبخیری کوچکتر است. لیکن چون تمام بار برودتی و حرارتی از طریق کانال تامین می‌شود ابعاد کانال نسبتاً قابل ملاحظه است.

هریک و سیستم‌های قابل کاربرد در تهویه مطبوع سازه‌های زیرزمینی ذیلاً اشاره شده است.

۳-۱- کولر آبی در تابستان و رادیاتور در زمستان

در این روش که سیستم برودتی آن به نوع تبخیری معروف است؛ به خاطر رطوبت زدن به هوای خارج، دمای آن کاهش یافته و با ورود این هوا به فضای داخل ساختمان، بار محسوس برودتی آن جبران می‌شود و دمای داخل را تا حدودی کاهش می‌دهد. میانگین کاهش این دما معمولاً محدود بوده و رابطه عکس با رطوبت نسبی مورد نیاز داخل دارد؛ به‌طوری‌که هر چه درجه حرارت کمتری مورد نیاز داخل باشد، رطوبت نسبی هوای داخل اجباراً افزایش می‌یابد و همراه با آن، میزان هوای مورد نیاز اضافه می‌گردد. به طوری‌که اگر دمای نسبتاً پایینی مورد نیاز باشد، مقدار هوای در گردش گاهی اوقات از حد مجاز تجاوز می‌نماید و در نتیجه، نه‌تنها انتخاب سیستم را از نظر سرعت وزش هوا تقریباً غیر قابل قبول می‌کند، بلکه از نظر اقتصادی نیز هزینه شبکه کانال‌کشی و نیاز به سقف کاذب بالا رفته و هزینه اولیه اجرای طرح را زیاد می‌کند. حتی در روال عادی نیز مقدار هوای مورد نیاز در سیستم کولر آبی حداقل دو برابر سیستم‌های برودتی است. علاوه‌براین، سیستم تبخیری، تابع دما و رطوبت نسبی هوای خارج نیز می‌باشد. به طوری‌که هر قدر دمای هوای خارج بیشتر و به خصوص رطوبت نسبی آن بالاتر باشد، امکان به‌وجود آوردن شرایط هوای نسبتاً مناسب در محیط داخل مشکل و حتی گاهی غیرممکن خواهد شد. در این سیستم امکان کنترل درجه حرارت، رطوبت نسبی و میزان هوا وجود نداشته و تغییر این عوامل، تابع مستقیم تغییرات شرایط هوای خارج است.

همچنین در این سیستم به‌دلیل استفاده از رادیاتور در زمستان، تعویض هوا در این فصل در داخل محیط وجود ندارد و این مسئله مشکلات زیادی را از نظر تنفس افراد به‌وجود می‌آورد. در ضمن در این فصل نیز به علت عدم امکان تأمین رطوبت نسبی دلخواه، رطوبت نسبی داخل کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که معمولاً این میزان رطوبت نسبی از ۱۰ الی ۱۵ درصد تجاوز نمی‌نماید. این مسئله به‌خصوص در محیط‌هایی که توقف افراد در داخل آنها نسبتاً طولانی است، مشکلات تنفسی برای افراد ایجاد می‌کند. در ضمن جهت گرمایش، به مشعل و سوخت‌های فسیلی مانند گازوئیل و گاز نیاز است که طبق مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان، نگهداری سوخت‌های فسیلی در داخل فضاها و زیرزمینی ممنوع می‌باشد.

معایب:

۱- هزینه اولیه نسبتا بالاست.

۲- معایب نصب موتورخانه در داخل و خارج سازه که در بند قبل اشاره شد در این سیستم نیز مشاهده می‌شود.

۳- در کانالهای طویل که فشار استاتیک فن بالایی نیاز است، متناسب با آن به قطر پروانه و دور بالای فن نیاز است. در نتیجه سر و صدا و ارتعاشات فن قابل ملاحظه شده و سازه به راحتی قابل شناسایی شده و این خلاف اصول استتار و اختفا می‌باشد.

۴- نصب برج خنک‌کن یا کندانسور هوایی بایستی در فضای باز صورت گیرد که سر و صدا و ارتعاشات آن نیز استتار و اختفای آن را مشکل می‌کند.

۳-۳- سیستم تهویه مطبوع آبی

در این سیستم نیز همانند بند ۳-۲ از چیلر جهت تولید برودت استفاده می‌شود با این تفاوت که از فن کویل و سیستم آبی به جای هواساز و سیستم هوایی استفاده می‌شود. ضمنا همانند بند قبل، از برج خنک‌کن یا کندانسور هوایی جهت دفع حرارت جذب‌شده در اپراتور چیلر به محیط خارج، از مشعل و دیگ و سوختن سوخت‌های فسیلی جهت گرمایش استفاده می‌شود.

مزایا:

۱- در این سیستم مشکلات کانال‌کشی و فن و سر و صدای زیاد به دلیل حذف هواساز و کانال وجود نخواهد داشت.

۲- کنترل دما در جزء فضاها از سیستم هوایی آسان‌تر است.

معایب:

۱- امکان تامین هوای تازه و کنترل رطوبت و تمیزی هوا وجود ندارد.

۲- هزینه اولیه نسبتا بالاست.

۳- معایب نصب موتورخانه در داخل و خارج سازه که در بند قبل اشاره شد در این سیستم نیز مشاهده می‌شود.

۴- نصب برج خنک‌کن یا کندانسور هوایی بایستی در فضای باز صورت گیرد که سر و صدا و ارتعاشات آن نیز استتار و اختفای آن را مشکل می‌کند.

۳-۴- سیستم تهویه مطبوع آبی - هوایی

در این سیستم نیز همانند بند ۳-۲ از چیلر جهت تولید برودت استفاده می‌شود با این تفاوت که از فن کویل و سیستم آبی به علاوه هواساز و سیستم هوایی استفاده می‌شود. ضمنا همانند بند قبل از برج خنک‌کن یا کندانسور هوایی جهت دفع حرارت جذب‌شده در اپراتور چیلر به محیط خارج و از مشعل و دیگ و سوختن سوخت‌های فسیلی جهت گرمایش استفاده می‌شود.

در این سیستم می‌توان در بسیاری از ایام سال از یک هواساز با ظرفیت پایین (مثلا ۲۰٪ ظرفیت کل مورد نیاز) سرمایه‌ش یا گرمایش لازم را تامین نموده و در صورت افزایش بار، سیستم آبی و فن کویل را وارد مدار نمود.

این سیستم کلیه مزایا و معایب بند قبل را شامل می‌شود به استثناء اینکه به واسطه کاهش بار سیستم هوایی، ابعاد کانال و فن نسبت به حالت قبل کمتر خواهد شد.

۳-۵- سیستم انبساط مستقیم یا DX

در این سیستم‌ها کویل اپراتور مستقیما در فضای تهویه قرار می‌گیرند. نمونه‌ای از این سیستم‌ها اسپلیت یونیت‌ها و کولرهای گازی هستند.

در میحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان در بندهای ۲-۷-۸ و ۲۱ اشاره شده "در ساختمان‌های با درجه اهمیت ۱ و ۲ از نصب سیستم‌های تبریدی دارای کویل مستقیم (DX) و مانند آن خودداری گردد تا در صورت شکستگی لوله‌های حاوی مواد مبرد، خطرات ناشی از نشت و تخلیه این مواد به فضای اصلی از بین برود".

اخیرا برخی کارخانجات سازنده، این سیستم‌ها را به سیستم Pump Down مجهز کرده‌اند که در صورت شکستگی لوله‌ها، مبرد وارد محیط نشده و به‌طور اتوماتیک در قسمت کندانسینگ یونیت ذخیره می‌شود. لذا این مشکل اسپلیت‌ها مرتفع شده و با اطمینان خاطر در سازه‌های زیرزمینی قابل استفاده هستند.

مزایا:

۱- به دلیل قابل انعطاف بودن سیستم، به سرعت و راحتی از گرمایش به سرمایش و بالعکس قابل تبدیل هستند.

۲- هزینه نگهداری و تعمیرات و راهبری آنها نسبت به موتورخانه سرمایش و گرمایش بسیار ناچیز است.

۴- ملاحظات فنی و اقتصادی جهت انتخاب سیستم

جهت مقایسه سیستم‌های اشاره شده در بند قبلی با یکدیگر و انتخاب مناسب‌ترین سیستم جهت هر پروژه، عوامل فنی و اقتصادی زیر بایستی مورد بررسی قرار گیرد:

- امکان ایجاد درجه حرارت مناسب در محیط در فصل تابستان و زمستان

- امکان تأمین هوای تازه مورد نیاز و وزش مناسب هوا

- امکان کنترل مستقل درجه حرارت فضاها

- عدم نیاز به فضا جهت موتورخانه گرمایشی

- سهولت بهره‌برداری و راه‌اندازی سیستم

- امکان استفاده از سیستم با توجه به شرایط هوای محل

- عمر مفید زیاد سیستم

- مدت زمان استفاده از سیستم و توقف افراد در محیط در طول شبانه روز

- نحوه اجرای سیستم با توجه به امکانات معماری

- هزینه اولیه خرید دستگاه‌ها و لوازم تأسیساتی مورد نیاز

- ایجاد فضاهای معماری مورد نیاز جهت موتورخانه‌های اصلی و فرعی و سقف‌های کاذب و کانال‌های تأسیساتی عبور لوله‌ها

- تأمین هزینه تعمیرات دستگاه‌ها و لوازم تأسیساتی

- تأمین هزینه مصرف برق و سوخت

- سرعت عمل در راه‌اندازی و رسیدن به شرایط مطلوب

۴-۱- انتخاب سیستم تهویه مطبوع

با توجه به جمیع ملاحظات فنی و اقتصادی ذکر شده در قسمت قبل، سیستم‌های اسپلیت یونیت گرمایشی و سرمایشی مناسب‌ترین سیستم می‌باشند. البته هنگام استفاده بایستی ملاحظات زیر در نظر گرفته شوند:

۱- بایستی فضاهایی که جهت تجمع افراد و پناهگاه استفاده می‌شوند محدود و توسط پارتیشن از فضاهای عمومی تونل مجزا گردند. در این صورت می‌توان با هزینه کمتر گرمایش، سرمایش و تهویه این فضا را تأمین نمود و در فضاهای انبار و تردد تونل فقط

۳- به دلیل اینکه با توجه به میزان بار مورد نیاز، تعدادی کمپرسور با دور متغیر وارد مدار می‌شوند هزینه مصرف برق آن نیز نسبت به چیلر و فن کویل یا هواساز نیز کمتر است.

۴- به دلیل حذف موتورخانه و استفاده از سیستم پمپ حرارتی در گرمایش نیاز به استفاده از سوخت‌های فسیلی نبوده و خطرات آتش‌سوزی و کاهش اکسیژن محیط ناشی از احتراق سوخت وجود نخواهد داشت.

۵- استتار و اختفای این سیستم به دلیل حذف دود ناشی از احتراق به سادگی امکان‌پذیر است.

۶- با توجه به اصول پدافند غیرعامل می‌توان تعدادی واحد داخلی و خارجی جایگزین در نظر گرفت که در صورت خرابی هر یک از واحدها، سیستم جایگزین وارد مدار می‌شود. لذا با این سیستم می‌توان احتمال خرابی کل سیستم تهویه را به صفر نزدیک کرد.

۷- در سیستم آبی، خطرات ناشی از ترکیبگی لوله‌ها و آبریزش و آسیب رساندن به تجهیزات برقی و مشکلات دفع فاضلاب وجود دارد که در این سیستم‌ها این مشکلات وجود ندارد.

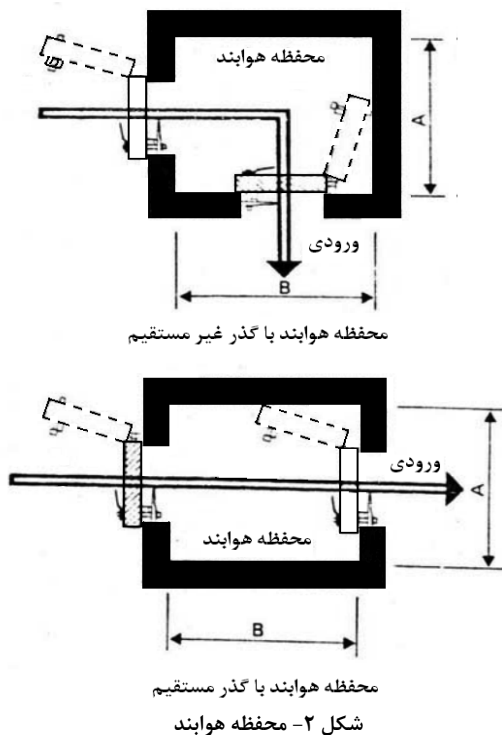
۸- با توجه به اینکه تنها نیاز این سیستم‌ها برق بوده و آن را می‌توان از مناطق مختلف برق شهری یا نصب دیزل ژنراتور در فواصل دور از تونل یا UPS تأمین کرد لذا با این سیستم اصول استتار و اختفا و پراکندگی رعایت می‌شود.

معايب:

۱- در حال حاضر، محدودیت حداکثر فاصله بین واحدهای داخلی و خارجی اسپلیت ۱۰۰ متر در ارتفاع و ۵۰۰ متر در افق می‌باشد.

۲- اسپلیت‌های دیواری هوای تازه را تأمین نمی‌نمایند که می‌توان این مشکل را با استفاده از هواساز اسپلیت یا AHU Split یا با استفاده از نصب فن هوای تازه و اگزاست در ورودی تونل و کانال‌های مربوطه این مشکل را مرتفع کرد.

۳- ظرفیت بار حرارتی اسپلیت‌ها محدود بوده و هزینه مصرف برق آنها در گرمایش نسبت به گاز یا گازوئیل موتورخانه گرمایشی بیشتر است.



۴- با توجه به اینکه در سیستم اسپلیت یونیت موتورخانه حذف شده باید جهت گرمایش آبگرم مصرفی نیز از آبگرمکن‌های الکتریکی استفاده شود. عیب این آبگرمکن‌ها این است که ظرفیت نسبتاً کمتری نسبت به منابع کوبلی دارند و لذا بایستی تعداد دوش‌های حمام که نسبت به سایر وسایل بهداشتی مصرف آبگرم بیشتری دارند، محدود گردد.

۵- با توجه به اینکه فن‌ها در هوای آزاد قرار دارند باید این توانایی را داشته باشند که آلاینده‌ها را حذف کرده [۶] و در برابر حملات شیمیایی، میکروبی و هسته‌ای مقاوم باشند.

۵- سناریوی تهویه

در هنگام حمله دشمن، سناریوی تهویه سازه دفاعی بدین ترتیب بایستی باشد.

۱- کلیه مجاری ورودی و خروجی سازه بایستی حین حمله (اعلام وضعیت قرمز) مسدود باشد.

۲- در وضعیت سفید بایستی پس از تأیید تیم رفع آلودگی NBC، رابط مستهلک شونده که در محل تقاطع درب ضد موج با کانال‌های تهویه نصب شده است تعویض و فن‌های سیستم تهویه فعال شود.

مقدار کمی (حدود ۴ تا ۶ بار در ساعت) تعویض هوا در نظر گرفت.

۲- بایستی جهت محل تجمع افراد در تونل، فشار مثبت در نظر گرفته شود تا دود ناشی از تردد خودروها وارد محل تجمع افراد نگردد. در برخی از سازه‌ها نیز برای عدم ورود دود و بو به پناهگاه یا محل تجمع افراد، از محفظه هواپند استفاده می‌کنند. شکل (۲) محفظه هواپند مکانی است که برای جلوگیری از ورود هوای بیرون و آلوده به داخل سازه ساخته می‌شود. این محفظه دارای دو درب زرهی است که یکی به بیرون باز می‌شود و دیگری برای ورود به فضای اصلی رو به داخل هواپند باز می‌شود. محفظه هواپند باید بیرون درب ورودی و فضای اصلی پناهگاه، در نظر گرفته شود و با نصب درهای ضد انفجار و ضد گاز و سوپاپ‌های لازم، آن را تجهیز نمود. سطح لازم برای اتاقک هواپند برای سازه‌های با ظرفیت تا ۵۰ نفر $1.5m^2$ ، ۵۱ الی ۱۰۰ نفر $3.5m^2$ و ۱۰۱ الی ۱۵۰ نفر $5m^2$ است. محفظه‌های هواپند با زمان ورود کارکنان هماهنگ هستند. بدین ترتیب به منظور از بین بردن بوی بدن کارکنان، دود سیگار، آلاینده‌های مربوط به آشپزی، و سایر موارد مربوط به افراد حاضر، هوای تازه وارد محیط می‌شود.

در سازه‌های بدون محفظه هواپند، هوای مصرفی دفاتر و اتاق‌های کار و سالن‌ها از محدوده اطراف ورودی (همزمان با تهویه سرویس بهداشتی) به بیرون کشیده می‌شود و در سازه‌های با محفظه هواپند، کلیه هوای آلوده و مصرفی باید از طریق محفظه هواپند تخلیه گردد. شکل (۲).

مقدار هوای مناسب خارجی که برای پرسنل کاملاً مکفی می‌باشد توسط فشارسنج، ایرلاک یا محفظه هواپند، سیستم‌های متابولیسمی و سایر اجزاء مانند سیستم پاک‌کننده دود اندازه‌گیری و تعیین می‌شود [۷].

۳- با توجه به اینکه اجباراً بایستی در دهانه‌های ورودی و خروجی تونل جهت تامین هوای تازه و خروجی هوای آلوده، فن در نظر گرفته شود لذا باید اقدامات لازم جهت اختفا و استتار و مقاوم‌سازی آنها با سوله پوششی یا هر روش دیگر مد نظر قرار گیرد. بدیهی است در صورتی می‌توان سوله پوششی در منطقه استفاده نمود که تونل در منطقه صنعتی قرار داشته و هماهنگ با کاربری و پوشش آن منطقه باشد. نمونه‌ای از این سوله که از طبقه پائینی آن جهت تردد خودرو به داخل تونل و از طبقه فوقانی آن جهت استقرار فن‌های اگزاست و کندانسینگ یونیت اسپلیت‌ها استفاده می‌شود در شکل (۳) ارائه شده است.

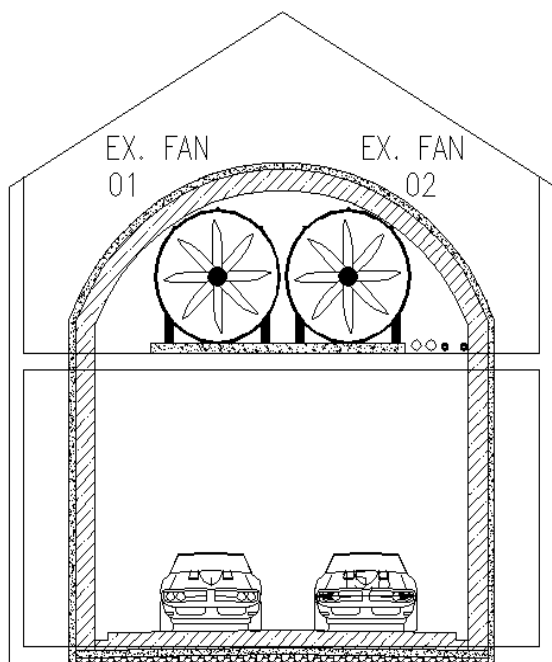
بیشتر شده و چه بسا هوای اگزاست اصلا از سازه تخلیه نگردد.

۲- انتهای شفت‌ها نباید بطور مستقیم به سازه اصلی مرتبط گردد بلکه بایستی انتهای شفت‌ها، انباره در نظر گرفته شود تا در صورت سقوط شیء خارجی به داخل شفت، به‌طور مستقیم وارد سازه نگردد.

۲-۶- اختفای دسترسی ورودی و خروجی سازه

همان‌طور که ملاحظه می‌شود این سازه‌ها حداقل دو دسترسی جهت ورود به سازه با خودرو جهت تخلیه یا بارگیری دارند.

طرح ارائه شده استفاده از یک سوله پوششی دو طبقه است که طبقه همکف آن جهت تردد خودرو و طبقه فوقانی آن جهت نصب فن‌های تهویه و واحدهای خارجی (کندانسینگ یونیت اسپلیت‌ها) می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۳-ب) و (۳-ج) مشخص است ضمن خروج هوای اگزاست، به دفع گرمای واحدهای خارجی اسپلیت‌ها هم کمک می‌شود. بدیهی است استفاده از سوله پوششی دو طبقه در ترانشه ورودی و خروجی تونل، هنگامی نقش اختفای سازه را دارد که کاربری منطقه صنعتی بوده و در سطح منطقه، سوله‌های دیگر با طرح و اندازه سوله پوششی مورد نظر وجود داشته باشند.



الف: مقطع تونل در دسترسی ورودی

۳- بایستی داخل سازه سنسور اکسیژن نصب شده و در صورت کاهش اکسیژن، سیستم‌های اکسیژن‌ساز فعال شوند.

۴- در صورت حمله NBC بایستی آب تغذیه تونل قطع و آب معدنی ذخیره شده در تونل استفاده گردد.

۵- کانال‌های تهویه بایستی مجهز به دمپر آتش باشند تا مانع توسعه حریق از طریق کانال‌های تهویه گردند.

۶- در صورت آتش‌سوزی در داخل تونل بایستی فن‌های هوای تازه خاموش و فن‌های اگزاست جهت خروج دود فعال شوند.

۷- استاندارد ASHRAE، برای سازه‌های صنعتی، تجاری و مسکونی لیستی مشتمل بر ۶۲ مورد تهیه و ارائه نموده است که در آن، حداقل مقدار هوای تازه برای گاراژ یا پارکینگ سرپوشیده که می‌توان معادل تونل‌های دفاعی زیرزمینی در نظر گرفت را برابر ۴ الی ۶ بار در ساعت یا 1.5 CFM/ft^2 پیشنهاد داده است [۶].

۶- ملاحظات کانال‌ها و شفت‌های تهویه

۶-۱- شفت تهویه

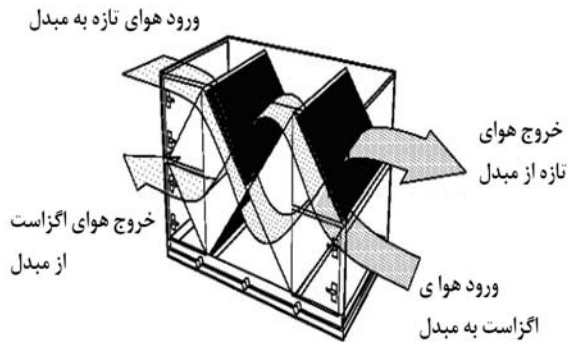
کانال‌های تهویه و شفت‌ها از نقاط مهم و حساس سیستم تهویه یک سازه دفاعی زیرزمینی هستند که در یک عملیات خرابکاری یا حمله دشمن، می‌تواند بیشترین آسیب به سازه اصلی از راه آنها وارد شود. از طرفی ایجاد هرگونه مانع در درون کانال مانع عبور هوا شده و سیستم هوارسانی را مختل می‌نماید. بنابراین در ذیل راهکارهای اجرایی برای ایمن بودن شفت‌ها و کانال‌های تهویه ارائه می‌گردد.

۱- محل خروج هوای شفت‌ها در روی زمین نباید به‌طور مستقیم روی دهانه شفت‌ها قرار گیرد. چرا که در صورت حمله دشمن به دهانه خروجی، شفت آسیب خواهد دید. لذا در تعیین تعداد و محل‌های خروج هوا بایستی اصل پراکندگی و تفرق رعایت گردد.

البته در انتخاب تعداد و فاصله دهانه‌های تخلیه از شفت اصلی بایستی شیب لازم و افت فشار ناشی از طول نیز لحاظ گردد و طول بهینه انتخاب شود. چرا که فاصله زیاد دهانه خروج هوا از شفت‌های تخلیه هرچه بیشتر باشد از نظر پدافند غیرعامل بهتر است چرا که احتمال آسیب رسیدن به سازه کمتر می‌شود ولی نباید غافل بود که در این صورت، افت فشار نیز

در این قسمت، استفاده از نوعی مبدل حرارتی جهت هم‌دماسازی هوای اگزاست با محیط خارج مطرح می‌شود. استفاده از مبدل‌های صفحه‌ای هوا به هوای جریان متقاطع، روشی است که علاوه بر هم‌دماسازی و تأثیر بسیاری در بازیافت انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی پیشنهاد می‌شود.

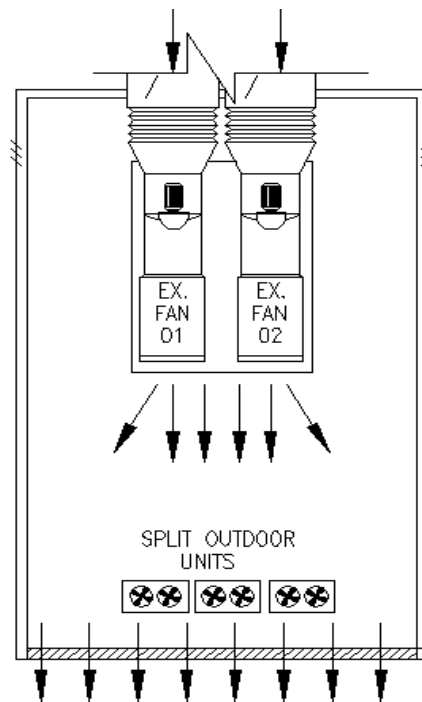
در تونل‌هایی که کانال اگزاست از مجاورت کانال هوای تازه عبور می‌کند این دو جریان هوایی می‌توانند در یک مبدل هوا به هوا تبادل حرارتی نموده و در نتیجه، علاوه بر هم‌دمائی تقریبی هوای خروجی با دمای محیط، صرفه‌جویی انرژی زیادی نیز انجام داد. به عبارت دیگر، در تابستان که هوای تازه وارد سازه می‌شود گرمای خود را به هوای آلوده ولی خنک اگزاست داده و خود پیش سرد می‌شود و هوای اگزاست را نیز گرم نموده و به شرایط دمای محیط بیرون نزدیک می‌کند. در زمستان نیز هوای تازه و سرد خارج در مجاورت با هوای آلوده و گرم اگزاست تبادل حرارت نموده و خود پیش گرم شده و هوای اگزاست را سرد نموده و به دمای محیط خارج نزدیک می‌کند. این مبدل می‌تواند تا ۸۰ درصد انرژی حرارتی را بازیابی نماید. شکل (۴) طرز کار این مبدل را نشان می‌دهد.



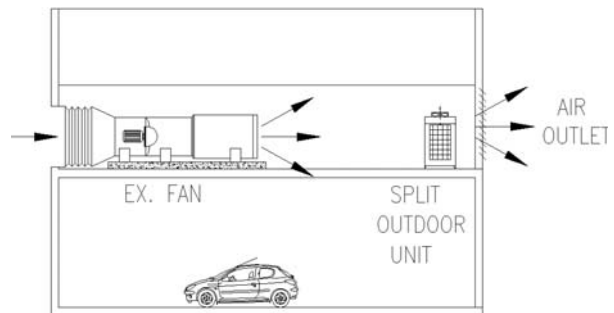
شکل ۴- اصول کار مبدل هوا به هوا [۸]

۴-۶ محل عبور کانال تهویه از درب ضد موج

کانال‌های تهویه بایستی طوری طراحی و اجرا شوند که در حالت عادی به راحتی هوای تازه را وارد و هوای اگزاست را خارج نمایند و در زمان حمله دشمن امواج انفجار نتوانند از آن عبور نمایند. راهکار پیشنهادی برای تحقق این دو امر، استفاده از درب کشویی فرعی برای محل عبور کانال‌ها در روی درب ضد موج و استفاده از رابط قابل انعطاف برای اتصال راهروهای دسترسی به کانال واقع در سازه اصلی است. نحوه کار بدین صورت است که یک تیغه تیز روی



ب: پلان طبقه فوقانی سوله پوششی



ج: برش طولی

شکل ۳- سوله پوششی

۳-۶ هم‌دماسازی روشی جهت اختفا

یکی از راه‌های شناسایی سازه‌های زیرزمینی، اختلاف دمای هوای اگزاست و دمای محیط خارج است. به طوری که گاهی در زمستان که مناطق پوشیده از برف است به راحتی می‌توان مشاهده کرد که برف محیط اطراف دهانه اگزاست تهویه، ذوب شده و نشان از وجود سازه زیرزمینی است. گاهی اوقات این اختلاف دما به حدود ۴۵ درجه سانتیگراد می‌رسد که توسط سنسورهای حرارتی و عکس‌های ماهواره‌ای سازه را به راحتی قابل شناسایی خواهد ساخت.

زمین انتقال داده‌اند. تفاوت اساسی سازه‌های دفاعی، اقامت طولانی مدت انسان در آن است و لذا ملاحظات خاص خود را می‌طلبد.

در این مقاله ضرورت و اهمیت بحث تاسیسات سازه‌های دفاعی زیرزمینی خصوصا سیستم تهویه بحث شد. آنگاه انواع روش‌های تهویه مطبوع و مزایا و معایب هر یک با رویکرد پدافند غیرعامل مورد بحث و بررسی قرار گرفته و با توجه به جمیع ملاحظات فنی و اقتصادی، سیستم گرمایشی اسپلیت یونیت با در نظر گرفتن ملاحظات چند، به عنوان بهترین گزینه پیشنهاد شد.

در ادامه، راهکار استفاده از مبدل هوا به هوا و هم دماسازی هوای اگزاست با دمای محیط برای اختفای شفت خروجی پیشنهاد گردید.

جهت استتار و اختفای فن‌ها در دهانه تونل نیز راهکار استفاده از سوله پوششی برای تردد به داخل تونل همچنین نصب فن‌ها و کندانسینگ یونیت‌ها پیشنهاد شد.

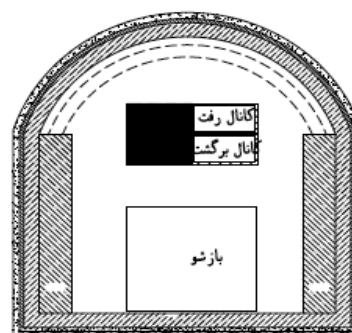
مراجع

۱. پدافند غیرعامل (مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش ششم، (۱۳۸۸).
۲. مدنی، حسن؛ تونل‌سازی، جلد دوم، خدمات فنی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۳. کلانتری، ضوابط طرح و اجرای تونل‌های نظامی، مرکز مطالعات و پژوهش‌های مهندسی سپاه، جلد پنجم، (۱۳۸۴).
۴. صنایع، سپهر؛ مفیدی شمیرانی، سید مجید؛ دهقان‌دخت، مسعود و باهری، احسان؛ بررسی عملکرد مبدل حرارتی هوا به هوا مورد استفاده در ساختمان همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، (۱۳۸۴)

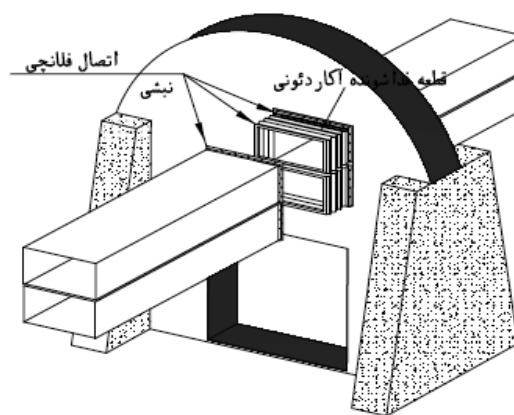
5. Domingo, J., Barbero, R., Iranzo, A., Cuadra, D., Servert, J., and Marcos, M.A., "Analysis and Optimization of Ventilation Systems for an Underground Transport "Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 26 PP. 179-188

درب کشویی ضد موج قرار گرفته که هنگام حمله دشمن درب روی ریل کشویی حرکت نموده و هم‌زمان با برش رابط، محل عبور کانال از درب ضد موج را مسدود می‌نماید. پس از رفع خطر و بازگشت به حالت عادی، رابط مستهلک شده و با قطعه یدک از پیش ساخته شده فلنجی تعویض و سیستم مجددا آماده به کار می‌گردد.

این رابط قابل انعطاف بایستی در برابر حریق مقاوم بوده و در برابر برش مقاوم نباشد. در غیر اینصورت به جای برش کانال، آن را مچاله و جمع خواهد کرد. شکل (۵) نحوه اتصال کانال در محل تقاطع با درب ضد موج را نشان می‌دهد.



درب ضد موج



شکل (۵) نحوه اتصال کانال در محل تقاطع با درب ضد موج

۷- نتیجه‌گیری

تحقیقات انجام شده در زمینه سازه‌های زیرزمینی در جهان منحصر به تونل‌های شهری و جاده‌ای و مترو و پارکینگ‌های زیرزمینی است. چرا که اصولا کشور ما و معدود کشورهای دیگری هستند که همواره از جانب استکبار جهانی تهدید شده و جهت حفظ سرمایه‌های حساس و حیاتی کشور به ناچار آنها را به زیر

6. Chan, M.Y., Burnett, J., and Chow, W.K., "Energy Use for Ventilation Systems in Underground Car Parks", *Building and Environment*, Vol. 33, No. 5, PP. 303-314, (1998).
7. Lin, C.J., Chuah, Y.K., Liu, C.W., "A Study on Underground Tunnel Ventilation for Piston Effects Influenced by Draught Relief Shaft in Subway System", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 28, PP. 372-379, (2008).
8. Chen, T.Y., Lee, Y.T, and Hsu, C.C., "Investigations of Piston-Effect and Jet Fan-Effect in Model Vehicle Tunnels", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 73, PP. 99-110, (1998).
9. Gonzalez, M.L, Vega, M.G, Oro, J., Mariogorta, E.B. "Numerical Modeling of the Piston Effect in Longitudinal Ventilation", *Tunneling and Underground Space Technology*, Vol. 40, PP. 22-37, (2014).
10. ASHRAE Systems, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
11. UFC, "UFC-3-410-01-FA, Heating, Ventilation and Air Conditioning", USA Dep't of Defense, Jan. (2010).
12. UFC, "UFC-3-410-03-FA, Heating, Ventilation and Air Conditioning of Hardening Installation", TM 5-855-1, Dec. (2007).
13. Basham, D. and Wright, J. "Heating, Ventilating, and Air Conditioning of Hardened Installations", Headquarters, Dep't. of the Army, Nov (1986)

Considerations of Designing the Ventilation of Defensive Underground Structures

H. Radmard ¹

M. R. Kheir Andish ²

Abstract

Nowadays, due to hostile threats, most critical and important structures are built underground. Being underground and the camouflage and concealment of these structures impose certain limitations and conditions on their mechanical installations that are never considered for other buildings. The appropriate design of mechanical installations of underground structures with the passive defense approach for normal and critical conditions are so indispensable and sensitive that in case they are designed inappropriately, not only their vulnerability will not reduce but also an underground structure can be turned to a mass cemetery in this regard. Because these installations are easily detectable and vulnerable and also the most important part of an underground structure. This article intends to transfer the experience of its writer regarding design considerations of ventilation and cold and warm facilities of underground structures with the passive defense approach, particularly the camouflage and concealment issues. The ordinary methods of air conditioning and the advantages and disadvantages of each are investigated and then taking the whole technical and economical and passive defense issues into considerations, the appropriate cold and warm and ventilation system of a typical underground structure is suggested. Finally, the executive solutions to prevent the entrance of smoke and contamination to the personnel assembly area and also solutions for the camouflage and concealment of fans and also exhaust air shafts, are explained. The said executive solutions have been already employed in various projects and their performance has been approved which due to their confidentiality nature, their technical details are excluded.

Key Words: *Mechanical Installations, Ventilation, Underground Structures, Passive Defense*

1- Instructor and Academic Member of Imam Hussein Comprehensive University - Writer in Charge

2- Instructor and Academic Member of Imam Hussein Comprehensive University