

## ارائه مدلی کاربردی در مدیریت ساخت سازه‌های زیرزمینی بتن مسلح در پروژه‌های سد و نیروگاه با رویکرد تأمین بسترهای پدافند غیرعامل

<sup>۱</sup> سید عظیم حسینی

<sup>۲</sup> عباس اکبرپور\*

<sup>۳</sup> حسن احمدی

<sup>۴</sup> بابک امین نژاد

### چکیده

امروزه پدافند غیرعامل به عنوان یک نیاز استراتژیک در مدیریت ساخت پروژه‌های عمرانی به منظور تأمین امنیت پایدار، مورد نظر می‌باشد. بخش قابل توجهی از پروژه‌های سد و نیروگاه، سازه‌هایی هستند که به صورت زیرزمینی اجرا می‌گردند. این سازه‌ها علاوه بر هزینه‌بر بودن به لحاظ استراتژیک نیز دارای اهمیت زیادی می‌باشند، به همین منظور تأمین الزامات پدافند غیرعامل در آن‌ها از ضروریات است. این مقاله با در نظر گرفتن اهداف پدافند غیرعامل و توجه به اصول مدیریت ساخت در پروژه‌های زیرزمینی، سعی دارد روشی متناسب با شرایط فعلی و فناوری ساخت در کشور را در این حوزه ارائه دهد. پس با استفاده از منابع متعدد و بهره‌گیری از ابزاری چون پرسشنامه، مصالح مناسب و روش‌های اجرایی مورد استفاده در ساخت، سازه‌های زیرزمینی را تحلیل و شاخص‌های متعددی را احصاء و با استفاده از روش‌های کمی‌سازی AHP و نرم‌افزارها، وزن دهی شده‌اند. نتیجه نهایی اثبات می‌کند که استفاده از مصالح بتن الیافی FRCS، مواد FRP، مواد نانویی به عنوان مصالح هوشمند و بتن‌های پرمقاومت بر سایر مواد رایج در ساخت سازه‌ها ارجحیت دارند. استفاده از هر کدام از مصالح بیان شده در روش‌های اجرایی حالات متفاوت و کاربری‌های خاصی را به وجود می‌آورد.

### کلیدواژه‌ها

مدل کاربردی، پدافند غیرعامل، سازه‌های مدفون بتن مسلح، مدیریت ساخت، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یا AHP

۱. دانشجوی دکتری مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران... st.a.hosseini@riau.ac.ir

۲. \* استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳. استادیار گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

۴. استادیار گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

## مقدمه

عملیات چيستایس<sup>۱</sup>، یکی از افتخارهای ماندگار برای نیروی هوایی انگلستان است. عملیاتی با طراحی دقیق که ضربه‌ای اساسی به آلمانی‌ها وارد کرد. دره روهر<sup>۲</sup> یکی از شاه‌رگ‌های صنعتی آلمان نازی بود. به خصوص که صنایع نظامی هم در این منطقه متمرکز بودند. با این همه، هیچ‌یک از اهداف عملیات چيستایس، شامل صنایع نظامی یا غیرنظامی نمی‌شد و با این وجود، ضربه‌ای چنان بزرگ به آلمان وارد شد که حتی تأمین تجهیزات نظامی‌اش را نیز با چالشی جدی مواجه کرد.

مأموریت تعیین شده در این عملیات برای اسکادران ۶۱۷ انگلستان، تخریب سه سد احداث شده در دره روهر بود. سدهایی که صنایع آلمانی‌ها به آن وابسته بودند و با تخریب سدها، نه تنها از تولید بازماندند بلکه رها شدن آب دریاچه پشت سد سیلی عظیم را رقم زد و نیز واحدهای صنعتی آسیب‌های اساسی دیدند و هم بیش از هزار نفر کشته به جا ماند. شاید همین عملیات تلنگری بود تا بدانیم، سدها یکی آسیب پذیرترین ساختارها در نگرش پدافند غیرعامل‌اند و چیدن تخم مرغ‌های مدیریت آب در سبد سدسازی، ریسک بالایی محسوب می‌شود (رضا رضانی، ۱۳۹۵).

سدها سازه‌هایی هستند که به چند سبب نمی‌توانند ایمنی و امنیت مطلوبی از نگاه مدیریت پدافند غیرعامل داشته باشند. نخست آنکه وقتی نیازهای آبی جوامع انسانی یا صنایع یا کشاورزی به صورت گسترده به بقا و کارکرد سدها وابسته باشد، بروز مشکل در سد تغذیه کننده سبب فلج شدن این جوامع انسانی و صنایع و فعالیت‌های کشاورزی خواهد شد. وقتی رابطه‌ای این چنین در مکانیسم مبتنی بر سدسازی متصور است برنامه‌ریزی بر اساس الگویی که بخواهد قوام و دوام توسعه را به صورت حداکثری به موجودیت سدها گره بزند، دغدغه‌ای جدی از منظر مدیریت پدافند غیرعامل ایجاد خواهد کرد.

از سوی دیگر، سدها سازه‌هایی کاملاً مشهود و در معرض محسوب می‌شوند که به تنهایی هدفی آشکار و غیرقابل استتار برای خرابکاران و متخاصمان ایجاد می‌کنند. این در حالی است که آب انباشته در پشت سدها، انباری مملو از انرژی

است که در صورت رها شدن یک باره می‌تواند مانند انفجار یک بمب خسارت‌بار و فاجعه‌آسا باشد.

در این میان، مدیریت منابع آب ایران وظیفه مدیریت، سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، هدایت و هماهنگی را در خصوص پدافند غیرعامل به منظور حفظ زیرساخت‌های تأمین آب کشور (سد و تأسیسات وابسته) در مقابله با بحران‌ها از جمله حملات نظامی و تروریستی را بر عهده دارد (حسینی، ۱۳۹۲).

فعالیت‌ها و اقدامات مناسبی در دهه اخیر در خصوص بهره‌برداری علمی و کنترلی و تأمین ایمنی سدها صورت گرفته است. همچنین در خصوص ایمنی و مدیریت بحران سدها و طرح فعالیت اضطراری (EAP)<sup>۳</sup> نیز اقداماتی در نظر گرفته شده است. در این مقاله به شناخت اصول پدافند غیرعامل در سدها و به خصوص تأسیسات وابسته به طور خاص سازه‌های مدفون همانند تونل‌ها پرداخته و مدلی کاربردی جهت مدیریت ساخت این نوع سازه‌ها ارائه می‌شود.

## مواد و روش‌ها

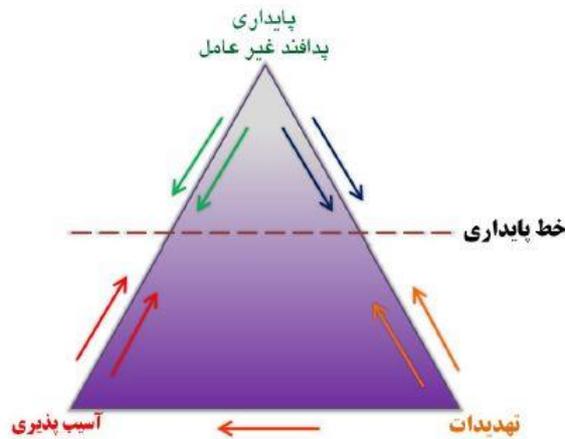
### • مهندسی پدافند غیرعامل در سد

در فرآیند طراحی یک سد، مشاور وظیفه طراحی بدنه سد بر اساس مطالعات ژئوتکنیکی، طراحی سازه‌های هیدرولیکی از قبیل سرریز، آبگیر، حوضچه آرامش و ...، انجام مطالعات هیدرولوژیکی طرح، تهیه دستورالعمل بهره‌برداری از مخزن سد با توجه به نیازهای آبی پایین دست و ...، تهیه گزارش ارزیابی اثرات محیط‌زیستی طراحی دینامیکی سازه سد و مطالعات ساختگاه سد از دیدگاه لرزه‌شناسی و غیره را دارد و هر یک از این موارد را مهندسین متعدد با تخصص‌هایی متفاوت در طول فرآیند طراحی و اجرای پروژه عهده‌دار هستند؛ اما در این بین جای یک فرد خالی است، فردی که ضمن اطلاع از کلیات مباحث و آشنایی کلی با مهارت‌های متخصصین فوق با اصول و تاکتیک‌های دفاعی نیز آشنا باشد؛ تا بتواند با طراحی اقداماتی پیشگیرانه خطر تخریب سد و تأسیسات وابسته به آن را بر اثر حوادث غیرطبیعی مثل حملات دشمن به حداقل برساند. نقش این فرد از این جهت کلیدی است که حتی اگر تمامی مهندسین کار خود را درست انجام داده باشند، هیچ اقدامی در جهت تأمین ایمنی سد و تأسیسات وابسته به آن صورت نگرفته و نتایج حاصل از وقوع حادثه می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را وارد سازد.

1. Operation Chastise  
2. Ruhr Valley

3. Emergency Action Plan

نمونه آبرسانی، تأمین برق و حفظ سرمایه‌های ملی.  
(حسینی، ۱۳۹۲)



شکل ۲-مثلت پایداری

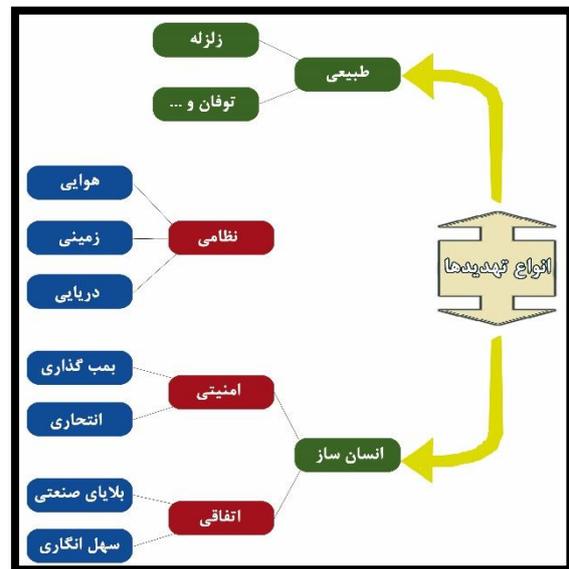
• ملاحظات مهندسی پدافند غیرعامل در سدسازی

مطابق قانون برنامه پنجم توسعه، یکی از محورهای اساسی موضوع امنیت ملی، بحث پدافند غیرعامل است. با عنایت به اینکه این بحث از مباحثی است که دانش فنی آن در داخل کشور در حال شکل‌گیری است، آمار و سوابق جنگ‌های گذشته نشان می‌دهد پدافند عامل در حال حاضر به‌تنهایی قادر به مقابله با سلاح‌های مدرن و مخرب آفندی جهت جلوگیری از اثرات ویرانگر آن‌ها بر مراکز حیاتی و حساس و نیروی انسانی نبوده و لذا به‌کارگیری اصول و معیارهای پدافند غیرعامل در کنار فن‌های به‌روز جهانی در سیاست‌های برنامه‌ریزی و مدیریتی می‌تواند به تکمیل زنجیره دفاعی کمکی مؤثر و قابل توجه نماید؛ بنابراین پس از مرحله مطالعات مقدماتی و جمع‌آوری اطلاعات، حال باید مکان مناسب برای احداث را از دیدگاه پدافندی و فنی بررسی کرد. در بحث پدافندی در جهت کاستن آسیب‌پذیری می‌بایست تجهیزات مدرن دشمن در تعیین اهداف، مدنظر قرار گیرد. به دلیل رشد علوم و فناوری و ابزارهای نشانه‌گیری، حمله و تهاجم به هدف در جنگ‌های نسل چهارم از رشد و پیشرفت قابل توجهی برخوردار خواهند بود. در واقع در این جنگ‌ها اهداف تهدید، از بین بردن زیرساخت‌های صنعتی و فلج کردن کشور از طریق انهدام تجهیزات مهم است و دشمن تأکید می‌ورزد تا با از بین بردن زیرساخت‌های حیاتی به‌عنوان سرمایه‌های ملی، آستانه مقاومت مردم را کاهش

مهندس پدافند غیرعامل علاوه بر اظهارنظر در مکان‌یابی زیرساخت‌ها و تعیین موقعیت‌هایی با کمترین احتمال خطر، تأثیر تهدیدهای نظامی، امنیتی و ... را بر پایداری سد در مقابل این عوامل مورد مطالعه قرار می‌دهد (حسینی، ۱۳۹۲).

• تهدیدات

در سدها امکان گسیختگی هم به صورت تدریجی و هم به صورت ناگهانی وجود دارد. نوع شکست وابسته به دلیل شکست و نوع سد است. برای مقابله با انواع تهدیدات و تخریب ناشی از آن، می‌بایست شناخت کافی نسبت به این تهدیدات داشته باشیم. برای آشنایی، در شکل ۱ انواع تهدیدات در دو بخش تقسیم‌بندی گردیده و زیرمجموعه‌های آن‌ها نیز نشان داده شده است.



شکل ۱- تقسیم‌بندی انواع تهدیدات

تهدیداتی که می‌تواند در شرایط مختلف و بسته به موقعیت، یک سازه را تحت اثر قرار دهد شامل موارد متعددی است. به‌عنوان نمونه تهدیدات انفجاری هم می‌تواند ناشی از عوامل خارجی باشد و هم می‌تواند ناشی از عوامل داخلی همچون انفجار تجهیزات در اثر ایرادات و یا خرابکاری باشد (تی.ام. ۸۵۵-۱۹۶۵).

مثلت پایداری تأثیر متقابل هر یک از موارد بر یکدیگر را نشان می‌دهد و جهت حفظ پایداری پدافند غیرعامل از ابزار دانش، نیروی انسانی و شناخت باید بهره‌گیری و هر چه این خط به سمت پایین حرکت کند پایداری طولانی‌تری در تمامی پروژه‌ها و ارگان‌ها و سازمان‌های مرتبط دارد به‌عنوان

۱. مالکیت
۲. عوارض طبیعی (جنگل، رودخانه، پوشش گیاهی)
۳. سوانح طبیعی (سیل، گسل‌ها)
۴. تأسیسات زیربنایی
۵. دسترسی جاده‌ها
۶. امکان توسعه
۷. استتار و اختفاء
۸. هیدرولوژی و آب‌های سطحی، رطوبت خاک، هدایت سیلاب و نفوذپذیری
۹. هواشناسی و اقلیم
۱۰. مراکز اجتماعی، اقتصادی، سیاسی
۱۱. تحلیل منطقه از نظر دید ماهواره‌ای
۱۲. قابلیت پدافند هوایی از مراکز
۱۳. توسعه پایدار
۱۴. عمق زیرزمینی

• سازه‌های زیرزمینی در پروژه‌های سد و نیروگاه

پروژه‌های عرصه آب و آب‌رسانی تنها شامل بدنه سد و نیروگاه نیست بلکه شامل اجزای گوناگونی است که یکی از مهم‌ترین این اجزا، تونل‌ها و سازه‌های مدفون است. سدها و این گونه سازه‌ها به لحاظ امنیت و حفاظت از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند و بسیاری کارشناسان عقیده دارند که برای سازه‌های آبی و سدها باید بعد از نیروگاه هسته‌ای بزرگ‌ترین میزان امنیتی را در نظر گرفت.

سازه‌های زیرزمینی در پروژه‌های سد و نیروگاه نقش حیاتی را در زمان بهره‌برداری ایفا می‌کنند. همانند دیگر سازه‌ها و تأسیسات وابسته، این سازه‌ها نیز آسیب‌پذیری قابل توجهی در مقابل تهدیدات مذکور دارند. تهدیدات انفجاری که موردنظر این مقاله می‌باشد، شامل موارد متعددی است. انفجار هم می‌تواند ناشی از عوامل خارجی باشد همانند حملات نظامی و هم می‌تواند ناشی از عوامل داخلی همچون انفجار تجهیزات در اثر ایرادات و یا خرابکاری باشد. به‌منظور بررسی تأثیرات انفجار بر روی سازه‌های زیرزمینی می‌بایست تأثیرات این پدیده را بر روی لاینینگ آن‌ها بررسی کرد. در سازه‌های زیرزمینی دفاعی با توجه به شکل و کاربری می‌توان تدابیری خاص جهت مقابله با انفجار مدنظر قرارداد ولی در تونل‌های سد مقاومت مصالح و اجرای لاینینگ نقش بسزایی در کاهش آسیب‌پذیری راه دارند. به همین منظور در

دهد. لذا با توجه به شرایط کنونی کشور، ملاحظات امنیتی و دفاعی در صدر اصول سیاست‌های برنامه‌ریزی کشور قرار دارد و رعایت اصول پدافند غیرعامل به‌عنوان بخشی از توسعه این امر یک ضرورت است. (جلالی و شمسایی، ۱۳۹۵)

در این راستا، امروزه سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)<sup>۱</sup> به‌عنوان یک ماشین یا فن ابزار تصمیم‌گیری در حوزه دفاع به‌ویژه در مکان‌یابی مراکز حیاتی به‌شدت مورد استفاده قرار گرفته‌اند (ستاره و همکاران، ۱۳۸۸).

طرح یافتن مکان مناسب به‌منظور احداث در ظاهر یک موضوع انتخاب مکان است ولی با داشتن نگرش جامع و دقیق این واقعیت روشن خواهد بود که شناسایی معیارها و شرایط اساسی هر واحد برای انتخاب مکان استقرار آن باید به کلیه مراحل و نتایج حاصل از هدف‌گذاری تا راه‌اندازی و بهره‌برداری آن دیده شود. بدیهی است مکان‌یابی در چارچوب پارامترهای اقتصادی، سیاسی، فرهنگی، محیط‌زیستی، توسعه پایدار، آمایش سرزمین، امکانات و ظرفیت‌های موجود صورت می‌گیرد؛ اما رعایت ملاحظات امنیتی بر اساس معیارها و اصول پدافند غیرعامل در زمره تصمیمات راهبردی است که باید مورد توجه قرار گیرد.

بر اساس مطالعات از لحاظ انتخاب محل اجرای سد می‌توان ابتدا موارد بنیادین و اساسی محل را مورد بررسی قرارداد. در ادامه دقت بیشتر در مطالعات تکمیلی از جمله مطالعه لرزه‌خیزی و نیز مطالعات مخزن از لحاظ حجم و پیش‌بینی خسارات ناشی از احتمال تخریب سد از اساسی‌ترین موارد و مطالعاتی است که به‌موازات سایر الزامات پدافند غیرعامل بر این مهم تأثیرگذار است. به نظر می‌رسد لحاظ کردن بسیاری از موارد طراحی بااهمیت بیشتر در خصوص بروز بلایای طبیعی از جمله زمین‌لرزه، می‌تواند به پیش‌بینی‌های پدافندی در این خصوص کمک شایانی نماید.

با اصول پدافند غیرعامل جهت یافتن مکان مناسب برای استقرار ساختارهای حیاتی، حساس و مهم کشور که بیشترین ایمنی را در مقابل تهدیدات احتمالی داشته باشد، در مناطق مختلف علاوه بر عوامل مورد بررسی معمول در مکان‌یابی، لازم است عوامل مؤثر از دیدگاه پدافند غیرعامل نیز مورد بررسی قرار گیرد.

ضوابط مورد توجه مکان‌یابی در پدافند غیرعامل به‌طور کلی شامل موارد زیر می‌باشد (ستاره، زنگنه و حسینی، ۱۳۸۹):

همچنین تمهیدات لازم برای خروج موج انفجار از ساختمان‌ها و کاهش خسارات در انفجارهای تونلی، بررسی و در آخر الزامات طراحی معماری بیان شده است که رعایت آن‌ها در جلوگیری از حوادث انفجاری و کاهش آسیب‌های ناشی از این حوادث می‌تواند مفید و مؤثر باشد.

بررسی اثر انفجارهای سطحی و زیرسطحی روی سازه‌های مدفون و نحوه مدل‌سازی و تحلیل آن‌ها در نرم‌افزار اتوداین، انجام می‌پذیرد که در انتها راهکارهایی برای ارتقاء ایمنی این سازه‌ها پیش‌بینی شده است. (حسینی، ۱۳۹۱)

در مقاله دیگری به صورت اجمالی ملاحظات مهندسی پدافند غیرعامل برای تأسیسات آبرسانی شامل سد و نیروگاه، خطوط انتقال، تصفیه‌خانه، مخازن ذخیره و شبکه‌های آبرسانی، مورد بررسی قرار گرفته و راه کارهای مناسب برای ملاحظات طراحی و اجرائی این تأسیسات ارائه شده است (معصوم بیگی و جلیلی قاضی‌زاده، ۱۳۸۷)

پس از جستجوهای فراوان در منابع داخلی و خارجی در زمینه مدیریت ساخت سازه‌های مدفون تاکنون هیچ‌گونه تحقیقی صورت نپذیرفته و یا در دسترس نیست. البته نکات اجرایی کلی در این زمینه وجود دارد که نیازمند بررسی و ارزیابی بیشتر است تا غنای علمی در این مبحث میسر گردد. در نتیجه، ارائه مدل مدیریت‌ساختی در این زمینه کاملاً جنبه نوآورانه دارد.

#### • روش کلی تحقیق

با استفاده از منابع متعدد داخلی و خارجی و بهره‌گیری از ابزار پرسشنامه، مصالح مناسب و روش‌های اجرایی مورد استفاده در سازه‌های زیرزمینی مورد بحث و تحلیل قرار گرفته و اولویت‌بندی شده‌اند. برای انجام اولویت‌بندی، شاخص‌های متعددی احصا گردیده و با استفاده از روش‌های کمی‌سازی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یا AHP<sup>T</sup> و نرم‌افزار اکسپرت چویس (Expert choice) وزن دهی شده‌اند. سپس روش‌ها و مصالح اولویت‌بندی گردیده و صحت سنجی نتایج پرسشنامه‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS سنجیده شده است. در ادامه با توجه به اولویت‌بندی انجام‌شده مدل مدنظر این پژوهش ارائه شده است.

این مقاله مدیریت ساخت پوشش داخلی این سازه‌ها از جهت مصالح مناسب و روش اجرا با تأمین الزامات پدافند غیرعامل که بتواند عملکرد مناسبی جهت مقابله با تهدیدات انفجاری و تأثیرات ناشی از آن را داشته باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. (یو.اف.سی، ۲۰۰۸)

#### • مدیریت ساخت و پدافند غیرعامل:

حفظ سرمایه‌های ملی و منابع حیاتی و استراتژیک از حملات دشمن، با به کارگیری کامل اصول امنیتی و اقدامات پدافند غیرعامل از ضروری‌ترین نکاتی است که از ابتدای مرحله انتخاب مکان اجرای پروژه با توجه به آمایش سرزمین و سپس مراحل طراحی و اجرا باید به دقت و به صورت ویژه مورد توجه قرار گیرد.

پدافند غیرعامل در تأسیسات زیرزمینی از اصولی تبعیت می‌کند که عبارت‌اند از: مکان‌یابی، مقاوم‌سازی و استحکامات، پراکندگی، استتار، اختفاء، فریب، پوشش و غیره.

پدافند غیرعامل به عنوان یک نیاز استراتژیک در مدیریت ساخت پروژه‌های عمرانی و تأسیسات زیرزمینی به منظور تأمین امنیت پایدار مورد نظر می‌باشد. هدف این مقاله ارائه مدلی کاربردی در مدیریت ساخت سازه‌های مدفون بتن مسلح با رویکرد تأمین بسترهای پدافند غیرعامل است که از دو جنبه روش‌های اجرا و همچنین مصالح مناسب به این موضوع می‌پردازد. به عبارت دیگر با توجه به ملاحظات پدافند غیرعامل و چهارچوب نظری موجود در این زمینه، مدلی تحلیلی به منظور تأمین امنیت سازه‌های مدفون و کاهش هزینه و زمان و افزایش کیفیت ساخت این سازه‌ها ارائه می‌شود.

#### • پیشینه تحقیق

با توجه به جدید بودن موضوع این تحقیق، پیشینه مشابه به ندرت یافت می‌شود اما کارهای تحقیقاتی تلفیقی که می‌توان از آن‌ها بهره جست فراوان است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

در تحقیق انجام‌شده توسط سید محمود رهبرنیا و همکاران (۱۳۹۱)، با عنوان ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی تونل و ساختمان‌های تحت انفجار داخل، نحوه انجام کار پس از بیان تعاریف و مفاهیم اولیه، ملاحظاتی در مورد طراحی معماری پروژه‌های سطحی و پروژه‌های مدفون یا تونل‌ها و

انواع متغیر	
انتخاب بهترین روش ساخت در سازه‌های زیرزمینی بر مبنای اصول پدافند غیرعامل	متغیر اصلی
انتخاب بهترین نوع مصالح برای ساخت سازه‌های زیرزمینی بر مبنای اصول پدافند غیرعامل	
صرفه اقتصادی کاهش زمان ساخت افزایش کیفیت مصالح و بهبود روش اجرا فراهم شدن امکان استتار و اختفا در زمان تجهیز کارگاه و در طول ساخت کاهش نخاله‌ها و ضایعات ناشی از حفاری سازگاری مکان ساخت با ماهیت پروژه مقاومت در برابر آتش و ضربه انفجار مستهلك کردن موج انفجار قابلیت تعمیر، نگهداری و مرمت‌پذیری قابلیت مقاوم‌سازی	متغیر فرعی (صحفی، ۱۳۹۱)، (سیاوشی، ۱۳۸۹)، (حسینی، ۱۳۹۲)

جدول ۲- گزینه‌های مختلف مصالح و روش اجرای سازه‌های زیرزمینی (احمدی، ۱۳۸۷)، (نوری و همکاران، ۱۳۹۱)

### گزینه

FRCS مسلح با الیاف	
Lattice panel	
راک بلت و بتن مسلح درجا	
قطعات پیش‌ساخته در لاینینگ نهایی	
شاتکریت و بتن مسلح درجا	
شاتکریت و بتن مسلح با تقویت FRP	
شاتکریت و بتن الیافی مسلح	
شاتکریت و بتن‌های پرمقاومت مسلح	
مواد نانویی جهت افزایش مقاومت لاینینگ بتنی	

متغیرهای ارائه‌شده در این تحقیق از نوع کیفی، توصیفی و چندگزینه‌ای می‌باشند. در جدول ۱ متغیرهای اصلی و فرعی این تحقیق مشخص شده است.

باوجود روش‌هایی چون ANP و TOPSIS، با توجه به اهداف پروژه و همچنین متغیرهای تعریف‌شده، برای کسب نظرات خبرگان، اقدام به طراحی پرسشنامه بر اساس روش AHP شده است.

مشخصات افرادی که برای پر کردن برگه‌های پرسشنامه از آن‌ها استفاده شده است به شرح زیر است:

۱- فارغ‌التحصیلان رشته مدیریت ساخت

۲- افراد دارای تجربه در مدیریت پروژه‌های

بزرگ عمرانی و به‌خصوص سازه‌های

زیرزمینی

۳- فارغ‌التحصیلان رشته پدافند غیرعامل

(کارشناسی ارشد و دکتری)

۴- افراد دارای سابقه شغل‌های اجرایی درزمینه

دفاعی

درروش AHP، بدین صورت است که ابتدا گزینه‌های مختلف که در جدول ۲ آمده است، مقابل تصمیم‌گیرنده، شناسایی می‌شوند، سپس معیارهایی را که در اولویت‌بندی این گزینه‌ها یا عواملی را که بر میزان حساسیت اثرگذارند، مشخص می‌گردد (ساعتی<sup>۱</sup>، ۱۹۸۷).

جدول ۳- مقیاس ساعتی (۱۹۸۷) برای اهمیت‌های نسبی

اولویت‌ها	ارزش
ترجیح یکسان	۱
کمی مرجح	۳
خیلی مرجح	۵
خیلی زیاد مرجح	۷
کاملاً مرجح	۹
	۲ و ۴ و ۶ و ۸
بینابین	۸

به دست آمده که خروجی پرسشنامه‌ها بوده در نرم‌افزار Expert Choice مدل‌سازی شده است و در این بخش ارائه و مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند تا بستر مناسب برای نتیجه‌گیری نهایی و ارائه مدل مطلوب، فراهم گردد. نتایج حاصل از تکمیل پرسشنامه‌ها که با هدف وزن دهی به شاخص‌های اصلی سنجش روش‌ها و مصالح مورد استفاده در ساخت فضاهای زیرزمینی احصا شده‌اند، در شکل ۳ و جدول ۴ آمده است؛ و ضریب همبستگی معادل عدد ۰,۷۸۷ حاصل شده است که مورد قبول است.

#### • تجزیه و تحلیل

با توجه به کاربری‌های سازه‌های زیرزمینی و تهدیدات متوجه آن‌ها، قابلیت مقاوم‌سازی، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است که قطعاً در طراحی سازه‌های معمولی و با کاربری‌های عادی، توجه خاصی به آن نشده و یا در طراحی در مقابل بار زلزله مدنظر قرار می‌گیرد.

پس از آن در صورتی که تعداد معیارها بیش از یکی بود، ابتدا آن‌ها را بر اساس جدول ۳ نسبت به هم اولویت‌بندی می‌کنند، بدین صورت که هر یک از آن‌ها نسبت به هم مقایسه می‌شوند و اعداد مربوط به آن‌ها تخصیص می‌یابند، پس از آن با تشکیل ماتریس‌های مربوطه و با استفاده از روش تقریبی میانگین حسابی، این معیارها نسبت به هم اولویت‌بندی می‌شوند. سپس گزینه‌های شناسایی شده بر اساس فرآیند فوق معیارهای موجود نسبت به هم اولویت‌بندی می‌گردند.

لازم به ذکر است در این ارزش‌گذاری از تمام فرآیند AHP استفاده نمی‌گردد و برای ارزش‌گذاری معیارهای موردنظر، تنها از بخش محاسبه مقایسات زوجی و وزن دهی‌ها در فرآیند AHP استفاده می‌گردد. زیرا در این گزارش انتخاب یک هدف یا موضوع مدنظر نمی‌باشد.

در نظرات شفاهی که برای شاخص‌های کیفی به کار می‌روند، یک نکته را باید در نظر بگیریم، اگر اهمیت عنصر  $i$  بر  $j$  برابر

$n$  باشد، اهمیت  $j$  بر  $i$  برابر عنصر  $\frac{1}{n}$  است، لذا کافی است

در ماتریس مذکور تنها مقادیر بالای قطر اصلی را پر کنیم. مقادیر زیر قطر اصلی معکوس مقادیر بالای قطر خواهد بود

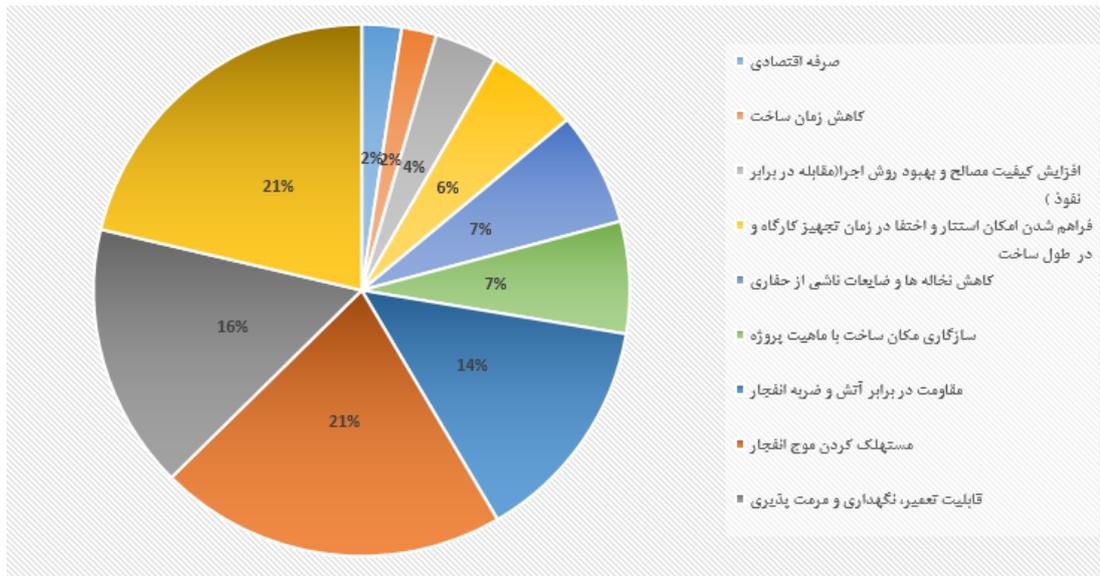
$$\text{به عبارت دیگر } a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

#### نتایج و بحث

پس از مطالعات صورت گرفته در خصوص روش‌های اجرا، مصالح و ارکان اصلی مدیریت ساخت، همچنین انتخاب روش تحقیق مناسب، تعیین جامعه آماری و طراحی پرسشنامه‌ها بر اساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یا AHP، نتایج

جدول ۴- وزن و اولویت هر یک از شاخص‌ها

اولویت	وزن	شاخص
۹	۰,۰۲۴	صرفه اقتصادی
۱۰	۰,۰۲۱	کاهش زمان ساخت
۸	۰,۰۳۸	افزایش کیفیت مصالح و بهبود روش اجرا (مقابل در برابر نفوذ)
۷	۰,۰۵۶	فراهم شدن امکان استتار و اختفا در زمان تجهیز کارگاه و در طول ساخت
۵	۰,۰۶۹	کاهش نخاله‌ها و ضایعات ناشی از حفاری
۶	۰,۰۶۸	سازگاری مکان ساخت با ماهیت پروژه
۴	۰,۱۳۹	مقاومت در برابر آتش و ضربه انفجار
۲	۰,۲۱۰	مستهلك کردن موج انفجار
۳	۰,۱۶۱	قابلیت تعمیر، نگهداری و مرمت‌پذیری
۱	۰,۲۱۳	قابلیت مقاوم‌سازی



شکل ۳- نتیجه نهایی وزن دهی به شاخص‌ها

مشخصات و الزامات مکان‌یابی پدافند غیرعامل، نهایتاً صرفه اقتصادی تأثیرگذار در انتخاب یکی از آن‌ها خواهد بود.

با پیشرفت فناوری ماهواره‌ها و روش‌های شناسایی، امکان تشخیص ماهیت پروژه در زمان ساخت، به شدت افزایش یافته است. لذا در پروژه‌های خاص، قطعاً باید از شناسایی ماهیت و

کاربری سازه آن‌هم با استفاده از روش‌های ساخت و توجه به اصول مربوطه در زمان تجهیز کارگاه، جلوگیری نمود. قطعاً این شاخص، اهمیت بسزایی دارد اما با توجه به عدم سهولت تحقق آن و فناوری بالای دشمن، مقاوم‌سازی و کاهش آسیب‌پذیری‌های ناشی از تحقق تهدید بر این سازه‌ها طبق پاسخ‌های پرسشنامه‌ها، اولویت داشته است.

علی‌رغم تأکید بر دو اصل کاهش هزینه‌ها و زمان ساخت پروژه در مدیریت بحران؛ نتایج پرسشنامه‌ها مبین این نکته است که نمی‌توان هزینه و زمان را فدای هدف اصلی یعنی مقاومت سازه زیرزمینی در مقابل تهدیدات و یا کاهش آسیب‌های ثانویه پس‌از آن کرد. حتی شاخص‌های مربوط به استتار و اختفا سازه نیز امتیاز بالاتری از صرفه اقتصادی و کاهش زمان ساخت کسب کرده‌اند؛ که تأمل‌برانگیز است. این مسئله نشان‌دهنده این نکته است که تأمین رویکردهای پدافند غیرعامل با اهداف اولیه مدیریت ساخت پروژه‌های عمرانی متفاوت است؛ به این معنی که همواره در مدیریت پروژه‌های کشور کاهش هزینه و زمان ساخت جزو اهداف

قابلیت مستهلک کردن انرژی با توجه به تأثیر مستقیمی که بر کاهش آسیب‌پذیری سازه و تجهیزات دارد، در رتبه دوم قرار گرفته است.

قابلیت نگهداری و ترمیم‌پذیری به‌عنوان شاخصی تأثیرگذار در افزایش تاب‌آوری و فراهم کردن امکان تداوم فعالیت‌های اصلی سازه، در رتبه سوم قرار گرفته است.

با توجه به تهدیدات سازه‌های زیرزمینی، مقاومت در برابر موج انفجار و آتش یکی از پارامترهای اصلی در طراحی سازه زیرزمینی است که وزن بالایی را نیز به خود اختصاص داده است.

کاهش نخاله‌ها و ضایعات جدای از صرفه اقتصادی و افزایش زمان، عاملی مثبت در عدم شناسایی پروژه می‌باشد. البته به نظر می‌رسد با توجه به اینکه این امر در هر پروژه‌ای شاید عملی نباشد، اما با توجه به نیاز آن در زمان اجرای سازه‌های خاص زیرزمینی، امتیاز بالایی را کسب نموده است.

سازگاری مکان ساخت با ماهیت پروژه نیز علی‌رغم پیش‌بینی نگارنده؛ امتیاز بالایی را به خود اختصاص داده که شاید اصلی‌ترین عامل آن تعدد سازه‌هایی است که در مکان‌های نامناسب و ناسازگار احداث می‌گردند که هم از جهت افزایش هزینه و هم از جهت مشکلات بصری و شناسایی، تبعاتی به همراه دارند. حتی در دو پروژه با

### نتیجه‌گیری

در نهایت خصوص نتایج حاصله در دو بخش کلی مربوط به مصالح و مربوط به روش اجرا، ارائه می‌گردند که به شرح زیر است:

#### • نتایج مربوط به مصالح:

در حال حاضر با توجه به مواد و فناوری‌های موجود، می‌توان از این تحقیق نتیجه گرفت که قطعاً استفاده از مصالح بتن الیافی FRCS، مواد FRP، مواد نانویی به‌عنوان مصالح هوشمند، مواد افزودنی مانند پودر واکنش‌پذیر و فوق‌روان‌کننده و روش‌های خاص افزایش مقاومت بتن، ارجحیت بر سایر مواد معمولی و رایج در ساخت سازه‌ها دارند و استفاده از هر کدام از مصالح بیان‌شده در روش‌های اجرایی حالات متفاوت و کاربری‌های خاصی را به وجود می‌آورد.

#### • نتایج مربوط به روش‌های اجرا:

به‌عنوان نتیجه‌گیری نهایی می‌توان گزینه‌ها را به ترتیب زیر اولویت‌بندی نمود (البته همان‌طور که بیان شد مصالح نیز تأثیر بسزایی در انتخاب روش اجرایی بر عهده دارند):

- ۱- شاتکریت و بتن الیافی مسلح
- ۲- لتیس پنل (Lattice panel)
- ۳- شاتکریت با بتن مسلح و مواد نانویی
- ۴- شاتکریت با بتن‌های پرمقاومت
- ۵- شاتکریت مسلح با الیاف FRCS
- ۶- قطعات پیش‌ساخته در لاینینگ نهایی
- ۷- راک‌بلت و بتن مسلح درجا
- ۸- شاتکریت و بتن مسلح درجا
- ۹- شاتکریت و بتن مسلح با تقویت FRP

اصلی و اولیه طرح بوده است حال آنکه در صورت توجه به پدافند غیرعامل کیفیت ساخت و عواملی که پیش‌تر بحث شد نسبت به هزینه و زمان ارجح است.

با توجه به تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها، در این مرحله با در نظر گرفتن هر شاخص مقایسه بین گزینه‌های مختلف انجام پذیرفته است که نتایج نهایی مطلوبیت آن‌ها بر اساس اهداف تحقیق و طبق برگه‌های پرسشنامه، در شکل ۴ آمده است.

#### • تجزیه و تحلیل گزینه‌ها

- به‌طور کلی لاینینگ‌های دوپوسته امتیازهای بیشتری را به خود اختصاص داده و اولویت‌های اصلی استفاده در سازه‌های زیرزمینی می‌باشند که دلیل اصلی آن امتیازآوری در شاخص‌های مهمی چون قابلیت مقاوم‌سازی، قابلیت مستهلک‌سازی موج انفجار و مقاومت در برابر آتش و ضربه می‌باشد. (زولادزینسکی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰)

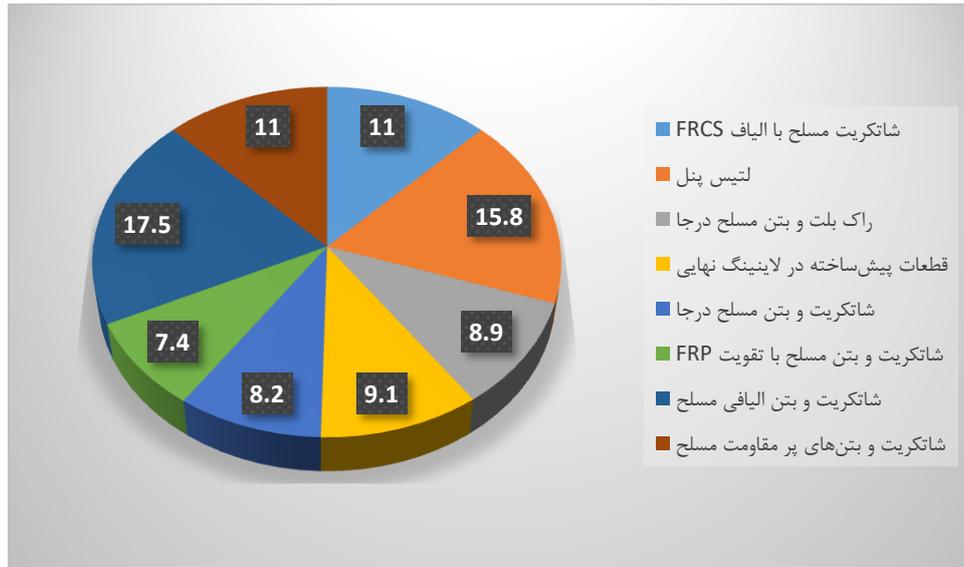
- لتیس پنل<sup>۲</sup> نیز در رتبه دوم روش‌های اجرایی قرار گرفته که علی‌رغم تک‌پوسته بودن انعطاف‌پذیری و مقاومت بالایی دارد. (ای سی آی ۹۳-آر ۲۵۳۳، ۱۹۹۳)

- بتن‌های الیافی، بتن‌های نانویی و بتن‌های پرمقاومت با توجه به رفتار مناسب در برابر انفجار، بهترین مصالح برای استفاده در سازه‌های زیرزمینی هستند که البته هزینه بالاتری نسبت به مصالح عادی و بتن‌های معمولی در بر خواهد داشت. سیلوا و لو<sup>۴</sup> (۲۰۰۷)، ناحیون یی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۲)

- از نکات حائز اهمیت امتیاز پایین ورق‌های تقویتی FRP است که دلیل آن را می‌توان هزینه بالای این روش دانست. (بوچان و چن<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷)

- همچنین قطعات پیش‌ساخته به نسبت استفاده از روش راک‌بلت‌ها و بتن درجا، امتیاز بالاتری کسب کرده‌اند که دلیل آن را می‌توان در شاخص کاهش نخاله و فراهم شدن امکان استتار و اختفا دانست.

1. Szuladzinski, 2010
2. Lattice Panel
3. ACI 533R-93, 1993
4. Silva & Lu, 2007
5. Na-Hyun Yi, 2012
6. Buchan & Chen, 2007

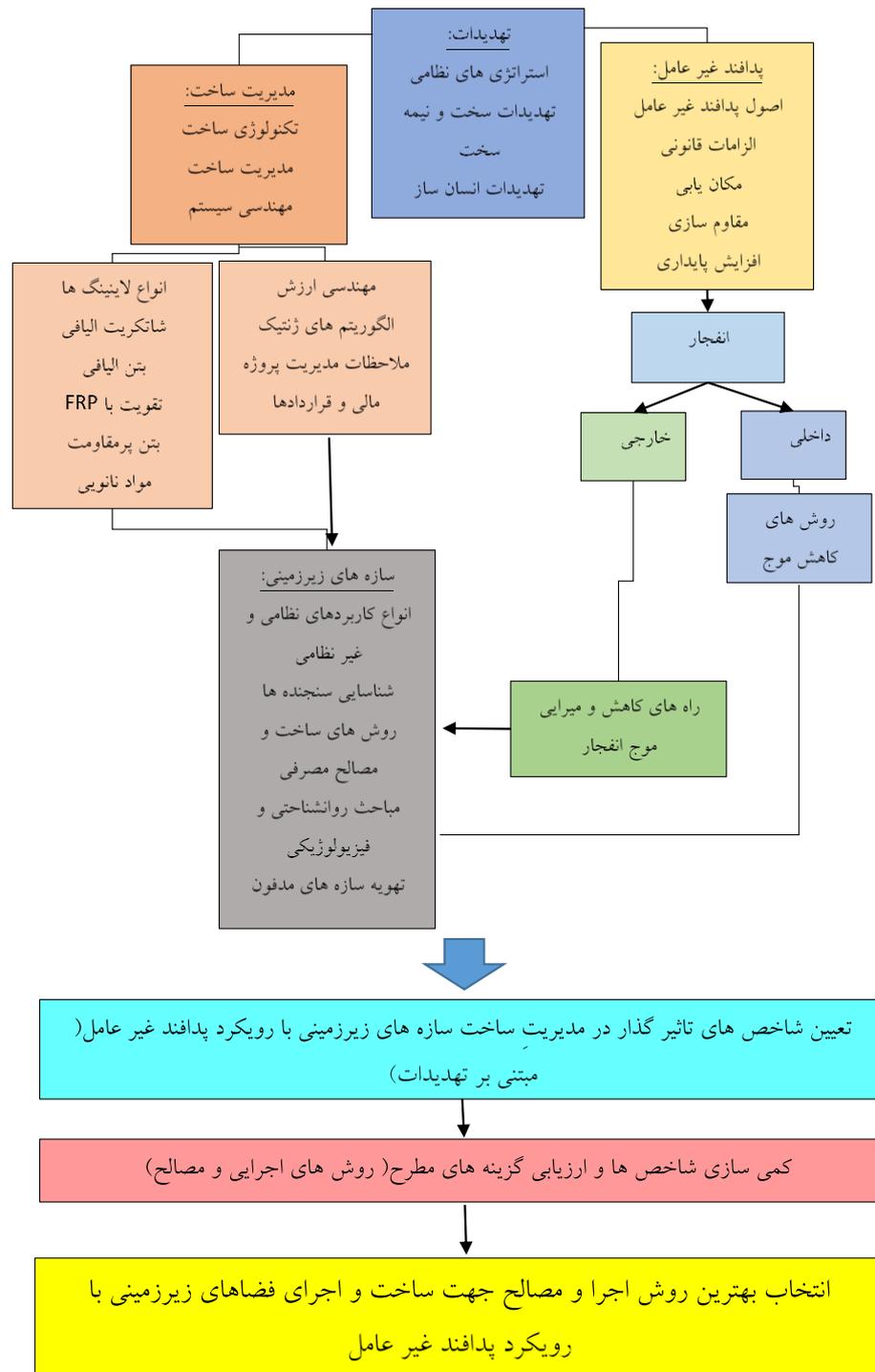


شکل ۴- درصد مطلوبیت هر روش با توجه به اهداف تحقیق

#### • ارائه مدل کاربردی

با توجه به تمامی مطالب ارائه‌شده و نتایج کسب‌شده از پرسشنامه‌ها و تحلیل آن‌ها توسط نرم‌افزار Expert choice، در نهایت، مدلی برای مدیریت ساخت سازه‌های زیرزمینی ارائه می‌گردد. در مدل ارائه‌شده سعی گردیده تا جامعیت و کاملت با استناد به مطالب استخراج‌شده، احصاء گشته و تمامی ابعاد مدنظر در مدیریت ساخت سازه‌های مدفون بتن مسلح و تلفیق آن با اهداف پدافند غیرعامل (جهت ارائه مدلی کاربردی) صورت پذیرد (شکل ۵).

نتایج حاصله گویای این است که خبرگان این رشته تمایل به تلفیق مصالح نوین و روش‌های سنتی دارند. به لحاظ پاسخگویی روش لتیس پنل در برابر انفجار عملکرد بسیار مناسبی را از خود نشان داده است. لاینینگ دوپوسته به‌خصوص با تلفیق مواد و مصالح مناسب مانند بتن پودری فعال پرمقاومت با الیاف فولادی بهترین عملکرد سازه‌ای و مقاوم‌سازی را از خود در برابر انفجار و مباحث پدافندی از خود نشان می‌دهند.



شکل ۵- مدل نهایی

## مراجع

- 18- Saaty, R. W. (1987), "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used." Mathematical modelling.
- 19- Szuladzinski, G. (2010), "Formulas for Mechanical and structural Shock and Impact."
- 20- Unified facilities criteria (UFC), (2008), "Structure to resist the effect of accidental explosions."
- 21- US Army fundamental of protective design, (1965), "dept of army Technical manual TM5-855."
- 22- Yi, N.H. Kim, J.H.J. Lee, J.H. (2012), "Blast resistant characteristics of ultra-high strength concrete and reactive powder concrete." Construction and Building Materials
- ۱- احمدی، س. (۱۳۸۷)، "بررسی روش های اجرای لاینینگ تونل ها."
- ۲- بیگی، م؛ و قاضی زاده، ج. (۱۳۸۷)، " مشخصات نویسندگان مقاله مهندسی پدافند غیر عامل در تاسیسات آبی پایین دست سدها"، دومین کنفرانس ملی نیروگاههای آبی کشور.
- ۳- جلالی و شمسایی، (۱۳۹۵)، "مدیریت مهندسی دفاع"، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
- ۴- حاتمی نیا، (۱۳۹۲)، تهدید شناسی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران.
- ۵- حسینی، س.ع. (۱۳۹۲)، "بررسی پدافند غیر عامل در سدهای خاکی و علل خرابی آن‌ها"، انتشارات عصر کنکاش.
- ۶- حسینی، اکبرپور و خدا رحمی، (۱۳۹۱)، "روش های مقاومت با موج انفجار در ورودی سازه های ایمنی با تاکید بر ملاحظات پدافند غیر عامل"
- ۷- رضایی، ر. (۱۳۹۵)، "پدافند غیرعامل و اما و اگرهای سدسازی"، زیست بوم.
- ۸- رهبر نیا، شمسایی، خدارحمی. (۱۳۹۱). ملاحظات پدافند غیر عامل در طراحی تونل و ساختمان‌های تحت انفجار داخل. دانشگاه امام حسین.
- ۹- ستاره، خیرآبادی و توکلی زاده، (۱۳۸۸)، " مشخصات نویسندگان مقاله مکانیابی با ملاحظات پدافند غیر عامل در محیط GIS"، همایش سراسری سامانه اطلاعات مکانی.
- ۱۰- ستاره، زنگنه و حسینی، (۱۳۸۹)، "آمایش و مکانیابی از منظر پدافند غیر عامل"، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
- ۱۱- سیاوشی، ح. (۱۳۸۹)، " فرآیند مدیریت ریسک در پروژه‌های تونلسازی با استفاده از نرم‌افزار pert master"، دانشگاه آزاد اسلامی
- ۱۲- صفی، (۱۳۹۱)، "ملاحظات پدافند غیر عامل در اجرای پروژه های دفاعی زیرزمینی"، دانشگاه امام حسین.
- ۱۳- قلی زاد، ا؛ و رجیبی، م. (۱۳۹۲)، " ایمن سازی سازه بتنی مدفون در برابر بار انفجاری"، مجله علمی پژوهشی علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل.
- ۱۴- موحدنیا، ج. (۱۳۸۸)، " اصول و مبانی پدافند غیر عامل"، انتشارات دانشگاه مالک اشتر.
- ۱۵- نوری، اکبرپور و خدارحمی، (۱۳۹۱)، "در تقویت FRP بررسی و شبیه سازی استفاده از مواد کامپوزیت."
- 16- American Concrete Institute (ACI), (1993), " Guide for Precast Concrete Wall Panels, ACI 511R-91."
- 17- Buchan, P.A. and Chen, J.F. (2007), "Blast resistance of FRP composites and polymer strengthened concrete and masonry structures – A state-of-the-art review."