فصلنامه پدافند غیرعامل

سال دوم، شماره ۳، تابستان و پاییز ۱۳۹۰، (پیاپی ۷): صص ۵۳-۵۹

تبیین روش‌های کاهش اثر انفجار در ورودی‌های فضاهای امن زیرزمینی

عباس اکبرپور[۱]، سید عظیم حسینی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۹/۰۷
تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۲۶

چکیده

برای کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و سازه‌های پر اهمیت راهبردی و عملیاتی در برابر سلاح‌های دشمن، معمولاً آن‌ها را به عمق مناسبی از زمین منتقل می‌نمایند و تنها راه ارتباطی این فضاها با محیط خارج، ورودی‌ها و خروجی‌های آن‌ها می‌باشد که در صورت آسیب آن‌ها ارتباط با محیط خارج قطع گردیده و افراد و تجهیزات داخل فضای امن محبوس می‌گردند. بنابراین باید طراحی این ورودی‌ها به‌گونه‌ای باشد که امواج انفجار را کاهش داده و از ورود این امواج به داخل فضای امن زیرزمینی جلوگیری نماید. هدف از این پژوهش، تبیین نقاط قوت و ضعف روش‌های مختلف کاهش موج انفجار در ورودی فضاهای امن می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از روش توصیفی و استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، انواع روش‌های کاهش اثر انفجار بر روی ورودی‌های فضاهای امن زیرزمینی بررسی گردیده و با تحلیل محتوایی آن‌ها، به نقاط قوت و ضعف هر یک پرداخته شده است. در نهایت، این نتیجه حاصل شد که تنها استفاده از یک روش ممکن است کافی نباشد و می‌توان از چند روش به‌صورت مکمل یکدیگر بهره برد.

کلیدواژه‌ها: انفجار، پدافند غیرعامل، ورودی فضاهای زیرزمینی، فضای امن، تهدید

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی و مهندسی، استادیار، دکتری دینامیک سازه، Email: A.Akbarpour@azad.ac.ir
۲- دانش‌آموخته مهندسی پدافند غیرعامل – گرایش سازه امن دانشگاه جامع امام حسین(ع)، E-mail: s_a_hosseini_t@yahoo.com

۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت سلاح‌های دشمن و اهمیت عمل‌کردهای حیاتی و راهبردی نظیر مراکز داده، مراکز مخابراتی، مراکز صنعتی با اهمیت، مراکز کنترل و فرماندهی، پناهگاه‌های ویژه و... در ایجاد امنیت و پایداری ملی در زمان جنگ، ایجاد سازه‌های زیرزمینی برای این عمل‌کردها امری اجتناب‌ناپذیر است. در طراحی سازه‌های این مراکز زیرزمینی معمولاً تهدیدی را به‌عنوان تهدید مبنا در نظر می‌گیرند و بارگذاری آن‌ها را براساس این تهدید انجام می‌دهند. حال ممکن است با تغییر سیستم سلاح‌های دشمن و افزایش قدرت نفوذ و تخریب این سلاح‌ها، دیگر سازه طراحی شده با تهدید مبنای گذشته مقاومت کافی را نداشته باشد؛ برای این امر می‌توان از روش‌هایی که امکان کاهش اثرات انفجار را در پی خواهند داشت استفاده کرد. هدف از این پژوهش، تبیین نقاط قوت و ضعف روش‌های مختلف کاهش موج انفجار در ورودی فضاهای امن می‌باشد.

در بخش اول این پژوهش، تهدیدات فضاهای امن زیرزمینی بررسی شده است و در ادامه، انواع روش‌های کاهش اثر انفجار ذکر شده و سپس نقاط قوت و ضعف هر یک بیان شده و در نهایت، نتیجه این تحقیق ارائه گردیده است.

۲- تهدیدات فضاهای امن زیرزمینی

منابع اصلی تهدید برای سازه‌های امن زیرزمینی دو نوع می‌باشد[۱]:
۱) تهدیدات طبیعی و ۲) تهدیدات مصنوعی.

۲-۱- تهدیدات طبیعی

تهدیدات طبیعی شامل زلزله، سیل، آتشفشان، طوفان و رانش زمین می‌باشد که با شناخت آن‌ها می‌توان از خطرات طبیعت دور ماند[۹]. برای مثال، جهت مقابله با سیل، باید از ساخت و ساز در کنار مسیل خودداری کرد. در مورد زلزله نیز، نباید در محدودهٔ گسل‌های جوان ساخت‌وسازی انجام گیرد و اگر به‌ناچار باید تأسیساتی ساخته شود، تمهیدات لازم برای طراحی سازه‌های این تأسیسات باید در نظر گرفته شود. در این تحقیق، این موضوع مورد مطالعه قرار نمی‌گیرد.

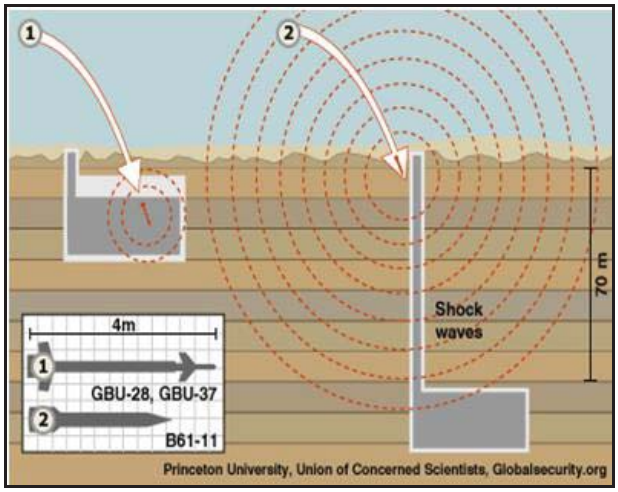
۲-۲- تهدیدات مصنوعی

تهدیدات مصنوعی (انسان‌ساز) شامل تهدیدات نظامی (تهاجم هوایی، زمینی و دریایی) و تهدیدات اتفاقی (آتش‌سوزی، نشت مواد سمی و انفجار مخازن) می‌باشد که در این تحقیق به بررسی تهدیدات نظامی پرداخته می‌شود.

اما نکته مسلم این است که می‌توان در ابعاد مختلف به‌صورت علمی، دشمن را شناسایی کرد و از دید مدافع و یا مهاجم به آن نگریست. در این راستا، اولین قدم در طراحی سازه‌های مقاوم در مقابل انفجار، شناخت صحیح دشمن است؛ زیرا با شناخت دقیق از توانایی‌های دشمن است که می‌توان سازه‌ای بنا کرد که در مقابل آخرین دستاوردهای موشکی، مقاوم باشد.

با توجه به مستندات به‌دست آمده از مطالعات کتابخانه‌ای در زمینه تهدیدات، آمریکا جهت تقابل با پیشرفت‌های اخیر مهندسی در ایران، دو پروژه اساسی را جهت تحقیقات معرفی نموده که بخشی از آن به نتیجه رسیده و بخشی دیگر در حال پیگیری است.

در بخش اول با توجه به ساخت سازه‌های مستحکم توسط کشورهایی نظیر ایران، انجام تحقیقات گسترده در آمریکا منجر به ساخت بمبی به نام GBU/28/B شده است که قابل نفوذ در ۱/۵ متر فولاد یا ۶ متر بتن یا ۳۰ متر خاک با سه خرج گود می‌باشد. همچنین در بخش دیگری از پروژه‌های تحقیقاتی، در حال تهیه نرم‌افزاری هستند که در صورت نصب بر روی هواپیما، قادر است نقاط ضعف سازه را شناسایی کرده و موشک مناسب جهت انهدام هدف را معرفی نماید. عمده ضعف در هدف‌های مستحکم نقاطی مانند ورودی‌ها، خروجی‌ها، هواکش‌ها و نظایر آن می‌باشند[۵].



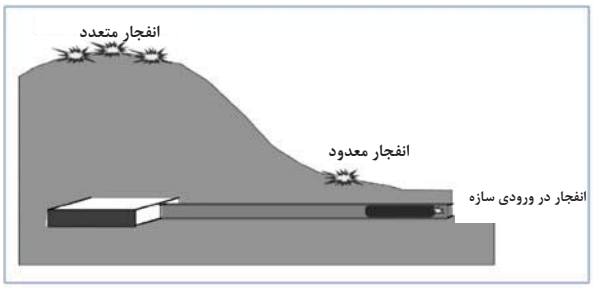
شکل ۱- تصویری از موشک‌های نفوذ کننده در زمین[۶]

شناخت صحیح و دقیق توانمندی‌های دشمن، باعث افزایش آگاهی نسبت به توانمندی‌های علمی-تخصصی دشمن گردیده و کار مهندسین سازه را در طراحی ایمن آسان‌تر می‌نماید. بنابراین، تهدید مبنا برای سازه‌های امن زیرزمینی عبارت است از سلاح‌های با سرعت بالا و قدرت نفوذ فراوان مثل موشک‌های خودکار یا هدایت‌شونده که از هواپیما و ناوها شلیک می‌شوند.

۲-۳- چهار سناریوی مختلف برای حمله به فضاهای امن زیرزمینی

۱- انفجار مستقیم در ورودی سازه‌ها؛

۲- ریزش یک نقطه حساس دسترسی با انجام یک انفجار (انفجارهای معدود)؛
۳- انفجارهای متعدد در یک نقطه دقیقاً در بالای تأسیسات مورد نظر؛
۴- اصابت موشک به زمین و نفوذ به داخل آن. انفجار زمانی رخ می‌دهد که به فضای زیرزمینی برسد.



شکل ۲- سه سناریوی مختلف برای تهاجم به سازه‌های عمیق و سخت[۱۰]

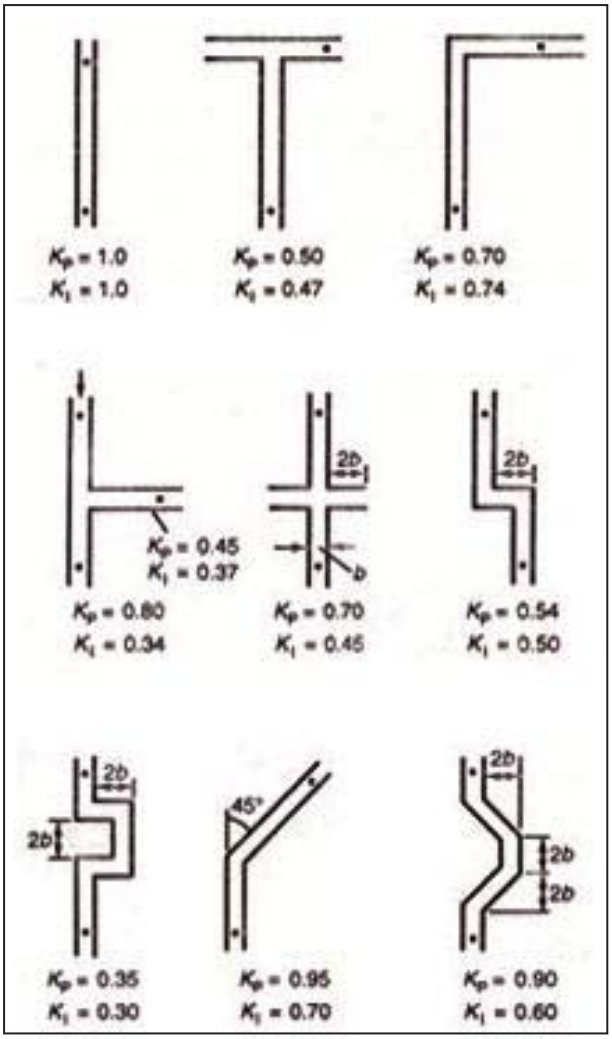
شکل ۳- سناریوی چهارم[۴]

۳- روش‌های کاهش امواج انفجار در ورودی‌های فضاهای امن

روش‌های مختلفی برای کاهش اثر انفجار بر روی فضاهای امن زیرزمینی وجود دارد که بعضی از این روش‌ها المان‌هایی را جدا از سازهٔ اصلی فضای زیرزمینی ایجاد می‌نمایند و بعضی دیگر در بطن سازه زیرزمینی قرار می‌گیرند. در این تحقیق، هر یک از روش‌ها بررسی شده و نحوه استفاده از آن‌ها ذکر می‌گردد.

۳-۱- استفاده از موج گیرها[1] و خم

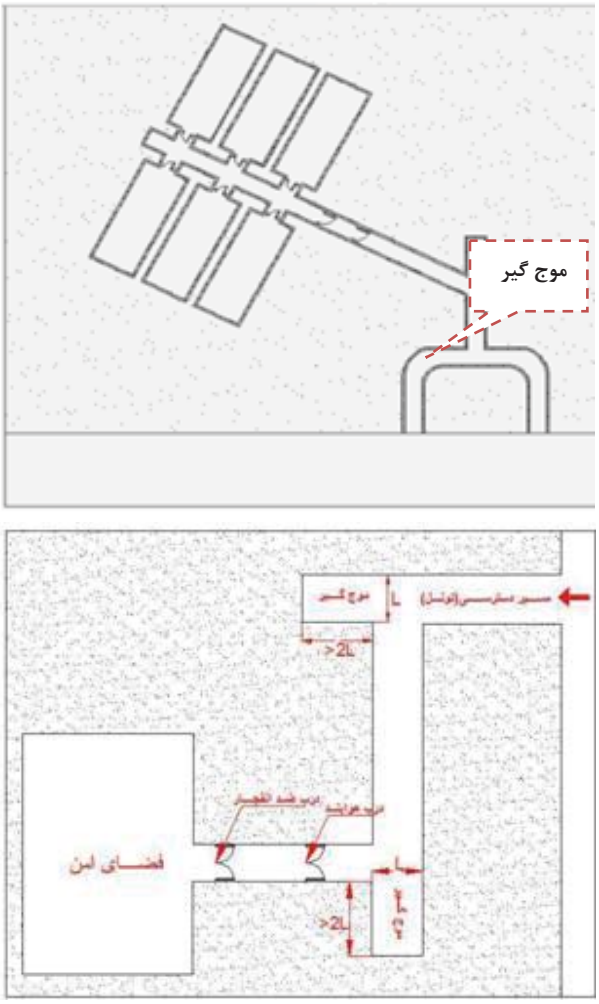
برای جلوگیری از ورود امواج انفجار و کاهش اثرات آن از فضایی به فضای دیگر در سازه‌های زیرزمینی معمولاً می‌توان تونل‌ها را به‌صورت تودرتو و با زوایای مختلف ایجاد نمود که در صورت انفجار، امواج کمتری به تونل‌های قسمت‌های دیگر وارد گردد. واضح است که در تونل‌های مستقیم، کاهش موج به‌کندی صورت می‌گیرد. بنابراین، برای جلوگیری از ورود امواج انفجار و کاهش اثرات آن به فضاهای امن می‌توانیم از تونل‌های انحرافی با زوایای مختلف استفاده کنیم. در شکل (۴) مجموعه‌ای از خم‌ها با زوایای مختلف آورده شده است. K_P فاکتوری است که در ازای استفاده از هر خم در مسیر اندازه‌گیری نسبت به حالت تونل مستقیم، در مقدار فشار ضرب می‌شود. به‌عنوان مثال، یک خم ۹۰ درجه مقدار پیک فشار را در حدود ۳۰ درصد کاهش می‌دهد و یک انشعاب T شکل در حدود ۵۰ درصد. فاکتور K_i عملی مشابه را در مورد ایمپالس انجام می‌دهد.



شکل ۴- مقایسه نسبی برخی از سیستم‌های کاهش‌دهنده موج فشار و ایمپالس [۸]

علاوه بر خم‌ها می‌توان در انتهای تونل‌ها موج‌گیرهایی تعبیه کرد که امواج ناشی از انفجار را در درون خود مستهلک نمایند تا امواج کمتری به تونل‌های اطراف برسد[۱۰].

1- Blast pocket



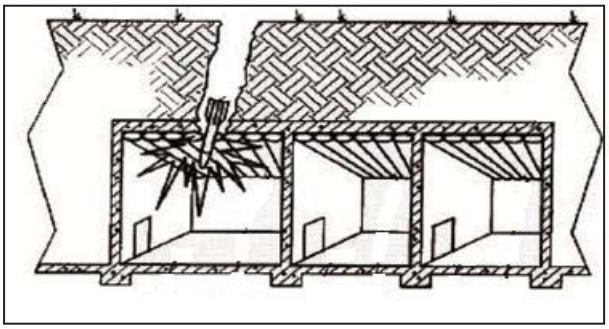
شکل ۵- پلان‌هایی از یک فضای زیرزمینی با موج گیر [۴]

۳-۲- پوشش‌های تضعیف‌کننده

قدرت تخریبی یک انفجار به مقدار انرژی امواج بستگی دارد و برای کاهش این قدرت، باید به طریقی امواج را تضعیف کرد یا به‌عبارت بهتر انرژی آن‌ها را مستهلک کرد. قرار دادن موضعی پوشش‌ها در برابر امواج، باعث میرایی سریع‌تر آن‌ها می‌شود. این پوشش‌های سبک‌وزن اثر مهمی بر پخش امواج ناشی از انفجار دارند و دیوارها و سایر المان‌ها از نظر فیزیکی، یکپارچگی را طی انفجار حفظ می‌کنند. انواع حفاظ‌های موجود عبارت‌اند از [۹]:

الف- حفاظ‌های دارای واسطه مایع

اساس این حفاظ‌ها پوششی است که می‌تواند درون خود، حجم لازمی از آب را نگه دارد. ویژگی عمده آن‌ها قابلیت تخیله آب در زمان‌های لازم و انتقال آسان آن می‌باشد. بدین‌ترتیب آب می‌تواند انرژی گرمایی قابل توجهی را جذب کند. شکل (۶) نمایی از کاربرد پوشش آب‌نگهدار را نشان می‌دهد.



شکل ۶- نمایی از کاربرد پوشش آب نگهدار[۹]

ب- حفاظ‌های دارای واسطه جامد-گاز

این پوشش‌ها نوعی از حفاظ‌هایی هستند که در برابر امواج ناشی از انفجارات قوی مقاومت می‌کنند و از دانه‌هایی از فلز توری، به فرم بیضی ساخته می‌شوند. مقدار زیادی از این دانه‌ها که به‌علت داشتن حفره، دارای فاز گازی هستند داخل پوشش‌های توری ریخته می‌شود. این پوشش بر روی سازه مورد نظر جهت حفاظت نصب می‌شود. لایه رویی حتماً باید متخلخل باشد به‌طوری‌که موج بتواند از آن رد شود. اگر این لایه سخت باشد حفاظ مانند پانل جامد عمل کرده و تخریب خواهد شد. شکل‌پذیری بسیار بالای این ساختار باعث می‌شود انرژی موج انفجار به‌طور قابل توجهی مستهلک شود.

ج- حفاظ‌های دارای واسطه مایع - گاز

کارایی تضعیف‌کننده‌های امواج انفجار با جایگزینی واسطه گاز - مایع به‌جای مایع افزایش می‌یابد و واسطه دو فاز انرژی انفجار را چندین برابر واسطه تراکم‌پذیر کاهش می‌دهد. کاهش چندین باره سرعت خطی یا غیرخطی در واسطه دو فاز بر روی پروفیل فشار موج انفجار تأثیر می‌گذارد.

سه نوع پوشش معرفی شده قابلیت‌های خاصی دارند[۹]:

- پوشش‌های دارای واسطه مایع: به‌علت امکان شارژ و دشارژ مایع و حمل‌ونقل ساده، استفاده آن در فضاهایی که احتمال انفجار وجود دارد توصیه می‌شود.
- پوشش‌های دارای واسطه جامد- گاز: شکل‌پذیری بسیار بالای این ساختار باعث می‌شود انرژی موج انفجار به‌طور قابل توجهی مستهلک شود.
- ساختارهای دارای واسطه مایع- گاز: وجود فاز گازی باعث کاهش سرعت و افزایش زمان انتقال موج انفجار می‌شود.

۳-۳- استفاده از میراگرها

در مقاوم‌سازی سازه‌ها، یکی از روش‌های کاهش نیروی جانبی ناشی از انفجار، استفاده از میراگرها می‌باشد.

در طی انفجار، انرژی زیادی به سازه اعمال می‌گردد. این انرژی به دو

صورت جنبشی و پتانسیل (کرنشی) برسازه اعمال می‌شود که به طریقی جذب یا مستهلک می‌گردد. اگر سازه فاقد میرائی باشد ارتعاش آن پیوسته خواهد بود اما به‌دلیل وجود میرائی در مصالح، ارتعاش کاهش می‌یابد. انرژی ورودی به سازه به‌صورت‌های معرفی شده در رابطه (۱) تبدیل می‌شود:

$$E = E_K + E_S + E_h + E_d \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، E انرژی ورودی، E_k انرژی جنبشی، E_s انرژی کرنشی قابل برگشت در محدوده الاستیک، E_h مقدار انرژی تلف‌شده به‌واسطه تغییر شکل‌های غیرالاستیک و E_d انرژی مستهلک‌شده به‌واسطه میراگر الحاقی می‌باشد. در واقع، فلسفه استفاده از میراگرها افزایش ترم E_d می‌باشد تا در نتیجه آن، انرژی‌ای که به دیگر اجزاء می‌رسد کاهش یابد [۷].

میراگرها را بر اساس عمل‌کرد آن‌ها به انواع اصطکاکی، فلزی (جاری شونده)، ویسکوز، ویسکوالاستیک، آلیاژهای حافظه‌دار شکلی (SMA) و میراگرهای جرمی دسته بندی می‌گردند[۷]. بنابراین می‌توان با توجه به مقدار ضربه به‌دست آمده از تحلیل نرم‌افزارهایی همچون اتوداین[1] در فضاهای مدل‌سازی شده، جهت جذب حداکثر انرژی در سیکل‌های اولیه، از میراگرهای با سختی متناسب و آرایش صحیح آنها(سری، موازی و سری- موازی) بهره برد.

در معماری فضاهای امن زیرزمینی با توجه به اصل پراکندگی، فضاها را به‌صورت بخش‌بخش در نظر می‌گیرند که این بخش‌ها از طریق قسمت‌هایی به هم متصل شده‌اند. یکی از مشکلات این روش این است که اگر در یک بخشی در اثر انفجار بمب‌های نفوذی، تخریبی صورت گیرد، این خرابی به قسمت‌های دیگر نیز سرایت می‌کند که برای رفع این مشکل، از درز انقطاع بین بخش‌های مختلف استفاده می‌شود؛ اما این انفجار می‌تواند از طریق خاک یا سنگ‌های پیرامونی به بخش‌های دیگر سازه زیرزمینی انتقال یابد که بدین منظور نیز می‌توان از میراگرها در بین سازه و دیواره سنگی تونل استفاده نمود یا اینکه درون تونل، یک سازه فلزی دیگر احداث کرد و آن را با استفاده از میراگرها به بدنه اصلی تونل متصل نمود که این روش در مرکز کنترل و فرماندهی نوراد استفاده شده است.

۳-۴- استفاده از دال‌های انفجاری

یکی از روش‌های پرکاربرد در سازه‌های زیرزمینی، استفاده از دال‌های انفجاری می‌باشد. این روش معمولا در سازه‌هایی که به روش کندو پوش اجرا می‌گردند، استفاده می‌شود. نحوه استفاده آن بدین گونه است که دال‌های بتن مسلح پیش‌ساخته‌ای را معمولاً در عمق کمی از سطح زمین در حدود ۱ متر قرار می‌دهند. در زمانی که موشک نفوذ کننده با این دال‌ها که ممکن است در چند ردیف اجرا شده باشند برخورد نماید، به‌علت مقاومت بالاتری که نسبت به خاک و سنگ دارند نفوذ این سلاح‌ها را کم می‌نماید[۴].

شکل ۷- نمایی از فنرهای میراگر در مرکز کنترل و فرماندهی نوراد [۱۱]

شکل ۸- مقطعی از بیمارستان مدفون که بالای آن از دال انفجاری استفاده شده است[۳]

۵-۴- مصالح پلی‌استایرن

پلی‌استایرن‌ها مواد ساخته‌شده‌ای می‌باشند که از فرایندهای پلیمری به‌دست می‌آیند. فوم‌های پلی‌استایرن، مصالحی بسیار سبک و سفیدرنگ بوده و از دانه‌های پلی‌استایرن ساخته می‌شوند.

1- Autodyn

براساس مطالعات صورت گرفته، پلی‌استایرن‌های منبسط شده در کاهش تنش‌های ناشی از امواج کوبشی، کارایی مناسبی از خود نشان می‌دهند. استفاده از بازدارنده‌هایی نظیر حفره، بلوک و... علاوه بر کاهش بیشینه تنش‌ها، موجب تأخیر در زمان رسیدن موج کوبشی می‌شوند[۷].

۳-۶- استفاده از مواد کامپوزیتی منفجرشونده (زره‌های واکنشی)

با توجه به مکانیسم کار برخی از موشک‌های نفوذکننده که از خرج گود برای نفوذ در خاک و سنگ استفاده می‌کنند، مهندسان نظامی برای مقابله با خرج گود، تنها یک راه را تاکنون استفاده کرده‌اند. به این صورت که مواد کامپوزیتی منفجرشونده‌ای را در سر راه موشک‌ها قرار می‌دهند. زمانی که خرج گود موشک شروع به‌کار می‌کند، جت ناشی از خرج، پراکنده شده و از نفوذ آن جلوگیری می‌شود[۶]. امروزه از این مواد در خودروهای زرهی از جمله تانک استفاده می‌گردد.

این مواد باید بر روی سطح زمینی که سازه در زیر آن قرار دارد تعبیه شود تا در صورت برخورد، مسیر موشک را تغییر دهد.

۳-۷- استفاده از بخار پلاسما

برای اولین بار کشور روسیه در یک حادثه اتفاقی به خاصیت مواد یونیزه شده در تغییر ماهیت امواج پی برد. زمانی‌که این کشور ماهواره‌ای به فضا فرستاد و بعد از چند روز متوجه شدند که ارتباط آن‌ها با ماهواره قطع شده است به بررسی علل آن پرداختند و متوجه شدند که در بالای جوّ زمین لایه‌ای از اکسیژن یونیزه شده وجود دارد که زمانی‌که امواج راداری به این لایه برخورد نماید تغییر ماهیت داده و دیگر قابل درک برای گیرنده‌های زمینی نمی‌باشند. آن‌ها از این روش در هواپیماهای خود برای رادار گریزی و خلاص شدن از تیررس موشک‌ها استفاده کردند[۵].

امروزه با توجه به کنترل موشک‌ها تا هدف به‌وسیله امواج راداری، می‌توان با استفاده از ژنراتورهای مخصوص، مواد یونیزه شده ایجاد نمود و به‌وسیله لوله‌هایی آن‌ها را در سطح زمین برای گمراه کردن موشک‌های نفوذکننده استفاده کرد.

۳-۸- ایجاد حفره‌هایی به‌عنوان تله انفجاری

نحوه عمل‌کرد برخی از موشک‌های نفوذ کننده بدین صورت است که این موشک‌ها، هنگامی که بعد از نفوذ در خاک به یک فضای خالی برسند، عمل می‌کنند. در این راستا می‌توان با ایجاد حفره‌هایی به‌عنوان تله‌هایی قبل از رسیدن آن‌ها به فضای مورد نظر باعث انفجار موشک‌ها گردید تا به فضای زیرزمینی مورد نظر نرسند[۱۰].

۴- نقد و بررسی روش‌های کاهش اثر انفجار

در بخش قبل، هر یک از روش‌ها به‌صورت مختصر توضیح داده شد و در این بخش نقاط قوت و ضعف هرکدام در جدول (۱) آورده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، ابتدا روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌های امن زیرزمینی تحت عناوین موج‌گیر و خم، پوشش تضعیف‌کننده، میراگر، دال انفجاری، مصالح پلی‌استایرن، مواد کامپوزیتی منفجر شونده، بخار پلاسما و تله انفجاری بیان گردید؛ سپس به بررسی نقاط قوت و ضعف آن‌ها در انتخاب روش‌های مقاوم‌سازی در سازه‌های امن زیرزمینی پرداخته شد. بدیهی است که استفاده از روش‌هایی که اجازه نزدیک شدن موشک به فضای زیرزمینی را نمی‌دهند یعنی همان روش‌هایی که از سازه اصلی جدا هستند، تأثیر بیشتری بر کاهش آسیب‌پذیری سازه دارند. این روش‌ها مزایایی همچون مقاومت در برابر نفوذ موشک ها، سرعت اجرای مناسب، توجیه اقتصادی، و تأثیر بر امواج ناشی از زلزله نسبت به دیگر روش‌ها دارند. براساس مطالب ارائه شده، نتیجه‌گیری می‌شود که در ورودی یک سازه زیرزمینی می‌توان از چندین روش برای کاهش اثر انفجار استفاده نمود، به‌طوری‌که که ممکن است استفاده از یک روش برای کاهش اثر انفجار کافی نباشد و از چندین روش به‌صورت مکمل یکدیگر بهره برد. اما با این حال نیز ممکن است درصدی از امواج انفجار به سازه زیرزمینی برسد که بدین‌منظور می‌توان از روش‌های عامل مقاوم‌کننده در بطن سازه برای مستهلک نمودن این امواج استفاده نمود.

جدول ۱- بررسی نقاط قوت و ضعف روش‌های کاهش اثر انفجار

ردیف	روش‌ها کاهش اثر انفجار در سازه‌های زیرزمینی	نقاط قوت	نقاط ضعف
۱	**موج‌گیر و خم**	- کاهش اثرات انفجار در داخل تونل ورودی - پرکاربردترین و اقتصادی‌ترین روش	- عدم تاثیر بر انفجارهای خارج تونل - سختی دسترسی به فضای امن
۲	**پوشش تضعیف‌کننده**	- قابلیت نصب بر روی فضاهای زیرزمینی فاقد تمهیدات خاص انفجار. - توجیه اقتصادی - مکمل روش‌های دیگر	- تنها برای مقابله با موشک‌های نفوذکننده کاربرد دارد.
۳	**میراگر**	- امواج انفجار را نسبت به روش‌های دیگر بیشتر مستهلک می‌نماید. - تاثیر بر امواج ناشی از زلزله	- تنها بر لرزش‌های ناشی از امواج انفجار تأثیرگذار است و گاز ناشی از انفجار مؤثر نیست. - غیر اقتصادی
۴	**دال انفجاری**	- مقاومت در برابر نفوذ موشک‌ها - سرعت اجرای مناسب	- عدم کاهش امواج انفجار - با توجه به خاک‌برداری صورت گرفته در این روش امکان شناسایی فضای امن توسط سنجنده‌های دشمن افزایش می‌یابد.
۵	**مصالح پلی‌استایرن**	- قابلیت استفاده در درز انبساط و فاصله بین سازه‌ها و محیط سنگی یا خاکی اطراف سازه - تاثیر بر امواج ناشی از زلزله - توجیه اقتصادی	- عدم تاثیر بر انفجار داخل تونل ورودی - انتشار گازهای سمی ناشی از آتش‌سوزی
۶	**مواد کامپوزیتی منفجرشونده**	- یکی از تأثیرگذارترین روش‌ها به علت آنکه نمی‌گذارد موشک به فضای امن نزدیک گردد.	- غیراقتصادی‌ترین روش - در هنگام نصب خرج گودها امکان شناسایی فضای امن توسط دشمن وجود دارد
۷	**بخار پلاسما**	- منحرف ساختن موشک از مسیر اصلی - فریب سیستم راداری موشک	- تکنولوژی بالا - هزینه اجرایی بالا
۸	**حفره به‌عنوان تله انفجاری**	- انفجار موشک قبل از رسیدن به فضای امن	- عدم استهلاک کل امواج انفجار - تأثیر فقط بر روی برخی انواع فیوزهای سلاح‌های نفوذی

مراجع

۱. پدافند غیرعامل؛ پیش‌نویس مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان؛ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (**۱۳۸۸**).

۲. منبع تعریف پدافند غیرعامل، مصوبه مجمع تشخیص مصلحت نظام، (**۱۳۸۶**).

۳. پیمان، صفا؛ استحکامات و سازه‌های امن، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، (**۱۳۸۶**).

۴. بیطرفان، مهدی؛ طراحی و مستندسازی ورودی‌ها و اجزای مربوطه در فضاهای امن، پایان‌نامه کسر خدمت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، (**۱۳۹۰**).

۵. هاشمی فشارکی، سید جواد؛ آشنایی با پدافند غیرعامل، جزوه درسی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، (**۱۳۸۷**).

۶. هویدافر، بهروز؛ مبانی نظری ورودی و خروجی پناهگاه‌ها با دیدگاه پدافند غیرعامل؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر (**۱۳۸۶**).

۷. نشریه شماره ۵۲۴، "راهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی لرزه ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی"، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (**۱۳۸۹**).

8. Christopherson, D. G. "Structural Defence", UK Ministry Of Home Security, Civil Defence Research Committee Paper RC 450, (**1946**).

9. keenan et al; "water – based apparatus to mitigate damage andinjuries from a fullyor partilly confined explosion", us patent No. 6, 397, 753 b2, (**2002**), www.uspto. Gov.

10. Us Army fundamentals of protective desiyn (non unclear), Dept of army Technical manual TM5-855, washington, (**1965**).

11. Alhamad.sh, (**1996**), "Anti –Explosion Pads with Steel Mesh,slittedmetal Foil and Expanded Metal Net", us Patent No. 5, 576, 511, www.uspto.gov.

Reduction Methods of Blast Effects on Entrances of Underground Safe Spaces

A. Akbar Pour[1]

S. A. Hosseini[2]

Abstract

In order to decrease the damages of substructures and important operational structures against weapons of an enemy, they will be transferred into appropriate depth of the ground and the only communication way of these spaces with external environment are their ingress and egress and in case of damage, communication with external environment will be disconnected and people and equipments inside the safe space will be captured. Therefore these inputs should be designed in such a way which can reduce explosion waves and prevent these waves from entering the underground safe spaces. The purpose of this paper is to explain weak and strong points of different methods of decreasing explosion waves in entrance safe spaces. In this research, different types of decreasing explosion effects on entrance of underground safe spaces are reviewed through applying descriptive methods and library research and by content analysis, weak and strong points are gained. Finally, it is concluded that applying one method may not be enough and we can utilize some other methods.

Keys Words: *Explosion, Passive Defense, Underground Space Entrance, Safe Space, Threat*

1- Lecturer and Academic Member of Azad University, Tehran Branch (Email: A.Akbarpour@azad.ac.ir)
2- MS. Candidate of Passive Defense, Safe Structures discipline Imam Hossein Comprehensive University (Email: s_a_hosseini_t@yahoo.com)