فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال سوم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، (پیاپی ۹): صص ۲۵-۳۵

مقایسه بازدهی طرح‌های فریب و مقاوم‌سازی در ایمنی سازه‌های مدفون

سید محمد حسینی یگانه[۱]

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۲/۲۵

چکیده

هزینه‌های مقاوم‌سازی سازه‌های مدفون و نیز ساخت و بهره‌برداری از سازه‌های عمیق بسیار بالاست و از طرف دیگر، مکانیزم‌های کشف و شناسایی و انهدام سازه‌های مدفون در حال پیشرفت هستند. از آنجا که این موضوع چالش بزرگی در بهره‌برداری از این نوع سازه می‌باشد، ما نیازمند بازنگری طرح‌های ایمن‌سازی خود هستیم. "طرح‌های فریب و اغتشاش" از شاخه‌های اصلی پدافند غیرعامل و برنامه‌هایی برای افزایش خطای مهمات[۱] هستند و لذا می‌توانند برای بهبود بازدهی سازه‌های مدفون به‌کار گرفته شوند. در این مقاله احتمال تداوم فعالیت به‌عنوان معیار اصلی بازدهی معرفی شده است و بازدهی طرح "فریب و اغتشاش" و طرح "مقاوم‌سازی" برای یک سازه نمونه مدفون در عمق کم محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده اند. محورهای اصلی بحث در این مقاله عبارت‌اند از:

- محدودیت‌های حاکم بر رؤیت‌پذیری و آسیب‌پذیری سازه‌های مدفون
- فرصت‌ها و چالش‌های حاکم بر کشف، شناسایی و انهدام سازه‌های مدفون
- مبانی محاسبات بازدهی راهکارهای پدافند غیرعامل بر اساس احتمال تداوم فعالیت
- مقایسه میزان تأثیرگذاری روش‌های مقاوم‌سازی با روش‌های فریب و اغتشاش

کلیدواژه‌ها: سازه‌های مدفون، پدافند غیرعامل، فریب و اغتشاش، مقاوم‌سازی

۱- کارشناس مهندسی کنترل – دانشگاه صنعتی شریف smyeganeh@yahoo.com

۱- مقدمه

استفاده از عمق زمین باعث می‌شود تا دشواری‌های مکان‌یابی اهداف افزایش یافته و توانایی برای شناسایی فعالیت‌ها و یا انهدام آن‌ها کاهش یابد. به همین دلیل است که قابلیت‌های رو به رشد حسگرهای شناسایی و مهمات هدایت شونده، انگیزه دولت‌ها را برای ساخت سازه‌های مدفون مضاعف کرده است [۲].

در حال حاضر، یک رقابت پیوسته بین سازندگان سازه‌های مدفون و مهاجمین به آن‌ها وجود دارد. همان‌طور که سازه‌ها عمیق‌تر می‌شوند هزینه‌های ساخت و نگهداری آن‌ها نیز افزایش می‌یابد و به‌صورت همزمان، طراحان مهمات نیز باید هزینه‌های بیشتری را برای انهدام آن‌ها پرداخت کنند.

اخیرا توجه به سازه‌های عمیق بسیار افزایش یافته است به‌طوری‌که ارتش آمریکا تاکنون چندین پروژه تحقیقاتی در زمینه بهبود روش‌های کشف، شناسایی و انهدام آن‌ها اجرا نموده است [۳].

با آنکه احتمال شناسایی سازه‌های عمیق و احتمال نفوذ مهمات تا اعماق بیشتر از ۱۰۰ متر خیلی کم است، اما هزینه‌های بسیار زیاد و محدودیت‌های حاکم بر فعالیت‌های حیاتی، باعث می‌شوند که فقط درصد اندکی از سازه‌های مدفون در اعماق زیاد ساخته شوند. در حال حاضر، به‌منظور رعایت محدودیت‌های اقتصادی، حدود ۷۰٪ سازه‌های مدفون در عمق کمتر از ۳۰ متری ساخته می‌شوند. همچنین بسیاری از سازه‌های مقاوم موجود در کشور که قبلاً ساخته شده‌اند، در عمق کم یا به‌صورت نیمه‌مدفون هستند.

بلافاصله این سؤال در ذهن هر خواننده‌ای مطرح می‌شود که آیا سازه‌هایی که در عمق کم یا به‌صورت نیمه مدفون ساخته می‌شوند، قابل ایمن‌سازی هستند؟

می توان این سؤال را بدین شکل مطرح نمود که افزایش عمق و ضخامت دیواره‌های سازه‌های مدفون، تا چه حدی می‌تواند باعث ایمن‌سازی یک هدف بشود؟

۲- معرفی سازه‌های مدفون

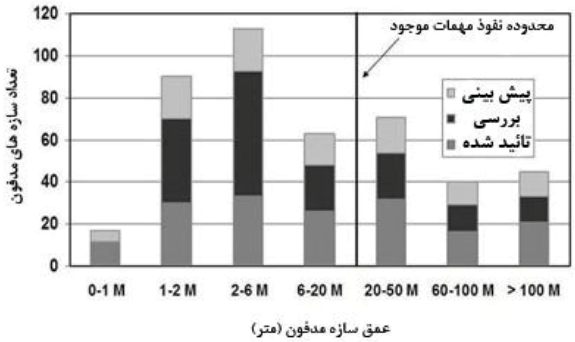
در این مقاله، عبارت "سازه‌های مدفون" به‌عنوان معادل "اهداف مقاوم و مدفون HDBT[1]" در ادبیات ارتش آمریکا استفاده می‌شود. اهداف مقاوم و مدفون شامل انواع سازه‌های مقاوم سطحی، مدفون در عمق کم و مدفون عمیق هستند.

در کره شمالی شبکه‌های زیر زمینی از تونل‌ها و مجموعه‌های سازه‌های فوق مقاوم در عمق یکصد متری زمین ساخته است. این شبکه تونل‌های زیرزمینی، ظرفیت جابجایی ۸۰۰۰ سرباز در ساعت به همراه تسلیحات زرهی و خودروهای مربوطه را دارد [۲].

در جنگ ۱۹۹۱ بخش قابل توجهی از مجموع ۱۸۰ سازه‌های فرماندهی، کنترل، مخابرات و مدیریت ارتش و دولت عراق، سازه‌های مدفون و برخی از آن‌ها نیز سازه‌های عمیق بودند. در سال ۱۹۹۵ کارشناسان نظامی و ناظران دولتی آمریکا اعتراف کردند که تنها حدود ۵۵٪ از اهداف یاد شده منهدم شدند. همچنین گزارشات حاکی از آن است که انهدام این اهداف باعث نشد که دولت و ارتش عراق توانایی فرماندهی و رهبری ملی خود را از دست بدهد [۹].

۲-۱- پروژه‌های مطالعاتی آمریکا برای محاسبات احتمال انهدام[2]

به‌طور کلی ارتش آمریکا از ظرفیت‌های تحقیق و توسعه قابل توجه و فناوری ساخت پیشرفته‌ای برخوردار است. این کشور قابلیت اجرای برنامه‌های جبرانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت برای مقابله با روش‌های مقاوم‌سازی دارد. به‌طور مثال بمب نفوذی GBU-28 در ماه اول جنگ ۱۹۹۱ عراق و ظرف مدت ۱۷ روز طراحی، تولید، آزمایش و آماده بهره‌برداری بر علیه اهداف مدفون در جنگ شد.



شکل ۱- آمار سازه‌های مدفون در کشورهای ایران، عراق، لیبی، کره شمالی و سوریه [۱]

بلافاصله پس از اشغال عراق در سال ۱۹۹۱ یک پروژه تحقیقاتی برای بررسی عوامل مؤثر در خطای محاسبات تخریب سازه‌های مدفون اجرا و گزارش آن تحت عنوان "موارد عدم قطعیت در تخریب مورد انتظار برای اهداف بسیار عمیق"[3] منتشر شد.

در این مطالعات چگونگی تأثیر متغیرها بر میزان خطای محاسبات آسیب‌پذیری اهداف تحلیل شد. به‌طور کلی عوامل مؤثر بر خطای محاسبات آسیب‌پذیری عبارت‌اند از:

- جرم، زاویه برخورد، سختی بدنه، سرعت برخورد و دقت نشانه‌گذاری مهمات،

1- HDBT/ Hard and deeply buried targets

۲- در این مقاله هنگامی که از واژه انهدام استفاده می‌شود، کلیه وضعیت‌هایی مورد نظر هستند که منجر به تخریب یا خنثی‌سازی یا توقف فعالیت‌های یک سازه مقاوم یا مدفون می‌شوند.

3- Damage Expectancy Uncertainties for Deeply Buried Targets

- زمین‌شناسی، نوع محیطی که هدف در آن قرار دارد، عمق انفجار، مدل برآورد شوک زمین، عمق تأثیرگذاری شوک زمین،
- مدل برآورد فاصله تخریب، مقاومت، عمق، جانمایی و ابعاد هدف[۵].

۲-۲- پروژه ارزیابی انهدام سازه‌های مدفون و عمیق[1]

انهدام[2] اهداف مقاوم و مدفون[3] HDBTD یک هدف غائی است و به معنی افزایش قابلیت‌ها برای خنثی‌سازی سازه‌های مقاوم و عمیق می‌باشد.

به‌عبارت دیگر، "انهدام سازه‌های مقاوم و مدفون"، به معنی توسعه توانمندی‌های کشف و شناسایی مشخصات سازه‌های مقاوم و مدفون و همچنین توسعه توانمندی‌های تخریب و ارزیابی حملاتی که بر علیه تأسیسات مدفون، عمیق، تونل‌ها و سایر دارایی‌های ارزشمندی که انهدام آن‌ها دشوار است، می‌باشد [۳].

پروژه "ارزیابی انهدام سازه‌های مقاوم و مدفون" HDBTD AOA برای ارزیابی آسیب‌پذیری‌ها و بازدهی مهمات و مشخص کردن بهترین مهمات برای انهدام سازه‌های مقاوم و عمیق به اجرا درآمد. این پروژه توسط ACC فرماندهی حملات هوائی و AFSPC فرماندهی فضایی نیروی هوائی آمریکا هدایت شد[۴]. این پروژه به مدت سه سال به طول انجامید و گزارش نهایی آن در سال ۲۰۰۰ میلادی منتشر شد.

هدف این پروژه عبارت بود از به‌کارگیری کلیه ابزار لازم برای تخریب، انهدام یا خنثی‌سازی اهداف سخت و مدفون عمیق و همچنین عناصر حیاتی در فعالیت آن‌ها، شبکه‌هایی که از آن‌ها پیشتیبانی می‌کنند یا توسط آن‌ها پشتیبانی می‌شوند [۳].

در این پروژه برای مطالعه آسیب‌پذیری سازه‌های عمیق، تعداد ۲۶ سازه از سراسر دنیا برگزیده شد تا کلیه ویژگی‌های مقاومت و فعالیت این سازه‌ها در سطح جهانی مورد توجه قرار بگیرد. همچنین برای مطالعه بازدهی مهمات در انهدام و خنثی‌سازی سازه‌های عمیق، تعداد ۶۴ نوع مهمات برای حمله به این سازه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت [۴].

۲-۳- پروژه مهمات نفوذی با سرعت بالا[4]

آزمایشگاه تحقیقات نیروی هوائی آمریکا اخیراً یک پروژه جدید برای بهبود بازدهی مهمات بر علیه سازه‌های عمیق با عنوان مهمات نفوذی با سرعت بالا HVPW آغاز کرده است [۷].

این پروژه پیرامون چهار برنامه پیشرفت فناوری مدیریت می‌شود:

- تست و طراحی مهمات
- تست و طراحی هدایت، ناوبری و کنترل
- تست و طراحی سوخت
- طراحی مفهومی و یکپارچه‌سازی مجموعه

۲-۴- دسته‌بندی و محدوده ایمنی سازه‌های مدفون

در این مقاله، سازه‌های مدفون را در دو گروه مقاوم و عمیق دسته‌بندی می‌کنیم:

سازه‌های مقاوم[5] با روش برش و پوشش[6] ساخته می‌شوند. در این روش ابتدا یک سوراخ تعبیه شده و پس از ساخت سازه و نصب تأسیسات، روی آن را با سنگ و خاک می‌پوشانند. این نوع سازه‌ها حداکثر تا عمق ۳۰ متری ساخته شده و حدود ۷۰٪ از سازه‌های مدفون را تشکیل می‌دهند.

سازه‌های عمیق[7] با استفاده از تونل زدن در اعماق زمین یا در دل کوه‌ها ساخته می‌شوند. این نوع سازه‌ها ممکن است تا اعماق یکصد متری زمین نیز قرار بگیرند و آن‌ها را سازه‌های فوق مقاوم[8] نیز می‌گویند. حدود ۲۰٪ از این سازه‌ها در عمق بین ۲۰ تا ۱۰۰ متری و ۱۰٪ آن‌ها در عمق بیش از ۱۰۰ متری ساخته شده اند. کشف و انهدام سازه‌های عمیق به مراتب پیچیده‌تر و دشوارتر از سایر اهداف است.

به‌صورت معمول نیز کاملاً حس می‌شود که هرچه عمق سازه بیشتر باشد، در برابر حملات نیز امنیت بیشتری خواهد داشت. مطالعات شرکت‌های مشاور ارتش آمریکا - RAND[9] و MITRE[10] - حاکی از آن است که وقتی یک سازه امن درون کوه تعبیه می‌شود و سربار آن از هر طرف در حدود ۶۷۰ متر باشد، هیچ راهی برای انهدام آن وجود ندارد. موادی که بین سازه و سطح زمین قرار می‌گیرند را سربار[11] می‌گویند.

1- HDBTD AOA/ Hard and Deeply Buried Target Defeat Analysis of Alternatives

۲- در ادبیات نظامی آمریکا واژه Defeat هم به عنوان تخریب و هم به عنوان خنثی سازی به‌کار می‌رود. در این مقاله واژه انهدام به‌عنوان معادل واژه Defeat به‌کار گرفته شده است که فعلاً برای اهداف مطرح در این مقاله، کفایت می کند.

3- Hard and Deeply Buried Target Defeat (HDBTD)

4- HVPW/ High Velocity Penetrating Weapon

5- Hard Structures

6- Cut-and-Cover

7- Deeply Buried Structures

8- Super Hard Structures

9- RAND Corporation (Research ANd Development) is a nonprofit global policy think tank first formed to offer research and analysis to the United States armed forces by Douglas Aircraft Company. It is currently financed by the U.S. government and private endowment, corporations including the healthcare industry, universities and private individuals.

10- MITRE Corporation is a not-for-profit organization based in Bedford, Massachusetts and McLean, Virginia. It manages Federally Funded Research and Development Centers (FFRDCs) supporting the Department of Defense, the Federal Aviation Administration (FAA), the Internal Revenue Service (IRS), the Department of Veterans Affairs, the Department of Homeland Security (DHS), and the Administrative Office of the U.S. Courts on behalf of the Federal Judiciary.

11- Overburden

همین مطالعات نشان می‌دهد که یک نسبت ۵۰۰ بین طول و قطر تونل برای میرایی اثر انفجار مناسب است. تونل‌هایی که با رعایت این نسبت ساخته می‌شوند، به‌طور کامل آثار انفجار را از بین می‌برند. همچنین یکی از مزایای استفاده از تونل‌های بلند، افزایش تردید در مورد مکان دقیق سازه مدفون است.

به‌عنوان مثال، اگر قطر تونل ۵ متر باشد باید طول آن ۲۵۰۰ متر باشد تا بتواند شرایط میرایی موج انفجار (یعنی نسبت ۵۰۰) را پوشش دهد. اگر ورودی این تونل (که منتهی به سازه مدفون است) بر روی سطح زمین شناسایی شود، دشمن باید حدود دو هزار هکتار را برای کشف سازه مدفون جستجو کند. حتی اگر فرض کنیم که مسیر تونل مستقیم است و به سمت ورودی برنگشته، ۵۰٪ از این مساحت باید جستجو شود. وقتی که دشمن مکان دقیق یک سازه مدفون را شناسایی نکند، احتمال حمله و انهدام آن به شدت کاهش می‌یابد. البته ذکر این نکته ضروری است که ساخت و بهره‌برداری از تونل‌های بسیار بلند، هزینه‌های بسیار زیادی دارد و لذا استفاده از این راهکار تنها برای ایمن‌سازی برخی از اهداف ویژه امکان‌پذیر است.

۲-۵- احتمال تداوم فعالیت در سازه مدفون

آمار نشان می‌دهد که مهمات اصلی که برای حمله به سازه‌های مدفون و عمیق به‌کار گرفته شده‌اند مجهز به سیستم‌های هدایت لیزری و ماهواره‌ای JDAM یا ترکیبی از این دو نوع سیستم EGBU[1] بوده‌اند.

در اکثر موارد برای انهدام یک سازه مدفون باید برخورد مستقیم صورت گیرد[۴]. اما به‌طور کلی برای انهدام یک سازه مدفون باید:

- مکان سازه مشخص و فعالیت‌های آن شناسایی شود
- مهمات در ناحیه خطر هدف فرود آید
- مهمات تا عمق مورد نیاز نفوذ کند و خرج انفجاری کافی به همراه داشته باشد

هدف اصلی از کلیه روش‌های ایمن‌سازی، افزایش احتمال تداوم فعالیت‌های حیاتی **P_C** در کل کشور است. احتمال اینکه یک سازه مدفون بتواند پس از **N** حمله همچنان به فعالیت خود ادامه بدهد، از رابطه (۱) به‌دست می‌آید [۱۰]:

$$P_C=(1-P_iP_rP_{SS})^N \qquad (۱)$$

متغیرهای اصلی در رابطه (۱) عبارت‌اند از:

- رؤیت‌پذیری هدف **P_i** یا قابلیت شناسایی یعنی احتمال اینکه سازه مدفون توسط سیستم‌های اطلاعاتی دشمن کشف و شناسایی شود.
- قابلیت اطمینان مهمات **P_r** یا کارآیی مهمات که عبارت است از احتمال اینکه مهمات مطابق با مشخصات فنی خود عمل کند. این مقدار برای مهمات لیزری ۸۰٪ و برای مهمات ماهواره‌ای ۸۷٪ گزارش شده است و لذا برای پوشش بدترین حالت، در ادامه این مقاله مقدار قابلیت اطمینان را ۸۷٪ منظور خواهیم کرد.
- آسیب‌پذیری هدف در برابر مهمات **P_{ss}** یعنی احتمال اینکه سازه در اثر یک حمله و با استفاده از یک مهمات منهدم شود که تابعی از خطای مهمات CEP و شعاع خطر سازه R_s می‌باشد.

۳- رؤیت‌پذیری سازه‌های مدفون

همان‌طور که قابلیت‌های ماهواره‌ای برای گردآوری اطلاعات دقیق در حال افزایش است، نقش آن‌ها نیز در کشف سازه‌های مدفون مهم‌تر می‌شود. برای مثال، ماهواره‌های مراقبتی که از آرایه‌ای از حسگرهای تصویری با قدرت تفکیک بسیار بالا استفاده می‌کنند - مانند اسکنرهای چند طیفی Landsat - کلیدهایی را در زمینه وجود و فعالیت‌های سازه‌های مدفون مهیا می‌کنند. این روش بر روی تصویربرداری‌های چند طیفی، حرارتی و فروسرخ از زمین‌های اطراف سازه‌های مدفون بنا می‌شود[2]. در عین حال نباید فراموش کرد که مشکل اصلی در به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای برای شناسایی سازه‌های مدفون، قابلیت‌های استتار، فریب و اختفاء است [۲].

هیچ راه حل ساده و مطمئنی برای مسئله شناسایی مشخصات فنی سازه‌های عمیق وجود ندارد [۸].

راه حل اصلی مکان یابی و شناسایی مشخصات فنی سازه‌های عمیق شامل ترکیبی هماهنگ و هوشمندانه از منابع متعدد اطلاعاتی است که عبارت‌اند از:

- تصویربرداری، عکس‌هایی که توسط ماهواره‌ها و هواپیماها تهیه می‌شوند
- اندازه‌گیری و اطلاعات علائم، یعنی کشف گرما، صدا، لرزش یا پسماندهای شیمیایی
- اطلاعات سیگنال‌ها، یعنی تحلیل سیگنال‌های رادیویی یا راداری
- اطلاعات انسانی، یعنی گسیل جاسوس و مخبر

وقتی که محدوده تقریبی مکان جغرافیایی سازه مشخص باشد، ایجاد هماهنگی و استفاده ترکیبی از این منابع اطلاعاتی، بسیار کارآمدتر

۱- موشک‌های کروز نیز در گروه ترکیبی منظور شده‌اند.

۲- وقتی یک روش استتار، فریب و اختفا باعث کاهش احتمال کشف توسط یک حسگر یا یک ماهواره می‌شود، حسگرهای دیگر می‌توانند آن را کشف کنند. همین امر سبب شده که امروزه از روش‌های چند حسگر استفاده شود.

خواهد بود. به‌دست آوردن مکان تقریبی این سازه‌ها نیازمند یک ظرفیت اطلاعاتی است که بتواند جستجوی نواحی بسیار وسیعی را پوشش دهد تا بتواند محدوده آن را از فواصل دور تشخیص دهد و از فناوری‌ای استفاده کند که قابلیت استتار نداشته باشد. سپس این ظرفیت می‌تواند برای هدایت سایر امکانات اطلاعاتی به‌کار رفته و آن‌ها را بر روی یک ناحیه مشخص متمرکز کند تا بتوانند اطلاعات و جزئیات مورد نیاز را گردآوری کنند. برای همین است که دشمن به روش‌هایی روی آورده است که فراتر از سیستم‌های متداول اطلاعات و شناسایی هستند؛ روش‌هایی که توسط دانشمندان و برای فهمیدن پدیده‌های زیرزمینی استفاده می‌شوند [۸].

۳-۱- تصویربرداری طیف مرئی

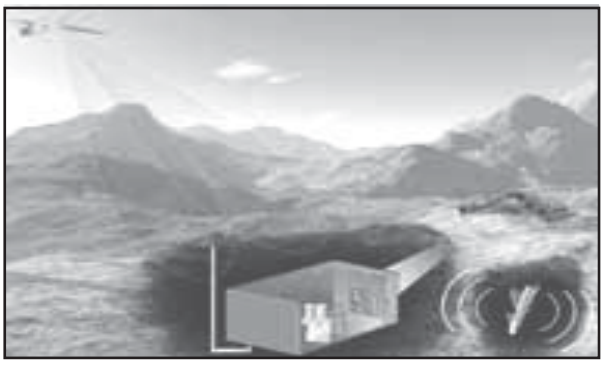
لوله‌های اگزوز، ورودی‌ها و هرگونه سطح قابل رؤیت که شکل‌های مربع یا مثلث داشته باشند به سادگی قابل تشخیص هستند. اما استفاده از پوشش‌های استتاری که دارای بازتاب فروسرخ زیاد هستند باعث خواهد شد که این نوع سطوح با فضای سبز اشتباه گرفته شوند. تصاویر سیاه و سفید، بیش از سایر انواع عکس‌های ماهواره‌ای کاربرد دارند چرا که آن‌ها باعث برجسته‌تر شدن بازتاب‌ها و وضوح اشیاء بر روی زمین می‌شوند. لذا درصد انعکاس نور یا بازتاب اشیاء بر روی زمین، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر در توانایی ماهواره‌ها برای کشف اهداف است اما با استفاده از رنگ و پوشش مناسب، کلیه تجهیزات پشتیبانی نصب شده بر روی سطح زمین شامل نگهدارنده‌ها، آنتن‌ها و سایر موارد مشابه، استتار می‌شوند.

استفاده از الگوهای با زمینه طبیعی مانند پنهان کردن تجهیزات زیر پرتگاه‌ها و جای دادن آن‌ها در کنار جریان‌های آب باعث می‌شود که بین خروجی‌های سازه مدفون و طبیعت هماهنگی ایجاد شود و قابلیت کشف آن‌ها توسط ماهواره‌ها کاهش یابد. طعمه‌های فریب سه بعدی می‌توانند نقش بسیار زیادی در جلوگیری از شناسایی تجهیزات خارجی پشتیبانی از سازه‌های مدفون داشته باشند. مثلاً گذاشتن گرم کن‌هایی در کنار برخی سوراخهای طبیعی به‌منظور شبیه‌سازی خروجی اگزوز، نصب آنتن‌های ماکت، دربهای ورودی و سایر نماهایی که می‌توانند ظاهر بصری یا حرارتی را شبیه‌سازی کنند [۲].

۳-۲- تصویربرداری حرارتی

تصویربرداری حرارتی لندست می‌تواند در یک قطعه زمین چمن، خروجی تهویه یا سازه‌هایی که نزدیک به سطح زمین هستند را کشف کند. فیلتر طیف آبی آن می‌تواند دود و گازهایی را که از کانال‌های زیرزمینی بیرون می‌زنند کشف کند.

وقتی که هوای گرم از دریچه‌های تهویه سازه‌های مدفون خارج می‌شود، ماهواره‌ها می‌توانند این علائم مشخصه را کشف کنند. همچنین لکه‌های گرمی که تا سطح زمین گسترده می‌شوند در بالای برخی بخش‌های گرم‌تر سازه‌های مدفون هستند. دمای محیط برخی بخش‌های سازه مدفون ممکن است باعث بالا رفتن دمای زمین اطراف دریچه‌ها، لوله‌های آب، خروجی‌های اضطراری و کانال‌های برقی شود. اما در مقابل نیز، روش‌هایی وجود دارد که می‌توان بخش‌هایی از سازه که نزدیک به زمین است را عایق حرارتی نمود. فضای سبز و عایق‌کاری می‌توانند باعث کاهش مشخصه حرارتی سازه‌های زیرزمینی شوند. هوای خنک‌تر محیط می‌تواند با هوای گرم‌تر خروجی‌های تهویه ترکیب و مشخصه حرارتی آن را به حداقل برساند.



شکل ۲- استفاده از رادار در شناسایی سازه‌های عمیق

۳-۳- فعالیت‌های ساخت سازه‌های مدفون

جاده‌ها و کامیون‌هایی که به سمت داخل کوه می‌روند یا در حرکت به سمت زیرزمین ناپدید می‌شوند، اغلب برای مشخص کردن مکان سازه مدفون مناسب هستند. علاوه بر این، بر مبنای ابعاد مخازن، تعداد ریل‌ها، اندازه جاده‌ها و سایر نماهای خارجی، می‌توان تخمین زد که چه چیزی در یک سایت در حال ساخت است. همچنین ماهواره‌ها می‌توانند تصاویر استریو تهیه کنند؛ تصاویری که از دو نقطه بسیار نزدیک از یک صحنه گرفته می‌شوند. شرکت‌های تجاری، نرم‌افزاری را تولید کرده‌اند که تغییرات بین تصاویری که در طول زمان گرفته شده‌اند را کشف می‌کنند که به آن‌ها نرم‌افزار کشف تغییر گفته می‌شود. بررسی تصاویری که در طول یک دوره مشخص از یک ناحیه جغرافیایی گرفته می‌شود، یک راه‌حل معمول برای رصد کردن ماهواره‌ای فعالیت‌ها و تغییرات به‌وجود آمده در نواحی‌ای است که احتمال وجود سازه‌های مدفون وجود دارد. اما مشکل اصلی این است که برای استفاده از نکات فوق‌الذکر، ابتدا باید محدوده مشخصی را به‌صورت متمرکز تحت نظر گرفت و این در حالی است که به دشواری می‌توان مکان دقیق سازه‌های مدفون را تشخیص داد.

۳-۴- رادارهای نفوذ کننده در عمق زمین (DGPR)

رادار نفوذکننده در زمین[1] (GPR) یک دستگاه فعال است که با ارسال امواج الکترومغناطیسی، اشیاء درون زمین را شناسایی می‌کند. ضریب تضعیف زمین بسیار بالاتر از هوا است و امواج رادیویی پس از نفوذ در درون زمین و انعکاس توسط اشیاء مدفون، به شدت تضعیف می‌شوند. به همین دلیل است که این رادارها در بهترین شرایط می‌توانند تا عمق ۵ متری زمینی را جستجو کنند که خاک آن خشک باشد اما در جستجوی زمین‌های خیس و اشباع شده از آب، کارآئی ندارند. رادارهای موجود فقط برای کشف خطوط برق، آب و فاضلاب مربوط به سازه‌های مدفون استفاده می‌شوند اما نمی‌توانند برای مشخص کردن ابعاد، فعالیت‌ها و سایر مشخصات سازه‌های مدفون کمکی بکنند [۲].

در سال ۲۰۰۵ طرح مفهومی رادارهای نفوذ کننده عمیق[2] (DGPR) با چندین سناریوی مختلف مطرح شد. یک سناریوی ساده این است که موشکی در نزدیکی هدف و تا عمق ۳۰ متری زمین نفوذ کرده و سپس شروع به ارسال امواج رادیویی درون زمین می‌کند. از حسگرهای راداری پرنده برای دریافت سیگنال‌های بازگشتی از سازه‌های مدفون استفاده می‌شود. حسگرهای منصوبه بر روی هواپیما می‌توانند با دریافت سیگنال‌های بازگشتی، در مورد جزئیات و مشخصات فنی سازه مدفون استفاده شوند [۱۲].

۳-۵- حسگرهای لرزه نگار

روش‌های لرزه‌نگاری برای کشف مخازن زیرزمینی نفت و گاز در اعماق بیشتر از ۱۰۰ متر کاربرد دارند. در این روش، یک موج ضربه‌ای که با استفاده از انفجار یا فشار هیدرولیکی به‌وجود می‌آید به زمین وارد شده و از امواج برگشتی آن برای شناسایی لایه‌های زیرزمینی استفاده می‌کنند. با توجه به شدت و الگوی امواج برگشتی می‌توان چگالی سنگ‌ها و سایر مواد و همچنین ابعاد حفره‌ها را در زیر زمین تشخیص داد.

در سال ۲۰۰۰ میلادی امکان‌پذیری فنی یک روش استفاده از حسگرهای لرزه‌نگاری برای شناسایی سازه‌های مدفون بررسی و تأیید شد. در جنگ ویتنام این حسگرها بر روی میخ‌هایی تعبیه و در امتداد مسیرهایی که احتمال وجود دشمن در آن‌ها بود پرتاب می‌شدند. در این سناریو، با نصب GPS[3] بر روی حسگرها، از آن‌ها برای کشف سازه‌های مدفون عمیق در سطوح گسترده بهره‌برداری می‌شود. همچنین گیرنده‌های GPS می‌توانند برای هدایت حسگرها به سمت مختصات دقیق جغرافیایی مورد نظر استفاده شوند. حسگرها اطلاعات خود را به هواپیما یا ماهواره ارسال می‌کنند؛ جایی‌که پس از تحلیل اطلاعات، آن‌ها را برای کشف سازه‌های مدفون به‌کار می‌برند [۲].

1- Ground Penetrating Radar
2- DGPR/ Deep Ground Penetrating Radar
3- GPS/ Global Positioning System

۳-۶- حسگرهای شتاب جاذبه

یکی از دستگاه‌هایی که معمولاً برای جستجو در اعماق بیشتر از ۲۰ متر استفاده می‌شود، حسگر اندازه‌گیری شتاب جاذبه زمین[4] است. این حسگرها معمولاً برای کشف لایه‌های نمک یا حفره‌های درون صخره‌ها و لایه‌های سنگ به‌کار می‌روند که پیش از این یک فعالیت زمان‌بر و طاقت‌فرسا محسوب می‌شد. نیروی جاذبه زمین با تغییر چگالی لایه‌های زیرزمینی تغییر می‌کند و به همین دلیل می‌توان تغییرات چگالی را در زیر سطح زمین مشاهده نمود.

اخیرا برای مصارف معدن، از تجهیزات ترکیبی استفاده می‌شود که علاوه بر حسگرهای جاذبه، از سیستم مکان‌یابی IMU[5] نیز بهره‌برداری کرده و می‌توان از آن‌ها برای مصارف نظامی نیز بهره گرفت. این سیستم برای کشف عوارض یا اشیاء توسط زیردریایی‌های آمریکایی مورد استفاده قرار گرفته است.

این دستگاه شامل شش زوج حسگر شتاب‌سنج کاملاً مشابه است که در هر لحظه از زمان، ۱۲ اندازه‌گیری جداگانه از شتاب جاذبه زمین انجام می‌دهند. بین هر دو حسگر یک فاصله کوچک وجود دارد.

برای یک هواپیما که در بالای سطح زمین پرواز می‌کند، تغییرات کاهشی نیروی جاذبه، نمایش‌دهنده وجود سنگ‌های با چگالی کمتر یا حفره‌هایی در زیرزمین است. همچنین تغییرات افزایشی جاذبه، نشان‌دهنده وجود کوه‌ها در مسیر پرواز است. وجود سازه‌های مدفون، باعث ایجاد تغییرات میکرونی در جاذبه زمین می‌شود. در گذشته به دلیل دقت کمتر و ابعاد بزرگ‌تر حسگرهای شتاب، اندازه‌گیری تغییرات میکرونی جاذبه امکان‌پذیر نبود. اما امروزه با کوچک شدن ابعاد حسگرها و بالا رفتن دقت آن‌ها، می‌توان از این دستگاه‌ها برای کشف سازه‌های مدفون بهره‌برداری نمود.

در این سناریو، برای جستجوی مناطق وسیع، از هواپیماهای پرنده خودکار[6] UAV استفاده می‌شود و وقتی که ناحیه‌ای که سازه مدفون در آن قرار دارد کشف شد، از هواپیماهای بدون سرنشین با کنترل از راه دور[7] RPV استفاده می‌شود [۲].

مطالعات اخیر نشان می‌دهند که با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری شتاب کوانتومی[8]، 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. این دستگاه در سال ۲۰۰۶ میلادی به‌صورت آزمایشگاهی ساخته و بهره‌برداری شد و نویسنده در مورد تولید تجاری آن اطلاعی در دست ندارد [۸].

4- Gravity Gradiometer
5- IMU/ Inertial Measurement Unit
6- UAV/ Uninhabited Aerial Vehicle
7- RPV/ Remotely Piloted Vehicles
8- Quantum Gravity Gradiometer

۴- تهدید مهمات نفوذی برای سازه‌های مدفون

برای شکست سازه‌های مدفون (به‌ویژه سازه‌های فوق مقاوم) نیاز قطعی به اطلاعات شناسایی دقیق است و کسب این اطلاعات در مورد سازه‌های مدفون عمیق، کاری بسیار دشوار و شاید غیر ممکن باشد اما نباید فراموش شود که حتی با در دست داشتن اطلاعات دقیق، محدودیت‌هایی برای انواع مهمات نیز وجود دارد [۶].

از نظر تئوری، بهترین روش برای انهدام سازه‌های عمیق، استفاده از بمب‌های اتمی کوچک است. در این روش به‌دلیل موج فشار بسیار شدید، سربار بر روی سازه فرو می‌ریزد. اما شواهد و گزارشات نشان می‌دهند که اتحادیه ناتو هنوز از این روش استفاده نکرده است [۳].

۴-۱- مکانیزم‌های حمله به سازه‌های مدفون

بر مبنای نوع کاربرد سازه و سطح شناسایی موجود، دو مکانیزم حمله برای خنثی‌سازی سازه‌های مدفون به‌کار گرفته شده است:

۱. انفجار هواسوز در مدخل ورودی، یعنی انفجار مهمات هواسوز (ترموباریک) در ورودی تونل که باعث ایجاد موج فشار بسیار شدید و تخلیه اکسیژن درون سازه و نهایتا تلفات جانی می‌شود.

۲. انفجار مهمات نفوذی به‌منظور انهدام تجهیزات بحرانی مانند مولد قدرت برق، سیستم تهویه یا سیستم انتقال اطلاعات در مراکز فرماندهی و تأسیسات فرایندی، تخریب تونل‌های ارتباطی[۱]، یا تخریب سازه‌ای، یعنی حداقل ۵۰٪ از سقف سازه تخریب شود. این روش برای سازه‌هایی که مربوط به انبار مهمات هستند یا آن گروه از سازه‌ها که جانمائی تجهیزات آن‌ها ناشناخته باشد، به‌کار می‌رود [۴].

در ادامه مقاله فقط به مهمات نفوذی پرداخته شده که بالاترین آمار در حمله به سازه‌های مدفون را دارا است.

۴-۲- مهمات نفوذی

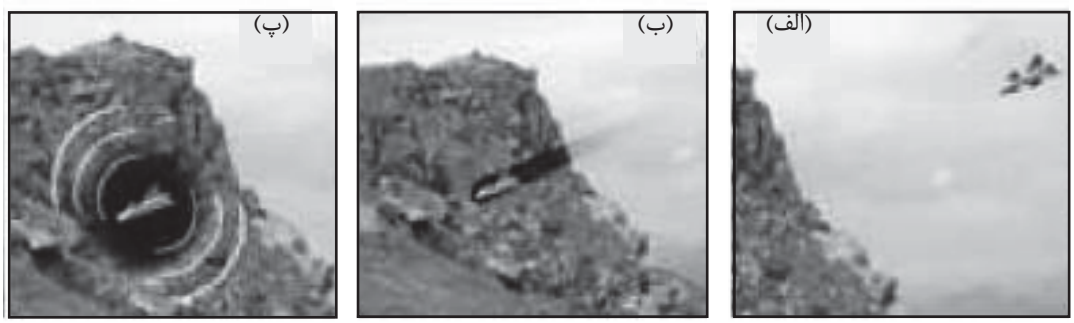
روش تجربی برای محاسبه عمق نفوذ D بر حسب فوت، رابطه (۲) است [۴]:

$$D = 0.00178\, SN(V-100)\left(\frac{W}{A}\right)^{0.7} \qquad (۲)$$

متغیرهای رابطه (۲) عبارت‌اند از:

- توزیع سطحی جرم[۲] W/A که واحد آن پوند بر اینچ مربع (lb/in^2) است.
- ضریب نفوذپذیری سربار S که برای بتن مسلح حدود یک و برای خاک بین ۴ تا ۸ است.
- ضریب انحنای دماغه[۳] N که با استفاده از ابعاد دقیق مهمات (نسبت طول به قطر دماغه) و از رابطه N = 0.18L/d + 0.56 محاسبه شده و فعلا در حدود ۱,۳۳ منظور می‌شود.
- سرعت برخورد مهمات با زمین V بر حسب فوت بر ثانیه ft/sec می‌باشد که در این مقاله برای مهماتی که مجهز به موتور جت نیستند حداکثر ۹۰۰ فوت بر ثانیه منظور می‌شود.

در لحظه برخورد با زمین، بدنه مهمات به سرعت تغییر شکل داده و در صورتی که تغییر شکل‌ها زیاد باشد، امکان نفوذ بیشتر در زمین وجود ندارد. در نتیجه، ضریب سختی بدنه مهمات، یکی از مهم‌ترین پارامترهای نفوذ بمب در زمین است. به‌طور مثال بمب ۲۰۰۰ پوندی BLU-109 با ۱۴,۵ اینچ قطر و ۸ فوت طول می‌تواند تا دو متر در بتن مسلح نفوذ کند؛ اما بمب ۲۰۰۰ پوندی BLU-116 که تقریباً با همان ابعاد ساخته شده، در بخش نفوذی خود دارای توزیع سطحی جرم تقریباً ۵۰٪ است که بدنه آن از جنس آلیاژ فولاد نیکل- کوبالت بوده و تا حدود چهار متر در بتن مسلح نفوذ می‌کند [۱۳]. در رابطه (۲) فرض شده است که سختی جنس بدنه مهمات به اندازه کافی زیاد هست که بتواند در برابر ضربه برخورد با زمین مقاومت کند.



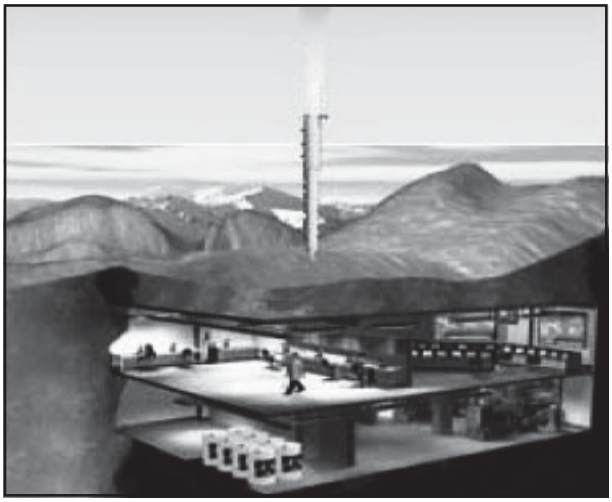
شکل ۳- استفاده از رادار نفوذکننده برای شناسایی سازه‌هایی که در عمق کوه ساخته می‌شوند

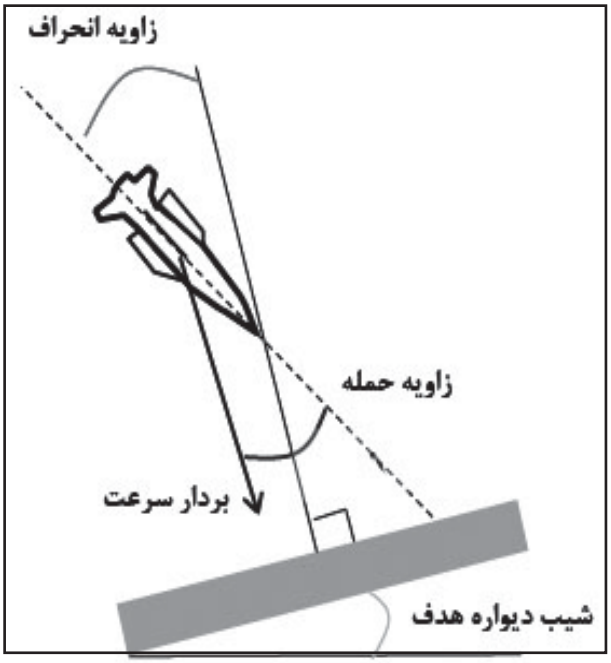
۱- یعنی انفجار مهمات در بالای تونل به‌طوری که حداقل ده متر از تونل با آوار و خاک پر شود.

2- Areal Density 3- Nose Coefficient

۴-۳- بمب GBU-28

بمب GBU-28 برای نفوذ در ۳۰ متر خاک و ۷ متر بتن مسلح طراحی شده است. این بمب در ماه اول جنگ ۱۹۹۱ عراق و ظرف مدت ۱۷ روز طراحی، تولید، آزمایش و آماده بهره‌برداری در جنگ شد.





شکل ۴- شماتیک زاویه برخورد مهمات [۱۲]

به این نوع بمب اصطلاحاً بمب ۵۰۰۰ پوندی گفته می‌شود اما در واقع ۴۶۳۷ پوند جرم بدنه و حدود ۶۳۰ پوند مواد منفجره دارد. قطر این بمب ۱۴ اینچ و طول آن ۲۵ فوت است.

۴-۴- بمب‌های سنگین نوین

مهمات سنگین نفوذی[1] MOP نوعی فناوری است که توسط آژانس کاهش تهدید دفاع[2] DTRA پشتیبانی می‌شود. یکی از اهداف توسعه فناوری MOP ساخت نوعی مهمات نفوذی ۳۰۰۰۰ پوندی با عنوان GBU-57 برای حمله به سازه‌های عمیق است. از سال ۲۰۰۲ شرکت Lockheed Martin بر روی یک بمب ۳۰۰۰۰ پوندی فعالیت می‌کرد که در سال ۲۰۰۷ آزمایش شد. این مهمات دارای ۳۲ اینچ قطر و ۲۱ فوت طول بوده و ادعا می‌شود که با استفاده از یک تاکتیک نفوذ متوالی (فعال شدن نفوذکننده دوم بلافاصله پس از نفوذ اول) و با تقویت نفوذ با استفاده از موتور راکتی در نفوذ دوم، می‌تواند به عمق نفوذ ۴۰ متر در صخره دسترسی یابد. شرکت Lockheed Martin مدعی است که آزمایش نهایی این بمب در سال ۲۰۱۲ انجام خواهد شد. به دلیل ابعاد بزرگ این مهمات هر هواپیمای **B-52** فقط می‌تواند یک بمب را حمل کند [۱۴].

همچنین در سال ۲۰۱۰ نیروی هوائی آمریکا خبر داد که طراحی یک نسل جدید از مهمات نفوذی را در برنامه دارد که ابعاد آن حدود ثلث GBU-57 است [۱۵].

۴-۵- زاویه انحراف

زاویه انحراف مهمات در شکل (۴) به‌صورت شماتیک نمایش داده شده است. در رابطه (۲) برای محاسبه عمق نفوذ مهمات، فرض می‌شود که زاویه انحراف[3] AOO مهمات صفر است؛ اما واقعیت آن است که چنین شرایطی به ندرت به وقوع می‌پیوندد.

صفر بودن زاویه انحراف AOO با دو فرض ایده‌آل همراه است:

- زاویه حمله صفر
- زاویه برخورد ۹۰ درجه

زاویه حمله[4] AOA یعنی زاویه‌ای که بین محور اصلی مهمات و بردار سرعت آن وجود دارد. زاویه حمله مهمات در شکل (۵) به‌صورت شماتیک نمایش داده شده است. معمولاً در موشک‌ها و بمب‌های دورایستا، زاویه حمله کمتر از ۱۰ درجه است و این مقدار نسبتاً خوبی محسوب می‌شود.

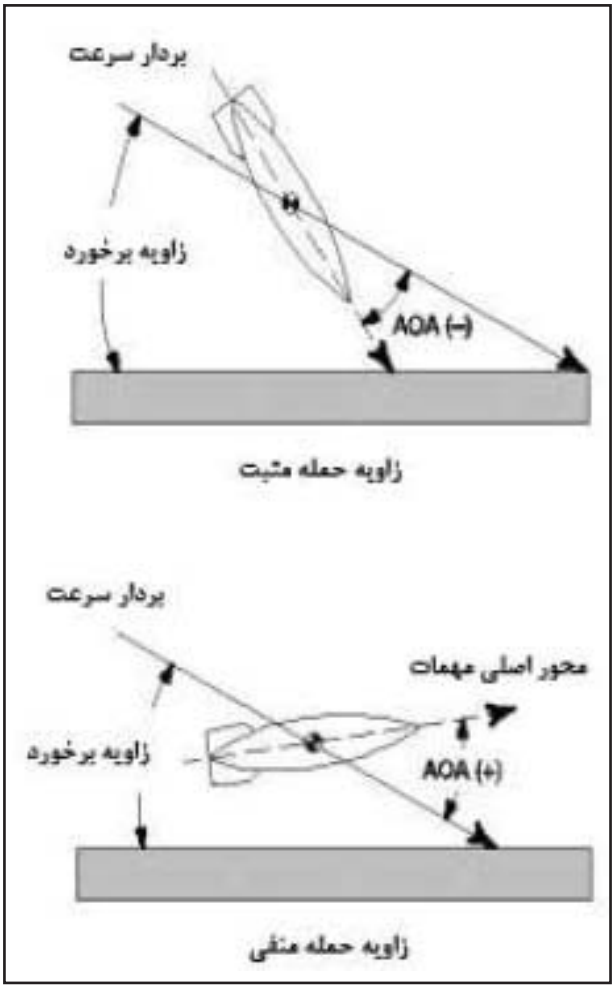
اما در مورد بمب‌هایی که سرعت بیشتری دارند، زاویه حمله می‌تواند مقادیر بیشتری داشته باشد.

از نظر فنی، زاویه برخورد[5] یعنی زاویه‌ای که بین بردار سرعت و سطح زمین وجود دارد.

زاویه برخورد، از جمله عوامل بسیار مؤثر در نفوذ مهمات است و در بهترین شرایط، معمولاً مقداری بین ۷۰ تا ۹۰ درجه دارد. برای مثال

1- MOP/ Massive Ordnance Penetrator
2- DTRA / Defense Threat Reduction Agency
3- AOO / Angle Of Oblique
4- AOA / Angle Of Attack
5- Impact Angle

در یک آزمایش که با یک سازه امن با ۵,۵ متر بتن مسلح انجام گرفت، زاویه برخورد ۷۳ درجه منجر به انهدام سازه نشد اما با زاویه برخورد ۹۳ درجه سازه امن منهدم شد [۶]. بدیهی است که با استفاده از این واقعیت می‌توان عمق نفوذ مهمات را تا ۵۰٪ کاهش داد.



شکل ۵- شماتیک تأثیر زاویه حمله [۶]

۵- ایمن‌سازی سازه‌های مقاوم

با آنکه احتمال شناسایی سازه‌های عمیق و احتمال نفوذ مهمات تا اعماق بیشتر از ۱۰۰ متری خیلی کمتر است، اما هزینه‌های بسیار زیاد و محدودیت‌های حاکم بر فعالیت‌های حیاتی، باعث می‌شوند که فقط درصد اندکی از سازه‌های مدفون در اعماق زیاد ساخته شوند. در حال حاضر، به‌منظور رعایت محدودیت‌های اقتصادی، حدود ۷۰٪ سازه‌های مدفون در عمق کمتر از ۳۰ متر ساخته می‌شوند. همچنین بسیاری از سازه‌های مقاوم موجود در کشور که قبلا ساخته شده اند، در اعماق کمتر از ۳۰ متر هستند.

اکنون سؤال اینجاست که آیا سازه‌هایی که در عمق کم یا به‌صورت نیمه مدفون ساخته می‌شوند، به اندازه کافی ایمن هستند؟

۵-۱- تداوم فعالیت در سازه‌های مقاوم

هنگامی که در مورد سازه‌های عمیق سخن می‌گوییم، ممکن است که موفق شویم احتمال شناسایی آن‌ها را تا حدود زیادی کاهش دهیم. اما در مورد سازه‌های مقاوم (مدفون در عمق کم) احتمال کشف و شناسایی بسیار بالاست و در بدترین شرایط فرض می‌کنیم که رؤیت‌پذیری سازه ۱۰۰٪ و لذا سازه کاملاً قابل شناسایی باشد. رابطه (۱) روشی برای برآورد احتمال تداوم فعالیت در یک سازه مدفون است. اکنون اگر در رابطه (۱) مقدار رؤیت‌پذیری سازه‌های مقاوم را ۱۰۰٪ و میزان قابلیت اطمینان مهمات را ۸۷٪ منظور کنیم رابطه (۳) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید [۱۰]:

$$P_C=(1-0.87\ P_{SS})^N \qquad (۳)$$

به‌عبارت دیگر، برای سازه‌های مقاوم می‌توان احتمال تداوم فعالیت را به‌صورت تابعی از آسیب‌پذیری هدف و تعداد حملات نمایش داد.

۵-۲- آسیب‌پذیری هدف در برابر مهمات

برای سازه‌های مقاوم که سربار آن‌ها کمتر از ۳۰ متر خاک است، احتمال اینکه مهمات بتواند تا عمق مورد نظر نفوذ کند بسیار زیاد است؛ در نتیجه، قبلاً ملاحظه شد که آسیب‌پذیری هدف در برابر مهمات P_{ss} یعنی احتمال اینکه سازه مدفون در اثر یک حمله و با استفاده از یک مهمات منهدم شود که تابعی از خطای مهمات CEP و شعاع خطر سازه R_s می‌باشد.

شعاع خطر سازه R_s یعنی حداقل فاصله‌ای که اگر مهمات در آن فاصله منفجر شود، موج فشار انفجار باعث خواهد شد که دیواره‌های بتنی سازه شکسته شده و تجهیزات درون آن تخریب شوند.

شعاع شکست دیوار بتنی تابعی از ضخامت دیوار بتنی t_{wall} و خرج انفجاری مهمات w_e است و از رابطه (۴) زیر به‌دست می‌آید [۴]:

$$r_{breach}=\frac{0.46\sqrt[3]{4W_e}}{0.05+\frac{t_{wall}}{0.18\sqrt[3]{4W_e}}} \qquad (۴)$$

شعاع خطر یک سازه مدفون $\mathbf{R_s}$ برابر با مجموع شعاع شکست دیوار بتنی و شعاع معادل سازه می‌باشد.

$$R_S=R+r_{breach} \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، **R** شعاع معادل سازه مدفون است و بقیه متغیرها قبلاً تعریف شده‌اند. شعاع معادل سازه‌های غیر دایروی برابر با ریشه دوم مساحت سازه می‌باشد [۱۰].

اگر مقدار خطای مهمات CEP مشخص باشد، آسیب‌پذیری هدف نسبت به یک مهمات از رابطه (۶) به‌دست می‌آید [۱۰]:

$$P_{SS} = 1 - exp[-0.7(\frac{R_s}{CEP})^2] \qquad (۶)$$

۵-۳- مقایسه بازدهی روش‌های فریب و مقاوم‌سازی

با توجه به نتایج فصل سوم در مورد رؤیت‌پذیری سازه‌های مدفون، می‌توان به‌منظور رعایت بدترین شرایط محاسباتی، از تأثیر برنامه‌های پیشگیری از شناسایی سازه‌های مدفون، صرف نظر کرده و فرض نمود که رؤیت‌پذیری سازه ۱۰۰٪ می‌باشد. در این صورت دو راهبرد برای ایمن‌سازی سازه‌های مدفون قابل تصور است:

- اجرای طرح‌های فریب و اغتشاش[1] به‌منظور افزایش CEP خطای مهمات
- مقاوم‌سازی دیوارهای بتنی سازه با افزایش ضخامت t_{wall} به‌منظور کاهش R_s شعاع خطر سازه

برای مقایسه بازدهی روش‌های ایمن‌سازی، از یک سناریوی ساده استفاده می‌شود که در آن، یک سازه مدفون در عمق کم به مساحت ۳۰۰ متر مربع توسط بمب‌های Enhanced Paveway III DMLGB از نوع GBU-28 با ترکیب دو نوع حسگر لیزری و ماهواره‌ای مورد تهاجم قرار می‌گیرد. برای این منظور، احتمال تداوم فعالیت سازه پس از اجرای ۱۰ حمله هوائی را برای سطوح مقاوم‌سازی و سطوح فریب مختلف به‌دست می‌آوریم. در این بخش پنج سطح از مقاوم‌سازی را برای ضخامت دیواره از ۳۰ سانتی‌متر تا ۱,۱ متر منظور کردیم. همچنین پنج سطح از فریب برای خطای مهمات از ۱۰ متر تا ۹۰ متر با یکدیگر مقایسه شده‌اند. بدین ترتیب تعداد ۲۵ وضعیت مختلف قابل بررسی خواهد بود.

جدول ۱- احتمال تداوم فعالیت سازه نمونه پس از ۱۰ حمله با مهمات نفوذی

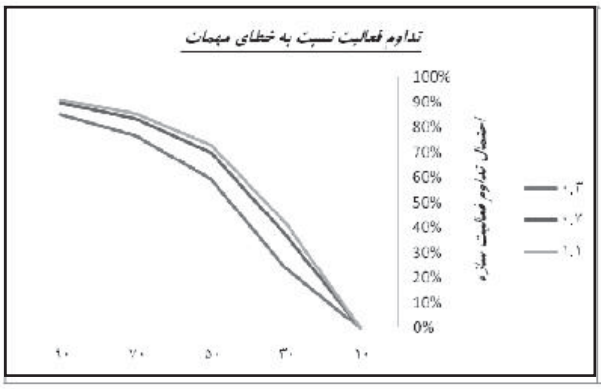
		ضخامت دیوار (متر)				
		۰,۳	۰,۵	۰,۷	۰,۹	۱,۱
خطای مهمات (متر)	۱۰	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰
	۳۰	٪۲۳	٪۳۲	٪۳۷	٪۴۰	٪۴۲
	۵۰	٪۵۹	٪۶۶	٪۷۰	٪۷۲	٪۷۳
	۷۰	٪۷۶	٪۸۱	٪۸۳	٪۸۴	٪۸۵
	۹۰	٪۸۵	٪۸۸	٪۸۹	٪۹۰	٪۹۱

1- Jamming

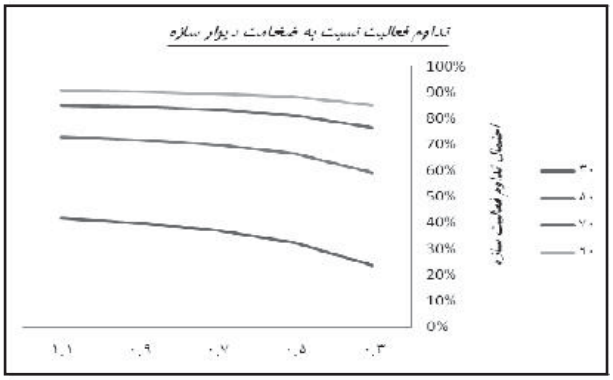
با استفاده از روابط (۳) تا (۶) میزان احتمال تداوم فعالیت سازه مدفون نمونه، برای هر یک از ۲۵ وضعیت فوق‌الذکر محاسبه شد. نتایج حاصله در جدول (۱) قابل بهره‌برداری است.

۵-۴- تحلیل محاسبات

به‌منظور مقایسه حساسیت بازدهی در سطوح مختلف فریب و مقاوم‌سازی، برخی از نتایج جدول (۱) در نمودارهای شکل (۶) ترسیم شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۶ - نمودار مقادیر جدول (۱)
(الف) نمودارهای تغییرات تداوم فعالیت نسبت به سطح فریب برای سطح مقاوم‌سازی ثابت (ضخامت دیوار ۰,۳ و ۰,۷ و ۱,۱ متر)
(ب) نمودارهای تغییرات تداوم فعالیت نسبت به سطح مقاوم‌سازی برای سطح فریب ثابت (خطای مهمات ۳۰ ، ۵۰ ، ۷۰ و ۹۰ متر)

با استفاده از نمودار، ملاحظه می‌شود که:

- برای مقادیر خطای بیشتر از ۹۰ متر هیچ نیازی به مقاوم‌سازی نیست.
- نرخ تغییرات بازدهی نسبت به خطای مهمات خیلی بیشتر از نرخ تغییرات آن نسبت به مقاوم‌سازی سازه است.

- وقتی که خطای مهمات افزایش می‌یابد، تأثیر مقاوم‌سازی به شدت کاهش می‌یابد.
- برای یک مقدار خطای ثابت، تغییرات بازدهی با افزایش ضخامت دیواره حداکثر ۲۸٪ است در حالی که برای یک ضخامت ثابت، تغییرات بازدهی حداقل ۵۵٪ یعنی حدود دو برابر است.

مطالب یاد شده بدان معنی نیستند که هزینه‌های مقاوم‌سازی سازه‌ها بیهوده است بلکه این موارد نشان دهنده این واقعیت هستند که بازدهی طرح‌های فریب بیشتر از بازدهی طرح‌های مقاوم‌سازی است. بی‌تردید طرح‌های بهینه ایمن‌سازی شامل ترکیبی هماهنگ و اقتصادی از روش‌های فریب و مقاوم‌سازی خواهند بود.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله ملاحظه شد که:

۱. هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری سازه‌های عمیق بسیار زیاد است و در مورد بسیاری از فعالیت‌های حیاتی کشور، امکان ساخت سازه در اعماق زیاد وجود ندارد و بسیاری از سازه‌های مدفون موجود، در اعماق کمتر از ۳۰ متری زمین ساخته شده‌اند.

۲. روش‌های کشف، شناسایی و حمله به سازه‌های عمیق رو به رشد است و شواهد حاکی از آن هستند که فصل تازه‌ای از تهدیدات بر علیه این سازه‌ها در حال شکل‌گیری است.

۳. بازدهی روش‌های فریب و اغتشاش (که باعث افزایش خطای مهمات می‌شوند) در افزایش ایمنی سازه‌های مدفون، به مراتب بیشتر از روش‌های مقاوم‌سازی می‌باشد.

با توجه به این واقعیت‌ها، ضرورت دارد که فصل ویژه‌ای در مطالعات، پژوهش‌ها و ضوابط طراحی و ساخت مرتبط با برنامه‌های فریب و اغتشاش در سطح ملی پیش‌بینی شود.

همچنین یادآور می‌شود که محاسبات ارائه شده در این مقاله با استفاده از نتایج منتشر شده پروژه‌های مطالعاتی ارتش آمریکا انجام گرفته است و لذا با توجه به اینکه بسیاری از این نتایج برای مشاوران و متخصصان پدافند غیرعامل کشور قابل دسترس نیستند، ضرورت دارد که مطالعات بومی و ملی در زمینه تبیین روش‌های محاسباتی مورد بحث انجام پذیرد.

مراجع

1. How Many Rogue State Hard and Deeply Buried Targets?/ Jeffrey Lewis/ (**2005**).
2. Deeply Buried Facilities Implications for Military Operations/ May (**2000**).
3. JOINT WARFIGHTING SCIENCE AND TECHNOLOGY PLAN; HARD AND DEEPLY BURIED TARGET DEFEAT
4. Hard and Deeply Buried Target Defeat capability (HDBTD) Analysis of Alternatives Lethality Approach/ Kara J. Peterson, Frank A. Maestas, John C. Galloway, 69th Mors Symposium;
5. Damage Expectancy Uncertainties for Deeply Buried Targets/ Suzanne C, Wright/ Science Applications International Corporation
6. NEW CONVENTIONAL WEAPONS, REDUCING RELIANCE ON A NUCLEAR RESPONSE TOWARD AGGRESSORS/ Gary W. Lane, Lt Col, USAF; Advisor: Lt Col Robert C. Allgood, Jr.; Maxwell Air Force Base, April (**2001**).
7. High Velocity Penetrating Weapon Addresses “Hard Target” Challenges/ Scott R. Gourley/ (**2011**).
8. GOING DEEP: A SYSTEM CONCEPT FOR DETECTING DEEPLY BURIED FACILITIES FROM SPACE/ Arnold H. Streland, LtCol, USAF; A Research Report Submitted to the Faculty In Partial Fulfillment of the Graduation Requirements; (**2003**).
9. Operation Desert Storm Air Campaign Evaluation of the Air Campaign/ GAO/NSIAD-97-134/ Report to Congressional Committees (**1996**).
10. Weaponeering: Conventional Weapon System Effectiveness, U.S. Naval Postgraduate School/(**2004**).
11. High Velocity Penetrating Weapon Program Overview/ Leo Rose(Program Manager)/ (**2011**).
12. Deep Ground Penetrating Radar (GPR) WIPD-D Models of Buried Sub-Surface Radiators; John D. Norgard, Michael C. Wicks, Randy L. Musselman; US Air Force Academy Eric M. Sepp, Lt Colonel, USAF
13. BLU-116 Advanced Unitary Penetrator [AUP]/ Globalsecurity.org
14. GBU-57/B Massive Ordnance Penetrator (MOP)/ Globalsecurity.org
15. Globalsecurity.org

Comparison of the Efficiency of Deception and Hardening Plans in the Safety of Hard and Deeply Buried (HDBT) Structures

S. M. Hossaini Yeganeh[1]

Abstract

The cost of hardening of buried structures and construction and exploitation of deeply buried structures as well, is very high and on the other hand, the mechanisms for detection, recognition and destruction of Buried Structures are in everyday development. While this is a great challenging subject for utilizing these structures we need to review our safety plans. Jamming & CCD plans are some of the main branches of passive defense that cause the increase of munitions error CEP (Circular Error Probable) and can be used for proofing the performance of buried structures. In this paper we introduce the "Functional Availability" for the main measure of performance and also Jamming & CCD and hardening performance for a sample shallow buried structure is calculated and compared. The main axes of discussion in this paper are:

- Governing restrictions over observability and vulnerability of buried structures
- Opportunities and threats governing detection, identification and destruction of buried structures
- Basic calculation of performance for passive defense plans on the basis of Functional Availability
- Comparison between levels of effectiveness of hardening methods and Jamming & CCD plans

Key Words: *Hard and Deeply Buried Targets, Passive Defense, Countermeasure, CCD & Jamming, Hardening*

1- BS in Control Engineering- Sharif University of Technology (Email: smyeganeh@yahoo.com)