فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل
سال هفتم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، (پیاپی ۲۷): صص ۱۸-۹

تهدیدات طراحی و اجرای شفت تونل‌ها از منظر پدافند غیرعامل

پرویز رفعتی [*۱]، سید احمد مهدی‌نیا [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۰

چکیده

شفت به‌عنوان یکی از اجزای مهم سازه زیرزمینی و تونل، نقش اساسی در پایداری و استمرار حیات و کارآیی سازه متناسب با عملکرد آن، به‌ویژه در زمان بحران ایفا می‌کند. این سازه یک معبر عمودی یا شیب‌دار (مایل) در زمین است که با کاربری‌های مختلف نظیر مسیر تهویه و کانال تأسیسات، خروجی اضطراری، مسیر میانبر، استخراج مواد معدنی و نیز دسترسی اضطراری در زمان بحران به یک تونل، ساخته می‌شود. کاربرد اصلی شفت در تونل و هر سازه زیرزمینی، تأمین هوای تازه برای افراد و تجهیزات (سرمایش، گرمایش، دیزل ژنراتور، ترانس برق، UPS و غیره) و خروج هوای گرم، گاز و دود دستگاه‌ها و دیزل ژنراتورها می‌باشد. شفت با توجه به میزان روباره، نوع پروژه، شرایط بهره‌برداری، تعداد نیروی انسانی، تعداد و نوع دستگاه‌ها و تجهیزات و به طور کلی نوع کاربری و بهره برداری، به صورت متفاوت طراحی و اجرا می‌گردد. از آنجایی که از یک طرف شکل ظهور شفت در سطح زمین، با توجه به میزان روباره، مورفولوژی و توپوگرافی، نقطه ضعف پروژه و منشاء اثر تهدید محسوب می‌گردد و از طرفی دشمن بر اساس توان ما در احداث سازه‌های امن، راهبرد تولید سلاح‌های خاص خود را تنظیم می‌کند، در این مقاله سعی گردید با بررسی شفت‌ها به‌عنوان نقاط آسیب‌پذیر تونل، راه‌کارهای کاهش آسیب‌پذیری، بهبود کارآمدی و افزایش ضریب ایمنی آن مورد بررسی قرار گرفته و با ارائه راهکارهای عملی و تمهیدات پدافند غیرعامل نظیر مکان‌یابی مناسب، رعایت اصول استتار، فریب و اختفاء، افزایش ضرایب ایمنی سازه دهانه شفت، ایجاد شکست، انحراف و اجرای موج‌گیر در شفت قائم و مایل به منظور کاهش اثر موج انفجار و تمهیدات دیگر از آسیب احتمالی جلوگیری و یا میزان آن حداقل گردد.

کلیدواژه‌ها: پدافند غیرعامل، سازه‌های امن، شفت، آسیب‌پذیری

۱- مربی دانشگاه جامع امام حسین (ع)، prafati@ihu.ac.ir - نویسنده مسئول
۲- پژوهشگر و کارشناس ارشد، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۱- مقدمه

سازه‌های مراکز خاص نظامی، حکومتی و صنعتی باید به‌گونه‌ای طراحی و اجرا گردند که بتوانند حداکثر ایمنی، مقاومت و کارآیی را در طول زمان گذر از بحران و حملات نظامی احتمالی داشته باشند. در انواع بمب‌ها و موشک‌های تخریبی- نفوذی، افزایش قدرت نفوذ در لایه‌های مختلف هدف (خاک، سنگ، فولاد و بتن) و افزایش قدرت تخریب، شاخصه اصلی می‌باشد.

پدافند غیرعامل به عنوان راه‌کار مکمل تجهیزات آفندی، همواره از دیرباز مورد توجه بوده است. با پیشرفت نظامی و تغییر شیوه تهدیدات دشمن، حوزه نفوذ این تمهیدات باید در تمام ساختارهای زیربنایی کشور به‌عنوان یک راهبرد تلقی گردد. در این راستا استفاده از عمق زمین با روباره مناسب و اجرای سازه زیرزمینی، به‌عنوان یک راه‌کار ایمن و مؤثر مورد توجه خاص می‌باشد.

سازه زیرزمینی و تونل از بخش‌های مختلف نظیر دهانه‌های ورودی و خروجی، مسیرهای دسترسی و ارتباطی، سالن‌ها و فضاهای اصلی و فرعی، شفت‌ها و تأسیسات تهویه و نیز خروجی‌های اضطراری تشکیل شده است. نقش هر یک از این اجزا در پایداری و استمرار حیات و کارآیی سازه متناسب با عملکرد آن، حائز اهمیت است.

در یک سازه زیرزمینی و تونل با توجه به روباره و عمق تدفین، تأمین هوای تازه برای نیروی انسانی و تجهیزات (اعم از تأسیسات سرمایشی، دیزل ژنراتورها، ترانسهای برق و UPS ها و ...) و اگزاست هوای گرم تجهیزات و خروج دود دیزل ژنراتورها، از موضوعات اساسی طراحی، اجرا و بهره برداری می‌باشد. این نیازهای مهم با توجه به نوع پروژه و شرایط بهره‌برداری، معمولاً از طریق شفت تأمین می‌گردد.

هدف از این تحقیق بررسی مطالعات محققان مختلف و تلفیق آن با تجارب اجرایی نگارنده و همکاران در پروژه‌های تونلی در جهت ارائه راه‌کارهای لازم برای ایمن سازی نقاط آسیب‌پذیر و کاهش آسیب‌پذیری، بهبود کارآمدی و افزایش ضریب ایمنی، به‌ویژه در شفت تونل‌ها و فضاهای زیرزمینی می‌باشد.

با استفاده از تجارب موجود در پروژه‌های دفاعی و پدافند غیرعامل و لزوم مقاوم سازی تونل‌ها و فضاهای زیرزمینی در برابر جنگ افزارهای مدرن دشمن، سعی گردید، با بررسی شفت‌ها، به تهدیدات و نقاط آسیب‌پذیر و شیوه‌های شناسایی دشمن پرداخته و سپس راه‌کارها و تمهیدات لازم جهت افزایش ایمنی و کاهش آسیب‌پذیری شفت‌ها ارائه گردد.

۲- بحث و بررسی

۲-۱- روش‌های شناسایی سازه‌های مدفون

شناسایی مکان تونل‌ها از طریق منابع ذیل امکان‌پذیر است:

- تصویربرداری توسط ماهواره و هواپیما.
- اندازه‌گیری و رصد علائمی نظیر گرما، صدا، لرزش و یا پسماندهای شیمیایی.
- اطلاعات و تحلیل سیگنال‌های رادیویی یا راداری.
- اطلاعات انسانی و گسیل جاسوس و مخبر.

تصویر برداری طیف مرئی: لوله‌های اگزوز، ورودی‌ها و هرگونه سطح قابل روئیت با اشکال مربع یا مثلث، به سادگی قابل تشخیص هستند. استفاده از پوشش استتاری دارای بازتاب مادون قرمز زیاد، باعث می‌شود که این نوع سطوح با فضای سبز اشتباه شوند. تصاویر سیاه و سفید بیش از سایر انواع عکس‌های ماهواره‌ای کاربرد دارند و باعث برجسته‌تر شدن بازتاب‌ها و وضوح اشیاء بر روی زمین می‌شوند. لذا درصد انعکاس نور یا بازتاب اشیا بر روی زمین، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر در توانایی ماهواره‌ها برای کشف اهداف است. اما با استفاده از رنگ و پوشش متناسب، کلیه تجهیزات پشتیبانی نصب شده در سطح زمین شامل نگهدارنده‌ها، آنتن‌ها و سایر موارد مشابه استتار می‌شوند [۱].

تصویربرداری حرارتی: تصویربرداری حرارتی لندست می‌تواند در یک زمین چمن، خروجی تهویه و یا سازه نزدیک به سطح زمین را کشف و فیلتر طیف آبی آن دود و گازهای خروجی از کانال زیرزمینی را تشخیص دهد.

وقتی هوای گرم از دریچه تهویه سازه مدفون خارج می‌شود، ماهواره می‌تواند این علائم مشخصه را کشف کند. دمای محیط برخی بخش‌های سازه، باعث بالا رفتن دمای زمین اطراف دریچه، لوله آب و خروجی اضطراری می‌شود. در مقابل، روش‌های دیگر می‌تواند بخش‌هایی از سازه نزدیک به زمین را عایق حرارتی نماید. فضای سبز و عایق‌کاری می‌تواند باعث کاهش مشخصه حرارتی سازه زیرزمینی شود. هوای خنک‌تر محیط می‌تواند با هوای گرم‌تر خروجی‌های تهویه ترکیب و مشخصه حرارتی آن را به حداقل برساند [۱].

رادار نفوذ زمینی: رادار نفوذ زمینی[1] که غالباً در سکوهای زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در واقع یک شیوه ژئوفیزیکی جهت تصویربرداری زیرسطحی به منظور آشکارسازی اشیاء، ناهنجاری‌ها و فضاهای خالی واقع در زیر زمین است. از جمله کاربردهای نظامی آن

1 -Ground Penetration Radar

آشکارسازی مین و مهمات عمل نکرده زیرسطحی، فضای زیرزمینی و تونل‌ها است. بدیهی است هرچه طول موج امواج رادیویی کوتاه‌تر باشد، آشکارسازی اشیاء کوچک‌تر میسر ولی عمق نفوذ کاهش می‌یابد. لذا جهت آشکار سازی اشیاء یا پدیده‌های بزرگ در اعماق زیاد (معمولاً تا ۳۰m) از طول موج‌های بلند (۱۰m) و برای آشکارسازی اشیاء کوچک در اعماق کم (زیر ۱m)، از امواج میکروویو استفاده می‌شود [۲]. در ضمن این رادارها برای استفاده در زمین خشک مناسب می‌باشند و برای جستجو در زمین‌های خیس و اشباع شده از آب کارآئی ندارند [۱].

روش تصویر برداری غیرفعال: در این روش از سنجنده‌های غیرفعال استفاده می‌شود. این نوع سنجنده‌ها انرژی مربوط به منابع طبیعی انرژی الکترومغناطیسی را ثبت می‌نمایند. منبع انرژی در این روش می‌تواند انرژی خورشید یا انرژی گسیل‌شده از عوارض و پدیده-های زمینی باشد. انواع سنجنده‌های غیرفعال عبارتند از: سنجنده‌های رادیومتری، میکروویو و مادون قرمز حرارتی [۳].

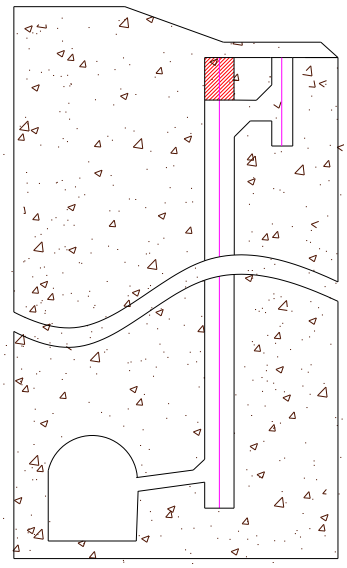
حسگرهای شتاب جاذبه: دستگاهی که معمولاً برای جستجو در اعماق بیشتر از ۲۰m استفاده می‌شود. نیروی جاذبه زمین با تغییر چگالی لایه‌های زیرزمینی تغییر می‌کند و به همین دلیل می‌توان تغییرات چگالی را در زیر سطح زمین مشاهده نمود. این دستگاه شامل شش زوج حسگر شتاب سنج کاملاً مشابه است که در هر لحظه ۱۲ اندازه‌گیری جداگانه از شتاب جاذبه زمین انجام می‌دهند.

برای یک هواپیما که در بالای سطح زمین پرواز می‌کند، تغییرات کاهشی نیروی جاذبه، نمایش‌دهنده وجود سنگ‌های با چگالی کمتر یا حفره‌هایی در زیر زمین است. همچنین تغییرات افزایشی جاذبه، نشان‌دهنده کوه در مسیر پرواز است. وجود سازه‌های مدفون، باعث ایجاد تغییرات میکرونی در جاذبه زمین می‌شود. با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری شتاب کوانتومی، می‌توان از ماهواره‌ها نیز برای جستجوی سازه‌های عمیق بهره‌برداری نمود. این دستگاه با استفاده از اتم‌های سزیم، تغییرات شتاب جاذبه را با دقت بسیار خوبی نمایش می‌دهد [۱].

فعالیت‌های اجرایی سازه‌های مدفون: مسیرهای دسترسی و تردد ماشین آلات از عوامل شناسایی سازه‌های مدفون هستند. بررسی تصاویر در طول یک دوره مشخص از یک ناحیه جغرافیایی خاص، روش مناسبی برای رصد فعالیت‌ها و تغییرات به‌وجود آمده در نواحی است که احتمال وجود سازه‌های مدفون وجود دارد [۱].

۲-۲- ساختار شفت

یکی از بخش‌ها و اجزاء سازه امن و استحکامات که عموماً جهت مصارف تهویه (مکش و دهش هوا) مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱)، شفت‌ها می‌باشند. شفت‌ها با توجه به نوع و هندسه خود، مسیرهایی مناسب جهت انتقال هوای تازه به درون سازه و خروج هوای آلوده از آن می‌باشد [۴].



شکل ۱. طرح کلی از یک شفت عمودی

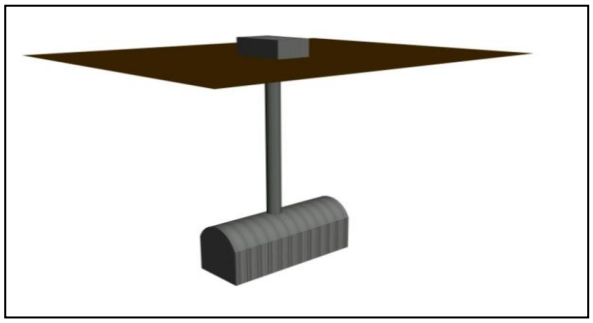
شفت یک معبر عمودی یا شیب‌دار (مایل) در زمین است که با کاربردهای مختلف نظیر مسیر تهویه و کانال تأسیسات، خروجی اضطراری، مسیر میان‌بر، اجرای یکی از قطعات میانی تونل، استخراج معادن و یا دسترسی اضطراری در زمان بحران به یک تونل یا سازه زیرزمینی ساخته می‌شود.

اجزای یک تونل را از جهاتی می‌توان با بدن انسان مقایسه کرد. اگر سازه تونل به عنوان اسکلت بدن و تأسیسات، قلب آن تلقی گردد، مجاری و مبادی ورودی و خروجی تأسیسات (هوای تازه و اگزاست) را می‌توان دستگاه تنفسی نامید. تأمین این مجاری از طریق شفت امکان‌پذیر خواهد بود.

جهت ایجاد استحکامات و سازه‌های امن (مراکز صنعتی، تجهیزاتی، موشکی، فرماندهی و پناهگاهی)، استفاده از عمق زمین راه‌کاری اصولی و اجتناب ناپذیر است. با ایجاد روباره مناسب، خطر آسیب‌پذیری در برابر تسلیحات نفوذی دشمن تا حد قابل قبول کاهش می‌یابد.

از طرفی با استقرار تجهیزات و تأسیسات در اعماق زمین و افزایش روباره، امکان دسترسی به سطح زمین برای تأمین نیازمندی‌های تأسیساتی سخت‌تر خواهد شد. با توجه به ضرورت انکارناپذیر اجرای شفت، جهت تأمین نیازهای مختلف تونل به‌ویژه نیازهای تأسیساتی، معماری، نحوه اتصال و اجرای آن نسبت به سازه اصلی بسیار مهم و از نظر پدافند غیرعامل برای کاربری سازه اصلی،

حیاتی می‌باشد. دو نوع اتصال شفت به تونل به صورت مستقیم (شکل ۲) و اتصال جانبی (شکل ۳) در زیر دیده می شود.



شکل ۲. اتصال شفت به مرکز تونل

شکل ۳. اتصال شفت به کناره تونل

۲-۳- شناسایی نقاط ضعف و تهدیدات

بر اساس کاربری، تجهیزات، موقعیت و اهمیت سایت هر پروژه، باید سناریوها و تهدیدات احتمالی دشمن شناسایی و با تعیین نقاط آسیب‌پذیر، راه‌کارهای مناسب جهت کاهش خسارات اندیشیده و در طراحی و اجرا، لحاظ گردد.

با توجه به اشکال ظهور شفت تونل و سازه زیرزمینی در سطح زمین (شکل ۴)، میزان روباره، ویژگی، مورفولوژی و توپوگرافی منطقه و عوامل دیگر، با شدت و ضعف می‌تواند نقطه ضعف پروژه و منشاء اثر تهدیدات محسوب گردد.

شکل ۴. یکی از اشکال ظهور شفت تونل در سطح زمین

۲-۳-۱- تهدیدات

با شناسایی تهدیدات پرتابی و تخریبی، عوامل مؤثر در تخریب شفت‌ها و در نتیجه آسیب به بخش‌های دیگر سازه و تأسیسات تونل مورد بررسی قرار می‌گیرد. تهدیدات تخریبی به دو گروه کلی تهدیدات طبیعی نظیر سیل و زلزله و تهدیدات غیرطبیعی و انسان‌ساز نظیر انفجار قابل تقسیم است.

بر اساس ضوابط و آیین‌نامه‌های موجود [۳ و ۵] مقابله با مخاطرات طبیعی در شفت‌ها انجام می‌شود. چنانچه سنگ بستر شفت، از مقاومت لازم برخوردار باشد (شکل ۵)، نیازی به تحکیم نخواهد بود. در غیر این صورت معمولاً از راک بلت، لتیس، قاب و مش و شاتکریت با توجه به ساختار و شرایط سنگ، به عنوان نگهداری اولیه و بتن مسلح درجا و یا قطعات بتنی پیش ساخته به عنوان پوشش نهایی استفاده می‌شود (شکل ۶).

شکل ۵. نمایی از شفت حفاری شده بدون نگهداری اولیه

شکل ۶. نمایی از یک شفتِ حفاری، تحکیم و لاینینگ شده

در آنالیز پایداری شفت‌ها باید تنش‌های قائم و افقی کنترل گردد. بدیهی است، انتخاب مدل ریاضی به گسترش ناحیه پلاستیک در اثر توزیع مجدد تنش‌های اولیه[1] در مجاورت شفت حفاری شده در صفحه افقی یا قائم، بستگی دارد. در حالت اول، یک آنالیز دو بعدی و در حالت قائم آنالیز سه بعدی باید انجام شود [۶ و ۷].

1- In situ stress

امکان مخاطرات انسان ساخت در شفت تونل از دو طریق زیر وجود دارد:

۱- عملیات خرابکارانه و تروریستی (بمب‌گذاری و پرتاب مواد منفجره به داخل سازه شفت)

۲- حملات پرتابه‌ای، موشکی و بمباران (اصابت مستقیم به سازه شفت)

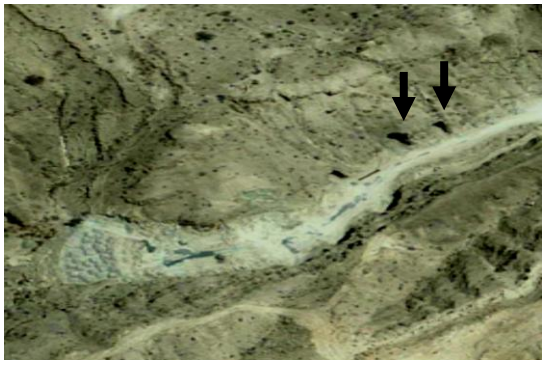
با توجه به تمهیدات حفاظتی، وقوع عملیات خرابکارانه از احتمال کمی برخوردار است و درصورت وقوع، قدرت تخریبی نسبتاً کم خواهد داشت. اما بمباران و حملات موشکی در شرایط جنگی با توجه به سامانه‌های کنترلی و هدایتی تسلیحات و قدرت تخریبی بالا، بیشترین احتمال آسیب‌رسانی را خواهد داشت. هدف‌یابی دقیق‌تر و سرجنگی با قدرت تخریبی بیشتر، موجب خسارات بیشتر خواهد بود.

امروزه دشمن با توجه به توان ایران در احداث سازه‌های امن، راهبرد تولید سلاح‌های خاص خود را تنظیم می‌کند که نمونه آن سری GBU57 است که برای مقابله با تأسیسات زیرزمینی ایران، طراحی و ساخته شده است. با توجه به تأکید بر افزایش عمق اجرای سازه‌های زیرزمینی و روباره تونل‌ها، به‌کارگیری تسلیحات با قدرت نفوذ بالا (مثلاً، ۳۰m نفوذ در خاک و نیز چندین متر دال بتن مسلح) و قدرت تخریبی زیاد، راهبرد و راه‌کار مهم دشمن در جنگ‌های اخیر بوده است (شکل ۷).

شکل ۷. تخریب سازه ورودی شفت یکی از پناهگاه های تونلی (جنگ آمریکا – عراق)

۲-۳-۲- نقاط ضعف و آسیب‌پذیر

در هر تونل و سازه زیرزمینی، دهانه‌های ورود و خروج، مسیرهای دسترسی با روباره کم و شفت‌ها، نقاط آسیب‌پذیر می‌باشند. دهانه شفت به ویژه در زمان اجرا و همچنین بهره‌برداری، عامل بسیار مؤثر در شناسایی سازه زیرزمینی محسوب می‌گردد. امروزه تجهیزات ماهواره‌ای هرگونه دست خوردگی و تغییرات فیزیکی در زمین را رصد می‌کنند. در تصویر ماهواره‌ای مطابق شکل ۸)، عدم اجرای پوشش مناسب بر روی دهانه شفت و نیز مسیر منتهی به پروژه، موجب شده تا دهانه شفت به وضوح قابل شناسایی باشد.



شکل ۸. پوشش نامناسب بر روی دهانه‌ها و دسترسی تونل‌های در حال اجرا

البته طراحی و نوع معماری شفت نیز در کاهش میزان آسیب‌پذیری، بسیار تأثیرگذار خواهد بود. به‌طور مثال شفت قائم با نقاط ضعف و معایب ذیل، احتمال بیشترین آسیب را دارد:

۱- امکان شناسایی دهانه، شکل، پلان و مشخصات اجرایی.

۲- سختی تردد نفرات، هنگام خروجی اضطراری و یا تعمیرات، با توجه به روباره و ارتفاع زیاد شفت قائم.

۳- با تخریب دهانه شفت، کل مقطع شفت مسدود و تأسیسات آن و در اغلب موارد کل پروژه بلا استفاده خواهد بود.

۴- با ورود موج انفجار به داخل شفت، آسیب‌پذیری تأسیسات، تجهیزات و نیروی انسانی فعال در تونل، افزایش می‌یابد. (در شفت با کانال تأسیساتی (شکل ۹)، حتی در صورت وجود درب ضد انفجار، مسیر کانال به‌عنوان نقطه ضعف، موج انفجار را عبور می‌دهد).

۵- پرتاب بسته‌های انفجاری به درون شفت قائم و امکان آسیب مستقیم به سازه اصلی.

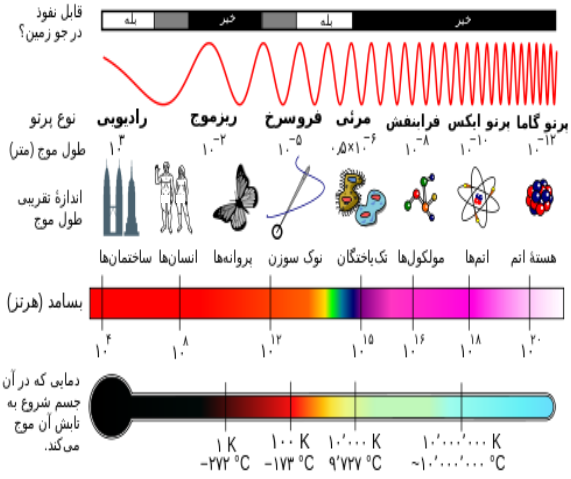
شکل ۹. مسیر اتصال شفت به سازه مرکزی تونل

۲-۳-۳- شناسایی دهانه شفت

امروزه با پیشرفت سنجنده‌های فضایی، شناسایی دهانه ورودی شفت و به‌طور کلی فضاهای زیرزمینی، به‌روش‌های مختلف صورت می‌گیرد که مقابله با هر یک، نیازمند راه‌کار مناسب است. نود درصد از سنجنده‌ها در پنج ناحیه طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز حرارتی، راداری و ماوراء بنفش عمل می‌کنند (شکل ۱۰). این سنجنده‌ها به دو گروه فعال و غیرفعال تقسیم می‌شوند:

الف- سنجنده‌های غیرفعال که قابلیت تشخیص تشعشعات الکترومغناطیسی منعکس شده از منابع طبیعی زمین را دارند.

ب- سنجنده‌های فعال، پاسخ‌های منعکس شده از پدیده‌هایی که توسط منابع انرژی مصنوعی مثل رادار مورد تابش قرار گرفته‌اند را دریافت می‌کنند [۸].



شکل ۱۰. طیف امواج الکترو مغناطیس

ماهواره‌های شناسایی و مراقبت (جاسوسی): ماهواره‌های جاسوسی و شناسایی از ابزارهای مهم نیروهای نظامی و سرویس‌های اطلاعاتی جهت کسب اطلاعات امنیتی، سیاسی و نظامی در خصوص فعالیت‌های کشورهای هدف (دشمن) به شمار می‌روند [۲].

اطلاعات جمع‌آوری‌شده توسط ماهواره‌های جاسوسی شامل سه دسته اطلاعات الکترونیکی، اطلاعات اندازه‌گیری و علامتی حرارتی و نیز اطلاعات تصویری می‌باشد. بر این اساس انواع این ماهواره‌ها عبارتند از:

ماهواره‌های اطلاعات الکترونیکی: مأموریت ماهواره‌های اطلاعات الکترونیکی[1] جاسوسی، شنود سیگنال‌های الکترونیکی، فعالیت‌ها و اهداف جاسوسی مختلف از قبیل تعیین موقعیت، رهگیری و تجزیه و تحلیل فرستنده‌های راداری می‌باشد. تنها سه کشور آمریکا، فرانسه و روسیه دارای این نوع ماهواره‌های فعال می‌باشند [۲].

ماهواره‌های هشدار اولیه[2]: وظیفه اصلی آن‌ها آگاهی از پرتاب‌های موشک قاره‌پیما[3] و انفجارات است. این ماهواره‌ها به کمک جاروبگرهای غیرتصویربردار مادون قرمز حرارتی، حرارت ناشی از موشک‌ها یا وقوع انفجارات مختلف را آشکارسازی نموده و نتایج را تنها پس از چند ثانیه از وقوع پرتاب یا انفجار به ایستگاه زمینی مخابره می‌کنند. ردیابی و تله‌متری[4] موشک‌ها نیز به کمک این ماهواره‌ها صورت می‌گیرد [۲].

ماهواره‌های تصویربرداری: این ماهواره‌های جاسوسی با مأموریت کسب اطلاعات تصویری، شامل دو دسته ماهواره‌های هواشناسی و شناسایی و مراقبت می‌باشند. از کاربردهای مهم ماهواره‌های تصویربرداری شناسایی و مراقبت (ماهواره‌های جاسوسی تصویربرداری) که هم در زمان صلح و هم در زمان جنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد، شناسایی و مراقبت از اهداف نظامی با تصویربرداری مرئی، حرارتی و راداری است. از جمله کاربردهای این نوع ماهواره‌ها، شناسایی سایت راداری، هواپیما، موشک و زیردریایی، میادین مین، صنایع نظامی و تجهیزات دفاعی، مراکز فرماندهی و قرارگاه نیروها، تجزیه و تحلیل و پایش استقرار نیروها، تجزیه و تحلیل و پایش فرودگاه و بندرگاه، تجزیه و تحلیل و پایش حرکت وسایل نقلیه، ارزیابی میزان خسارت‌های جنگ است [۲].

عکس‌برداری هوایی: ساده‌ترین روش شناسایی، استفاده از تصاویری است که از طریق دوربین‌های قوی نصب‌شده بر روی هواپیما و ماهواره با دقت بسیار بالا به‌دست می‌آید. این دوربین‌ها معمولاً در دامنه طول موج طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک (۰/۳ µm تا ۲/۵) حساس هستند. نمونه‌ای از این نوع تصاویر در شکل ۱۱) ملاحظه می‌شود. تصویر مربوط به ورودی یک سازه زیرزمینی است که از ارتفاع ۱۸۰km، با یک دوربین تلسکوپی به طول ۲ m نصب شده بر روی ماهواره KH-11 گرفته شده است.

شکل ۱۱. دهانه‌های ورودی قابل تشخیص سازه زیرزمینی با دپو خاک ناشی از حفاری

1 - Imagery Intelligence

2 - Early -Warning

3 - Ballistic

۴- اندازه‌گیری‌های مربوط به مشخصات فیزیکی

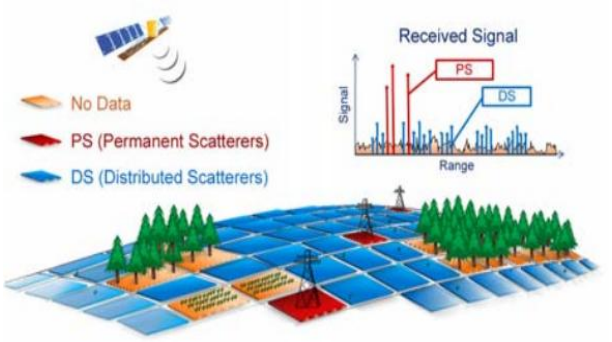
استفاده از حسگرهای مادون قرمز حرارتی: هر جسم با دمای بالاتر از صفر مطلق، دارای تابش الکترومغناطیسی است. محدوده این تابش برای اجسام طبیعی معمولاً دمای ^{o}k ۳۰۰ - ۲۵۰ است. در ناحیه طول موج μm ۵-۳ در طیف مادون قرمز و اجسام مصنوعی ساخت بشر که معمولاً دمای بالاتری دارند، در پنجره انتقال آتمسفری μm ۱۴-۸ طیف مادون قرمز واقع می شوند که به این ترتیب قابل شناسایی از محیط اطراف خود می‌باشند. حسگرها می‌توانند اجسام با اختلاف دمای $^{\circ}C$ ۴ را از هم تشخیص دهند، بنابراین اشیاء و سازه‌های مصنوعی دارای اختلاف دما با محیط اطراف، به‌خصوص آن‌هایی که در درون خود دارای یک منبع گرمازا هستند، قابل شناسایی می‌باشند.

استفاده از سامانه راداری: رادار نسبت به دو روش دیگر از مزایایی برخوردار است. از جمله این‌که در شرایط جوی مختلف به‌طور شبانه-روزی عمل می‌کند. در ضمن داده‌های مربوط به ناهمواری، شیب و هدایت الکتریکی اجسام را دریافت و آشکار می‌سازد.

سامانه راداری جزء سنجنده‌های فعال محسوب می‌شود. به این معنی که رادار امواج راداری[1] را به سمت هدف ارسال و از میزان امواج برگشتی، نوع و موقعیت هدف را تشخیص می‌دهد (شکل ۱۲).

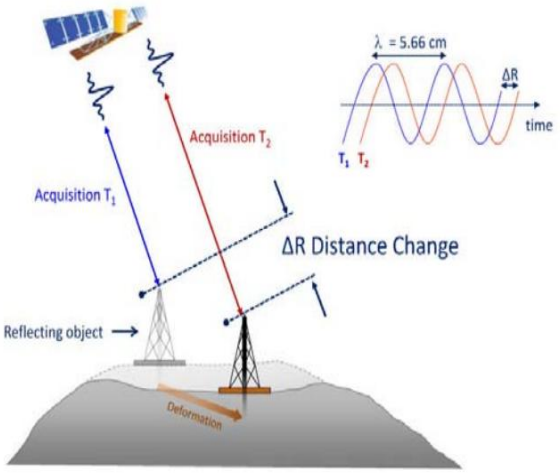
یکی از سنجنده‌های پیشرفته مورد استفاده در علوم زمین، رادار با گشودگی ترکیبی (SAR-Synthetic Aperature Radar) می‌باشد (شکل ۱۳).

از ویژگی‌های این سنجنده، تهیه نقشه‌های توپوگرافی از نواحی دارای پوشش دائمی ابر، مطالعه حرکات پوسته زمین، اندازه گیری مقدار نزولات جوی و شدت آن می‌باشد [۴].



شکل ۱۲. تصویر شماتیک انعکاس امواج راداری در محیط‌های مختلف

۱- این امواج در محدوده فرکانس ۳MHz تا ۳۰۰GHz طیف الکترومغناطیس قرار می‌گیرند.



شکل ۱۳. تصویر شماتیک جابه‌جایی زمین و تغییر سیگنال منعکس‌شده به سنجنده SAR. طول موج اندازه‌گیری‌شده مربوط به نصب سنجنده بر روی ماهواره ERS (آژانس فضایی اروپا) می‌باشد.

۳- راه‌کارهای مقابله با شناسایی

دشمن همواره درصدد شناسایی پروژه‌ها و نقاط حساس آن است، لذا باید تلاش شود، حتی الامکان پروژه‌ها شناسایی نگردند و در صورت شناسایی، به مجموعه آسیب جدی وارد نشود و در صورت آسیب، در کمترین زمان به وضعیت اولیه بازگردد. بدین منظور ضروری است، اصول کلی پدافند غیرعامل و از جمله موارد ذیل رعایت گردد.

- پروژه مورد شناسایی سامانه تجسسی دشمن قرار نگیرد.
- در صورت شناسایی، مورد هدف‌گیری دقیق نباشد.
- در صورت شناسایی، حتی الامکان دشمن را فریب دهد.
- در صورت شناسایی، در تیررس دشمن قرار نگیرد.
- از اصابت، ورود و نفوذ پرتابه به هدف جلوگیری شود.
- حداقل آسیب‌پذیری در سازه، تأسیسات و نیروی‌انسانی ایجاد شود.
- در صورت آسیب، سریعاً قابل جایگزینی، تعمیر و ترمیم باشد.

جهت نیل به این هدف، به‌کارگیری تدابیر و تمهیدات زیر توصیه می‌گردد:

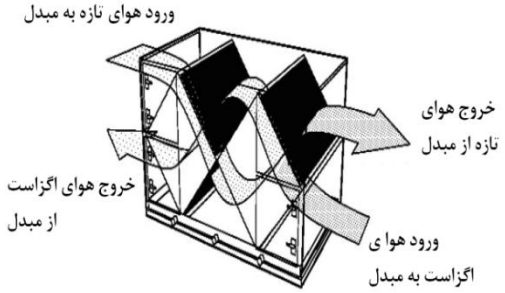
۱- مکان‌یابی مناسب اجرای شفت، فاصله با سازه اصلی و استفاده از عوارض طبیعی جهت دهانه شفت.

۲- رعایت اصول CCD (اختفاء، استتار و فریب) در دهانه‌های شفت:

- در محل خروج در سطح زمین، هر شفت دارای دو یا چند دهانه باشد.
- اجرای دهانه شفت‌های کاذب جهت فریب سامانه شناسایی و ردیابی دشمن.
- یکسان‌سازی دمای ظاهری دهانه شفت با دمای محیط بیرونی. (مثلاً استفاده از پوشش‌های مناسب اپتیکی در دهانه).
- استفاده از پوشش مناسب و همشکل با محیط و با استحکام نسبی، جهت جلوگیری از شناسایی دقیق هدف در زمان اجرا. (مثلاً استفاده از پوشش گیاهی براساس الگوی غالب منطقه).
- راه‌کار استفاده از مبدل هوا به هوا و هم دماسازی هوای اگزاست با دمای محیط برای اختفای شفت خروجی (هم‌دما سازی روشی جهت اختفا).

در این روش با استفاده از نوعی مبدل حرارتی هم‌دماسازی هوای اگزاست با محیط خارج انجام می‌شود. که علاوه بر هم‌دماسازی، تأثیر بسیاری در بازیافت انرژی و بهینه سازی مصرف انرژی نیز دارد.

در تونل‌هایی که کانال اگزاست از مجاورت کانال هوای تازه عبور می‌کند، این دو جریان هوائی در یک مبدل هوا به هوا می‌توانند تبادل حرارتی نموده، در نتیجه علاوه بر هم‌دمائی تقریبی هوای خروجی با دمای محیط، صرفه‌جوئی انرژی زیادی نیز انجام می‌شود. به عبارت دیگر در تابستان که هوای تازه وارد سازه می‌شود گرمای خود را به هوای آلوده ولی خنک اگزاست داده و خود پیش‌سرد می‌شود و هوای اگزاست را نیز گرم نموده 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 می تواند تا ۸۰ درصد انرژی حرارتی را بازیابی نماید. شکل ۱۴) طرز کار این مبدل را نشان می‌دهد [۸].



شکل ۱۴. اصول کار مبدل هوا به هوا

۳- افزایش ضرایب ایمنی سازه دهانه‌های خروجی شفت با رعایت اصل کوچک‌سازی و ایجاد استحکامات مناسب. هر سازه‌ای که از نظر تابش حرارتی با پس زمینه محل قرارگیری شفت متفاوت باشد با حسگرهای مادون قرمز حرارتی قابل شناسایی است. همچنین استفاده از تجهیزات و اشیای دارای ضریب نشر بالای امواج الکترومغناطیس در دهانه شفت، موقعیت دهانه را به خطر می‌اندازد.

۴- 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.

۵- 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، بطور مستقیم وارد سازه نگردد. اما در مواقع ضرورت با توجه به ارتباط و اتصال مستقیم بعضی از شفت‌ها به بخش اصلی سازه، این مسیر علاوه بر کارآیی، خود در معرض تهدیداتی چون ورود مستقیم موج انفجار و آلودگی‌های هسته‌ای، بیولوژیکی و شیمیایی به درون این بخش است. بر این اساس باید از تمهیداتی خاص (برای مثال شیرهای ضد موج و فیلترهای رفع آلودگی هسته‌ای، بیولوژیکی و شیمیایی) برای مقابله با این تهدیدات استفاده نمود.

۶- یکنواخت‌سازی هوای خروجی شفت به محیط از نظر دما و فشار در زمان بهره‌برداری. (در صورتی‌که هوای خروجی باعث گرم شدن اشیاء و دهانه شفت نشود، توسط حسگر مادون قرمز قابل شناسایی نخواهد بود).

محاسبات و روابط عملکردی مبدل های هوا- هوا:

- **بازده گرمایی**

– **روش: NTU**

در این روش بازده تابع گرمائی NTU و $\frac{C_{min}}{\dot{C}_{max}}$ می‌باشد.

$$\varepsilon_s = 1 - \exp\left[\frac{\exp(-NTU^{0.78}\dot{C}_{\min}/\dot{C}_{\max}) - 1}{NTU^{-0.22}\dot{C}_{\min}/\dot{C}_{\max})}\right]$$

$$NTU = \frac{A_{tot}U}{(\dot{m}c_{pa})_{\min}}$$

$$U = \left[\frac{1}{h_s} + \frac{3\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_c}\right] \quad ,\lambda = 229(W/m.K)$$

$$h = \frac{Nu.k}{d_h}(W/m^2.K), \qquad d_h = \frac{4.A_{ch}}{p}$$

$$Nu = j.\mathrm{Re}.\mathrm{Pr}^{(1/3)}\ , \qquad j = 0.04\,\mathrm{Re}^{-0.28}\ ,$$

$$\mathrm{Re} = \rho\upsilon d_h/\alpha \qquad ,\mathrm{Pr} = \frac{\alpha C_p}{k}$$

- **روش تجربی:**

$$\varepsilon_s = \frac{\dot{m}_s (T_{si} - T_{so)}}{\dot{m}_{\min} (T_{si} - T_{ei)}}$$

T_{si} دمای هوای تازه ورودی به مبدل

T_{so} دمای هوای تازه خروجی از مبدل

T_{ei} دمای هوای آلوده ورودی به مبدل

$\dot{m}_s$ kg/s نرخ جرمی هوای تازه

$\dot{m}_{\min}$ kg/s حداقل نرخ جرمی هوای تازه و هوای آلوده

- **افت فشار رابطه تئوری:**

$$\frac{\Delta p}{p_1} = \frac{V_1^2 / 2g}{p_1 / p_2} \times [\, f \frac{A.v_m}{A_c.v_1} + \left(k_c + (1-\sigma^2\right) + (1-\sigma^2 - K_e(\frac{v_2}{v_1})) + 2(\frac{v_2}{v_1} - 1)]$$

اندازه‌گیری تجربی: عبارت است از اختلاف فشار هوای تازه در قبل و بعد از عبور از هسته مبدل حرارتی هوا به هوا [۹]

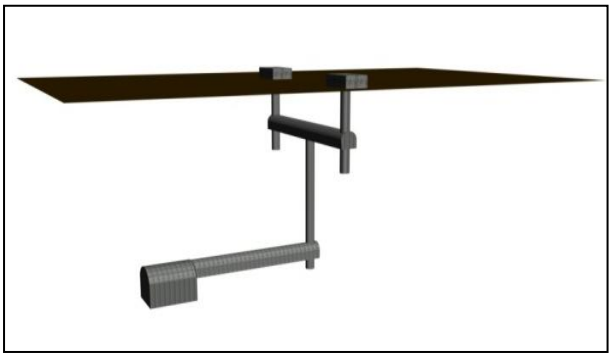
۷- با توجه به عمق و روباره سازه اصلی و ارتفاع شفت، استفاده صرف از گزینه شفت قائم، ریسک‌پذیری را افزایش می‌دهد (شکل ۱۵).

۸- ایجاد شکست، انحراف و موج‌گیر در شفت‌های قائم و مایل به‌منظور کاهش اثر موج انفجار.

۹- ایجاد حداکثر فاصله بین دو دهانه شفت با رعایت محدودیت مکانی و الزامات تأسیساتی، به‌طوری که درصورت آسیب یکی از دهانه‌ها، دیگری قابل استفاده باشد.

شکل ۱۵. پله خروج اضطراری و تأسیسات در یک شفت تهویه

۱۰- اجرای شفت به صورت ترکیب گالری (شفت مایل) و شفت عمود به‌جای استفاده از شفت قائم (شکل ۱۶)، با توجه به روباره تونل، توپوگرافی منطقه و الزامات بهره‌بردار.



شکل ۱۶. نمونه‌ای از مدل پیشنهادی اجرای شفت به صورت ترکیب شفت مایل (گالری) و شفت قائم

۴- نتیجه‌گیری

هرچند که استفاده از تونل و سازه زیرزمینی به‌عنوان یک سازه امن پناهگاهی، تجهیزاتی و سازه مهم و راهبردی، یک راه‌کار اصولی و لازم است، اما درصورتی که در طراحی و اجرای آن، اصول پدافند غیرعامل مراعات نگردد، ممکن است، کارآیی لازم را نداشته و در شرایط بحران لطمات جبران‌ناپذیر جانی و مالی به‌همراه داشته باشد.

شفت ازجمله موارد آسیب‌پذیر و قابل شناسایی در تونل می‌باشد. اجرای شفت در این سازه به‌عنوان مجاری تهویه و یا خروج اضطراری در بسیاری از موارد اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی شفت یکی از نقاط حساس و آسیب‌پذیر تونل محسوب می‌شود. لذا جلوگیری از شناسایی آن در زمان اجرا و بهره‌برداری و همچنین به حداقل رساندن آسیب در صورت شناسایی، از الزامات پدافند غیرعامل به شمار می‌رود. به‌کارگیری راه‌کارهای ارائه‌شده در این مقاله از جمله موارد ذیل، می‌تواند ایمنی را افزایش و از وارد شدن آسیب جدی به سازه زیرزمینی و تونل جلوگیری نماید.

الف- جلوگیری از اجرای شفت به‌صورت قائم و استفاده از ترکیب گالری (شفت مایل) و شفت قائم.

ب- در طراحی هر شفت، حداقل دو دهانه خروجی لحاظ و جهت کاهش اثر موج انفجار، ارتباط دهانه‌ها به‌صورت لوپ، طراحی و اجرا شود.

ت- اجرای سازه استتاری در محل خروجی شفت در سطح زمین، قبل از شروع عملیات حفاری. به منظور افزایش استحکام سازه پوششی و استتار، در صورت امکان، با مصالحی همچون خاک رس و مواد با خواص دی‌الکتریک و مغناطیسی پوشیده و با شکل طبیعت اطراف هماهنگ شود. ایجاد سازه پوششی با ابعاد مناسب، امکان شناسایی از طریق عکس‌برداری حرارتی و ... را کاهش می‌دهد.

ث- طراحی و اجرای موج‌گیر تا چندین متر زیر کف تونل اصلی به منظور کاهش اثرات موج و نیز تجمیع آوار ناشی از آسیب و تخریب احتمالی در انتهای هر شفت و محل اتصال در جوار سازه تونل.

ج- پرهیز از اجرای کانال تأسیساتی در شفت‌های انتهایی نزدیک به سطح زمین که در صورت تخریب یا آسیب شفت، حداقل خسارت به تأسیسات وارد و بازیابی آن سریع‌تر امکان‌پذیر باشد.

چ- شفت‌ها نباید به نقاط حساس تونل‌ها و سازه‌های زیرسطحی منتهی‌شده و باید در بخش‌های غیرحساس نظیر ورودی و خروجی‌ها و نظایر آن متصل شوند.

۵- مراجع

۱. حسینی یگانه، سید محمد، مقایسه بازدهی طرح‌های فریب و مقاوم سازی در ایمنی سازه‌های مدفون، همایش مدیریت ساخت با رویکرد پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین(علیه السلام) ، ۱۳۹۰.

۲. خزایی، صفا، مبانی سنجش از دور با نگرشی بر شناسایی و مراقبت، چاپ اول، تهران، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه جامع امام حسین(ع)، ۱۳۸۸.

۳. خزایی، صفا، حسینی، سید عظیم، منیری، حمیدرضا، ملاحظات اساسی پدافند غیرعامل در حین ساخت سازه‌های زیرزمینی به منظور اجتناب از شناسایی توسط سامانه‌های سنجش از دور، همایش مدیریت ساخت با رویکرد پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، ۱۳۹۰.

۴. گواهی، تورج، مقدمه‌ای بر سازه‌های امن و استحکامات، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه جامع امام حسین(علیه السلام)، چاپ اول، تهران، ۱۳۹۱.

۵. مرکزتحقیقات ساختمان و مسکن، پیش نویس مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان، ویرایش ششم، مرداد ۱۳۸۸.

۶. مهاجری، امیرهومان، فولادگر، اصغر، آنالیزو طراحی شفت km0+750 تونل سوم کوهرنگ، ششمین همایش تونل، بهمن ۱۳۸۲.

۷. سایت انجمن علمی تونل ایران، تونل‌های عبور و مرور خودرو، http://www.irta.ir

۸. رادمرد، حسن، خیراندیش، محمدرضا، ملاحظات طراحی تاسیسات تهویه سازه های دفاعی زیر زمینی با رویکرد پدافند غیر عامل، فصلنامه علمی ترویجی پدافند غیرعامل، سال پنجم، شماره ۱(پیاپی۱۷)، صص ۷۱-۶۱، بهار۱۳۹۳.

۹. رادمرد، حسن، اسلامی‌نیا، اسماعیل، ارائه ایدهای نو جهت اختفا سازه‌های دفاعی زیرزمینی با کاربرد مبدل حرارتی هوا به هوا، همایش سراسری پدافند غیرعامل در علوم و مهندسی با تأکید بر استتار، اختفا و فریب، ۳۰ بهمن ۱۳۹۲.

۱۰. پایگاه ملی داده های علوم زمین- سنجش از راه دور

۱۱. سایت پرشین تولز، آشنایی با تجهیزات یک سامانه، http://forum.persiantools.com

۱۲. سایت دانشگاه عالی دفاع ملی، فرماندهی و کنترل، http://www.sndu.ac.ir

۱۳. سایت سازمان پیشگیری و مرکز مدیریت بحران شهر تهران، مرکز فرماندهی و کنترل، http://tdmmo.tehran.ir

۱۴. سایت سیویل دیفنس، ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی یک مرکز داده امن زیرزمینی.

۱۵. http://civil-defense.persianblog.ir

۱۶. سایت‌پردازنت، http://www.pardaz.net/data_center.html

17. C. Giannico, A. Ferretti, S. Alberti, and S. Delconte, “Application of satellite radar interferometery for tunnel and under ground infrastructures damage assessment and monitoring,” WTC, 2013.

18. U. S. ARMY Crops of Engineers, “Engineering and Design Tunnels and Shafts in Rock,” Washington, Dc, 20314-1000, 1997.

19. D. R. McCreath, “Analysis of Formation Pressures in Tunnel and Shaft Linings,” M. S. Engineering Thesis, University of Alberta, 73 pp, 1980.

Threats of Design and Implementation of Tunnels Shafts in Passive Defense Point of View

P. Rafati* , S. A. Mahdinia

Abstract

Shaft as a main member of underground structure and tunnel, has a basic role in stability, durability and structure workability according its utilization in critical condition. It is a vertical or inclined structure with different utilities such as air ventilation, installation canal, emergency exit, shortcut way, ore extraction and emergency access in crucial situation. The main usage of shaft in tunnel and each underground structures, is providing of Fresh air inlets for people and equipments and exhausts which designed and constructed according to overburden, kind of project, condition of usage, number of people and equipments in form of vertical or inclined shafts form the basis of tunnel ventilations. Since the seeing the tip of the shaft at ground level, according to overburden, morphology and topography, is the disadvantage of the project and the source of the threat and on the other hand, enemy produces his weapons according to our ability to build safe structures. In this article we tried to analyze the shafts as tunnel vulnerabilities, in order to evaluate the ways of reducing vulnerability, Improve efficiency and increase safety and providing practical solutions and passive defense solution such as good site selection, regard the principles of CCD, Increase the safety factor of the structure span of the shaft, Creating failure, Diversion and construction of damper in vertical and inclined shaft In order to reduce the effect of shock waves to prevent or decrease possible damages.

Key Words: *Passive Defense, Safe Structures, Shaft, Vulnerability*

* Imam Hussein Comprehensive University (prafati@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge