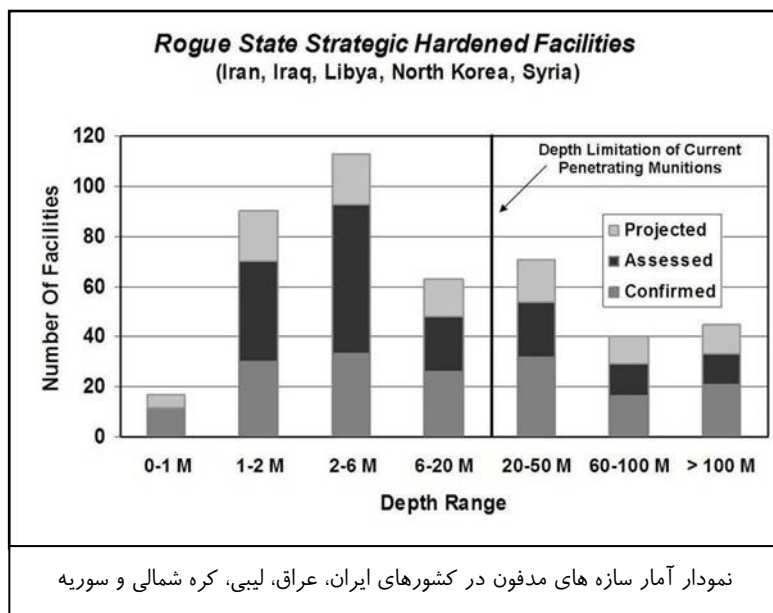


مقایسه بازدهی طرحهای فریب و مقاوم سازی در ایمنی سازه های مدفون

استفاده از عمق زمین باعث می شود دشواریهای مکان یابی اهداف افزایش یابد، توانایی برای شناسایی فعالیت‌های آنها و توانایی برای انهدام آنها نیز کاهش یابد. به همین دلیل است که قابلیت‌های رو به رشد حسگرهای شناسایی و مهمات هدایت شونده، انگیزه دولت‌ها را برای ساخت سازه های مدفون مضاعف کرده است. {۲}

در ادبیات ارتش آمریکا این سازه ها تحت عنوان اهداف مقاوم و مدفون *Hard and deeply buried targets* (HDBTs) دسته بندی می شوند. HDBT شامل کلیه انواع مقاوم سطحی، مدفون در عمق کم و مدفون عمیق هستند.



در حال حاضر، یک رقابت پیوسته بین سازندگان سازه های مدفون و مهاجمین به آنها وجود دارد. همینطور که سازه ها عمیق تر می شوند هزینه های ساخت و نگهداری آنها نیز افزایش می یابد و بصورت همزمان، طراحان مهمات نیز باید هزینه های بیشتری را برای انهدام آنها پرداخت کنند. اخیرا توجه به سازه های عمیق بسیار

افزایش یافته است بطوریکه ارتش آمریکا تا کنون چندین پروژه تحقیقاتی در زمینه بهبود روشهای کشف، شناسایی و انهدام آنها اجرا نموده است. {۱}

با آنکه احتمال شناسایی سازه های عمیق و احتمال نفوذ مهمات تا اعماق بیشتر از ۱۰۰ متری خیلی کمتر است، اما هزینه های بسیار زیاد و محدودیتهای حاکم بر فعالیت‌های حیاتی، باعث می شوند که فقط درصد اندکی از سازه های مدفون در اعماق زیاد ساخته شوند. در حال حاضر، به منظور رعایت محدودیت های اقتصادی، حدود ۷۰٪ سازه های مدفون در عمق کمتر از ۳۰ متری ساخته می شوند. همچنین بسیاری از سازه های مقاوم موجود در کشور که قبلا ساخته شده اند، در عمق کم یا بصورت نیمه مدفون هستند. اکنون این سوال مطرح است که آیا سازه هایی که در عمق کم یا بصورت نیمه مدفون ساخته می شوند، قابل ایمن سازی هستند؟

در بخش اول این مقاله، سازه های مدفون معرفی شده و محدودیت های حاکم بر ایمنی آنها و مهمترین پروژه های ارتش آمریکا بررسی و نهایتاً رابطه ریاضی برای برآورد احتمال تداوم فعالیت در یک سازه مدفون معرفی می شود.

در بخش دوم مقاله با اشاره به ظرفیتهای موجود و جدید کشف و شناسایی دشمن، به موضوع رویت پذیری سازه های مدفون پرداخته شده است.

در بخش سوم مقاله، مکانیزمهای مختلف حمله به سازه های مدفون و برخی از محدودیت های حاکم بر آنها مطرح و تهدیدات موجود و جدید بر علیه این سازه ها معرفی می شود.

در بخش چهارم مقاله، با استفاده از نتایج بخش های قبلی، بازدهی روشهای مختلف پدافند غیر عامل بر افزایش ایمنی سازه های مدفون بررسی و نتیجه گیری و به سوال اصلی پاسخ داده می شود.

معرفی سازه های مدفون

در کره شمالی شبکه های زیر زمینی از تونلها و مجموعه های سازه های فوق مقاوم در عمق یکصد متری زمین ساخته است. این شبکه تونلهای زیرزمینی، ظرفیت جابجائی ۸۰۰۰ سرباز در ساعت به همراه تسلیحات زرهی و خودروهای مربوطه را دارد. {۲}

در جنگ ۱۹۹۱ بخش قابل توجهی از مجموع ۱۸۰ سازه های فرماندهی، کنترل، مخابرات و مدیریت

ارتش و دولت عراق، سازه های مدفون و برخی از آنها نیز سازه های 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 هستند که انهدام این اهداف باعث نشد که دولت و ارتش عراق

توانایی فرماندهی و رهبری ملی خود را از دست بدهد. {۹}

پروژه های مطالعاتی آمریکا برای محاسبات احتمال انهدام

بطور کلی ارتش آمریکا از ظرفیتهای تحقیق و توسعه قابل توجه و فن آوری ساخت پیشرفته ای

برخوردار است. این کشور قابلیت اجرای برنامه های جبرانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت برای

مقابله با روشهای مقاوم سازی دارد. بطور مثال بمب نفوذی GBU-۲۸ در ماه اول جنگ ۱۹۹۱ عراق و

ظرف مدت ۱۷ روز طراحی، تولید، آزمایش و آماده بهره برداری بر علیه اهداف مدفون در جنگ شد.

بلافاصله پس از اشغال عراق در سال ۱۹۹۱ یک پروژه تحقیقاتی برای بررسی عوامل موثر در خطای

محاسبات تخریب سازه های مدفون اجرا و گزارش آن تحت عنوان Damage Expectancy Uncertainties

for Deeply Buried Targets منتشر شد.

در این مطالعات چگونگی تاثیر متغیرها بر میزان خطای محاسبات آسیب پذیری اهداف تحلیل شد. بطور

کلی عوامل موثر بر خطای محاسبات آسیب پذیری عبارتند از:

- جرم، زاویه برخورد، سختی بدنه، سرعت برخورد و دقت نشانه گذاری مهمات،

- زمین شناسی، نوع محیطی که هدف در آن قرار دارد، عمق انفجار، مدل برآورد شوک زمین، عمق تاثیرگذاری شوک زمین،

- مدل برآورد فاصله تخریب، مقاومت، عمق، جانمایی و ابعاد هدف {۵}

پروژه ارزیابی شکست سازه های مدفون و عمیق HDBTD AOA

شکست اهداف مقاوم و مدفون (*Hard and Deeply Buried Target Defeat (HDBTD)*) یک هدف غائی است و یعنی افزایش قابلیت ها برای خنثی سازی سازه های مقاوم و عمق.

به عبارت دیگر *HDBTD* یعنی توسعه توانمندیهای کشف، شناخت مشخصات، طراحی، شکست و ارزیابی حملاتی که بر علیه تاسیسات مدفون، عمیق، تونلها و سایر دارایی های ارزشمندی که انهدام آنها دشوار است. {۱}

پروژه *HDBTD AOA* برای ارزیابی آسیب پذیری ها و بازدهی مهمات و مشخص کردن بهترین مهمات برای انهدام سازه های مقاوم و عمیق به اجرا درآمد. این پروژه توسط فرماندهی حملات هوایی *ACC* و فرماندهی فضایی *AFSPC* نیروی هوایی 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 بکارگیری کلیه ابزار لازم برای تخریب، انهدام یا خنثی سازی اهداف سخت و مدفون عمیق و همچنین عناصر حیاتی در فعالیت آنها، شبکه هایی که از آنها پشتیبانی می کنند یا توسط آنها پشتیبانی می شوند. {۱}

در این پروژه برای مطالعه آسیب پذیری سازه های عمیق، تعداد ۲۶ سازه از سراسر دنیا برگزیده شد تا کلیه ویژگیهای مقاومت و فعالیت این سازه ها در سطح جهانی مورد توجه قرار بگیرد. همچنین برای مطالعه بازدهی مهمات در انهدام و خنثی سازی سازه های عمیق، تعداد ۶۴ نوع مهمات برای حمله به این سازه ها مورد مطالعه قرار گرفت. {۴}

پروژه مهمات نفوذی با سرعت بالا HVPW

آزمایشگاه تحقیقات نیروی هوایی آمریکا اخیراً یک پروژه جدید برای بهبود بازدهی مهمات بر علیه سازه های عمیق با عنوان مهمات نفوذی با سرعت بالا "High Velocity Penetrating Weapon" (HVPW) آغاز کرده است. {۷}

این پروژه پیرامون چهار برنامه پیشرفت فن آوری مدیریت می شود:

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

دسته بندی و محدوده ایمنی سازه های مدفون

در این مقاله سازه های مدفون را در دو گروه مقاوم و عمیق دسته بندی می کنیم:

سازه های مقاوم^۱ با روش برش و پوشش cut-and-cover ساخته می شوند. در این روش ابتدا یک سوراخ تعبیه شده و پس از آنکه ساخت سازه و نصب تاسیسات، روی آنرا با سنگ و خاک می پوشانند. این نوع سازه ها حداکثر تا عمق ۳۰ متری ساخته شده و حدود ۷۰٪ از سازه های مدفون را تشکیل می دهند.

سازه های عمیق^۲ با استفاده از تونل زدن در اعماق زمین یا در دل کوه ها ساخته می شوند. این نوع سازه ها ممکن است تا اعماق یکصد متری زمین نیز قرار بگیرند و آنها را سازه های فوق مقاوم^۳ نیز می گویند. حدود ۲۰٪ از این سازه ها در عمق بین ۲۰ تا ۱۰۰ متری و ۱۰٪ آنها در عمق بیش از ۱۰۰ متری ساخته شده اند. کشف و انهدام سازه های عمیق به مراتب پیچیده تر و دشوارتر سایر اهداف است. بصورت معمول نیز کاملاً حس می شود که هرچه عمق سازه بیشتر باشد، در برابر حملات نیز امنیت بیشتری خواهد داشت. مطالعات شرکتهای مشاور ارتش آمریکا^۴ RAND و MITRE^۵ حاکی از آن هستند که وقتی یک سازه امن درون یک کوه تعبیه می شود 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 می گیرند را سربار یا overburden می گویند.

همین مطالعات نشان می دهند که یک نسبت ۵۰۰ بین طول و قطر تونل برای میرایی اثر انفجار مناسب است. تونلهایی که با رعایت این نسبت ساخته می شوند، بطور کامل آثار انفجار را از بین می برند ولی این نیز به معنی تونلهای بسیار بلند است که هزینه های ساخت را افزایش می دهد. اما یکی از مزایای استفاده از تونلهای بلند، افزایش تردید در مورد مکان دقیق سازه مدفون است.

^۱ Hard

^۲ Deeply Buried

^۳ Super Hard

^۴ **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.

^۵ **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.

به عنوان مثال اگر قطر تونل ۵ متر باشد باید طول آن ۲۵۰۰ متر باشد تا بتواند شرایط میرایی موج انفجار (یعنی نسبت ۵۰۰) را پوشش بدهد. اگر ورودی این تونل (که منتهی به سازه مدفون است) بر روی سطح زمین شناسایی شود، حدود دو هزار هکتار را باید برای کشف سازه مدفون جستجو کنیم. حتی اگر فرض کنیم که مسیر تونل مستقیم است و به سمت ورودی برنگشته، ۵۰٪ از این مساحت را باید جستجو کنیم. وقتی که مکان دقیق یک سازه مدفون را ندانیم، احتمال حمله و انهدام آن به شدت کاهش یافته و همین امر به معنی افزایش امنیت آن است.

احتمال تداوم فعالیت در سازه مدفون

آمار نشان می دهد که مهمات اصلی که برای حمله به سازه های مدفون و عمیق بکار گرفته شده اند مجهز به سیستمهای هدایت لیزری و ماهواره ای JDAM یا ترکیبی از این دو نوع سیستم^۶ EGBU بوده اند. در اکثر موارد برای انهدام یک سازه مدفون باید برخورد مستقیم صورت گیرد. {۴} اما بطور 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 ایمن سازی، افزایش احتمال تداوم فعالیت های 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 شماره (۱) بدست می آید: {۱۰}

$$P_c = (1 - P_i P_r P_{ss})^N \quad (1)$$

متغیرهای اصلی در رابطه شماره (۱) عبارتند از:

- رویت پذیری 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 کارآئی مهمات که عبارت است از احتمال اینکه مهمات مطابق با مشخصات فنی خود عمل کند. این مقدار برای مهمات لیزری ۸۰٪ و برای مهمات ماهواره ای ۸۷٪ گزارش شده است و لذا برای پوشش بدترین حالت، در ادامه این مقاله مقدار قابلیت اطمینان را ۸۷٪ منظور خواهیم کرد.
- آسیب پذیری 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 می باشد.

^۶ موشکهای کروز نیز در گروه ترکیبی منظور شده اند.

رویت پذیری سازه های مدفون

همانطور که قابلیت های ماهواره ای برای گردآوری اطلاعات دقیق در حال افزایش است، نقش آنها نیز در کشف سازه های مدفون مهمتر می شود. برای مثال، ماهواره های مراقبتی که از آرایه ای از حسگرهای تصویری با قدرت تفکیک بسیار بالا استفاده می کنند مانند اسکنرهای چند طیفی Landsat کلید هایی را در زمینه وجود و فعالیتهای سازه های مدفون مهیا می کنند. این روش بر روی تصویربرداریهای چند طیفی، حرارتی و مادون قرمز از زمین اطراف سازه های مدفون بنا می شود.^۷ در عین حال نباید فراموش کرد که مشکل اصلی در بکارگیری تصاویر ماهواره ای برای شناسایی سازه های مدفون، قابلیت های استتار، فریب و اختفاء است. {۲}

هیچ راه حل ساده و مطمئنی برای مسئله شناسایی مشخصات فنی سازه های عمیق وجود ندارد. {۸}

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

- تصویر برداری، عکس هایی که توسط ماهواره ها و هواپیماها تهیه می شوند
- اندازه گیری 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 خواهد بود. بدست آوردن مکان تقریبی این سازه ها نیازمند یک ظرفیت اطلاعاتی است که بتواند جستجوی نواحی بسیار وسیعی را پوشش دهد تا بتواند محدوده آنها را از فواصل دور تشخیص دهد و از فن آوری استفاده کند که قابلیت استتار آن وجود نداشته باشد. سپس این ظرفیت می تواند برای هدایت سایر امکانات اطلاعاتی بکار 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 پدیده های زیرزمینی استفاده می شوند. {۸}

تصویربرداری طیف مرئی

لوله های آگزوز، ورودی ها و هرگونه سطح قابل رویت که شکلهای مربع یا مثلث داشته باشند به سادگی قابل تشخیص هستند. اما استفاده از پوشش های استتاری که دارای بازتاب مادون قرمز زیاد هستند باعث خواهد شد که این نوع سطوح با فضای سبز اشتباه گرفته شوند. تصاویر سیاه و سفید بیش از سایر

^۷ وقتی یک روش استتار، فریب و اختفاء باعث کاهش احتمال کشف توسط یک حسگر یا یک ماهواره می شود، حسگرهای دیگر می توانند آنها را کشف کنند. همین امر سبب شده است که امروزه از روشهای چند حسگر استفاده می شود.

انواع عکس های ماهواره ای کاربرد دارند چرا که آنها باعث برجسته تر شدن بازتابها و وضوح اشیاء بر روی زمین می شوند. لذا درصد انعکاس نور یا بازتاب اشیا بر روی زمین، یکی از مهم ترین ویژگیهای موثر در توانائی ماهواره ها برای کشف اهداف است اما با استفاده از رنگ و پوشش متناسب، کلیه تجهیزات پشتیبانی نصب شده بر روی سطح زمین شامل نگهدارنده ها، آنتن ها و سایر موارد مشابه استتار می شوند.

استفاده از الگوهای با زمینه طبیعی مانند پنهان کردن تجهیزات زیر پرتگاه ها و جای دادن آنها در کنار جریانهای آب باعث می شود که بین خروجی های سازه مدفون و طبیعت هماهنگی ایجاد شود و قابلیت کشف آنها توسط ماهواره ها کاهش یابد. طعمه های فریب سه بعدی می توانند نقش بسیار زیادی در جلوگیری از شناسایی تجهیزات خارجی پشتیبانی از سازه های مدفون داشته باشند. مثلا گذاشتن گرم کن هایی در کنار برخی سوراخهای طبیعی به منظور شبیه سازی خروجی اگزوز، نصب آنتن های ماکت، دربهای ورودی و سایر نماهایی که می توانند ظاهر بصری یا حرارتی را شبیه سازی کنند. {۲}

تصویربرداری حرارتی

تصویربرداری حرارتی لندست می تواند در یک قطعه زمین چمن، خروجی تهویه یا سازه هایی که نزدیک به سطح زمین هستند را کشف کند. فیلتر طیف آبی آن می تواند دود و گازهایی را که از کانالهای زیر زمینی بیرون می زنند را کشف کند.

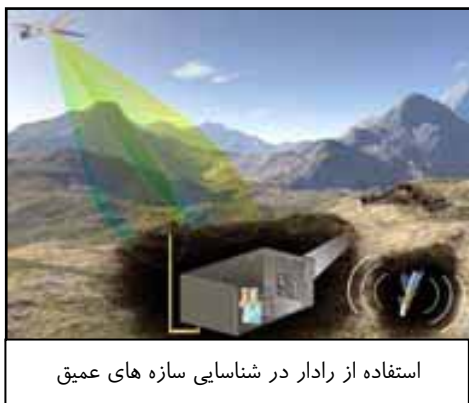
وقتی که هوای گرم از دریچه های تهویه سازه های مدفون خارج می شود، ماهواره ها می توانند این علائم مشخصه را کشف کنند. همچنین لکه های گرمی که تا سطح زمین گسترده می شوند و در بالای برخی بخش های گرم تر سازه های مدفون هستند. دمای محیط برخی بخش های سازه مدفون ممکن است باعث بالا رفتن دمای زمین اطراف دریچه ها، لوله های آب، خروجی های اضطراری و کانالهای برقی شود. اما در مقابل نیز، روشهایی وجود دارد که می توان بخش هایی از سازه که نزدیک به زمین است را عایق حرارتی نمود. فضای سبز و عایقکاری می توانند باعث کاهش مشخصه حرارتی سازه های زیرزمینی شوند. هوای خنک تر محیط می تواند با هوای گرمتر خروجی های تهویه ترکیب و مشخصه حرارتی آن را به حداقل برساند.

فعالیت های ساخت سازه های مدفون

جاده ها و کامیونهایی که به سمت داخل کوه می روند یا در حرکت به سمت زیرزمین ناپدید می شوند، اغلب برای مشخص کردن مکان سازه مدفون مناسب هستند. علاوه بر این، بر مبنای ابعاد مخازن، تعداد ریل ها، اندازه جاده ها و سایر نماهای خارجی، می توان تخمین زد که چه چیزی در یک سایت در حال ساخت است. همچنین ماهواره ها می توانند تصاویر استریو تهیه کنند تصاویری که از دو نقطه بسیار نزدیک از یک صحنه گرفته می شوند. شرکتهای تجاری نرم افزاری را تولید کرده اند که تغییرات بین تصاویری را که در طول زمان گرفته شده اند را کشف می کنند که به آنها نرم افزار کشف تغییر گفته

می شود. بررسی تصاویری که در طول یک دوره مشخص از یک ناحیه جغرافیایی گرفته می شود یک راه حل معمول برای رصد کردن ماهواره ای فعالیتها و تغییرات بوجود آمده در نواحی است که احتمال وجود سازه های مدفون وجود دارد. اما مشکل اصلی این است که برای استفاده از نکات فوق الذکر، ابتدا باید محدوده مشخصی را بصورت متمرکز تحت نظر گرفت و این در حالی است که به دشواری می توان مکان دقیق سازه های مدفون را تشخیص داد.

رادارهای نفوذ کننده در عمق زمین DGPR



استفاده از رادار در شناسایی سازه های عمیق

رادار نفوذ کننده در زمین Ground Penetrating Radar

(GPR) یک دستگاه فعال است که با ارسال امواج

الکترومغناطیسی اشیاء درون زمین را شناسایی می کند.

ضریب تضعیف زمین بسیار بالاتر از هوا است و امواج

رادیویی پس از نفوذ درون زمین و انعکاس توسط اشیاء

مدفون، به شدت تضعیف می شوند. به همین دلیل است

که این رادارها در بهترین شرایط می توانند تا عمق ۵

متری زمینی را جستجو کنند که خاک آن خشک باشد اما

در جستجوی زمین های خیس و اشباع شده از آب، کارآئی ندارند. رادارهای موجود فقط برای کشف

خطوط برق، آب و فاضلاب مربوط به سازه های مدفون استفاده می شوند اما نمی توانند برای مشخص

کردن ابعاد، فعالیتها و سایر مشخصات سازه های مدفون کمکی بکنند. {۲}

در سال ۲۰۰۵ طرح مفهومی رادارهای نفوذ کننده عمیق (DGPR) Deep Ground Penetrating Radar با

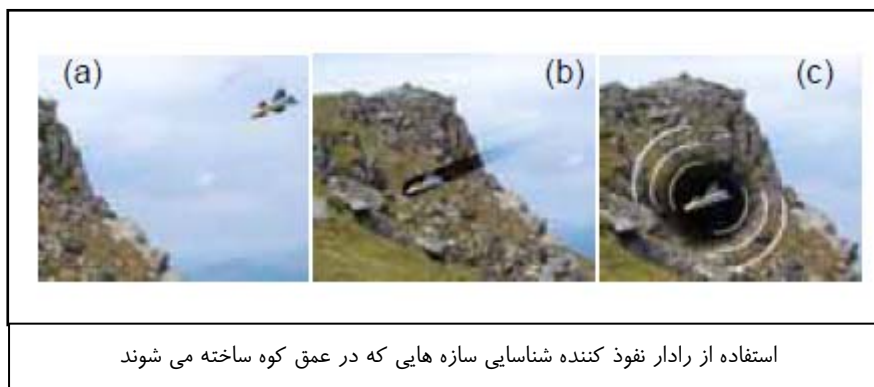
چندین سناریوی مختلف مطرح شد. یک سناریوی ساده این است که موشکی در نزدیکی هدف و تا عمق

۳۰ متری زمین نفوذ کرده و سپس شروع به ارسال امواج رادیویی درون زمین می کند. از حسگرهای

راداری پرنده برای دریافت سیگنالهای بازگشتی از سازه های مدفون استفاده می شود. حسگرهای

منصوبه بر روی هواپیما می توانند با دریافت سیگنالهای بازگشتی، در مورد جزئیات و مشخصات فنی

سازه مدفون استفاده شوند. {۳}



استفاده از رادار نفوذ کننده شناسایی سازه هایی که در عمق کوه ساخته می شوند

حسگرهای لرزه نگار

روشهای لرزه نگاری برای کشف مخازن زیر زمینی نفت و گاز در اعماق بیشتر از ۱۰۰ متر کاربرد دارند. در این روش، یک موج ضربه ای که با استفاده از انفجار یا فشار هیدرولیکی بوجود می آید به زمین وارد شده و از امواج برگشتی آن برای شناسایی لایه های زیرزمینی استفاده می کنند. با توجه به شدت و الگوی امواج برگشتی می توان چگالی سنگها و سایر مواد و همچنین ابعاد حفره ها را در زیر زمین تشخیص داد.

در سال ۲۰۰۰ میلادی امکان پذیری فنی یک روش استفاده از حسگرهای لرزه نگاری برای شناسایی سازه های 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 می کردند. در این سناریو، با نصب Global Positioning System (GPS) بر روی حسگرها، از آنها برای کشف سازه های مدفون عمیق در سطوح گسترده بهره برداری می شود. همچنین گیرنده های GPS می توانند برای هدایت حسگرها به سمت مختصات دقیق جغرافیایی مورد نظر استفاده شوند. حسگرها اطلاعات خود را به هواپیما یا ماهواره ارسال می کنند، جاییکه پس از تحلیل اطلاعات، آنها را برای کشف سازه های مدفون بکار می برند. {۲}

حسگرهای شتاب جاذبه

یکی از دستگاه هایی که معمولا برای جستجو در اعماق بیشتر از ۲۰ متر استفاده می شود، حسگر اندازه گیری شتاب جاذبه زمین^۸ است. این حسگرها معمولا برای کشف لایه های نمک یا حفره های درون صخره ها و لایه های سنگ بکار می روند که پیش از این یک فعالیت زمانبر و طاقت فرسا محسوب می شد. نیروی جاذبه زمین با تغییر چگالی لایه های زیرزمینی تغییر می کند و به همین دلیل می توان تغییرات چگالی را در زیر سطح زمین مشاهده نمود.

اخیرا برای مصارف معدن، از تجهیزات ترکیبی استفاده می شود که علاوه بر حسگرهای جاذبه از سیستم مکان یابی IMU نیز بهره برداری کرده و می توان از آنها برای مصارف نظامی نیز بهره گرفت. این سیستم برای کشف عوارض یا اشیاء توسط زیردریایی های آمریکایی مورد استفاده قرار گرفته است. این دستگاه شامل شش زوج حسگر شتاب سنج کاملا مشابه است که در هر لحظه از زمان، ۱۲ اندازه گیری جداگانه از شتاب جاذبه زمین انجام می دهند. بین هر دو حسگر یک فاصله کوچک وجود دارد. برای یک هواپیما که در بالای سطح زمین پرواز می کند، تغییرات کاهشی نیروی جاذبه، نمایش دهنده وجود سنگهای با چگالی کمتر یا حفره هایی در زیرزمین است. همچنین تغییرات افزایشی جاذبه، نشان دهنده وجود کوه ها در مسیر پرواز است. وجود سازه های مدفون، باعث ایجاد تغییرات میکرونی در جاذبه زمین می شود. در گذشته به دلیل دقت کمتر و ابعاد بزرگتر حسگرهای شتاب، اندازه گیری

^۸ Gravity Gradiometer

تغییرات میکرونی جاذبه امکان پذیر نبود. اما امروزه با کوچک شدن ابعاد حسگرها و بالا رفتن دقت آنها، می توان از این دستگاه ها برای کشف سازه های مدفون بهره برداری نمود.

در این سناریو، برای جستجوی مناطق وسیع، از هواپیماهای پرنده خودکار uninhabited aerial vehicle (UAV) استفاده می شود و وقتیکه ناحیه ای که سازه مدفون در آن قرار دارد کشف شد، از هواپیماهای بدون سرنشین با کنترل از راه دور remotely piloted vehicles (RPVs) استفاده می شود. {۲}

مطالعات اخیر نشان می دهند که با استفاده از دستگاه اندازه گیری شتاب کوانتومی^۹، می توان از ماهواره ها نیز برای جستجوی سازه های عمیق بهره برداری نمود. این دستگاه با استفاده از اتمهای سزیم، تغییرات شتاب جاذبه را با دقت بسیار خوبی نمایش می دهد. این دستگاه در سال ۲۰۰۶ میلادی بصورت آزمایشگاهی ساخته و بهره برداری شد و نویسنده در مورد تولید تجاری آن اطلاعی در دست ندارد. {۸}

تهدید مهمات نفوذی برای سازه های مدفون

برای شکست سازه های مدفون (به ویژه سازه های فوق مقاوم) نیاز قطعی به اطلاعات شناسایی دقیق است و کسب این اطلاعات در مورد سازه های مدفون عمیق کاری بسیار دشوار و شاید غیر ممکن باشد اما نباید فراموش شود که حتی با در دست داشتن اطلاعات دقیق، محدودیت هایی برای انواع مهمات نیز وجود دارد. {۶}

از نظر تئوری، بهترین روش برای انهدام سازه های عمیق، استفاده از بمبهای اتمی کوچک است. در این روش به دلیل موج فشار بسیار شدید سربار بر روی سازه فرو می ریزد. اما شواهد و گزارشات نشان می دهند که اتحادیه ناتو هنوز از این روش استفاده نکرده است. {۱}

مکانیزم های حمله به سازه های مدفون

بر مبنای نوع کاربرد سازه و سطح شناسایی موجود دو مکانیزم حمله برای سازی سازه های مدفون بکار 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 نهایتاً تلفات جانی می شود.
۲. انفجار مهمات نفوذی به منظور انهدام تجهیزات بحرانی مانند مولد قدرت برق، سیستم تهویه یا سیستم انتقال اطلاعات در مراکز فرماندهی و تاسیسات فرآیندی، تخریب تونلهای ارتباطی^{۱۰}، یا تخریب سازه ای، یعنی حداقل ۵۰٪ از سقف سازه تخریب شود. این روش برای سازه هایی که

^۹ Quantum Gravity Gradiometer

^{۱۰} یعنی انفجار مهمات در بالای تونل بطوریکه حداقل ده متر از تونل با آوار و خاک پر شود.

مربوط به انبار مهمات هستند یا آن گروه از سازه ها که جانمائی تجهیزات آنها ناشناخته باشد، بکار می رود. {۴}

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

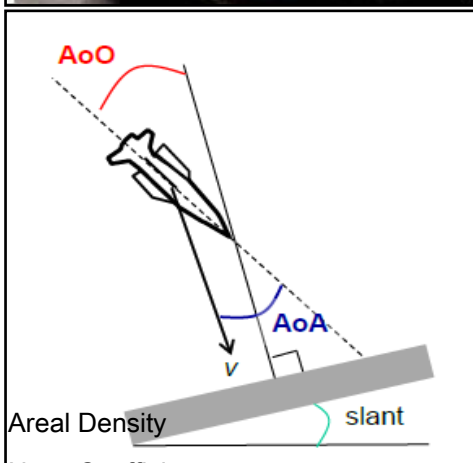
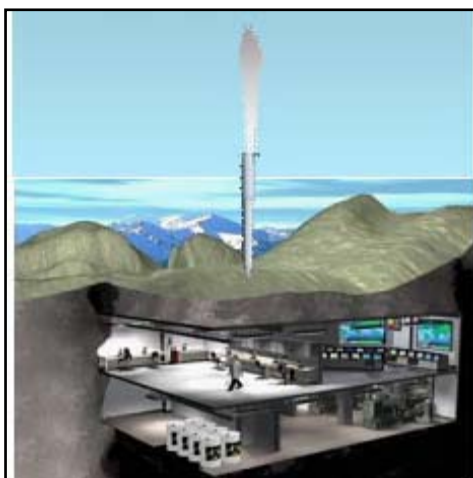
مهمات نفوذی

معیار اصلی محاسبه عمق نفوذ D بر حسب فوت، رابطه زیر است: {۴}

$$D = 0.00178 S N (V-100) (W/A)^{0.7}$$

متغیرها این رابطه عبارتند از:

- توزیع سطحی نسبت جرم W/A ^{۱۱} که واحد آن پوند بر اینچ مربع lb/in^2
- ضریب نفوذپذیری سربار S که برای بتن مسلح حدود یک و برای خاک بین ۴ تا ۸ است
- ضریب انحنای دماغه N ^{۱۲} 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 می شود.
- سرعت برخورد مهمات با زمین V بر حسب فوت بر ثانیه ft/sec می باشد که در این مقاله برای مهماتی که مجهز به موتور جت نیستند حداکثر ۹۰۰ فوت بر ثانیه منظور می شود.



^{۱۱} Areal Density
^{۱۲} Nose Coefficient

در لحظه برخورد با زمین، بدنه مهمات به سرعت تغییر شکل داده و در صورتیکه تغییر شکل ها زیاد باشد، امکان نفوذ بیشتر در زمین وجود ندارد. در نتیجه ضریب سختی بدنه مهمات یکی از مهم ترین پارامترهای نفوذ بمب در زمین است. بطور مثال بمب ۲۰۰۰ پوندی BLU-۱۰۹ با ۱۴.۵ اینچ قطر و ۸ فوت طول می تواند تا دو متر در بتن مسلح نفوذ می کند. اما بمب ۲۰۰۰ پوندی BLU-۱۱۶ که با همان ابعاد، ولی بدنه آلیاژ فولاد نیکل-کوبالت ساخته شده است و تا حدود چهار متر در بتن مسلح نفوذ می کند. در رابطه - فرض شده است که سختی جنس بدنه مهمات به اندازه کافی زیاد هست که بتواند در برابر ضربه برخورد با زمین مقاومت کند.

بمب ۲۸-GBU

بمب GBU-۲۸ برای نفوذ در ۳۰ متر خاک و ۷ متر بتون مسلح طراحی شده است. این بمب در ماه اول جنگ ۱۹۹۱ عراق و ظرف مدت ۱۷ روز طراحی، تولید، آزمایش و آماده بهره برداری در جنگ شد. به این نوع بمب ۵۰۰۰ پوندی گفته می شود اما این بمب ۴۶۳۷ پوند جرم بدنه و حدود ۶۳۰ پوند مواد منفجره دارد. قطر آن ۱۴ اینچ و طول بمب ۲۵ فوت است.

بمبهای سنگین نوین

مهمات سنگین نفوذی Massive Ordnance Penetrator (MOP) یک فن آوری است که توسط آژانس کاهش تهدید دفاع Defense Threat Reduction Agency [DTRA] پشتیبانی می شود تا یک مهمات نفوذی ۳۰۰۰۰ پوندی بسازند GBU-۵۷ که بر علیه سازه های عمیق بکار می رود.

از سال ۲۰۰۲ شرکت لاکهید مارتین Lockheed Martin بر روی یک بمب ۳۰۰۰۰ پوندی فعالیت می کرد که در سال ۲۰۰۷ آزمایش شد. این مهمات با ۳۲ اینچ قطر و ۲۱ فوت طول، ادعا می شود که با استفاده از یک تاکتیک نفوذ متوالی (که نفوذ کننده دوم بلافاصله پس از نفوذی اول) و با تقویت نفوذ با استفاده از موتور راکتی در نفوذی دوم، می توان به عمق نفوذ ۴۰ متر در صخره دسترسی یافت. آزمایش نهایی این بمب در سال ۲۰۱۲ انجام خواهد شد. به دلیل ابعاد بزرگ این مهمات هر هواپیمای B-۵۲ فقط می تواند یک بمب را حمل کند.

در سال ۲۰۱۰ نیروی هوایی آمریکا خبر داد که طراحی یک نسل جدید از مهمات نفوذی را در برنامه دارد که ابعاد آن حدود ثلث GBU-۵۷ است.

زاویه انحراف

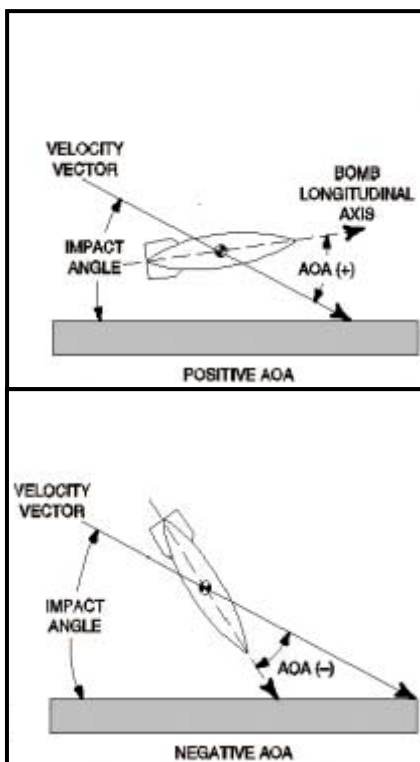
همه ادعاهایی که در مورد عمق نفوذ مهمات مطرح هستند، فرض می کنند که زاویه انحراف^{۱۳} AOO مهمات صفر است. این وضعیت در شکل مقابل نمایش داده شده است.

صفر بودن زاویه انحراف نیز با دو فرض ایدآل همراه است:

- زاویه حمله صفر

- زاویه برخورد ۹۰ درجه

اما واقعیت آن است که چنین شرایطی به ندرت به وقوع می پیوندد. زاویه حمله^{۱۴} AOA یعنی زاویه ای که بین محور اصلی مهمات و بردار سرعت آن وجود دارد. معمولاً در موشکها و بمبهای دورایستا، زاویه



^{۱۳} AOO / Angle Of Oblique

^{۱۴} AOA / Angle Of Attack

حمله کمتر از ۱۰ درجه است و این مقدار نسبتاً خوبی محسوب می شود. اما در مورد بمب هایی که سرعت بیشتری دارند، زاویه حمله می تواند مقادیر بیشتری داشته باشد. از نظر فنی، زاویه برخورد Impact Angle یعنی زاویه ای که بین بردار سرعت و سطح زمین وجود دارد. زاویه برخورد از جمله عوامل بسیار موثر در نفوذ مهمات است و در بهترین شرایط معمولاً مقداری بین ۷۰ تا ۹۰ درجه دارد.

برای مثال 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} با استفاده از این واقعیت می توان عمق نفوذ مهمات را تا ۵۰٪ کاهش داد.

ایمن سازی سازه های مقاوم

با آنکه احتمال شناسایی سازه های عمیق و احتمال نفوذ مهمات تا اعماق بیشتر از ۱۰۰ متری خیلی کمتر است، اما هزینه های بسیار زیاد و محدودیتهای حاکم بر فعالیتهای حیاتی، باعث می شوند که فقط درصد اندکی از سازه های مدفون در اعماق زیاد ساخته شوند. در حال حاضر، به منظور رعایت محدودیت های اقتصادی، حدود ۷۰٪ سازه های مدفون در عمق کمتر از ۳۰ متر ساخته می شوند. همچنین بسیاری از سازه های مقاوم موجود در کشور که قبلاً ساخته شده اند، در اعماق کمتر از ۳۰ متر هستند. اکنون سوال اینجاست که آیا سازه هایی که در عمق کم یا بصورت نیمه مدفون ساخته می شوند، به اندازه کافی ایمن هستند؟

تداوم فعالیت در سازه های مقاوم

هنگامیکه در مورد سازه های عمیق سخن می گوئیم، ممکن است که موفق شویم احتمال شناسایی آنها را تا حدود زیادی کاهش دهیم. اما در مورد سازه های مقاوم (مدفون در عمق کم) احتمال کشف و شناسایی بسیار بالاست و در بدترین شرایط فرض می کنیم که رویت پذیری سازه ۱۰۰٪ و لذا سازه کاملاً قابل شناسایی باشد. رابطه شماره (۱) روشی برای برآورد احتمال تداوم فعالیت در یک سازه مدفون است. اکنون اگر در رابطه شماره (۱) مقدار رویت پذیری سازه های مقاوم را ۱۰۰٪ و میزان قابلیت اطمینان مهمات را ۸۷٪ منظور کنیم خواهیم داشت {۱۰}:

$$P_c = (1 - 0.87 P_{ss})^N \quad (2)$$

به عبارت دیگر برای سازه های مقاوم می توان احتمال تداوم فعالیت را بصورت تابعی از آسیب پذیری هدف و تعداد حملات نمایش داد.

آسیب پذیری هدف در برابر مهمات

برای سازه های 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 آسیب پذیری 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 می باشد.

شعاع خطر سازه R_s یعنی حداقل فاصله ای که اگر مهمات در آن فاصله منفجر شود، موج فشار انفجار باعث خواهد شد که دیواره های بتنی سازه شکسته 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 زیر بدست می آید:

$$r_{breach} = \frac{0.46 * (4 * w_e)^{1/3}}{0.05 + \frac{t_{wall}}{0.18 * (4 * w_e)^{1/3}}}$$

برای یک سازه مدفون شعاع خطر برابر با مجموع شعاع شکست دیوار بتنی و شعاع سازه با می باشد.

$$R_s = R + r_{breach}$$

در این رابطه R شعاع سازه مدفون است و بقیه متغیرها قبلاً تعریف شده اند.

اگر مقدار خطای مهمات CEP مشخص باشد، آسیب پذیری هدف نسبت به یک مهمات از رابطه زیر بدست می آید {۱۰}:

$$P_{ss} = 1 - \exp[-0.7(R_s/CEP)^2]$$

مقایسه روشهای ایمن سازی

فرض کنید که راهی برای کاهش رویت پذیری اهداف مقاوم وجود نداشته باشد، در این صورت دو راهبرد برای افزایش تداوم فعالیت سازه های عمیق قابل تصور است:

- اجرای طرحهای فریب و اغتشاش (جمینگ) به منظور افزایش CEP خطای مهمات
 - مقاوم سازی دیوارهای بتنی سازه با افزایش ضخامت t_{wall} به منظور کاهش R_s شعاع خطر سازه
- برای مقایسه بازدهی روشهای فوق الذکر از یک سناریوی ساده استفاده می شود که در آن، یک سازه مدفون در عمق کم به مساحت ۳۰۰ متر مربع توسط بمبهای Enhanced Paveway III DMLGB از نوع GBU-۲۸ با ترکیب دو نوع حسگر لیزری و ماهواره ای مورد تهاجم قرار می گیرد.
- یک آمار معتبر از جنگهای ناتو نشان می دهد که میانگین تعداد حملات هوایی برای انهدام اهداف عمیق ۱۰ حمله و برای اهداف مدفون ۲ حمله است. {۹} محاسبات^{۱۵} نشان می دهند که ۵ برابر شدن تعداد حملات به معنی شکست دشمن می باشد. به همین دلیل است که حداکثر تعداد حمله قابل تصور برای

^{۱۵} بخشی از این محاسبات در کتاب "پدافند غیر عامل و مردم" نویسنده مقاله مندرج است که با اطلاعات مرجع {۴} منطبق و فعلاً به منظور رعایت خلاصه نویسی از ذکر جزئیات آن خودداری شده است.

اهداف عمیق ۵۰ حمله می باشد. {۴} بدین ترتیب اگر میانگین تعداد حملات مورد نیاز برای انهدام اهداف مدفون به ۱۰ برسد، شرایط مورد نیاز برای شکست دشمن تامین می شود. برای مقایسه بازدهی روشهای ایمن سازی، احتمال تداوم فعالیت سازه پس از اجرای ۱۰ حمله هوایی را برای سطوح مقاوم سازی و سطوح فریب مختلف بدست می آوریم. با استفاده از رابطه (۲) در این بخش پنج سطح از مقاوم سازی را برای ضخامت دیواره از ۳۰ سانتی متر تا ۱.۱ متر منظور کردیم. همچنین پنج سطح از فریب برای خطای مهمات از ۱۰ متر تا ۹۰ متر با یکدیگر مقایسه شده اند. نتایج حاصله در جدول زیر قابل بهره برداری است.

جدول احتمال تداوم فعالیت یک سازه مقاوم به مساحت ۳۰۰ مترمربع پس از ۱۰ حمله با مهمات نفوذی

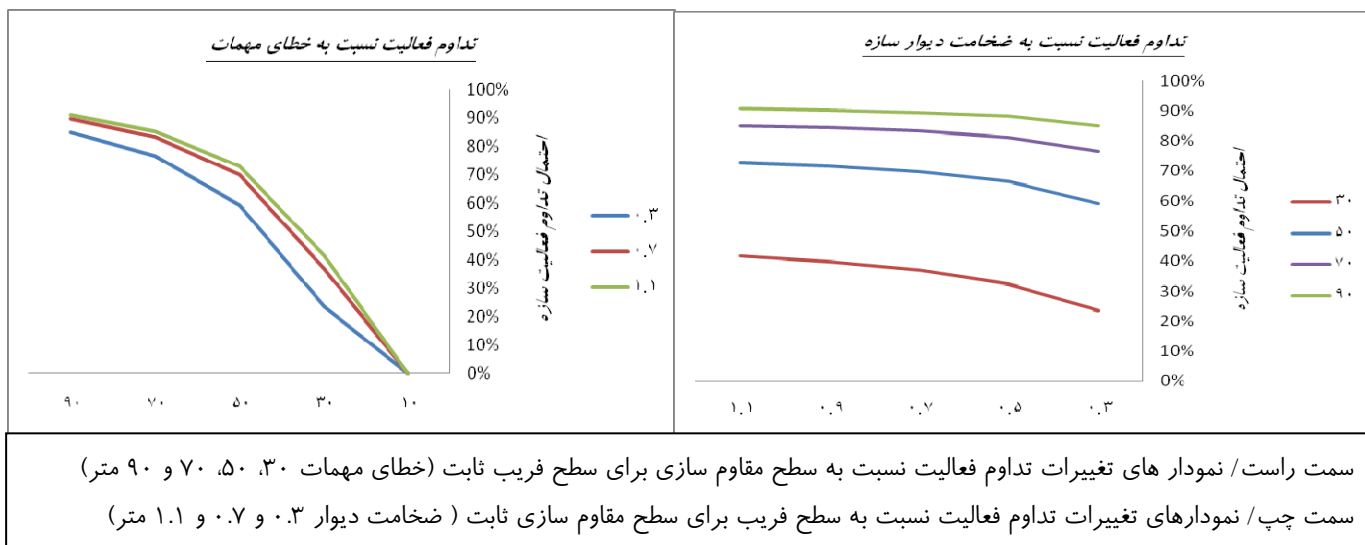
ضخامت دیوار (متر)					خطای	مهمات (متر)
۱.۱	۰.۹	۰.۷	۰.۵	۰.۳		
%۰	%۰	%۰	%۰	%۰	۱۰	
%۴۲	%۴۰	%۳۷	%۳۲	%۲۳	۳۰	
%۷۳	%۷۲	%۷۰	%۶۶	%۵۹	۵۰	
%۸۵	%۸۴	%۸۳	%۸۱	%۷۶	۷۰	
%۹۱	%۹۰	%۸۹	%۸۸	%۸۵	۹۰	

این محاسبات هنگامی بهتر ارزیابی می شوند که مقدار بازدهی مطلوب را تعیین نماییم. به تبعیت از استانداردهای اتحادیه ناتو، فرض کنید که بازدهی مطلوب ۸۰٪ باشد. به عبارت دیگر مطلوب است که پس از ۱۰ حمله احتمال تداوم فعالیت سازه مدفون حداقل ۸۰٪ باشد.

تحلیل محاسبات

به منظور مقایسه حساسیت بازدهی در سطوح مختلف فریب و مقاوم سازی نتایج جدول فوق در دو نمودار زیر ترسیم شده است.

با استفاده از نمودار، ملاحظه می شود که:



- برای مقادیر خطای بیشتر از ۹۰ متر هیچ نیازی به مقاوم سازی نیست.
 - نرخ تغییرات بازدهی نسبت به خطای مهمات خیلی بیشتر از نرخ تغییرات آن نسبت به مقاوم سازی سازه است.
 - وقتی که خطای مهمات افزایش می یابد، تاثیر مقاوم سازی به شدت کاهش می یابد.
 - برای یک مقدار خطای ثابت، تغییرات بازدهی با افزایش ضخامت دیواره حداکثر ۲۸٪ است در حالیکه برای یک ضخامت ثابت، تغییرات بازدهی حداقل ۵۵٪ یعنی حدود دو برابر است.
- مطالب یاد شده بدان معنی نیستند که هزینه های مقاوم سازی سازه ها بیهوده است بلکه این موارد نشان دهنده این واقعیت هستند که بازدهی طرحهای فریب برای تداوم فعالیت سازه های مدفون چندین برابر بازدهی طرح های مقاوم سازی است. بی تردید طرحهای بهینه ایمن سازی در نتیجه ترکیبی هماهنگ و اقتصادی از روشهای فریب و مقاوم سازی قابل دسترس خواهند بود.
- همچنین باید در نظر داشت که در محاسبات فوق الذکر، فرض بر این است که رویت پذیری سازه ۱۰۰٪ است و بدین ترتیب از تاثیر برنامه های پیشگیری از شناسایی سازه های مدفون، صرف نظر کرده ایم. این امر نشان می دهد که بازدهی طرحهای فریب آنقدر قابل توجه هست که باید بیشتر به آنها پرداخته شود.

نتیجه گیری

هزینه های ساخت و بهره برداری از سازه های عمیق بسیار زیاد است و در برخی از فعالیتهای، امکان ساخت سازه در اعماق زیاد وجود ندارد. همچنین بسیاری از سازه های مدفون موجود، در اعماق کمتر از ۳۰ متری زمین ساخته شده اند. روشهای کشف، شناسایی و حمله به سازه های عمیق رو به رشد است و شواهد حاکی از آن هستند که فصل تازه ای از تهدیدات بر علیه تداوم فعالیتهای این سازه ها در حال شکل گیری است.

در این مقاله ملاحظه شد که تاثیر روشهای فریب و اغتشاش که باعث افزایش خطای مهمات می شوند، به مراتب بیشتر از روشهای مقاوم سازی دیوارهای سازه می باشد. محاسبات ارائه شده در این مقاله با استفاده از نتایج منتشر شده پروژه های مطالعاتی ارتش آمریکا انجام گرفته است.

در نتیجه می توان گفت:

- با توجه به اینکه بسیاری از نتایج مطالعات ارتش آمریکا برای مشاوران و متخصصان پدافند غیر عامل کشور قابل دسترس نیستند، ضرورت دارد که مطالعات بومی و ملی در زمینه تبیین روشهای محاسباتی مورد نیاز در مباحث پدافند غیر عامل انجام پذیرد.
- با توجه به آثار بسیار پررنگتر فعالیتهای فریب و اغتشاش در مقایسه با طرحهای مقاوم سازی، ضرورت دارد که فصل ویژه ای برای طراحی این برنامه در سطح ملی پیش بینی شود.

فهرست مراجع و منابع

١. JOINT WARFIGHTING SCIENCE AND TECHNOLOGY PLAN; HARD AND DEEPLY BURIED TARGET DEFEAT
٢. Deeply Buried Facilities Implications for Military Operations; May ٢٠٠٠
٣. 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
٤. *Hard and Deeply Buried Target Defeat capability (HDBTD) Analysis of Alternatives Lethality Approach*; Kara J. Peterson, Frank A. Maestas, John C. Galloway, ٦^٩th Mors Symposium;
٥. Damage Expectancy Uncertainties for Deeply Buried Targets; Suzanne C. Wright; Science Applications International Corporation
٦. 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 ٢٠٠١
٧. High Velocity Penetrating Weapon Addresses "Hard Target" Challenges; Written by: Scott R. Gourley on September ١٢, ٢٠١١
٨. 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; ٢٠٠٣
٩. Operation Desert Storm Air Campaign Evaluation of the Air Campaign/GAO/NSIAD-٩٧-١٢٤/ Report to Congressional Committees (١٩٩٦)
١٠. Weaponneering: Conventional Weapon System Effectiveness, U.S. Naval Postgraduate School/٢٠٠٤