نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی
سال چهارم / شماره سیزدهم / تابستان ۱۳۹۶

Journal of Dam and Hydroelectric Power Plant
4rd Year / No. 13 / March 2017

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

سید عظیم حسینی[۱]
عباس اکبرپور*[۲]
حسن احمدی[۳]
بابک امین نژاد[۴]

چکیده

امروزه پدافند غیرعامل به‌عنوان یک نیاز استراتژیک در مدیریت ساخت پروژه‌های عمرانی به‌منظور تأمین امنیت پایدار، موردنظر می‌باشد. بخش قابل‌توجه ای از پروژه‌های سد و نیروگاه، سازه‌هایی هستند که به‌صورت زیرزمینی اجرا می‌گردند. این سازه‌ها علاوه بر هزینه‌بر بودن به لحاظ استراتژیک نیز دارای اهمیت زیادی می باشند، به همین منظور تأمین الزامات پدافند غیرعامل در آن ها از ضروریات است. این مقاله با درنظر گرفتن اهداف پدافند غیرعامل و توجه به اصول مدیریت ساخت در پروژه‌های زیرزمینی، سعی دارد روشی متناسب با شرایط فعلی و فنّاوری 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 مورداستفاده 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 به‌عنوان مصالح هوشمند و بتن های پرمقاومت بر سایر مواد رایج در ساخت سازه ها ارجحیت دارند. استفاده از هرکدام از مصالح بیان‌شده 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.

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۸

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]

مقدمه

عملیات چیستایس[1]، یکی از افتخارهای ماندگار برای نیروی هوایی انگلستان است. عملیاتی با طراحی دقیق که ضربه‌ای اساسی به آلمانی‌ها وارد کرد. دره روهر[2] یکی از شاهرگ‌های صنعتی آلمان نازی بود. به‌خصوص که صنایع نظامی هم در این منطقه متمرکز بودند. بااین‌همه، هیچ‌یک از اهداف عملیات چیستایس، شامل صنایع نظامی یا غیرنظامی نمی‌شد و بااین‌وجود، ضربه‌ای چنان بزرگ به آلمان وارد شد که حتی تأمین تجهیزات نظامی‌اش را نیز با چالشی جدی مواجه کرد.

مأموریت تعیین‌شده در این عملیات برای اسکادران ۶۱۷ انگلستان، تخریب سه سد احداث‌شده در دره روهر بود. سدهایی که صنایع آلمانی‌ها به آن وابسته بودند و با تخریب سدها، نه‌تنها 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 به‌جا ماند. شاید همین عملیات تلنگری بود تا بدانیم، سدها یکی آسیب‌پذیرترین ساختارها در نگرش پدافند غیرعامل‌اند و چیدن تخم‌مرغ‌های مدیریت آب در سبد سدسازی، ریسک بالایی محسوب می‌شود (رضا رمضانی، 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 به‌صورت گسترده به بقا و کارکرد سدها وابسته باشد، بروز مشکل در سد تغذیه‌کننده سبب فلج شدن این جوامع انسانی و صنایع و فعالیت‌های کشاورزی خواهد شد. وقتی رابطه‌ای این‌چنین در مکانیسم مبتنی بر سدسازی متصور است برنامه‌ریزی بر اساس الگویی که بخواهد قوام و دوام توسعه را به‌صورت 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 به‌تنهایی هدفی آشکار و غیرقابل‌استتار 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 یک‌باره 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 به‌منظور حفظ زیرساخت‌های تأمین آب کشور (سد و تأسیسات وابسته) در مقابله با بحران‌ها ازجمله 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)[3] نیز اقداماتی درنظر گرفته‌شده است. در این مقاله به شناخت اصول پدافند غیرعامل در سدها و به‌خصوص تأسیسات وابسته به‌طور 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 دراین‌بین 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 براثر حوادث غیرطبیعی مثل حملات دشمن به حداقل برساند. نقش این فرد ازاین 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

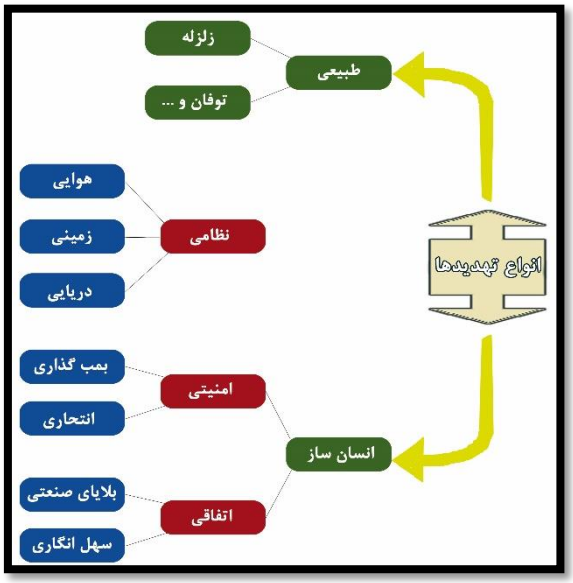
[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]

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

- تهدیدات

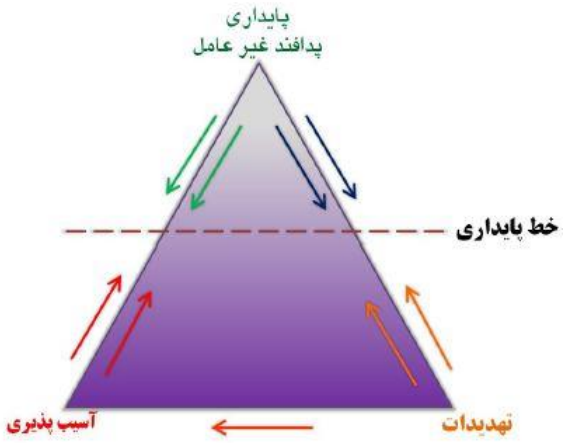
در سدها امکان گسیختگی هم به صورت تدریجی و هم به‌صورت ناگهانی وجود دارد. نوع شکست وابسته به دلیل شکست و نوع سد است. برای مقابله با انواع تهدیدات و تخریب ناشی از آن، می‌بایست شناخت کافی نسبت به این تهدیدات داشته باشیم. برای آشنایی، در شکل ۱ انواع تهدیدات در دو بخش تقسیم‌بندی گردیده و زیرمجموعه‌های آن‌ها نیز نشان داده‌شده 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،۱۵).

مثلث پایداری تأثیر متقابل هر یک از موارد بر یکدیگر را نشان می‌دهد و جهت حفظ خط پایداری پدافند غیرعامل از ابزار دانش، نیروی انسانی و شناخت باید بهره گیرد و هر چه این خط به سمت پایین حرکت کند پایداری طولانی‌تری در تمامی پروژه‌ها و ارگان‌ها و سازمان‌های مرتبط دارد به‌عنوان نمونه آب‌رسانی، تأمین برق و حفظ سرمایه‌های ملی. (حسینی،۱۳۹۲)



شکل ۲-مثلث 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 قابل‌توجه 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 فنّاوری و ابزارهای نشانه‌گیری، حمله و تهاجم به هدف در جنگ‌های نسل چهارم از رشد و پیشرفت قابل‌توجهی برخوردار خواهند بود. درواقع 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

1.TM5-855,1965

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]

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)[1] به‌عنوان یک ماشین یا فن ابزار تصمیم‌گیری در حوزه دفاع به‌ویژه در مکان‌یابی مراکز حیاتی به‌شدت مورداستفاده قرارگرفته‌اند (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 موردتوجه قرار گیرد.

بر اساس مطالعات ازلحاظ انتخاب محل اجرای سد می‌توان ابتدا موارد بنیادین و اساسی محل را موردبررسی قرارداد. در ادامه دقت بیشتر در مطالعات تکمیلی ازجمله مطالعه لرزه‌خیزی و نیز مطالعات مخزن ازلحاظ 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 درخصوص بروز بلایای طبیعی ازجمله 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 موردبررسی معمول در مکان‌یابی، لازم است عوامل مؤثر از دیدگاه پدافند غیرعامل نیز موردبررسی قرار گیرد.

ضوابط موردتوجه مکان‌یابی در پدافند غیرعامل به‌طورکلی شامل موارد زیرمی باشد (ستاره، زنگنه و حسینی،۱۳۸۹):

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 ازنظر 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 این‌گونه 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 درنظر 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 قابل‌توجهی 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[2] 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

1. Geographic Information System

2.Lining

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]

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، موردبررسی قرارگرفته است. (یو.اف.سی[1]، 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 ضروری ترین نکاتی است که از ابتدای مرحله انتخاب مکان اجرای پروژه با توجه به آمایش سرزمین و سپس مراحل طراحی و اجرا باید به‌دقت و به‌صورت ویژه موردتوجه 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 به‌منظور تأمین امنیت پایدار موردنظر 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. به‌عبارت‌دیگر با توجه به ملاحظات پدافند غیرعامل و چهارچوب نظری موجود در این زمینه، مدلی تحلیلی به‌منظور 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 به‌ندرت 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 همچنین تمهیدات لازم برای خروج موج انفجار از ساختمان‌ها و کاهش خسارات در انفجارهای تونلی، بررسی و در آخر الزامات طراحی معماری بیان‌شده 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 می‌پذیرید که در انتها راهکارهایی برای ارتقاء ایمنی این سازه‌ها پیش‌بینی‌شده است. (حسینی،۱۳۹۱)

در مقاله دیگری به‌صورت اجمالی ملاحظات مهندسی پدافند غیرعامل برای تأسیسات آب‌رسانی شامل سد و نیروگاه، خطوط انتقال، تصفیه‌خانه، مخازن ذخیره و شبکه‌های آب‌رسانی، موردبررسی قرارگرفته و راه‌کارهای مناسب برای ملاحظات طراحی و اجرائی این تأسیسات ارائه‌شده است (معصوم بیگی و جلیلی قاضی‌زاده، ۱۳۸۷)

پس از جستجوهای فراوان در منابع داخلی و خارجی درزمینه‌ی 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. درنتیجه، 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 مورداستفاده در سازه‌های زیرزمینی موردبحث و تحلیل قرارگرفته و اولویت‌بندی شده‌اند. برای انجام اولویت‌بندی، شاخص‌های متعددی احصا گردیده و با استفاده از روش‌های کمی‌سازی فرایند تحلیل سلسله مراتبی یا AHP[2] 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 ارائه‌شده است.

1.UFC 2008

2. Analytic Hierarchy Process

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]

جدول ۱- تعیین متغیرهای تحقیق

انواع متغیر	
متغیر اصلی	انتخاب بهترین روش ساخت در سازه‌های زیرزمینی بر مبنای اصول پدافند غیرعامل انتخاب بهترین نوع مصالح برای ساخت سازه‌های زیرزمینی بر مبنای اصول پدافند غیرعامل
متغیر فرعی (صحفی، ۱۳۹۱)، (سیاوشی، ۱۳۸۹)، (حسینی، ۱۳۹۲)	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 مستهلک کردن موج انفجار قابلیت تعمیر، نگهداری و مرمت‌پذیری قابلیت مقاوم‌سازی

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

گزینه
مسلح با الیاف FRCS
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 مشخص‌شده است.

باوجود روش‌هایی چون TOPSIS و ANP، 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 استفاده‌شده 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 درزمینهٔ دفاعی

درروش AHP، بدین‌صورت 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[1]، ۱۹۸۷).

1. Saaty, 1987

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]

پس‌ازآن درصورتی‌که تعداد معیارها بیش از یکی بود، ابتدا آن‌ها را بر اساس جدول ۳ نسبت به هم اولویت‌بندی می‌کنند، بدین‌صورت که هر یک از آن‌ها نسبت به هم مقایسه می‌شوند و اعداد مربوط به آن‌ها تخصیص می‌یابند، پس‌ازآن 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 درنظر 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 به‌عبارت‌دیگر $aij = \frac{1}{aij}$

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 ۳- مقیاس ساعتی (۱۹۸۷) برای اهمیت‌های نسبی

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

به‌دست‌آمده 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 باهدف وزن دهی به شاخص‌های اصلی سنجش روش‌ها و مصالح مورداستفاده در ساخت فضاهای زیرزمینی احصا شده‌اند، در شکل ۳ و جدول ۴ آمده است؛ و ضریب همبستگی معادل عدد ۰,۷۸۷ حاصل‌شده است که موردقبول است.

- **تجزیه‌وتحلیل**

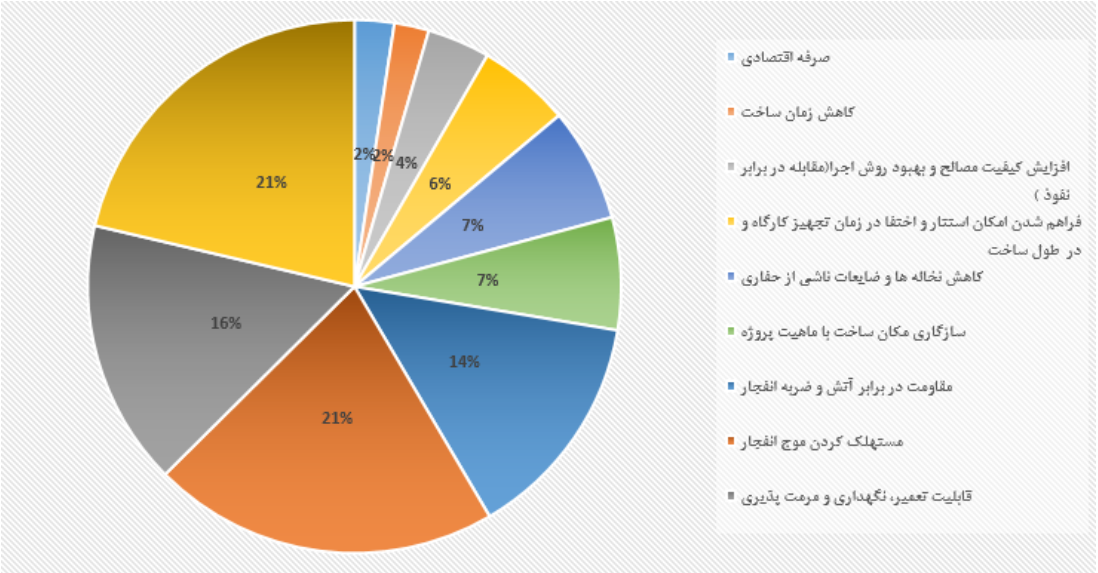
با توجه به کاربری‌های سازه‌های زیرزمینی و تهدیدات متوجه آن‌ها، قابلیت مقاوم‌سازی، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است که قطعاً در طراحی سازه‌های معمولی و با کاربری‌های عادی، توجه خاصی به آن نشده و یا در طراحی در مقابل بار زلزله مدنظر قرار می‌گیرد.

جدول ۴- وزن و اولویت هر یک از شاخص‌ها

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

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]



شکل ۳- نتیجه نهایی وزن دهی به شاخص‌ها

قابلیت مستهلک کردن انرژی با توجه به تأثیر مستقیمی که بر کاهش آسیب پذیری سازه و تجهیزات دارد، در رتبه دوم قرارگرفته است.

قابلیت نگهداری و ترمیم‌پذیری به‌عنوان شاخصی تأثیرگذار در افزایش تاب‌آوری و فراهم کردن امکان تداوم فعالیت‌های اصلی سازه، در رتبه سوم قرارگرفته 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 مشخصات و الزامات مکان‌یابی پدافند غیرعامل، نهایتاً صرفه اقتصادی تأثیرگذار در انتخاب یکی از آن‌ها خواهد بود.

با پیشرفت فنّاوری ماهواره‌ها و روش‌های شناسایی، امکان تشخیص ماهیت پروژه در زمان ساخت، به‌شدت افزایش‌یافته است. لذا در پروژه‌ای 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 فنّاوری 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 پس‌ازآن 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

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]

اصلی و اولیه طرح بوده است حال‌آنکه 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 درنظر 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.

- **تجزیه‌وتحلیل گزینه‌ها**

- به‌طورکلی 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 مستهلک سازی موج انفجار و مقاومت در برابر آتش و ضربه می‌باشد. (زولادزینسکی[1]، ۲۰۱۰)
- لتیس پنل[2] نیز در رتبه دوم روش‌های اجرایی قرارگرفته که علی‌رغم تک پوسته بودن انعطاف‌پذیری و مقاومت بالایی دارد. (ای سی آی ۹۳-آر ۵۳۳[3]، 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[4] (۲۰۰۷)، ناحیون یی[5] 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[6]،۲۰۰۷)
- همچنین قطعات پیش‌ساخته به نسبت استفاده از روش راک بلت‌ها و بتن درجا، امتیاز بالاتری کسب کرده‌اند که دلیل آن را می‌توان در شاخص کاهش نخاله و فراهم شدن امکان استتار و اختفا دانست.

نتیجه‌گیری

درنهایت 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 فنّاوری‌های 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 فوق روان کننده و روش‌های خاص افزایش مقاومت بتن، ارجحیت بر سایر مواد معمولی و رایج در ساخت سازه‌ها دارند و استفاده از هرکدام از مصالح بیان‌شده در روش‌های اجرایی حالات متفاوت و کاربری‌های خاصی را به وجود می‌آورد.

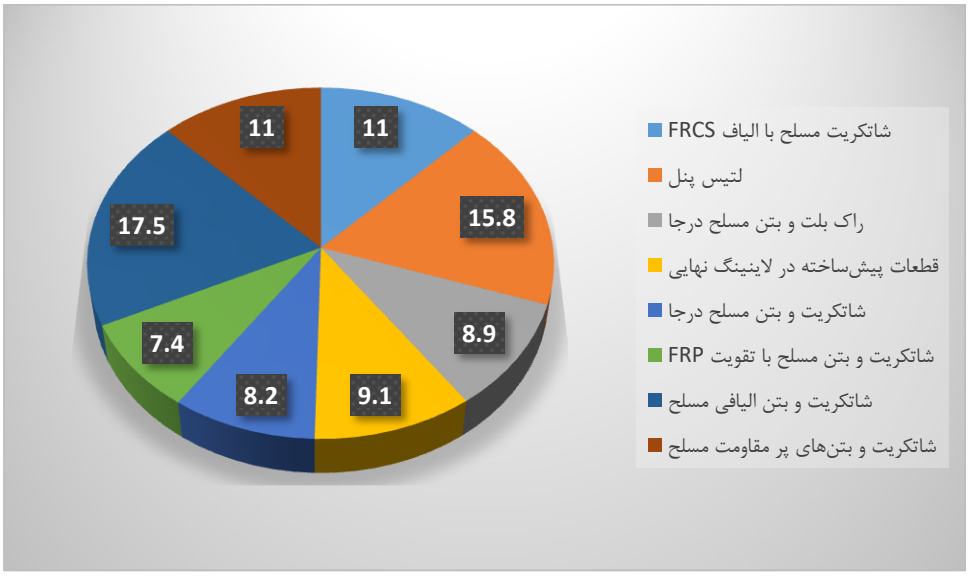
- **نتایج مربوط به روش‌های اجرا:**

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 عهده‌دارند):

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

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

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]



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

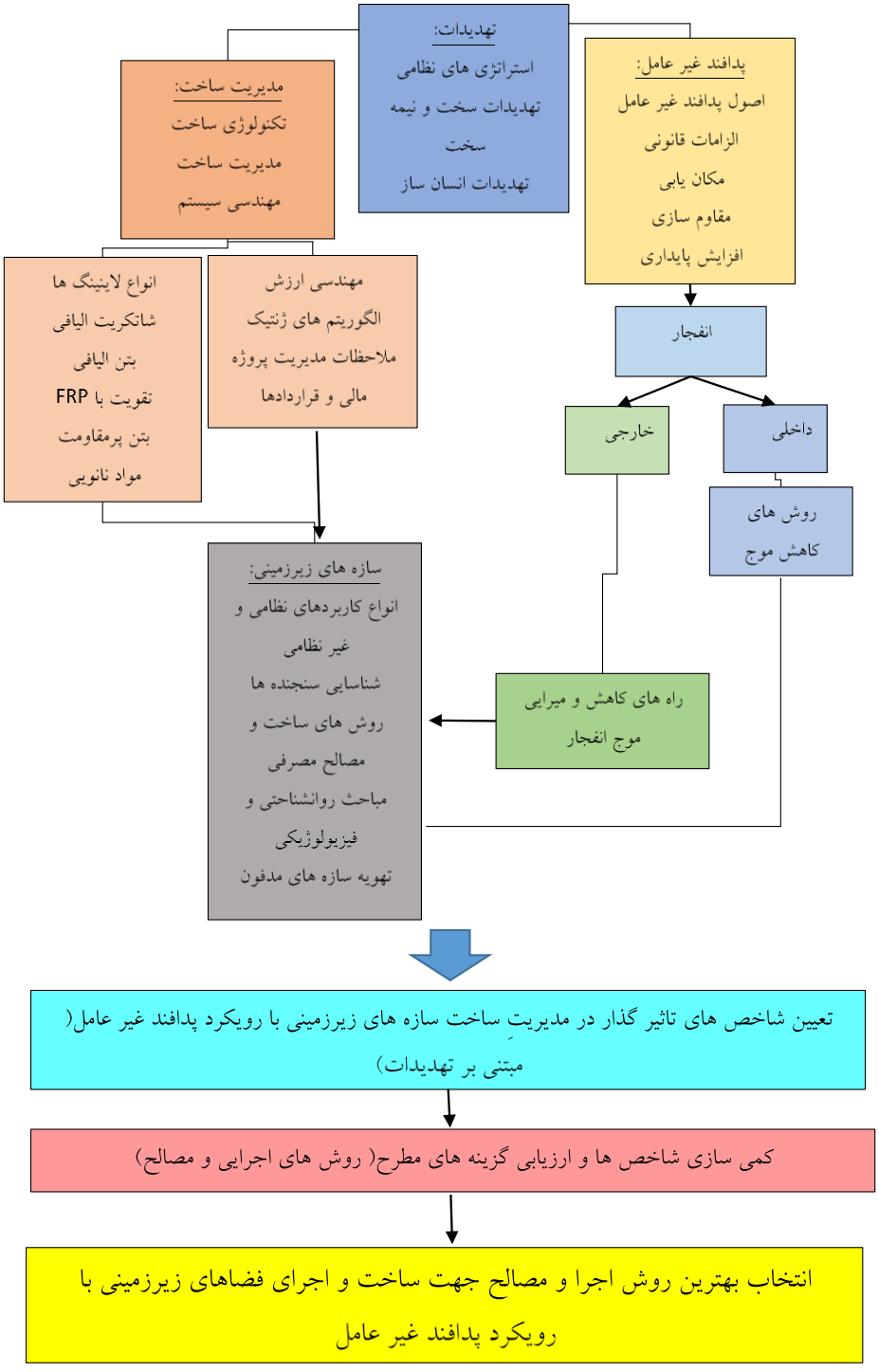
نتایج حاصله گویای این است که خبرگان این رشته تمایل به تلفیق مصالح نوین و روش‌های سنتی دارند. به لحاظ پاسخگویی روش لتیس پنل در برابر انفجار عملکرد بسیار مناسبی را از خود نشان داده است. لاینینگ دوپوسته به‌خصوص با تلفیق مواد و مصالح مناسب مانند بتن پودری فعال پرمقاومت با الیاف فولادی بهترین عملکرد سازه‌ای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

- ارائه مدل کاربردی

با توجه به‌تمامی مطالب ارائه‌شده و نتایج کسب‌شده از پرسشنامه‌ها و تحلیل آن‌ها توسط نرم‌افزار Expert choice، درنهایت، 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).

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]



شکل ۵- مدل نهایی

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]

مراجع

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- رمضانی، 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-صحفی، (۱۳۹۱)، "ملاحظات پدافند غیر عامل در اجرای پروژه های دفاعی زیرزمینی."، دانشگاه امام حسین.

۱۳-قلی زاد، ا؛ و رجبی، م. (۱۳۹۲)، " ایمن‌سازی 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 موادکامپوزیت."

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."

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

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1396.4.13.6.1]