Journal of Safe City

Online ISSN: 2676-556X Journal

Homepage: www.ispdrc.ir

Research Paper

Risk assessment process of a sample combined cycle power plant against intentional man-made threats

Mustafa Ghazanfari *- PhD student of strategic management of passive defense - Higher National Defense University

Gholamreza Jalali Farahani - full professor of National Defense University

Received:1 May 2025 Received hn revised form: 28 May 2025 Accepted: 1 June 2025 p.p: 155 – 178

https://doi.org/10.22034/ispdrc.2025.2059141.1182

ABSTRACT

The electricity industry is a highly important infrastructure and a vital prerequisite for the advancement of economic, social, and welfare sectors in all communities and countries. The availability of highly reliable electricity always plays a significant role in the growth of these areas. Thermal power plants, with a 94% share, are considered the main source of electrical energy production in the country and are one of the three pillars of the critical electricity infrastructure. Due to the dependence of other infrastructures on this one, they are always regarded as one of the most appealing targets for attacks. Therefore, if the weaknesses of existing thermal power plants against the spectrum of conceivable threats are not addressed, and if these weaknesses are repeated in future plants, ensuring their continued operation in the event of such threats will likely be highly improbable. Risk assessment is the first step in identifying and addressing the vulnerabilities of this infrastructure. The research method of the present study, aimed at assessing the risk of a sample combined cycle power plant against deliberate human-made threats, is descriptive-analytical. To collect and analyze data, a mixed-method approach (quantitative and qualitative) was chosen. In the phase of identifying deliberate human-made threats to power plants, a library method (qualitative) was used, and in the risk assessment section, a questionnaire method (quantitative) based on the FEMA risk assessment method was implemented, with the statistical population selected according to the Delphi method. According to the findings of the research, among the components of the power plant, the turbo-generator buildings, the central control building, and the ancillary facilities have the highest level of risk against conceivable threats, and risk reduction measures are essential for them.

Keywords: combined cycle power plant, deliberate human-made threats, risk, passive defense.

(Corresponding Author: m.ghazanfari2140@gmail.com)

نشریه علمی شهر ایمـــن

شاپا الکترونیکی: 2676-556X

Journal Homepage: www.ispdrc.ir

انجمن علمی پدافند غیر عامل ایران

مقاله پژوهشی

فرآیند ارزیابی ریسک یک نیروگاه‌سیکل ترکیبی‌نمونه در برابر تهدیدات انسان‌ساخت عمدی

مصطفی غضنفری- دانشجوی دکتری مدیریت راهبردی پدافند غیرعامل-دانشگاه عالی دفاع ملی

غلامرضا جلالی فراهانی-استاد تمام دانشگاه عالی دفاع ملی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱ ص.ص ۱۷۸-۱۵۵

https://doi.org/10.22034/ispdrc.2025.2059141.1182

چکیده:

صنعت برق یک زیرساخت‌های بااهمیت بالا و پیش نیاز مهمی در پیشرفت حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی و رفاهی در کلیه جوامع و کشورها محسوب می‌شود و در دسترس بودن برق با قابلیت اطمینان بالا، همواره نقش بسزایی در رشد حوزه‌های مذکور دارد. نیروگاه‌های حرارتی با سهم ۹۴ درصدی به عنوان اصلی‌ترین منبع تولید انرژی الکتریکی کشور (شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی, ۱۴۰۳)، یکی از ارکان سه گانه زیرساخت حیاتی برق به شمار می‌روند و با توجه به وابستگی سایر زیرساخت‌ها به این زیرساخت، همواره یکی از جذاب‌ترین اهداف تهاجم به شمار می‌روند. از همین رو، در صورتی که نقاط ضعف نیروگاه‌های حرارتی موجود در برابر طیف تهدیدات متصور، برطرف نشده و در نیروگاه‌های آتی نیز این نقاط ضعف تکرار گردد، تضمین تداوم کارکرد آن‌ها در صورت رخداد تهدیدات مذکور با احتمال بالایی همراه نخواهد بود و ارزیابی ریسک اولین گام در تحقق شناسایی رفع نقاط ضعف این زیرساخت می‌باشد.روش پژوهش حاضر که با هدف ارائه فرآیند ارزیابی ریسک یک نیروگاه سیکل ترکیبی نمونه در برابر تهدیدات انسان‌ساخت عمدی تدوین شده است، توصیفی - تحلیلی می‌باشد. به منظور گردآوری و تحلیل داده‌ها در این پژوهش روش کیفی انتخاب شده است. در مرحله شناسایی تهدیدات انسان‌ساخت عمدی پیش روی نیروگاه ها از روش کتابخانه‌ای (کیفی)، و فرآیند ارزیابی ریسک پیشنهادی، مبتنی بر روش ارزیابی ریسک FEMA بوده و جامعه آماری منتخب در تعیین راهکارهای عمده کاهش آسیب پذیری، بر اساس روش دلفی برگزیده شدند.

واژگان کلیدی: نیروگاه سیکل ترکیبی، تهدید انسان‌ساخت عمدی، آسیب پذیری، پیامد، ریسک، پدافند غیرعامل.

نویسنده مسئول:m.ghazanfari2140@gmail.com

۱. مقدمه

صنعت برق یک زیرساخت‌های حیاتی و پیش نیاز مهمی در پیشرفت حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی و رفاهی در کلیه جوامع و کشورها محسوب می‌شود و در دسترس بودن برق با قابلیت اطمینان بالا، همواره نقش بسزایی در رشد حوزه‌های مذکور دارد. نیروگاه‌های حرارتی با سهم ۹۴ درصدی به عنوان اصلی‌ترین منبع تولید انرژی الکتریکی کشور (شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی, ۱۴۰۳)، یکی از ارکان سه گانه زیرساخت حیاتی برق به شمار می‌روند و با توجه به وابستگی سایر زیرساخت‌ها به این زیرساخت، همواره یکی از جذاب‌ترین اهداف تهاجم به شمار می‌روند. از همین رو، در صورتی که نقاط ضعف نیروگاه‌های حرارتی موجود در برابر طیف تهدیدات متصور، برطرف نشده و در نیروگاه‌های آتی نیز این نقاط ضعف تکرار گردد، تضمین تداوم کارکرد آن‌ها در صورت رخداد تهدیدات مذکور با احتمال بالایی همراه نخواهد بود.

دفاع غیرعامل به عنوان بستر توسعه پایدار و یکی از مؤثرترین و پایدارترین روش‌های دفاع در مقابل تهدیدات محسوب و اساساً تدابیر و اقدامات دفاع غیرعامل، حوزه‌ها و عرصه‌های مختلف و از جمله زیرساخت‌های حوزه انرژی را شامل می‌شود. این نوع دفاع، پنج هدف محوری شامل افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقاء پایداری ملّی و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی را دنبال می‌نماید و از جمله مهم‌ترین اقدامات در راستای تحقق اهداف مذکور، حفاظت مؤثر در برابر تهدیدات انسان‌ساخت عمدی است. تحقیق حاضر بر آن است تا با ارزیابی ریسک یک نیروگاه نمونه در برابر تهدیدات انسان ساخت زمینه لازم را برای اقدمات موثر در کاهش ریسک فراهم نماید.

۲. پیشینه تحقیق

به رغم تحقیقات متفاوتی که در حوزه‌ی نیروگاهی صورت گرفته است، نمونه‌ای منطبق با موضوع و هدف تحقیق حاضر مشاهده نگردید. به مهم‌ترین این تحقیقات در ادامه اشاره شده است.

نوروستا و همکاران (نوروستا , رادان, نکوئی, & اسکندری, ۱۴۰۱) طی یک مقاله علمی-پژوهشی به شناسایی و اولویت-بندی تهدیدات نیروگاه‌های برق حرارتی و ارائه راهکارهای پدافند غیرعامل پرداخته‌اند. در این مقاله پس از بررسی مفاهیم، تعاریف، اسناد بالادستی و مطالعه انواع تهدیدات در حوزه تأسیسات زیربنایی از طریق روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی اقدام به طراحی و توزیع پرسش‌نامه در بین متخصصان و کارشناسان مربوطه شده است. در ادامه با آماده‌سازی پرسش‌نامه و اولویت‌بندی ۳۷ عامل محیطی بر اساس مدل SWOT انجام و توسط نرم‌افزار SPSS مورد ارزیابی کمی قرار گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش حفاظت از تأسیسات زیربنایی در حوزه نیروگاه‌های برق با رویکرد پدافند غیرعامل نیازمند افزایش دانش مدیران و کارشناسان نیروگاه‌های کشور نسبت به تهدیدات نوظهور، افزایش سطح تمهیدات پایشی، به‌کارگیری روش‌ها و تجهیزات حفاظتی نوین، رعایت اصل پراکندگی در طراحی و جانمایی تأسیسات مخازن سوخت، برگزاری رزمایش‌های مختلف در ایجاد آمادگی، استفاده از تجربیات کارآمد بین‌المللی در حوزه ایمنی و ... می‌باشد. این مقاله هرچند به لحاظ ساختاری چارچوب‌های پژوهشی را حفظ نموده است، لیکن به دلیل عدم توجه به برخی ملاحظات فنی، پوشش دقیق از ارزیابی تهدیدات ارائه نداده است و برخی راهکارهای ارائه شده در آن نیز، فاقد امکان‌پذیری فنی است.

صادقی و همکاران (Sadeghi, Jabbari Gharabagh, Rezaeian, Alidoosti, & Eskandari, 2020) نیز در مقاله ای علمی-پژوهشی خطرات آتش‌سوزی و انفجار برخی واحدهای فرآیندی در یک نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از شاخص آتش‌سوزی و انفجار Dow مورد ارزیابی قرار داده اند که دارای ماهیت ایمنی است و به صورت اختصاصی به پیامدهای حریق و انفجار می پردازد. همچنین کومار راس و همکاران (Kumar Rath, Kumar Khutey, Gautam, Akash, & Kumar Singh, 2022) در یک مقاله ISI با عنوان شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک در نیروگاه، به تشریح

شناسایی مخاطرات و ارزیابی آنها همراه با پارامترهای کنترلی پرداخته اند که شامل: کنترل مخاطرات، مدیریت خطرات و ریسک‌های مرتبط با مخاطرات، اقدامات کنترلی، ارائه اطلاعات در زمینه آموزش، نظارت بر مخاطرات، آموزش کارکنان، تحلیل ریسک‌ها، اقدامات کنترلی برای کارکنان در معرض خطر و ارزیابی مخاطرات می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با بررسی حالت‌های عملیاتی طراحی و تعیین روش‌های رتبه‌بندی مخاطرات و کاربرد آنها، می‌توان به روش بهینه‌ای برای مدیریت ایمنی دست یافت که همراه با حذف منابع اثرات مخاطره‌آمیز می‌باشد.

علاوه بر موارد مذکور، فرازائو فریرا (Frazão Ferreira, 2009) مقاله ای را با عنوان مدیریت ریسک صنعتی در نیروگاه سیکل ترکیبی تدوین نموده است که در آن به ارزیابی ریسک نیروگاه ریباتِجو در پرتغال و همچنین توسعه برنامه مدیریت ریسک پرداخته است. در راستای تدوین این مقاله، مفاهیم پایه مرور شده و برخی روش‌های ارزیابی ریسک معرفی و یک فرآیند شناخته‌شده مدیریت ریسک نیز ارائه شده است. پس از آن تحلیل ارزیابی ریسک انجام شده که منجر به تهیه برنامه مدیریت ریسک گردیده است و اقدامات کاهش ریسک با در نظر گرفتن معیارهای خاص و منابع موجود در نیروگاه ریباتِجو مورد بررسی قرار گرفته‌اند. شریواستاوا و پتل (Shrivastava & Patel, 2014) نیز طی یک مقاله ISI با عنوان شناسایی خطر و ارزیابی ریسک در نیروگاه حرارتی، پنج مرحله به شرح زیر را جهت شناسایی خطر و ارزیابی ریسک معرفی و بر مبنای آن و مبتنی بر جدول رخداد، ریسک های محتمل در یک نیروگاه حرارتی را تعیین نموده است:

- مرحله ۱: توضیحات سیستم: سیستم و زیر سیستم و عملیات را تعریف کنید.
- مرحله ۲: شناسایی خطر - تعریف و توصیف یک خطر، از جمله ویژگی های فیزیکی، بزرگی و شدت، عوامل ایجاد کننده، و مکان ها یا مناطق تحت تأثیر آن.
- مرحله ۳: تجزیه و تحلیل ریسک - احتمال، فراوانی یا احتمال تلفات احتمالی مرتبط با یک خطر را تجزیه و تحلیل کنید.
- مرحله ۴: رتبه بندی ریسک - جدول غربالگری طبقه بندی ریسک تشکیل می شود و ارزش خطر یا کلاس ریسک محاسبه شده، نیاز به اقدام را نشان می دهد.
- مرحله ۵: خطر را حل کنید - اقدامات اصلاحی برای پیشگیری، کاهش یا انتقال خطرات با برنامه ریزی کوتاه مدت و بلند مدت توصیه می شود.

علاوه بر موارد مذکور، طاحونه و همکاران (طاحونه, دشتی, غفارپور, & جلالی, ۱۳۹۹) در یک مقاله علمی-ترویجی به الزامات پدافند غیرعامل در ارتباط با انواع دارایی های صنعت توزیع برق پرداخته‌اند که در آن نیروگاه‌ها به عنوان یکی از اجزای صنعت توزیع برق نگاه کلی شده و مشخصا در خصوص این زیرساخت، بررسی صورت نگرفته است. همچنین باقری (باقری, ۱۳۹۶) در هفتمین همایش سراسری پدافند جنگ نوین به تعیین نقش پدافند غیرعامل برای حفاظت از نیروگاه‌ها در زمان وقوع جنگ‌ها نوین پرداخته است. در این مقاله نیز بدون انجام فرآیند ارزیابی ریسک، کلیاتی در خصوص حفاظت از نیروگاه‌ها در برابر تهدیدات الکترومغناطیس و گرافیتی ارائه شده است. گودینی و وفامهر (گودینی & وفامهر, ۱۳۹۷) نیز در یک مقاله علمی-پژهشی با عنوان راهکارهای مؤثر بر افزایش ضریب ایمنی/امنیتی در طرح معماری مجموعه های صنعتی نیروگاهی، به شناسایی راهکارهای طراحانه مؤثر بر افزایش ضریب ایمنی/امنیتی پرداخته اند و به برخی از عوامل موثر در این زمینه اشاره نموده است. بخش محدودی از اقدامات اشاره شده در این مقاله از حیث موضوعی و محتوایی در فرآیند ارزیابی ریسک می تواند در بخش تعیین راهکارها مورد استفاده قرار گیرد.

۳. روش شناسی پژوهش

تحقیق حاضر در صدد ارائه فرآیند ارزیابی ریسک یک نیروگاه بوده، بر همین اساس روش‌شناسی پژوهش، روش توصیفی - تحلیلی است. به منظور گردآوری و تحلیل داده‌ها در یک تحقیق می‌توان از رویکردهای کمی و کیفی بهره برد (علی احمدی & نهائی, ۱۳۸۶)، که در این پژوهش روش کیفی انتخاب شده است. در مرحله شناسایی تهدیدات انسان‌ساخت عمدی پیش روی نیروگاه‌ها از روش کتابخانه‌ای (کیفی) و در بخش تعیین فرآیند ارزیابی ریسک از روش ارزیابی ریسک FEMA استفاده گردید. جامعه آماری هر تحقیق از سه روش کلی: (۱) روش احتمالی که از ارزش علمی برخوردار است و به روش تصادفی موسوم است و (۲) روش غیر احتمالی که به روش وضعی معروف است و (۳) روش کارشناسی یا دلفی (حافظ نیا, ۱۳۸۹) انتخاب می‌شوند، که در تحقیق حاضر جهت تعیین راهکارهای کلان کاهش آسیب پذیری در برابر تهدیدات، بر اساس روش دلفی برگزیده شدند.

۴. معرفی اجزای اصلی یک نیروگاه سیکل ترکیبی

همان‌طور که اشاره شد، هدف تحقیق حاضر تعیین ارزیابی ریسک تهدیدات انسان‌ساخت عمدی در اجزای اصلی یک نیروگاه سیکل ترکیبی است. به طور کلی نیروگاه حرارتی انرژی ذخیره شده در سوخت فسیلی را از طریق زنجیره زیر به انرژی الکتریکی تبدیل می کند:

۱) تبدیل انرژی موجود در سوخت به انرژی حرارتی بخار
۲) تبدیل انرژی حرارتی بخار به انرژی مکانیکی یا چرخشی یک چرخ دوار به نام توربین
۳) تبدیل انرژی مکانیکی توربین به انرژی الکتریکی در یک ژنراتور (Patel, & Shrivastava۲۰۱۴).

بر این اساس و باتوجه به نیاز ذات ارزیابی ریسک، لازم است در ابتدا اجزاء نیروگاه سیکل ترکیبی معرفی گردند. نیروگاه سیکل ترکیبی شامل تعدادی توربین گاز و توربین بخار و تأسیسات و تجهیزات مرتبط است که در یک محوطه که عمدتا تحت عنوان سایت نامیده می شود، مستقر می باشند. در این نوع نیروگاه با استفاده از بویلر بازیاب، از حرارت موجود در گازهای خروجی از توربین‌های گاز که دمای آن‌ها می‌تواند تا ۶۶۰ درجه سانتی‌گراد برسد، برای تولید بخار آب مورد نیاز در توربین‌های بخار استفاده می‌شود. با این ترکیب، بازده نیروگاه به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد (در نیروگاه سیکل ترکیبی کلاس E بازده به حدود ۵۴٪، در کلاس F به ۵۸٪ و در کلاس J به حدود ۶۲٪ می‌رسد)؛ ضمن اینکه می‌توان از مزایای توربین‌های گاز مانند راه‌اندازی سریع و انعطاف‌پذیری در محدوده گسترده‌ای از بار بهره‌مند شد. به همین دلیل در حال حاضر بسیاری از نیروگاه‌های برق بار پایه که از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می‌کنند از نوع سیکل ترکیبی هستند. (شرکت مهندسین مشاور مونتکو ایران, ۱۳۸۹).

۱) **واحد گازی**: این واحد شامل کمپرسور، محفظه احتراق، توربین، ژنراتور و ترانسفورماتورها (اصلی، واحد و کمکی) هستند، سایر اجزاء این واحد را باس‌داکت فشار متوسط و کلید قدرت ژنراتور، سیستم کنترل و حفاظت، سیستم خنک‌کننده کمکی و دودکش تشکیل می‌دهند. در صورت بهره‌برداری از واحد بخار نیروگاه سیکل ترکیبی، گازهای خروجی از توربین واحدهای گازی وارد بویلرهای بازیاب حرارت واحد بخار می‌گردند و در غیر این صورت با بسته شدن دمپر ورودی بویلرها، از طریق دودکش واحدهای گازی در هوای آزاد تخلیه می‌شوند. محور قسمت دوار (روتور) ژنراتور به وسیله کوپلینگ به محور (روتور) توربین متصل می‌شود و همراه با آن به چرخش در می‌آید و از این طریق ژنراتور انرژی مکانیکی توربین را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. به همین دلیل به مجموعه توربین گازی و ژنراتور آن، توربوژنراتور گازی گفته می‌شود. نوع ژنراتور و توان آن با توجه به دور توربین (شفت) و توان توربین انتخاب می‌شود. برق تولیدی ژنراتور واحد، از طریق

باس‌داکت فشار متوسط و کلید قدرت ژنراتور به ترانسفورماتور اصلی منتقل می‌شود. این جزء نیروگاه از منظر کارکردی یکی از ارکان ضروری نیروگاه محسوب شده که در صورت خارج شده از مدار فعالیت، تمامی فرآیند تولید نیروگاه متأثر خواهد شد.

۲) **واحد بخار**: اجزاء اصلی این واحد در نیروگاه سیکل ترکیبی شامل بویلر بازیاب حرارت، توربین بخار، سیستم خنک‌کننده اصلی، ژنراتور و ترانسفورماتورها (اصلی، واحد و کمکی) هستند. سایر اجزاء این واحد را باس‌داکت فشار متوسط و کلید قدرت ژنراتور، سیستم کنترل و حفاظت، سیستم‌های کنترل شیمیایی و پالایش آب چرخه بخار، سیستم خنک‌کننده کمکی و دودکش تشکیل می‌دهند. وظیفه بویلر بازیاب حرارت در نیروگاه سیکل ترکیبی، جذب حداکثر انرژی از گازهای خروجی توربین واحد گازی و استفاده از آن برای تبدیل آب به بخار با کیفیت شیمیایی و ترمودینامیکی مناسب برای توربین بخار است. واحد بخار در نیروگاه های سیکل ترکیبی را می توان یک جزء اصلی تلقی نمود. نبود این جزء در فرآیند تولید اثرگذار خواهد بود و میزان تولید نیروگاه را با محدودیت مواجه می سازد، لیکن تمامی فرآیند تولید متوقف نخواهد شد.

شکل ۱: نمونه‌ای از بویلر بازیاب حرارت عمودی و دودکش یکپارچه شده با آن

۳) **حفاظت فیزیکی:** حفاظت فیزیکی یکی از عناصر اصلی نیروگاه به شمار می رود که در تداوم کارکرد کل نیروگاه اثرگذاری مستقیم و غیر مستقیم دارد و یکی از اجزای اصلی نیروگاه به شمار می رود.

۴) **سیستم سوخت‌رسانی:** سوخت اصلی نیروگاه های حرارتی گاز و سوخت جایگزین آن ساخت مایع گازوئیل است. گاز طبیعی مصرفی نیروگاه از طریق خطوط لوله انتقال فشار قوی تأمین می‌شود، از این رو ابتدا باید فشار گاز در ایستگاه‌های تقلیل فشار کاهش پیدا کند و سپس از طریق خط لوله داخلی به واحد گازی انتقال یابد. نهایتاً گاز طبیعی پس از عبور از صافی‌های مختلف و حذف ذرات معلق و بخار آب موجود در آن، از طریق نازل‌های سوخت وارد محفظه احتراق می‌شود. گازوئیل مصرفی نیروگاه نیز به‌وسیله نفت‌کش‌ها مستقیماً از پالایشگاه‌ها یا از انبارهای شرکت پخش و پالایش فرآورده‌های نفتی تأمین و در ایستگاه تخلیه نیروگاه، از طریق پمپ‌خانه تخلیه گازوئیل، تخلیه می‌شود. کل فرآیند دریافت و مصرف سوخت در نیروگاه، از طریق سیستم سوخت رسانی انجام می پذیرد و با توجه به وجود جایگزینی در آن، به عنوان جزء اصلی تلقی می گردد.

۵) **تأسیسات جانبی:** نیروگاه های سیکل ترکیبی دارای تأسیسات جانبی متعدد است که اهم آن ها عبارتند از:

- ✓ سیستم هوای فشرده که وظیفه تأمین هوای فرمان و هوای قدرت مورد نیاز انواع محرک‌ها و موتورهای پنوماتیک و همچنین هوای مورد نیاز جهت مصارف آب‌بندی، خنک‌کاری و سرویس را بر عهده دارد و شامل زیرسیستم‌های تولید، پالایش، ذخیره‌سازی و توزیع هوای فشرده است.
- ✓ سیستم برق اضطراری که وظیفه تأمین مطمئن برق تجهیزات نیروگاه را برعهده دارد.
- ✓ سیستم انتقال، ذخیره، تصفیه و توزیع آب نیروگاه وظیفه تأمین آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان مختلف را برعهده دارد. منبع تأمین آب مصرفی نیروگاه می‌تواند آب دریافتی از پساب‌های صنعتی، چاه‌های آب، رودخانه یا دریا باشد.
- ✓ سیستم آتش‌نشانی. سیستم‌های اتوماتیک آتش‌نشانی در نیروگاه شامل سیستم آب‌فشان (برای ترانسفورماتورها، گالری‌های کابل، نواحی تانک‌های روغن در سالن‌های توربین، پمپ‌های روغن و ...)، سیستم پاشش CO_2 (برای محافظت توربین، ژنراتور و اتاق‌های برق) و سیستم کف (برای مخازن سوخت مایع) هستند. برای اطفاء دستی حریق، در قسمت‌های مختلف نیروگاه جعبه‌های آتش‌نشانی (شامل شلنگ آب با نازل و شیر کنترل که معمولاً در ساختمان‌ها و روی دیوار نصب می‌شوند)، شیرهای آب آتش‌نشانی (در محوطه و بیرون ساختمان‌ها) و خاموش‌کننده‌های قابل‌حمل (انواع کپسول‌های دستی و چرخ‌دار) در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر آن گروه آتش‌نشانی نیروگاه نیز مجهز به ماشین‌های آتش‌نشانی است و کلیه ساختمان‌ها و تجهیزات اصلی نیروگاه دارای سیستم اعلان حریق هستند.
- ✓ سیستم جمع‌آوری و تصفیه پساب نیروگاهی (شامل پساب‌های تمیز، شیمیایی و روغنی و فاضلاب بهداشتی).

۶) **پست بلافصل:** از جمله اجزای ضروری نیروگاه، پست بلافصل بوده که وظیفه اتصال نیروگاه به شبکه برق سراسری را به منظور انتقال توان تولیدی بر عهده دارد، ضمن اینکه در صورت از مدار خارج شدن کلیه واحدهای نیروگاه، برق مورد نیاز آن را از شبکه سراسری تأمین می‌کند. پست بلافصل شامل دو بخش اصلی: سوئیچ‌گیر فشار قوی (برای قطع و وصل فیدرهای خطوط انتقال و واحدهای نیروگاهی) و سیستم کنترل و حفاظت است.

۷) **ساختمان کنترل مرکزی نیروگاه:** که محل کنترل متمرکز کلیه واحدهای گازی و بخار است و در زمره اجزای ضروری نیروگاه به شمار می رود. البته در شرایط خاص امکان کنترل واحدها به صورت محلی و یا در چند نقطه نیز وجود دارد.

۸) **ساختمان اداری:** ساختمان اداری نیروگاه به عنوان یکی از اجزای لازم که فقدان آن خلل از دسترسی خارج شدن نیروگاه از مدار تولید را به دنبال ندارد و کارکنان بخش اداری در آن حاضر هستند، از جمله متراکم‌ترین بخش‌های نیروگاه از حیث نیروی انسانی مستقر است.

۹) **کانتین و خدمات:** ساختمان‌ها کانتین و برخی خدمات رفاهی مستقر در نیروگاه هرچند از حیث زمانی همواره مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، لیکن در بازه‌های زمانی مورد استفاده، متراکم‌ترین بخش‌ها از حیث نیروی انسانی خواهند بود. در صورت نبود ساختمان مستقل برای این دو بخش، هیچگونه خللی در فرآیند تولید ایجاد نمی گردد.

۱۰) **انبار**: نیروگاه جهت انجام امور تعمیرات و نگهداری نیازمند انبارش برخی تجهیزات الکتریکی، مکانیکی و شیمی می‌باشد و از این رو به دلیل ذات کمک کننده به تداوم کارکرد نیروگاه، در زمره اجزای لازم دسته بندی می گردند. همچنین بخشی از قطعات و اجزای مستهلک نیروگاه در انبارهای ضایعات دپو می‌گردد.

جدول ۱: اجزاء اصلی یک نیروگاه سیکل ترکیبی نمونه و زیر اجزاء آن‌ها

ردیف	نام اجزاء	تعداد	زیر اجزاء
۱	محوطه	----	دیوار پیرامونی
			درب تردد ورودی (کارکنان و خودرویی)
			درب تردد کامیون‌های حمل سوخت مایع
			پارکینگ
۲	حفاظت فیزیکی	----	اتاق مانیتورینگ
			سامانه‌های کنترل دسترسی
			دوربین‌های مدار بسته
۳	سیستم سوخت‌رسانی (گازوئیل)	۱	ایستگاه تخلیه گازوئیل
			مخازن ذخیره گازوئیل
			پمپ‌خانه
۴	سیستم سوخت‌رسانی (گاز طبیعی)	۱	خطوط تغذیه کننده اصلی
			ایستگاه اصلی تقلیل فشار گاز
			ایستگاه ثانویه تقلیل فشار گاز
۵	توربوژنراتور گاز	۲	کمپرسور
			محفظه احتراق
			توربین
			دودکش
			ژنراتور
			سیستم کنترل و حفاظت
			سیستم خنک‌کننده کمکی
۶	توربوژنراتور بخار	۱	بویلرهای بازیاب حرارتی
			توربین بخار
			کندانسور
			دودکش
			ژنراتور
			کلید قدرت ژنراتور
			سیستم کنترل و حفاظت
			سیستم خنک‌کننده کمکی
۷	تأسیسات جانبی	۱	تأسیسات کلرزنی
		۲	تصفیه‌خانه
		۲	مخازن ذخیره آب واحد
		۱	واحد تزریق شیمیایی
		۱	ساختمان تولید هیدروژن
		۱	ایستگاه آتش‌نشانی
		۲	مخازن ذخیره آب آتش‌نشانی
۸	پست بلافصل	۲ + ۱	ترانسفورماتورهای اصلی
		--	ترانسفورماتورهای کمکی
		۲	سوئیچ‌گیر
		۲	سیستم کنترل و حفاظت

ردیف	نام اجزاء	تعداد	زیر اجزاء
۹	ساختمان کنترل مرکزی نیروگاه	۱	اتاق کنترل – سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی - اتاق سرور (OT) – اتاق انکس
۱۰	ساختمان اداری	۱	اتاق‌های اداری – سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی - اتاق سرور (IT) – فضاهای خدماتی
۱۱	کانتین و خدمات	۱	کانتین – ساختمان‌های رفاهی
۱۲	انبار	۳	انبار الکتریک – انبار مکانیکی – انبار شیمی

۵. تجزیه و تحلیل

بر اساس تعریف وزارت امنیت داخلی ایالات متحده[1] ، ریسک پتانسیل رخداد یک اتفاق ناخواسته است که از طریق احتمال و پیامدهای آن تعیین می‌شود (U.S. Department of Homeland Security , ۲۰۱۷). فرآیند ارزیابی ریسک مورد استفاده جهت محاسبه ریسک نیروگاه نمونه، بر اساس روش FEMA خواهد بود. این روش یکی از اصلی‌ترین روش‌های عمومی ارزیابی ریسک امنیتی به شمار می‌رود که پارامترهای تعیین کننده در آن بر اساس تعریف وزارت امنیت داخلی ایالات متحده احتمال و پیامد تعیین شده و علیرغم وجود روش‌های تخصصی در حوزه ارزیابی ریسک زیرساخت‌ها، علت انتخاب این روش، جامعیت روش و فرآیند ساده در تعیین ریسک‌های امنیتی است. بر اساس روش مذکور، عدد ریسک از حاصل‌ضرب سه عدد تهدید، پیامد و آسیب‌پذیری حاصل‌شده و در اولین گام، عدد تهدید محاسبه خواهد شد (FEMA-426/BIPS-06, 2011). منظور از جامعیت روش مورد اشاره آن است که در تمامی روش های ارزیابی ریسک تخصصی زیرساخت های مختلف انرژی، عناصر اصلی تشکیل دهنده محاسبه ریسک، تهدید، پیامد و آسیب‌پذیری می باشند و تنها در جزئیات نحوه محاسبه و تقدم و تأخر ارزیابی سه پارامتر مذکور تفاوت هایی در روش های مختلف وجود دارد. در ادامه به فرآیند ارزیابی ریسک بر اساس چارچوب بیان شده، اشاره می گردد.

- **مرحله اول؛ ارزیابی تهدید:** منظور از تهدید در این پژوهش، هر عنصر یا وضعیتی که پیش شرط وقوع یک رویداد ناگوار، حادثه و یا اضطرار باشد (کمیته دائمی پدافند غیرعامل کشور, نظام عملیاتی پدافند مردم محور, ۱۴۰۲) و اجزای اصلی نیروگاه را به خطر اندازد، می باشد. ارزیابی و اولویت‌بندی در این مرحله و در هر یک از اجزای طرح در دو گام صورت می‌پذیرد:
  ۱) گام اول غربالگری اولیه: تعیین تهدیدات متصور (معنی‌دار) در هر یک از اجزای اصلی طرح.
  ۲) گام دوم اولویت‌بندی: اولویت‌بندی تهدیدات متصور در هریک از اجزای طرح بر اساس شاخص‌های ارزیابی تهدیدات.

جهت پیشبرد دو گام اشاره شده، نیاز به تعیین تهدیدات متصور در حوزه نیروگاهی است. بر اساس منابع بررسی شده و نیز سوابق رخداد تهدیدات در حوزه نیروگاهی و همچنین مصاحبه تخصصی با افراد مطلع موضوع، انواع تهدیدات متوجه نیروگاه عبارت‌اند از: نظامی، تروریستی، سایبری، شیمیایی، گرافیتی، الکترومغناطیس و درون‌زا. هریک از انواع مذکور، بر اساس روش‌هایی اعمال می‌گردند که هر روش بسته به شرایط اجزای نیروگاه متفاوت می‌باشند و این روش‌ها در جدول ادامه ذکر شده است.

1 - Department of Homland Security (DHS)

جدول ۲: روش اعمال تهدیدات متصور در حوزه نیروگاه

ردیف	نوع تهدید	روش اعمال
۱	نظامی	بمب و موشک
۲	تروریستی	بمب‌گذاری، حمله انتحاری خودرویی، حمله مسلحانه، استفاده از تسلیحات دور پرتاب و ریزپرنده
۳	سایبری	نفوذ و دسترسی بیرونی
۴	شیمیایی	اقدام نظامی و امنیتی علیه اجزای دارای مخاطره شیمیایی
۵	گرافیتی	بمب‌های گرافیتی
۶	الکترومغناطیس	بمب‌های الکترومغناطیس – آنتن‌های ارسال پالس‌های مغناطیسی
۷	درون‌زا	خرابکاری فیزیکی در اجزای صنعتی و عملکردی – خرابکاری سایبری در سامانه‌های کنترل صنعتی (آلوده سازی) – سرقت اطلاعات و فناوری – حریق عمدی

گام اول؛ غربالگری اولیه: در غربالگری اولیه تهدیدات، ملاک عمل معناداری نوع تهدید برای هریک از اجزای اصلی خواهد بود. این معناداری در جدول ادامه مورد توجه قرار گرفته است.

جدول ۳: غربالگری اولیه تهدیدات متصور در اجزای اصلی نیروگاه

جزء	نظامی	تروریستی	سایبری	شیمیایی	گرافیتی	الکترومغناطیس	درون‌زا
محوطه		*					
حفاظت فیزیکی	*	*	*			*	*
سیستم سوخت‌رسانی (گازوئیل)	*	*	*	*			*
سیستم سوخت‌رسانی (گاز طبیعی)	*	*	*				*
توربوژنراتور گاز	*	*	*			*	*
توربوژنراتور بخار	*	*	*			*	*
تأسیسات جانبی	*	*	*	*		*	*
ترانسفورماتورها و پست بلافصل	*	*	*		*	*	*
ساختمان کنترل مرکزی نیروگاه	*	*	*			*	*
ساختمان اداری	*	*	*			*	*
کانتین و خدمات	*	*					*
انبار	*	*		*			*

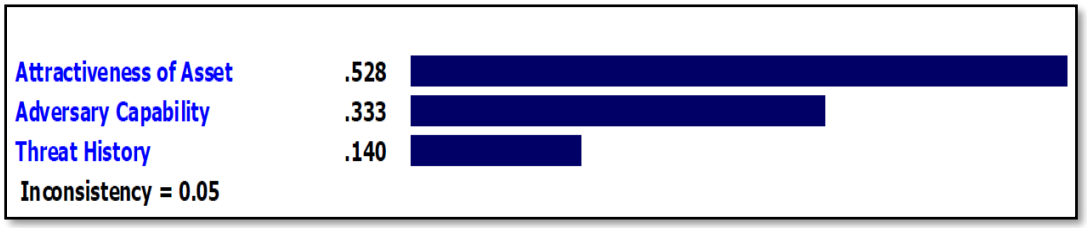
گام دوم؛ اولویت‌بندی: در این گام برای هریک از جزء فضاهای اجزای اصلی نیروگاه، تهدیدات مشخص شده در جدول اخیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. فرآیندهای ارزیابی در الگوهای ارزیابی ریسک عمدتا بر اساس شاخص های تدوین شده صورت می پذیرد و شاخص ها متناسب با موضوع پژوهش، از حیث تعداد و توصیف در هر زیرساخت می تواند متفاوت باشد. در این

پژوهش، ارزیابی بر اساس سه شاخص پیشنهادی توانایی دشمن، سابقه تهدید و جذابیت هدف که توصیف آن‌ها در جدول ادامه آمده است، انجام خواهد شد.

جدول ۴: توصیف شاخص‌های پیشنهادی ارزیابی تهدیدات

توانایی دشمن		سابقه		جذابیت هدف	
دسترسی به ابزار تهدید برای مهاجم آسان است.	۹-۱۰	سابقه رخداد تهدید در نیروگاه نمونه وجود داشته است.	۹-۱۰	جزء فضا کلیدی (سطح یک عملکردی) و شناسایی آن آسان است.	۹-۱۰
ساخت ابزار تهدید برای مهاجم آسان است.	۷-۸	سابقه رخداد تهدید در نیروگاه‌های کشور وجود داشته است.	۷-۸	جزء فضا کلیدی (سطح یک عملکردی) و شناسایی آن آسان نیست.	۷-۸
دسترسی ابزار تهدید برای مهاجم با سختی همراه است.	۵-۶	سابقه رخداد تهدید در سایر زیرساخت‌های کشور وجود داشته است.	۵-۶	جزء فضا ضروری (سطح دو عملکردی) و شناسایی آن آسان است.	۵-۶
تولید ابزار تهدید برای مهاجم با سختی همراه است.	۳-۴	سابقه رخداد تهدید در نیروگاه‌های کشورهای منطقه وجود داشته است.	۳-۴	جزء فضا ضروری (سطح دو عملکردی) و شناسایی آن آسان نیست. جزء فضا لازم (سطح سه عملکردی) و شناسایی آن آسان است.	۳-۴
امکان تولید یا دسترسی به ابزار تهدید بسیار محدود است.	۱-۲	سابقه رخداد تهدید در حوزه زیرساختی بسیار محدود بوده است.	۱-۲	جزء فضا لازم (سطح سه عملکردی) و شناسایی آن آسان نیست.	۱-۲

لازم به ذکر هر سه شاخص مذکور در فرآیند ارزیابی می‌تواند هم‌وزن فرض شده و عدد تهدید از میانگین عدد سه شاخص تعیین گردد. لذا این هم‌وزنی دارای خطای ارزیابی است و برای کاهش میزان خطا، می توان ارزیابی تهدیدات را بر اساس شاخص‌های وزن‌دهی شده انجام داد. از جمله روش های وزن دهی شاخص ها، روش AHP است که نمونه‌ای از این نوع وزن دهی در شکل بعد اشاره شده است (نرخ ناسازگاری در محدوده مجاز و ۰.۰۵ می‌باشد).



شکل 0-۲: نتیجه تحلیل سطح اهمیت شاخص‌های ارزیابی تهدیدات در نرم‌افزار Expert Choice (وزن دهی نمونه بوده و وزن معیار برای ارزیابی ها تلقی نمی گردد)

جدول ۵: ضریب وزنی شاخص‌های ارزیابی تهدیدات

ردیف	شاخص	ضریب وزنی
۱	جذابیت هدف	۰.۵۳
۲	توانایی دشمن	۰.۳۳
۳	سابقه	۰.۱۴

❖ **مرحله دوم؛ ارزیابی پیامد:** مرحله دوم در ارزیابی ریسک بر اساس روش FEMA ، ارزیابی پیامد است. پیامد در واقع تأثیر یک رویداد، واقعه یا رخداد است (U.S. Department of Homeland Security , ۲۰۱۷). در تعریف جامع تر، نتیجه وقوع تهدید یا حادثه بصورت ایجاد خسارات و صدمات (با شدت صفر تا صد در صد) همراه با اثرات کوتاه مدت، بلندمدت، مستقیم و غیرمستقیم بر اجزای یک دارایی را پیامد می گویند (کمیته دائمی پدافند غیرعامل کشور, ۱۴۰۲). در مرحله ارزیابی پیامد؛ شناسی صحیح دارایی‌ها حائز اهمیت است. در تعریف دارایی آمده است: اجزای فیزیکی و غیرفیزیکی با ارزش مراکز زیرساختی که هرگونه اختلال در عملکرد آنها متناسب با درجه اهمّیت شان بر تولید محصول و ارائه خدمت آن مرکز اثر می گذارد (کمیته دائمی پدافند غیرعامل کشور, نظام فنی و تخصصی حفاظت از زیرساخت های کشور, ۱۴۰۲). در منابع اصلی مرتبط نیز دارایی را اینگونه تعریف نموده است: یک منبع با ارزش که نیازمند حفاظت بوده و می‌تواند ملموس باشد (مانند مردم، ساختمان‌ها، امکانات، تجهیزات، فعالیت‌ها، عملکردها و اطلاعات) یا غیر ملموس (مانند فرآیندها یا سابقه و اعتبار یک شرکت) (FEMA ٤٢٦, ۲۰۰۳)). در یک تقسیم‌بندی کلی دارایی‌ها را می‌توان در چهار دسته به صورت زیر قرار داد:

- ✓ دارایی‌های فیزیکی یا کالبدی، که شامل سه زیر مجموعه‌ی سرمایه‌ها، تأسیسات و سازه می‌باشد.
- ✓ دارایی نیروی انسانی، که به عنوان مهم‌ترین و حیاتی‌ترین دارایی یک مجموعه است.
- ✓ دارایی زیرساخت تبادل اطلاعات (سایبر)، شامل مجموعه‌ای از سیستم‌هایی که در راستای انتقال اطلاعات و داده‌ها طراحی شده‌اند.
- ✓ دارایی‌های معنوی، که عبارت است از نمادهای ماندگار، عزت ملی، استقلال و... که برای هر کشور به عنوان ارزش تلقی می‌گردد (سازمان پدافند غیرعامل کشور, ۱۳۹۰).

بر این اساس، پیامد در سه گروه انسانی، کالبدی و اقتصادی و بر اساس جدول زیر، تحلیل می شود. لازم به ذکر است، در مرحله ارزیابی، عدد پیامد، بالاترین میزان عددی است که یکی از سه نوع پیامد مذکور به خود اختصاص خواهند داد. به بیان دیگر، در صورتی که رخداد تهدید "الف" در جزء "ب" دارای پیامدهای انسانی ۳، کالبدی ۵ و اقتصادی ۶ باشد، در مرحله ارزیابی عدد ۶ به عنوان بیشترین پیامد محتمل مورد توجه خواهد بود.

جدول ۶: توصیف شاخص‌های پیشنهادی ارزیابی پیامد

پیامد	بسیار کم: ۱-۲	کم: ۳-۴	متوسط: ۵-۶	زیاد: ۷-۸	بسیار زیاد: ۹-۱۰
انسانی	۰ تا ۵ نفر	۵ تا ۱۰ نفر	۱۰ تا ۱۵ نفر	۱۵ تا ۲۰ نفر	بیش از ۲۰ نفر
کالبدی	خسارت کالبدی بسیار کم و کمتر از یک هفته زمان لازم برای بازیابی عملکرد	خسارت کالبدی کم و یک تا چهار هفته زمان لازم برای بازیابی عملکرد	خسارت کالبدی متوسط و یک تا سه ماه زمان لازم برای بازیابی عملکرد	خسارت کالبدی شدید و سه تا شش ماه زمان لازم برای بازیابی عملکرد	خسارت کالبدی بسیار شدید و بیش از شش ماه زمان لازم برای بازیابی عملکرد
اقتصادی	کمتر از ۵۰۰ هزار یورو	بین ۵۰۰ هزار تا ۵ میلیون یورو	بین ۵ تا ۲۵ میلیون یورو	بین ۲۵ تا ۵۰ میلیون یورو	بیش از ۵۰ میلیون یورو

❖ **مرحله سوم؛ ارزیابی آسیب‌پذیری:** منظور از آسیب پذیری ظرفیت پذیرش خسارات و صدماتی که ناشی از عوامل و پدیده های بالقوه (تهدیدات) یا بالفعل خسارت زا به نیروی انسانی، تجهیزات و تأسیسات در یک دارایی یا شبکه زیرساختی وارد می شود است (کمیته دائمی پدافند غیرعامل کشور, ۱۴۰۲). فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری گام سوم از فرآیند ارزیابی ریسک بر اساس روش FEMA است که در چهار گام به شرح زیر انجام می‌پذیرد.

گام اول: سازمان‌دهی منابع برای ارزیابی آسیب‌پذیری

- تعیین محدوده ارزیابی: حوزه معماری، تأسیسات، سازه و تجهیزات
- تعیین گروه ارزیاب: گروه ارزیاب شامل نفرات کارفرما (ذینفعان) و مشاورین تخصصی در حوزه معماری، تأسیسات، سازه و تجهیزات.
- تعیین سطح ارزیابی: ارزیابی در هر حوزه در برابر چه تهدیداتی انجام پذیرد.
- تخمین زمان لازم برای ارزیابی.

گام دوم: ارزشیابی سایت و ساختمان

- بازدید اولیه و تهیه برنامه زمانی و سرفصل‌های وظایف: برگزاری جلسه هماهنگی جهت بحث و بررسی بخش اول (توانمندی اعضاء، حوزه ارزیابی و...).
- جلسات در محل سایت: برگزاری جلسات با حضور ذینفعان و شامل: صاحب/مسئول/مدیر ساختمان، رئیس بخش مهندسی، رئیس بخش امنیت (حراست)، رئیس امنیت سایبری (OT و IT)، مدیریت شرایط اضطراری (ایمنی).
- بازدید اولیه: پس از جلسه آشنایی، گروه ارزیابی و ذی‌نفعان از تجهیزات کلیدی بازدید می‌کنند.

- اطلاعات پیش‌زمینه ارزیابی: مشخص کردن تهدیدهای اصلی مورد نظر جهت ارزیابی و دارایی‌هایی که متأثر از تهدیدات می‌باشند در این بخش انجام می‌شود.
- بررسی اسناد کلیدی: داده‌های مربوط به ارزیابی اولیه، طرح‌های واکنش اضطراری، طرح‌های امنیتی، طرح‌های مربوط به مواد خطرناک، الزامات حقوقی و قانونی، نقشه‌های سیستم‌های کاربردی و مخابراتی، نقشه جانمایی تجهیزات در طبقات، نقشه جانمایی انبارها، نقشه سازه‌ای، طرح‌های توسعه‌ی سایت و ساختمان، آمار جمعیتی و نحوه پراکنش آن‌ها در ساختمان و سایت.
- بررسی فرآیندهای شرایط اضطراری: فرآیندهای تخلیه اضطراری، فرآیند پناه‌جویی، مراکز امداد و پشتیبانی بیرونی و نحوه تماس با آن‌ها، تجهیزات حفاظتی قابل‌حمل.

گام سوم: آماده‌سازی پرونده آسیب‌پذیری:

- مستندسازی بخش‌های اول و دوم
- تهیه و تکمیل چک لیست ارزیابی آسیب‌پذیری

گام چهارم: تعیین رتبه آسیب‌پذیری (نمره دهی)

این گام که بر اساس برداشت‌ها و مطالعات صورت گرفته در گام‌های قبلی انجام می‌پذیرد، بر اساس شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری انجام می‌شود. جدول‌های راهنمای مربوط به این شاخص‌ها در ادامه اشاره شده است.

جدول ۷: توصیف شاخص‌های پیشنهادی ارزیابی آسیب پذیری

شاخص	تفسیر	نحوه نمره دهی (طیف عددی ۱ تا ۱۰)	راهنما / توضیحات
شناسایی	در هر نقطه از مسیر اعمال تهدید، احتمال اینکه عامل تهدید شناسایی شود، چقدر است؟	احتمال شناسایی بسیار بالا عدد ۱ احتمال شناسایی بسیار پایین عدد ۱۰	تحلیل‌ها معطوف به سامانه‌های پایش رخداد تهدیدات خواهد بود. لازم به ذکر است، قابلیت کشف ابتدایی یک ظرفیت فرا زیرساختی محسوب می‌شود و مسئولیت آن در خصوص تهدیدات امنیتی دستگاه‌های اطلاعاتی و امنیتی استان و یا کشور و در خصوص مخاطرات طبیعی، سازمان‌های متولی موضوع می‌باشند که بایستی در زمان‌های لازم، اخبارهای مرتبط را به مسئولین نیروگاه منتقل نمایند. در مقیاس نیروگاه نیز اقداماتی نظیر پایش تصویری محیط پیرامونی و داخلی نیروگاه، اصلی ترین اقدام می باشد.
تأخیر	عامل تهدید با چه دشواری در هر نقطه از مسیر مواجه خواهد شد؟ زمان لازم برای عامل تهدید با فرض این‌که ساده‌ترین مسیر را انتخاب کرده باشد چقدر است؟ عامل تهدید چه میزان توانایی برای غلبه بر اقدامات تأخیری لازم دارد؟	امکان تأخیر بسیار بالا عدد ۱ امکان تأخیر بسیار پایین عدد ۱۰	اقدامات انجام شده از قبیل فنس‌کشی‌ها، گیت‌های عبور، کنترل‌های دسترسی در جزء فضاها و سامانه‌های امنیت سایبری مانند دیوار آتش، به عنوان عامل تأخیر در برابر اقدامات تهاجمی به شمار می‌رود.

شاخص	تفسیر	نحوه نمره دهی (طیف عددی ۱ تا ۱۰)	راهنما / توضیحات
پاسخ / واکنش	اگر تهدید شناسایی شود، نفرات و تجهیزات مستقر در نیروگاه، گروه‌های واکنشی معین و یا مراکز نظامی-انتظامی پیرامونی توانایی لازم برای واکنش مناسب را دارد؟ مدت زمان واکنش چقدر است؟	توانایی پاسخ / واکنش بسیار مناسب عدد ۱ توانایی پاسخ / واکنش بسیار نامناسب عدد ۱۰	وارد عمل شدن نیروهای واکنشی متناسب با رخداد تهدیدات، حفاظت فیزیکی، انتظامی و واکنش به رخدادهای سایبری در زمان مناسب ملاک عمل خواهد بود. این نیروهای واکنشی عمدتا معطوف به نفرات مستقر در نیروگاه می باشد که بر اساس اسناد بالادستی، شرح وظایف خود را در برابر انواع مختلف تهدید مطلع می باشند.

❖ **مرحله چهارم؛ ارزیابی ریسک:** مرحله ارزیابی ریسک شامل جمع‌بندی حاصل از تحلیل و ارزیابی تهدید، تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری و تحلیل و ارزیابی پیامد برای تعیین درجه ریسک (R) هر کدام از جزء فضاها در مقابل تهدید محتمل است که این جمع‌بندی، از حاصل‌ضرب اعداد تهدید (T)، پیامد (C) و آسیب‌پذیری (V) صورت می‌گیرد (رابطه زیر).

$$R = T * C * V$$

❖ در این بخش نمونه‌ای از جدول ارزیابی ریسک طیف‌بندی ارزیابی ریسک، ارائه شده است. لازم به توضیح است، طیف‌بندی شدت ریسک (کم-متوسط-زیاد) در یک طرح مطالعاتی واقعی، عمدتا بر اساس سیاست های اعلامی کارفرما تعیین می گردد. اما در صورتی که این مقادیر از سوی کارفرما اعلام نگردد، مقادیر تعیین شده در جدول های سه گانه ارزیابی ملاک طیف بندی خواهد بود. توضیح آنکه حد پایین مقدار متوسط در هر سه شاخص عدد ۴ و حد بالای مقدار متوسط، عدد ۶ می باشد. لذا در صورتی که یک دارایی در برابر تهدیدی دارای درجه حد پایین متوسط (۴) و آن دارایی در برابر تهدید مذکور دارای مقادیر کمی حد پایین متوسط در عناصر پیامد (۴) و آسیب پذیری (۴) باشد، حد پایین ریسک متوسط، عدد ۶۴ خواهد شد. در خصوص حد بالای متوسط نیز این مقادیر عدد ۶ حاصلضرب آن ها مقدار ۲۱۶ خواهد بود، که این عدد حد بالای متوسط را تعیین می نماید.

جدول ۸: نماد رنگی برای مقایسه مقادیر عدد ریسک

	ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک زیاد
نمره نهایی ریسک	تا ۶۴	۶۴ تا ۲۱۶	بیشتر از ۲۱۶

جدول ۹: جدول نمونه ارزیابی ریسک اجزای اصلی نیروگاه در برابر تهدیدات متصور

تهدید	روش اعمال	عدد ریسک	زیر جز ۱	زیر جز ۲	زیر جز ۳
نظامی	موشک	عدد تهدید			
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
تروریستی	بمب‌گذاری	عدد تهدید			
		عدد پیامد			

تهدید	روش اعمال	عدد ریسک	زیر جز ۱	زیر جز ۲	زیر جز ۳
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
	حمله انتحاری خودرویی	عدد تهدید			
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
	تسلیحات دور پرتاب	عدد تهدید			
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
	ریزپرنده	عدد تهدید			
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
سایبری	نفوذ و دسترسی بیرونی	عدد تهدید			
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
الکترومغناطیس	بمب‌های الکترومغناطیس	عدد تهدید			
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
	آنتن های ارسال پالس‌های مغناطیسی	عدد تهدید			
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
درون‌زا	خرابکاری فیزیکی	عدد تهدید			
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
	سرقت اطلاعات و فناوری	عدد تهدید			
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
	حریق عمدی	عدد تهدید			
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			
گرافیتی	بمب‌های گرافیتی	عدد تهدید			

تهدید	روش اعمال	عدد ریسک	زیر جز ۱	زیر جز ۲	زیر جز ۳
		عدد پیامد			
		عدد آسیب‌پذیری			
		عدد ریسک			

۶. نتیجه‌گیری

پیاده‌سازی اقدامات اجرایی و مدیریتی با هدف کاهش آسیب‌پذیری، اساس دفاع غیرعامل و مدیریت بحران است. نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در سطح کلان کشور، به علت جذابیت و احتمال مورد هدف قرار گرفتن از سوی معاندان جمهوری اسلامی ایران، نیازمند بهسازی و توسعه در بستر دفاع غیرعامل می‌باشند، تا آسیب‌پذیری آن‌ها به حداقل برسد. این تحقیق، هدفِ ارائه یک چارچوب جهت ارزیابی ریسک نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، به عنوان اولین گام در اقدامات حوزه پدافند غیرعامل را دنبال کرده است. طبیعتا هدف از ارزیابی ریسک، تعیین راهکارهای کاهش ریسک اجزای نیروگاه در برابر تهدیدات متصور بوده و با توجه به بررسی‌های انجام شده، اهم اقدامات کاهش در ادامه اشاره شده است.

جدول ۱۰: اقدامات کاهش ریسک نیروگاه در برابر تهدیدات تروریستی

ردیف	اقدام	نوع اقدام	
		مدیریتی	کالبدی
۱	کنترل جاده اختصاصی		*
۲	ایجاد موانع خودرویی در ورودی‌ها		*
۳	نورپردازی امنیتی پارکینگ های پیرامونی		*
۴	تفکیک ورودی خودروهای سواری از حمل سوخت		*
۵	ایجاد فضای کافی برای بازرسی خودرو		*
۶	تفکیک ورودی خروجی افراد پیاده		*
۷	ممانعت دسترسی به داخل سایت از طریق کانال‌های انتقال آب، فاضلاب، برق، گاز		*
۸	اشراف بصری کیوسک نگهبانی		*
۹	حیطه‌بندی نیروگاه و پیاده‌سازی سامانه کنترل دسترسی هوشمند در تمامی اجزای اصلی و بخش‌های مختلف		*
۱۰	استفاده از شیشه‌های ضد خردشونده		*
۱۱	دیوارکشی و نصب حفاظ استاندارد بر روی دیوار کل فضای پیرامونی نیروگاه		*
۱۲	پوشش کامل پیرامومی و داخلی نیروگاه از طریق دوربین‌های پایش بصری		*
۱۳	نظارت بر محل نگهداری مواد خطرزا		*
۱۴	نورپردازی امنیتی داخل سایت		*
۱۵	نظارت بر پوشش گیاهی پیرامون سایت		*
۱۶	ایجاد موانع خودرویی پیرامون ساختمان‌های اصلی (ساختمان کنترل، توربین هال)		*
۱۷	نصب تجهیزات فلزیاب در نقاط ورودی		*
۱۸	کنترل پارک خودرو در پارکینگ‌های پیرامونی	*	
۱۹	نظارت بصری و الکترونیک بر پارکینگ	*	
۲۰	تدوین و رعایت پروتکل تردد خودرو	*	

ردیف	اقدام	نوع اقدام	
		مدیریتی	کالبدی
۲۱	اعمال محدودیت پارک خودرویی در داخل سایت	*	
۲۲	تهیه طرح واکنشی و خروج کارکنان در زمان بحران	*	
۲۳	تهیه و نگهداری نقشه‌های ساختمان‌های تأسیسات در محل امن	*	
۲۴	تجهیز نیروهای حراست به سلاح‌های گرم به‌خصوص در شرایط هشدار باش امنیتی، باهدف افزایش توان پاسخ به تهدیدات بالقوه تروریستی متصور در محدوده طرح	*	
۲۵	تشدید گشت‌های نگهبانی خودرویی به‌خصوص در شرایط هشدار باش امنیتی	*	

علاوه بر تهدیدات تروریستی، تهدیدات سایبری نیز جزو تهدیداتی هستند که اغلب اجزای اصلی نیروگاه را متأثر می‌سازند و اصلی ترین اقدامات کاهش ریسک در برابر این تهدید به شرح جدول ادامه می‌باشد.

جدول ۱۱: اقدامات کاهش ریسک در برابر تهدیدات سایبری

ردیف	اقدام	نوع اقدام	
		مدیریتی	زیرساختی
۱	تدوین رویه‌های اجرایی لازم در حوزه سایبری	*	
۲	تعیین و پایش سطح دسترسی اپراتورها	*	
۳	پشتیبان گیری از کامپیوترهای صنعتی و صحت سنجی پشتیبان‌ها		*
۴	بسته بودن اتصال فلش و CD	*	
۵	عدم اتصال شبکه صنعتی به شبکه اداری	*	*
۶	به روز بودن آنتی‌ویروس‌ها		*
۷	تجهیز سامانه کنترلی به تجهیزات لاگ برداری		*
۸	تهیه Image از اطلاعات و نرم‌افزارهای مهندسی و نگهداری مناسب		*
۹	تأمین تجهیزات امنیتی (شامل فایروال، IDS، SIEM و...) مورد نیاز و پیکربندی مناسب		*
۱۰	استانداردسازی اتاق سرور طرح		*
۱۱	رمزنگاری و اصالت‌سنجی کلیه داده‌های تبادلی از طریق ارتباطات بیسیم		*
۱۲	عدم دسترسی راه دور به سامانه‌های حیاتی		*
۱۳	ممنوعیت بکارگیری پیمانکاران خارجی/داخلی بدون اخذ استعلامات امنیتی از حراست سازمان	*	
۱۴	شناسایی نقاط شکست سامانه‌های حیاتی و رفع آن‌ها	*	*
۱۵	تدوین و اجرای دستورالعمل‌ها و مستندات بازیابی از حوادث	*	
۱۶	کنترل و نظارت بر تجهیزات و فناوری‌های ورودی به نیروگاه	*	
۱۷	ارزیابی امنیتی و فنی سامانه‌ها و شبکه	*	*
۱۸	اجرای معماری امنیت مناسب در تمام سطح شبکه صنعتی و اداری		*
۱۹	استفاده از فناوری‌های بومی و امن	*	*

تهدیدات درون‌زا نیز جزو تهدیداتی به شمار می‌روند که پیش بینی می گردد اجزای مختلف نیروگاه در برابر آن‌ها دارای سطح ریسک متوسط و یا زیاد می‌باشند. کمیته دائمی پدافند غیرعامل، به تهدیداتی که توسط کارکنان یک سازمان یا شبکه‌های

همکار (پیمانکاران و سایرین) به صورت فردی یا شبکه‌ای، خواسته یا ناخواسته با همکاری یا هدایت عوامل بیگانه یا بدون پشتیبانی آن‌ها از سطح دسترسی مجاز، دانش و اختیارات خود برای آسیب رساندن به سازمان استفاده کنند را، تهدیدات درون‌زا اطلاق می‌نماید. این امر می‌تواند شامل سرقت اطلاعات و فناوری، خسارت به تأسیسات، سیستم‌ها، تجهیزات، کارکردها و فرآیندها، صدمه به کارمندان، توقّف فعالیت‌های ضروری و یا اقدامات دیگری در جهت صدمه زدن به مأموریت سازمان و منافع آن باشد (کمیته دائمی پدافند غیرعامل کشور, طرح راهبردی حفاظت از زیرساخت های کشور, ۱۴۰۱). وزارت امنیت داخلی ایالات متحده[۲] تهدید داخلی را به‌عنوان خطر این می‌داند که یک فرد مجاز ممکن است به‌طور عمدی یا غیرعمدی از دسترسی خود سوءاستفاده کند و به مأموریت یا منابع وزارت آسیب برساند. این تعریف رفتارهای مختلف آسیب‌زایی که می‌تواند از این تهدید ناشی شود را شناسایی می‌کند، از جمله جاسوسی، تروریسم، افشای غیرمجاز اطلاعات، فساد (از جمله مشارکت در جرایم سازمان‌یافته فراملی)، خرابکاری، خشونت در محل کار و از دست دادن یا تضعیف منابع یا قابلیت‌های وزارت (Department of Homeland Security, 2019). مؤسسه رند[۳] نیز تهدید داخلی را به‌عنوان پتانسیل افرادی که دسترسی مجاز به دارایی‌های یک سازمان دارند، تعریف می‌کند که ممکن است از دسترسی خود به‌صورت بدخواهانه یا غیرعمدی سوءاستفاده کرده و به‌گونه‌ای عمل کنند که بر سازمان یا امنیت ملی تأثیر منفی بگذارد (Luckey, Stebbins, Orrie, & Rebhan, 2019). بر اساس این تعاریف و مفهوم دریافت شده از تهدید دورن‌زا یا داخلی، منابع مرتبط بررسی شده و با بررسی سوابق رخداد تهدیدات در حوزه نیروگاهی و همچنین مصاحبه تخصصی با افراد مطلع موضوع، اهم راهکارهای کاهش ریسک اجزای نیروگاه در برابر این دست از تهدیدات که در برخی موارد با راهکارهای کاهش ریسک در برابر تهدیدات تروریستی مشترک است در ادامه اشاره نشده است.

جدول ۱۲: اقدامات کاهش ریسک نیروگاه در برابر تهدیدات درون‌زا

ردیف	اقدام	نوع اقدام	
		مدیریتی	کالبدی
۱	غربالگری نیروی انسانی (ملاحظات استخدامی، امنیتی، روحی و روانی)	*	
۲	اجرا و پیاده سازی طرح امنیتی مشاغل	*	
۳	انجام سطح بندی امنیتی قسمت‌های مختلف	*	
۴	تعریف دسترسی‌های اشخاص بر اساس طرح حیطه‌بندی	*	
۵	اخذ ضماتنامه بر مبنای نوع و میزان دسترسی‌ها و دارا بودن اطلاعات	*	
۶	اخذ سند منع افشاء از کارمندان	*	
۷	تغییر منظم و نوبه‌ای دسترسی‌ها به اماکن طبقه‌بندی شده	*	
۸	توسعه فرهنگ مسئولیت‌پذیری بین کارکنان	*	

علاوه بر تهدیدات تروریستی، سایبری و درون‌زا، سایر تهدیدات احصاء شده در خصوص نیروگاه نمونه نیز اقدامات کاهش ریسک می‌باشند. این اقدامات در قالب جدول بعد ارائه شده است. ضمن ارائه این اقدامات، اجزای اصلی مشمول اقدام، نوع اقدام و تهدیدات مورد نظر جهت کاهش ریسک در این جدول مورد توجه قرار گرفته است.

2 - Department of Homeland Security (DHS)
3 - RAND Corporation

جدول ۱۳: اقدامات کاهش ریسک نیروگاه در برابر تهدیدات

ردیف	اقدام	جزء فضای اصلی مشمول	نوع اقدام		اثرگذاری اقدام در برابر تهدید....					
			مدیریتی	کالبدی	نظامی	شیمیایی	اقتصادی	گرافیتی	الکترومغناطیس
۱	بازشدن کلیه درب‌های ورودی و خروجی‌های اضطراری رو به بیرون	ساختمان کنترل – ساختمان اداری- کانتین		*	*	*			
۲	عرض ۶۰ سانتیمتری کانال‌های (جوی‌های) آب رو باز در پیرامون ساختمان‌های اداری، اتاق کنترل و همچنین پیرامون کلیه مخازن و قسمت بارگیری سوخت	محوطه		*	*				
۳	جانمایی انبارها و محل نگهداری تجهیزات و قطعات کلیدی اجزای اصلی در بخش‌های مختلف سایت	انبارها		*	*				*
۴	پیش‌بینی و آماده‌سازی فضای مدیریت بحران (مرکز عملیات اضطراری و ایجاد سامانه ارتباطی مرکز عملیات اضطراری)	ساختمان اداری یا ساختمان کنترل	*	*	*	*		*	*
۵	جانمایی اجزای خطر زا در بخش‌های دور از اجزای کلیدی	سیستم سوخت رسانی-تأسیسات جانبی		*	*	*			
۶	نظارت خاص بر بخش‌های هیدروژن سازی و تصفیه‌خانه	تأسیسات جانبی		*		*			
۷	افزونگی تأمین برق	ساختمان اداری - ساختمان کنترل - تأسیسات جانبی			*				
۸	پیش‌بینی و آماده‌سازی، بخش‌هایی فضاهای داخلی به‌عنوان فضای امن	ساختمان اداری - ساختمان کنترل - تأسیسات جانبی – ساختمان توربین - کانتین	*	*	*	*			
۹	تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری و ایجاد سامانه فرماندهی حادثه (ICS) و سازمان‌دهی گروه‌های مربوطه	تمامی اجزا	*		*	*		*	*
۱۰	برآورد و تدارک اقلام مورد نیاز در شرایط بحرانی	تمامی اجزا	*	*	*	*		*	*
۱۱	تقویت تجهیزات امداد خودرویی (آمبولانس)	تمامی اجزا		*	*	*			
۱۲	پیش‌بینی قطعات یدکی ضروری و منحصر به فرد	تمامی اجزا	*	*	*			*	*
۱۳	در امان ماندن ورودی و خروجی‌های ساختمان از ریزش آوار	ساختمان اداری - ساختمان کنترل - تأسیسات جانبی – کانتین		*	*	*			

ردیف	اقدام	جزء فضای اصلی مشمول	نوع اقدام		اثرگذاری اقدام در برابر تهدید....				
			مدیریتی	کالبدی	نظامی	شیمیایی	اقتصادی	گرافیتی	الکترومغناطیس
۱۴	اجرای علائم هدایت‌کننده به صورت واضح، خوانا و قابل فهم در شب و نبود نور کافی	ساختمان اداری - ساختمان کنترل - تأسیسات جانبی – ساختمان توربین - کانتین		*	*	*			
۱۵	برگزاری دوره‌های آموزشی و رزمایش های آمادگی	تمامی اجزا	*		*	*		*	*
۱۶	نظارت دقیق در پیاده‌سازی الزامات ایمنی از جمله سامانه‌های اعلام و اطفا حریق و باندوال مخازن ذخیره سوخت	اجزای مشمول		*	*	*			
۱۷	بومی سازی تجهیزات و قطعات	کلیه تجهیزات و قطعات	*	*	*	*	*	*	*
۱۸	حفاظت در برابر تهدیدات الکترومغناطیس	ساختمان کنترل - ساختمان توربین - ترانسفورماتورها		*					*

منابع

Frazão Ferreira, I. .(۲۰۰۹) *Industrial Risk Management of a Combined Cycle Power Plant.* Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.

Department of Homeland Security. .(۲۰۱۹) *Insider Threat Program.* Washington, DC: Revision 01.

FEMA 426. .(۲۰۰۳) *Reference Manual to Mitigate Terrorist Attacks against Buildings.* FEMA.

FEMA-426/BIPS-06. .(۲۰۱۱) *Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings.* FEMA.

Kumar Rath, S., Kumar Khutey, R., Gautam, P., Akash, S., & Kumar Singh, V. .(۲۰۲۲) Identification Hazardsand Risk Assessmentin Power Plant. *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES) ,Volume 10 Issue 8*.۱۸۵-۱۷۷ ,

Luckey, D., Stebbins, D., Orrie, R., & Rebhan, E. .(۲۰۱۹) *Assessing Continuous Evaluation Approaches for Insider Threats: How Can the Security Posture of the U.S. Departments and Agencies Be Improved?* RAND Corporation.

Ramesh, R., Prabu, M., & Senthilkumar, P. .(۲۰۱۷) Hazard Identification and Risk Assessment in Automotive Industry. *International Journal of ChemTech Research*.۳۵۸-۳۵۲ ,(٤) ۱۰ ,

Sadeghi, A., Jabbari Gharabagh, M., Rezaeian, M., Alidoosti, A., & Eskandari, D. .(۲۰۲۰)Fire and Explosion Risk Assessmentin a Combined Cycle Power Plant. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*.۳۱۱-۳۰۳ , ۳۹ ,

Shrivastava, R., & Patel, P. .(۲۰۱٤) Hazards Identification and Risk Assessment in Thermal Power Plant. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*.٤٦٦-٤٦٣ ,(٤) ۳ ,

U.S. Department of Homeland Security . .(۲۰۱۷) *DHS Lexicon.* U.S. Department of Homeland Security.

باقری, آ. (۱۳۹۶). نقش پدافند غیرعامل برای حفاظت از نیروگاه ها در زمان وقوع جنگ ها نوین . هفتمین همایش سراسری پدافند جنگ نوین.

جلالی فراهانی , غ. (۱۳۹۱). مقدمه ای بر روش و مدل برآورد تهدیدات در پدافند غیرعامل. تهران: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه جامع امام حسین (ع).

حافظ نیا, م. (۱۳۸۹). مقدمه ای بر روش تحقیق در علوم انسانی. تهران: سمت.

سازمان پدافند غیرعامل کشور. (۱۳۹۰). راهنمای پدافند غیرعامل در مدیریت بحران ناشی از جنگ. تهران: سازمان پدافند غیرعامل کشور.

شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی. (۱۴۰۳). هفته نامه صنعت تولید نیروی برق حرارتی کشور. تهران: شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی.

شرکت مهندسین مشاور مونتکو ایران. (۱۳۸۹). آشنایی با اصول طراحی نیروگاه های حرارتی. تهران: شیوه.

طاحونه, م., دشتی, ر., غفارپور, ر., & جلالی, غ. (۱۳۹۹). الزامات پدافند غیرعامل در ارتباط با انواع دارایی های صنعت توزیع برق . پدافند غیرعامل, ۱-۶.

علی احمدی, ع., & نهائی, س. (۱۳۸۶). توصیفی جامع از روش های تحقیق. تهران: تولید دانش.

کمیته دائمی پدافند غیرعامل کشور. (۱۴۰۱). طرح راهبردی حفاظت از زیرساخت های کشور.

کمیته دائمی پدافند غیرعامل کشور. (۱۴۰۲). نظام عملیاتی پدافند مردم محور.

کمیته دائمی پدافند غیرعامل کشور. (۱۴۰۲). نظام فنی و تخصصی حفاظت از زیرساخت های کشور.

گودینی, ج., & وفامهر, م. (۱۳۹۷). راهکارهای مؤثر بر افزایش ضریب ایمنی/امنیتی در طرح معماری مجموعه های صنعتی نیروگاهی. نشریه علمی - پژوهشی شهر ایمن, ۱-۱۳.

نوروستا , ح., رادان, م., نکوئی, م., & اسکندری, م. (۱۴۰۱). شناسایی و اولویتبندی تهدیدات نیروگاه های برق حرارتی و ارائه راهکارهای پدافند غیرعامل. مدیریت بحران, ۲۰۳-۲۱۴.