ارائـه‌ی الگـوی رتبه‌بنـدی شـریان‌های حیاتـی بـر اسـاس آنالیـز اجـزای اصلـی

محمد اسکندری*: استادیار، مجتمع دانشگاهی پدافند غیر عامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، Eskandarim@ut.ac.ir
بابک امیدوار: دانشیار، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
مهدی مدیری: دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
محمدعلی نکوئی: استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ دریافت : ۹۶/۶/۲۲
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

پیشرفت‌های چشمگیر در تولید تسلیحات مدرن در سال‌های اخیر سبب شده که الگو و ماهیت جنگ‌ها به‌طور کلی تغییر یابد و امروزه دشمنان اصلی کشور، انگیزه‌ی بالایی برای حمله به مراکز ثقل و زیرساخت‌های حیاتی داشته باشند. هدف اصلی این مقاله، اولویت‌بندی زیرساخت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه با توجه به معیارهای بالای جذابیت برای دشمنان و اعمال تهدید سخت نظامی هوایی است. الگوی ارائه‌شده در این مقاله با مبحث سطح‌بندی حیاتی، حساس و مهم سازمان پدافند غیرعامل کاملاً متفاوت است. به‌منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها، پنج معیار اصلی «ملاحظات پدافندی»، «محیط پیرامونی زیرساخت»، «ماهیت بنیادی زیرساخت»، «پیامدهای مترتب با حمله هدفمند» و «نحوه‌ی وابستگی» و تعدادی معیار فرعی به همراه شاخص‌های کمی ارائه گردید. هر زیرساخت با توجه به امتیازی که از هر یک از معیارها دریافت می‌کند، رتبه‌بندی می‌شود و هر زیرساختی که امتیاز بالاتری کسب نماید، از رتبه‌ی بیشتری برای اعمال تهدید توسط دشمنان برخوردار است. گفتنی است برای تحلیل بر روی داده‌ها و خروجی تحقیق، تحلیل‌های آمار استنباطی صورت گرفت و ابتدا به کمک آزمون کروسکال والیس، میزان شباهت بین وزن‌هایی که پاسخ‌دهندگان ارائه داده بودند، آنالیز شد و شبیه بودن نظر پاسخ‌دهندگان در ۲۲ معیار تأیید گردید. در انتها به کمک آنالیز اجزای اصلی، معیارهای با اهمیت در هر دسته از معیارهای اصلی مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: *زیرساخت‌های حیاتی، اولویت‌بندی، آنالیز اجزای اصلی، آزمون کروسکال والیس، تهدید سخت نظامی*

Providing the Pattern for the Prioritization of Critical Infrastructures in Targeted Attacks

Mohammad Eskandari*[1], Babak Omidvar[2], Mahdi Modiri[3], Mohammad Ali Nekooie[4]

Abstract

The pattern of war has been changed in ever more deadly ways as modern and intelligent weapons and more destructive specifications have been taken recently. The potential enemies are trying to attack the important centers and destroy critical infrastructures at the local or national level in new wars. The main purpose of this study is to identify the major infrastructures assets which are located in a geographical areas that could be affected by any incident and also have inherent specification of high attractiveness for the enemies and the proposed model is very different with the classification issue of vital, sensitive, and Important of the passive defense organization. The five main criteria includes; (1) passive defense considerations, (2) surrounding environment of infrastructure, (3) fundamental specifications of infrastructure, (4) attack consequences, and (5) dependency The score and weight are assigned to each criterion in which those values show the importance of a structure in the desired rank. A higher score means there is higher attack potential by enemies. It should be noted, in order to analyze the data and research outputs, the inferential statistical analysis was performed. Initially, by using the Kruskal-Wallis test, similarities between the weights of experts were analyzed and 22 criteria based on the similarity of answers were confirmed. Finally, by using principal component analysis (PCA), the important criteria of secondary in each of the main criteria were determined.

Keywords: *Critical Infrastructure, Prioritization, PCA, Kruskal-Wallis Test, Hard Military Threat*

1 - Assistant professor, Faculty of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, 15875-1774, Tehran, Iran, Email: Eskandarim@ut.ac.ir
2 - Associate Professor, School of Environment, College of Enginrering, University of Tehran, Tehran, Iran
3 - Associate professor, Malek ashtar University of technology, Tehran, Iran
4 - Assistant professor, Departement of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran

مقدمه

جنگ‌ها خواسته و یا ناخواسته و تحمیلی با زندگی و حیات جوامع بشری آمیخته شده است و در بسیاری از موارد به نظر می‌رسد که هیچ راه گریزی از آن وجود ندارد. بشریت در طول پنج هزار سال تاریخ تمدن خود، چهارده هزار جنگ را دیده و در این جنگ‌ها بیش از چهار میلیارد انسان جان باخته‌اند. به‌طوری‌که در این مدت، صرفاً ۲۶۸ سال بدون جنگ و مناقشه بوده است و تنها در طی ۴۵ سال یعنی طی سال‌های ۱۹۴۵ تا۱۹۹۰ در روی کره‌ی زمین فقط سه هفته بدون جنگ بوده و جالب این‌که اکثر این جنگ‌ها در کشورهای جهان سوم به وقوع پیوسته است (مدیریت بازرسی سازمان صنایع دفاع، ۱۳۸۶). در قرن بیستم بیش از ۲۲۰ جنگ به وقوع پیوسته و ۲۰۰ میلیون تلفات انسانی داشته است. خاورمیانه طی سالیان گذشته، شاهد چهار جنگ مهم (جنگ تحمیلی عراق علیه ایران، جنگ خلیج‌فارس، جنگ افغانستان و جنگ آمریکا و متحدانش علیه عراق) بوده است [۱].

در طول تاریخ زندگی بشر، همگام و هماهنگ با رشد و پیشرفت فناوری، روش‌ها، قواعد و اصول جنگ با توجه به امکانات و توانمندی‌ها و دانش آن جامعه دچار تغییر و تحول اساسی گردیده است. جنگ‌ها در جهان امروز برخلاف گذشته، از ابعاد و پیچیدگی و خشونت بیشتری برخوردارند. کیفیت سلاح‌ها، پیچیدگی تکنیک‌ها، توسعه‌ی جنگ به اعماق سرزمین کشورها، حملات هوایی و موشکی، بمباران‌های سنگین و انهدام منابع حیاتی و جنگ شهرها ازجمله خصوصیات بارز جنگ‌های امروزی است. بنا به نظریه‌ای، امروز جنگ دیگر در مرزها نیست بلکه در شهرهاست و شهرها به میدان‌های جدید کارزار تبدیل شده‌اند [۱].

تجارب حاصله از جنگ‌های گذشته به‌خصوص هشت سال دفاع مقدس، جنگ ۴۳ روزه‌ی ۱۹۹۱ متحدین علیه عراق (جنگ اول خلیج‌فارس)، جنگ یازده هفته‌ای سال ۱۹۹۹ ناتو علیه یوگسلاوی، جنگ اخیر امریکا و انگلیس علیه عراق مؤید این نظر است که کشور مهاجم برای در هم شکستن اراده‌ی ملت و توان اقتصادی، نظامی و سیاسی کشور مورد تهاجم با اتخاذ «استراتژی انهدام مراکز ثقل»، توجه خود را صرف بمباران و انهدام مراکز حیاتی و حساس می‌نماید [۲]. بر این اساس امروزه زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی از جذاب‌ترین اهداف دشمنان برای اعمال تهدید بر یک کشور هستند.

به‌طورکلی زیرساخت‌ها جزء بنیان‌های اصلی و چارچوب‌های پایه‌ای هر جامعه‌ای به شمار می‌آیند که دربرگیرنده‌ی تمامی تأسیسات، خدمات و تسهیلاتی هستند که مورد نیاز آن جامعه است. این شریان‌ها برای تولید و توزیع کالاها و خدمات در واحدهای شهری به کار می‌روند و امکان زندگی در شهرها نیز بستگی به کیفیت و کمیت کارکرد این شریان‌ها دارد. در زندگی مدرن، افزایش وابستگی سریع به این امکانات نیز، این نیاز روز را افزون نموده است. از طرفی پایداری اقتصاد ملی، ثبات امنیت ملی و کیفیت زندگی مردم به میزان قابل توجهی به در دسترس بودن، دوام و پایداری زیرساخت‌های حیاتی وابسته است. از این‌رو علی‌رغم مجموعه‌ی وسیعی که تحت عنوان زیرساخت‌ها معرفی می‌شوند، به‌طور خلاصه می‌توان شریان‌ها را به دو دسته‌ی کلی خدمت‌رسانی[۱] (مثل شبکه‌ی آب، برق، مخابرات و سوخت) و حمل و نقلی[۲] (شبکه‌ی راه زمینی، هوایی و دریایی) تقسیم‌بندی نمود. آنچه تحت عنوان این مقاله بررسی می‌گردد، بیشتر برای شریان‌های خدمت‌رسان است و مدل پیشنهادی به صورت مطالعه‌ی موردی برای سه شریان شبکه‌ی آب، برق و گاز پیاده‌سازی شده است.

ارزیابی ریسک زیرساخت‌ها یکی از مهم‌ترین مسائل پیشرو در مدیریت بحران است. امروزه عموماً روش‌های ریاضی و تجربی بسیاری برای ارزیابی ریسک طبیعی زیرساخت‌ها ارائه شده است، ولی در حوزه‌ی تهدیدات و پدافند غیرعامل، روش‌ها بیشتر متمرکز بر چک‌لیست‌ها و پرسش‌نامه‌ها است و عموماً محققان از چک‌لیست‌های غیربومی برای ارزیابی آسیب‌پذیری استفاده می‌کنند. به نظر می‌رسد همان‌طور که در ارزیابی ریسک مخاطرات طبیعی، برای هر مخاطره یک روش مجزا توسعه داده شده است، در حوزه‌ی ریسک پدافند غیرعاملی هم بهتر است برای هر یک از تهدیدات یک روش یا یک چک‌لیست مجزا ارائه شود. این مقاله به تهدیدات حملات هدفمند می‌پردازد. در تهدیدات حملات هدفمند از چهار مؤلفه‌ی ارزیابی ریسک پدافندی (تهدیدشناسی، دارایی‌شناسی، آسیب‌پذیری و پیامدشناسی)، دارایی‌شناسی اهمیت بسیار زیادی دارد؛ زیرا چنانچه دشمن دارایی جذاب و بااهمیت را شناسایی نماید، با توجه به اینکه از تسلیحات دقیق موشکی یا هوایی بهره می‌برد، آسیب‌پذیری دارایی در برابر اصابت موشک بالا است، که می‌توان با پیشنهاد سه سناریوی اصابت مختلف، درجه‌ی آسیب‌پذیری را حدس زد.

در این راستا و برای نیل به اهمیت زیرساخت‌ها و نقش آن‌ها در کنترل بحران، یکی از روش‌های مرسوم در مطالعات پدافند غیرعامل در برابر حملات هدفمند، سطح‌بندی و رتبه‌بندی زیرساخت‌های حیاتی است. بر این اساس در ابتدا به مروری بر مطالعات صورت گرفته در این حوزه پرداخته می‌شود. سپس به‌طور مختصر الگویی که برای ارزیابی ریسک امنیتی زیرساخت‌ها در مطالعات پدافند غیرعامل مرسوم است، پرداخته می‌شود. سپس فرضیاتی برای ساده نمودن الگوی ارزیابی ریسک برای این پژوهش بیان می‌گردد. در ادامه مدل اصلی سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌های حیاتی بر اثر حملات هدفمند در قالب گام‌های تشریح می‌گردد. سپس مدل برای یک شهر به صورت نمونه اجرا می‌شود تا بتوان بر روی خروجی‌های آن بحث و بررسی نمود. در انتها نیز به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پژوهش پرداخته می‌شود.

پیشینه‌ی پژوهش

با توجه به نوپا و جدید بودن مطالعات پدافند غیرعامل در حوزه‌ی زیرساخت‌های حیاتی، پژوهش‌های بسیار کمی در این بخش صورت گرفته است و مروری بر پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تاکنون نمونه‌ای منطبق با موضوع و هدف پژوهش حاضر انجام نشده است. از این‌رو ابتدا پژوهش‌هایی که تا حدودی

مرتبط با موضوع تحقیق است، به صورت مختصر ارائه می‌شود، سپس به معرفی مختصر الگوی ارزیابی ریسک امنیتی متداول در زیرساخت‌های حیاتی پرداخته می‌شود.

مروری بر پژوهش‌های قبلی

جمشیدی و همکاران [۳]، به ارائه‌ی الگویی برای ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی در صنعت نفت پرداختند. تحقیق پیش‌رو با معرفی سامانه‌ی ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی (سامانه‌ی جوشن) در صدد تغییر نگرش رایج درخصوص شیوه‌های ارزیابی ریسک ناشی از حملات نظامی، تروریستی و خرابکاری طراحی شد. در این پژوهش هدف از ارزیابی ریسک امنیتی دارایی‌های جزیره‌ی لاوان، به دو بخش اصلی تقسیم شد: ۱. شناسایی مخاطرات امنیتی، تهدیدها و آسیب‌پذیری‌های محتمل در مواجهه با دارایی‌های هدف و ۲. اقدامات متقابل در برابر تهدیدها برای حفاظت از عرصه‌ی عمومی، کارگران، سرمایه‌های ملی، محیط زیست و شرکت نفت فلات قاره. مراحل پنج‌گانه‌ی مدل ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی در این پژوهش شامل مشخصات دارایی‌ها، ارزیابی تهدید، تحلیل آسیب‌پذیری، ارزیابی ریسک و اقدامات متقابل بودند. همچنین در این پژوهش از نرم‌افزار بومی ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی (جوشن پرو) بدین منظور استفاده شد.

جلالی فراهانی و همکاران [۴] به تعیین و رتبه‌بندی تهدیدات انسان‌ساخت عمدی در اجزای اصلی ایستگاه‌های مترو پرداختند. علت انتخاب ایستگاه‌های مترو به دلایل مختلفی همچون جمعیت‌پذیری بالا صورت پذیرفت. در این پژوهش براساس روش توصیفی - تحلیلی و با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و پرسش‌نامه به استخراج تهدیدات انسان‌ساخت عمدی حوزه‌ی ایستگاه‌های مترو و رتبه‌بندی آن‌ها در هر یک از اجزای اصلی این فضاهای عمومی پرداخته شد. استخراج تهدیدات تخصصی ایستگاه‌های مترو و تبیین شاخص‌های رتبه‌بندی تهدیدات از مهم‌ترین داده‌های کیفی است که در تهیه‌ی پرسش‌نامه‌ی تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. برای تحلیل داده‌ها نیز علاوه بر آماره‌های کمی، از روش تحلیل محتوا استفاده شد. یافته‌های تحقیق بیانگر آن بود که از میان نُه تهدید پیش‌روی ایستگاه‌های مترو، بمب‌گذاری اصلی‌ترین تهدید کل این فضاست. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به رتبه‌بندی نه تهدید مذکور در هر یک از اجزای اصلی ایستگاه مترو اشاره کرد. این رتبه‌بندی بر اساس چهار شاخص «سابقه‌ی رخداد تهدید» و «جذابیت هدف»، «توانایی دشمن»، «شدت خسارت» انجام پذیرفت.

مشهدی و امینی ورکی [۵] در پژوهشی با عنوان *تدوین و ارائه‌ی الگوی ارزیابی تهدیدات، آسیب‌پذیری و تحلیل خطرپذیری زیرساخت‌های حیاتی با تأکید بر پدافند غیرعامل* به ارائه‌ی چارچوبی برای تحلیل و مدیریت خطرات مرتبط با حملات احتمالی علیه زیرساخت‌های حیاتی پرداختند. بر این اساس در این پژوهش رویکردی جستجوگرانه به‌منظور تدقیق معیارهای دفاع غیرعامل و تلاشی برای یافتن ابزار و امکاناتی برای تبدیل مفاهیم و توصیه‌های کیفی به ضابطه‌های کمی و قانونمند تعیین گردید. روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش "توصیفی-تحلیلی" بود. بدین منظور از روش‌های کمی و کیفی به صورت توأمان استفاده شد و در گردآوری از روش‌های متداول مانند بررسی کتابخانه‌ای و اسنادی، جستجوی اینترنتی و روش پرسش‌نامه‌ای استفاده شده است. الگوی ارائه شده در این پژوهش با عنایت به فضای تهدید و شرایط خاص کشور تعریف شد که بتواند دربرگیرنده‌ی بسته‌ای از تهدیدات برای یک زیرساخت باشد. در این الگو در بخش ارزیابی دارایی‌ها از معیارهای کارور[۳] استفاده شد؛ در بخش ارزیابی تهدیدات با ارائه‌ی شاخص‌هایی به ارزیابی هر دو حوزه‌ی تهدیدات نرم و سخت پرداخته شد.

در پژوهش دیگر سلیمانی و همکارانش [۶]، الگوی ارزیابی ریسک در مقیاس‌های فراشهری را با تلفیق رویکردهای آمایشی و زیرساختی ارائه کردند. هدف از این پژوهش ارائه‌ی چارچوبی برای ارزیابی ریسک در مقیاس فراتر از شهر بود. فرایند پیشنهادی در این پژوهش، دو رویکرد در ارزیابی ریسک را به‌طور همزمان در نظر گرفت: رویکرد آمایشی و رویکرد زیرساخت‌های حیاتی. به‌این‌ترتیب که پس از تعیین تهدیدات متصور برای منطقه، انواع شریان‌های حیاتی در منطقه که در مقیاس بین‌شهری فعالیت و خدمات‌رسانی می‌کنند، به‌منزله‌ی دارایی‌های منطقه انتخاب شدند. سپس روابط بین این دارایی‌ها با استفاده از مفهوم اندرکنش‌های درون زیرساختی و بین زیرساختی محاسبه گردید. سپس با توجه به رویکرد آمایشی در ارزیابی ریسک که به دنبال تعیین آسیب‌پذیری‌ها و پیامدها از منظر جمعیت و فعالیت در پهنه‌ی فضا بود، جمعیت و مساحت تحت تأثیر دارایی‌ها مشخص شد. این عملیات از طریق استفاده از مفهوم «فروش ازدست‌رفته» برای هر دارایی انجام گردید. استفاده از این مفهوم علاوه بر افزودن ملاحظات آمایشی به مطالعه‌ی زیرساخت‌های حیاتی، امکان مقایسه بین دارایی‌های مختلف را نیز فراهم می‌کرد. برای عینی شدن این تحلیل، فرایند مذکور در یک منطقه‌ی شهری فرضی پیاده شد.

در پژوهشی دیگر سهامی و قنادیان [۷]، به ارائه‌ی روش‌های حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی در صنعت نفت و گاز و ارائه‌ی راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری مبتنی بر مدیریت ریسک پرداختند. در این پژوهش تلاش شده است تا مراحل اجرایی و عملیاتی که می‌توان برای ایجاد یک برنامه‌ی مدیریت جامع به کار بست، توصیف گردد و همچنین به روش ارزیابی بر مبنای مدل ریسک اشاره شد. هدف از این پژوهش، تحلیل و واکاوی تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های موجود در صنعت نفت و گاز بود تا روشی روشن، قابل درک و جامع برای مدیریت ریسک ایمنی زیرساخت‌های حیاتی در این صنعت معرفی گردد.

رنجبر و پیرایش [۸] در پژوهشی دیگر، شاخص‌هایی برای ارزیابی آسیب‌پذیری سامانه‌ی قدرت در برابر تهدیدات تروریستی ارائه کردند. در این مقاله ابتدا مفاهیم مربوط به آسیب‌پذیری و رتبه‌بندی حادثه مطرح گردید. سپس در قالب هشت شاخص ترکیبی به آسیب‌پذیری سامانه‌ی انتقال برق پرداخته شد و خطوط انتقال با بیشترین اهمیت شناسایی گردید.

در سال ۲۰۰۸ مدلی به‌منظور محافظت از زیرساخت‌های حیاتی اطلاعاتی ارائه شد. در این مطالعه ابتدا مفاهیم حفاظت از زیرساخت‌ها تشریح گردید. در ادامه به‌منظور محافظت از زیرساخت‌های حیاتی، دو مدل امنیت ملی و مدل استمرار فعالیت ارائه گردید. نحوه‌ی استفاده و انتخاب این مدل‌ها به شیوه‌ای که دولت‌ها برای محافظت از زیرساخت‌ها به کار می‌برند، وابسته بود. با مقایسه و تجزیه و تحلیل در سیاست‌های امریکا و رژیم اشغالگر قدس، یک الگو برای پیشنهاد مدل محافظت از زیرساخت‌های حیاتی ارائه گردید [۹].

در سال ۲۰۰۹، تعدادی شاخص برای ارزیابی آسیب‌پذیری بخش‌های صنعتی در مقابله با حوادث ارائه گردید. در این مطالعه ابتدا خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیمی که مخاطرات طبیعی و تهدیدات انسان‌ساخت می‌تواند بر پیکره‌ی بخش‌های صنعتی وارد کند، معرفی گردید. نکته‌ی قابل توجه در این مطالعه این بود که خسارت غیر مستقیم در برخی موارد، زیان‌های بسیار بیشتری نسبت به خسارت مستقیم می‌تواند بر بخش‌های صنعتی وارد نماید. از این‌رو در این مقاله برای ارزیابی کمی آسیب‌پذیری این خسارت‌های غیرمستقیم بر بخش‌های صنعتی، تعدادی شاخص ارائه شد. به‌نحوی‌که در این مطالعه در قالب سه معیار اصلی و هشت معیار فرعی، مدلی ارائه گردید که قادر بود بر اساس هفت گام مجزا به تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری خسارات غیرمستقیم در بخش‌های صنعتی بپردازد [۱۰].

در سال ۲۰۱۱ دپارتمان امنیت ملی امریکا برای افزایش آمادگی و ارتقای امنیت در تمامی سطوح دولت و همچنین بخش خصوصی در برابر اقدامات تروریستی و انسان‌ساز، مطالعات گسترده‌ای برای افزایش قابلیت اطمینان زیرساخت‌های حیاتی انجام داد [۱۱]. در سال ۲۰۱۳ هم مطابق دستورالعمل شماره‌ی ۲۱ ریاست جمهوری امریکا، تأکید بسیار زیادی بر ارتقای امنیت و انعطاف‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی به‌صورت جامع با درنظرگیری وابستگی متقابل داشت [۱۲]. از این رو به‌منظور تجزیه و تحلیل حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی و همچنین شناسایی راه‌هایی برای بهبود آن‌ها، دپارتمان امنیت داخلی امریکا، شاخص‌هایی برای آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی در قالب یک پروژه‌ی تحقیقاتی ارائه دادند. بر این اساس در این تحلیل از پنج معیار اصلی «امنیت فیزیکی»، «مدیریت امنیت»، «نیروهای امنیتی»، «به اشتراک گذاری اطلاعات» و «سایر فعالیت‌های امنیتی» استفاده گردید. هر یک از این معیارهای اصلی از تعدادی زیر معیار فرعی تشکیل شدند که در مجموع ۲۵ معیار فرعی در این مطالعه ارائه گردید. در ادامه وزن و رتبه‌ی هر یک از معیارهای فرعی ارائه گردید [۱۳].

تمامی پژوهش‌های صورت گرفته عمدتاً به مبحث ارزیابی ریسک بر اساس ارائه‌ی پرسش‌نامه و تحلیل آماری پرسش‌نامه پرداخته شده است. عموماً نتایج ناشی از تحلیل، قبل از ارزیابی قابل پیش‌بینی بودند. در برخی دیگر از پژوهش‌ها صرفاً به ارائه‌ی الگو پرداخته شده است. درحالی‌که در این پژوهش، با توجه به اهمیت بسیار بالای بخش دارایی‌شناسی، تنها به این بخش و رتبه‌بندی و سطح‌بندی زیرساخت‌ها در این حوزه پرداخته شده است، زیرا عموماً برای رتبه‌بندی زیرساخت‌ها در پژوهش‌های قبلی تنها به تعداد معدودی معیار بسنده می‌شد که غالباً شاخص و سنجه‌ی مناسبی برای اندازه‌گیری نداشتند. درحالی‌که در این پژوهش سعی گردیده تا این معیارها و شاخص‌ها به نحو مناسبی بسط گردد.

مروری بر الگوی ارزیابی ریسک امنیتی

تحلیل ریسک امنیتی به صورت متداول شامل چهار بخش دارایی‌شناسی، تهدیدشناسی، آسیب‌پذیری و مدل‌سازی پیامد به صورت زیر است:

۱. شناسایی دارایی‌ها: در تعریف دارایی، هر آنچه که برای زیرساخت دارای ارزش باشد دارایی تلقی می‌گردد. دارایی‌ها همانند زیرساخت‌ها به دو دسته‌ی غیرحیاتی و حیاتی تقسیم می‌شوند. دارایی‌های غیرحیاتی دسته‌ای هستند که خسارت، آسیب و نابودی آن‌ها تأثیر مهمی برای زیرساخت ندارد. در مقابل، دارایی‌های حیاتی در صورت صدمه و نابودی تأثیر بسیار مهمی بر زیرساخت دارند. دارایی‌هایی که به این دسته متعلق‌اند مستقیماً در تداوم تولید محصولات و ارائه‌ی خدمات نقش دارند. البته در مفهوم دارایی ذکر این نکته حائز اهمیت است که منظور از دارایی تنها المان‌های یک زیرساخت نیست، بلکه ابتدا باید سطح بررسی را مشخص نمود. برای مثال در سطوح کلان، منظور از دارایی، کل یک زیرساخت است و در این بخش، ارزیابی بین تمامی زیرساخت‌ها صورت می‌گیرد. درحالی‌که چنانچه بررسی در سطح خرد باشد، منظور از دارایی، تمامی المان‌های آن زیرساخت مربوطه است.

۲. ارزیابی تهدیدات: بررسی و شناخت تهدیدات و توانمندی‌های تسلیحاتی و فناورانه‌ی دشمن شرط اول و الزامی برای پی بردن به توانایی‌ها و اهداف دشمن است و عدم کنکاش در این خصوص آسیب‌ها و ضررهای جبران‌ناپذیری را در پی خواهد داشت. نکته‌ی کلیدی این است که هر چه دشمن نیرومندتر و دارای شرایط بهتری باشد، برای طرف مقابل، زمان، امکانات و فرصت‌ها کم و نیاز به بهره‌گیری از تمامی امکانات و مقدورات ممکن، اجتناب‌ناپذیر می‌شود [۱۴]. در این مقاله هدف اصلی دشمن در سناریوی تهدید، فلج کردن کشور هدف با تهاجم به زیرساخت‌های حیاتی و حساس به‌منظور ناتوان کردن حاکمیت در ارائه‌ی خدمات به مردم، رفع نیازهای اساسی و در نهایت هرج و مرج در اداره‌ی جامعه است. به‌منظور تهدیدشناسی باید گام‌های زیر طی شود [۱۵]:

- گام اول: دشمن‌شناسی؛
- گام دوم: شناسایی منابع بروز تهدید؛
- گام سوم: تعیین سطوح تهدید؛
- گام چهارم: بررسی روش‌های تهدید و ابزار تهدید؛
- گام پنجم: سطح‌بندی ابزار تهدید.

از این‌رو می‌توان تهدیدات متصور برعلیه زیرساخت‌های حیاتی را در پنج دسته‌ی زیر دسته‌بندی نمود:

- حمله‌ی هوایی و موشکی هدفمند: حمله‌ی هوایی شامل حمله‌ی هواپیماهای جنگی و بمب‌افکن‌ها به‌منظور

نابودی کلیه‌ی تأسیسات و زیرساخت‌های حیاتی است. حمله‌ی موشکی با استفاده از موشک‌های بالستیک و کروز از مهم‌ترین ابزارهای این بخش است. پیامدهای این حملات می‌تواند شامل نابودی ساختمان‌ها و تجهیزات، مجروح شدن کارکنان و مردم عادی اطراف، قطع استمرار تولید، از بین رفتن اطلاعات حیاتی و اعتبار مجموعه، نابودی محیط‌زیست و ... باشد.

- حمله‌ی تروریستی سخت: شامل حمله‌ی راکت و خمپاره‌ای از اطراف زیرساخت‌های حیاتی، نفوذ، بمب‌گذاری ثابت و خودرویی، آتش‌سوزی عمدی و ... است. این حملات به‌منظور اختلال در فرایند زیرساخت‌ها، ایجاد وحشت و ارعاب صورت می‌پذیرد. پیامدهای این حمله می‌تواند شامل کشته و مجروح شدن کارکنان، آسیب به ساختمان‌ها و تجهیزات و قطع استمرار تولید باشد.
- خرابکاری صنعتی: شامل ایجاد آسیب به زیرساخت‌های حیاتی از طریق عوامل نفوذی و یا ورود تجهیزات معیوب و دستکاری شده است. این خرابکاری می‌تواند ماهیت فیزیکی، سایبری و زیستی نیز داشته باشد. خرابکاری صنعتی در نقاط آسیب‌پذیر فرایند هر یک از زیرساخت‌های حیاتی به‌منظور اعمال آسیب و ایجاد اختلال در فرایند تولید صورت می‌پذیرد. بسته به محل وقوع، پیامدهای آن متفاوت است ولی هدف اصلی تمامی آن‌ها ایجاد آسیب به دستگاه‌های اصلی فرایند تولید در زیرساخت مورد نظر است.
- حمله‌ی سایبری: حمله‌ی سایبری با استفاده از بدافزارها به‌منظور ایجاد آسیب در نرم‌افزارهای سازمانی و صنعتی و درنهایت ایجاد آسیب در دستگاه‌های کنترلی واحد اصلی فرایند زیرساخت‌های حیاتی ممکن است به وقوع بپیوندد. پیامدهای این حمله شامل نابودی نرم‌افزارها و اطلاعات و ایجاد آسیب فیزیکی به تجهیزات در هر زیرساخت است.
- حمله‌ی زیستی: حمله‌ی زیستی با استفاده از عوامل زیستی زنده و یا محصولات حاصل از آن‌ها با هدف آسیب زدن به کارکنان و در نهایت مردم اطراف زیرساخت‌های حیاتی صورت می‌پذیرد. این حمله در هر یک از زیرساخت‌ها برای آسیب‌زدن به کارکنان احتمال وقوع دارد ولی بیشتر در زیرساخت‌های مرتبط با تولید آب برای آسیب زدن مردم و مصرف‌کننده‌ها احتمال وقوع دارد که پیامدهای این حمله می‌تواند ایجاد بیماری و مرگ و میر در مردم باشد.

در این مقاله از بین تهدیدات مختلف، آنالیز سطح‌بندی را برای دو منشأ تهدید، «حمله‌ی هوایی هدفمند» و تا حدودی «تروریستی سخت» انتخاب می‌گردد، زیرا از بین تهدیدات مختلف، عموماً آسیب فیزیکی وارده بر زیرساخت‌ها در اثر این دو تهدید، بیش از سایر تهدیدات است.

۳. تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری: ارزیابی صحیح و دقیق میزان آسیب‌پذیری، داده‌های مهم را برای مطالعه و برطرف ساختن خلأهای حفاظتی و پدافندی فراهم می‌آورد. برای تأمین مناسب و مطلوب نیازهای پدافندی برای برقراری امنیت در زیرساخت مورد نظر متناسب با سطوح دسترسی، پیش از هر چیز باید تجزیه و تحلیل دقیقی برای مشخص‌ساختن میزان آسیب‌پذیری صورت گیرد. بر این اساس آسیب‌پذیری باید به‌منزله‌ی ضعف‌های زیرساخت در برابر تهدیدات احتمالی دشمن قلمداد شود [۱۶].

۴. مدل‌سازی پیامد: طبق تعریف به‌کار گرفته شده در ایزو ۳۱۰۰۰ پیامدها عبارت‌اند از اثرات بالقوه‌ی دشمن بر فضای فیزیکی زیرساخت و جمعیت حاضر در زیرساخت در اثر یک حمله‌ی موفقیت‌آمیز [۱۷]. هر حادثه‌ای می‌تواند منجر به دامنه‌ی وسیعی از پیامدها شود و دشمنان معمولاً درصدد ایجاد بدترین و بیشترین خسارات به دارایی‌ها هستند، لذا در بررسی پیامدها باید بدترین حالت ممکن ناشی از رخداد تهدید، مدنظر قرار گیرد. نکته‌ی دیگر آن است که یک پیامد می‌تواند قطعی و یا غیرقطعی باشد و می‌تواند تأثیرات مثبت و یا منفی بر اهداف داشته باشد که عواقب آن می‌توانند به صورت کمی و یا کیفی بیان شوند و بر اساس شاخص‌هایی از قبیل شدت، عمق و گستره جغرافیایی خسارت و پیامدهای انسانی دسته‌بندی و سنجیده می‌شوند [۱۸].

مؤلفه‌های پیامد معمولاً تأثیراتی را توصیف می‌کنند که وقوع یک بحران یا خطر ممکن است بر روی انسان، ساختارهای شهری (شامل زیرساخت‌ها و اقتصاد) و محیط داشته باشد. به‌طورکلی به‌منظور شناسایی و تعیین پیامدهای یک بحران، سه فاکتور اصلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد: ۱. تعداد تلفات انسانی؛ ۲. تعداد مصدومین؛ ۳. میزان خرابی‌ها در قالب هزینه (واحد پول رایج) [۱۹].

روش‌شناسی

در هر زیرساخت مجموعه‌ای از دارایی‌ها همچون سازه، تجهیزات، نیروی انسانی، اطلاعات و اعتبار سازمان وجود دارد. این دارایی‌ها اموال منقول و غیرمنقولی هستند که زیرساخت‌ها را تشکیل می‌دهند. نگاه تحلیل در این بخش به صورت کل‌نگر به دارایی‌های یک زیرساخت است و هدف از این مرحله بررسی تک‌تک دارایی‌ها در زیرساخت مذکور نیست. برای مثال در یک زیرساخت همچون نیروگاه، هدف تولید برق است، این زیرساخت شاید از تجهیزات زیادی تشکیل شده باشد و هر یک در سازه‌های مختلف و با فاصله از یکدیگر تعبیه شده باشند، درحالی‌که تمامی دارایی‌ها در این نیروگاه برای خدمت‌رسانی به یک دارایی هدف که وظیفه‌ی آن تولید برق است تلاش می‌کنند.

در این پژوهش هدف انجام ارزیابی ریسک امنیتی برای تک‌تک زیرساخت‌ها نیست. بلکه با تعدادی فرض ساده‌شونده، زیرساخت‌هایی که برای دشمنان از جذابیت بسیار بالایی برای اعمال تهدید (از طریق حملات هدفمند) برخوردارند، به ترتیب اولویت شناسایی می‌گردد و سناریوهای تحلیل خسارت مستقل زیرساخت‌ها در اثر حملات هدفمند طرح‌ریزی می‌گردد. به‌منظور پیاده‌سازی مدل اولویت‌بندی زیرساخت‌ها فرض‌های زیر اعمال می‌گردد:

- فرض ۱: در این مقاله فرض می‌گردد که دشمن در صورت تمایل به حمله‌ی هوایی هدفمند بر یک زیرساخت، از بین سازه‌ها و دارایی‌های موجود، دارایی هدف که تولید اصلی در زیرساخت مذکور در آن صورت می‌گیرد را شناسایی نموده و به کمک ابزارهای پیشرفته و با دقت بالای نقطه‌زنی سعی در تخریب آن دارایی هدف را دارند. بر اساس این فرض، مبحث دارایی‌شناسی الگوهای ارزیابی ریسک مرتفع می‌گردد.
- فرض ۲: در این مقاله فرض می‌گردد که تهدیدگر از ابزاری برای تهدید استفاده می‌کند که اولاً از قابلیت ردیابی بسیار پایین برخوردار است و ثانیاً قابلیت بسیار بالایی در دقت هدف‌گیری دارد. بر اساس این فرض، مبحث تهدیدشناسی الگوهای ارزیابی ریسک مرتفع می‌گردد.
- فرض ۳: پس از مشخص شدن زیرساخت مورد حمله (بر اساس مدل اولویت‌بندی زیرساخت‌ها)، به‌منظور مرتفع نمودن مبحث آسیب‌پذیری الگوی ارزیابی ریسک امنیتی، میزان آسیب‌پذیری زیرساخت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس سه سناریو فرض می‌گردد:
  - سناریوی ۱: آسیب‌پذیری کامل (۱۰۰٪)؛
  - سناریوی ۲: آسیب‌پذیری متوسط (۵۰٪)؛
  - سناریوی ۳: آسیب‌پذیری کم (۲۵٪).

گام‌های لازم برای سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها

بر این اساس به‌منظور سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها، باید گام‌های زیر برداشته شود:

گام اول: ارائه‌ی معیارهای اصلی سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها

معیارهای مختلفی برای اولویت‌بندی مراکز ثقل ارائه شده است. برای مثال سازمان پدافند غیرعامل کشور در سند «دستورالعمل سطح‌بندی مراکز ثقل کشور»، هشت معیار کلی، هشت معیار فرعی و ۴۲ شاخص تخصصی ارائه داده است که این معیارها به همراه وزن هر یک در جدول ۱ قابل مشاهده است [۲۰]. علی‌رغم ارائه‌ی معیارهای مناسب برای سطح‌بندی زیرساخت‌های حیاتی در جدول ۱، به دلایل زیر در این مقاله نمی‌توان تنها از این معیارها استفاده نمود.

۱. معیارهایی که در جدول ۱ تهیه شده است تا حدودی با نگاه جامع‌نگر به‌تمامی تهدیدات توجه داشته است؛ درحالی‌که در این مقاله تنها به حملات هدفمند یا حملات تروریستی سخت تمرکز دارد.

۲. معیارهایی که توسط این دستورالعمل ارائه شده است، تا حدودی از واژه‌های غیرملموس در مدیریت بحران استفاده شده است و تا حدودی برداشت از واژه‌ها برای افرادی که اقدام به پرنمودن پرسش‌نامه‌ها می‌کنند، متفاوت است و پیاده‌سازی آن برای منطقه‌ی مورد مطالعه دشوار است. بر این اساس در امتیاز هر زیرساخت ایجاد خطا می‌کند. برای مثال برای معیار اصلی «گستره‌ی حوزه‌ی نفوذ» از ۳ معیار فرعی «پهنه‌ی نفوذ فعالیت»، «کمیت پوشش» و «کیفیت پوشش» استفاده شده است که تا حدودی این معیارهای فرعی گنگ است.

۳. عموماً شاخص‌های به کار رفته شده، به صورت کیفی و بدون هیچ سنجه‌ی اندازه‌گیری است. برای مثال برای معیار «کمیت پوشش» از ۳ شاخص «جمعیت کم»، «جمعیت متوسط» و «جمعیت زیاد» استفاده شده است که هیچ سنجه‌ای برای جمعیت کم ارائه نشده است. ازاین‌رو در زمان جمع‌آوری امتیاز هر زیرساخت می‌تواند ایجاد خطا نماید.

جدول ۱: معیارهای سطح‌بندی مراکز ثقل کشور توسط سازمان پدافند غیرعامل

ردیف	معیارهای کلی	امتیاز/نمره	ملاحظات
۱	اهمیت اساسی	۱۵	دارای (۱) معیار فرعی و (۵) شاخص کیفی
۲	گستره‌ی حوزه‌ی نفوذ	۱۶	دارای (۳) معیار فرعی و (۱۰) شاخص کیفی
۳	عمق اثرگذاری در اداره‌ی کشور	۱۷	دارای (۱) معیار فرعی و (۷) شاخص کیفی
۴	امکان جایگزینی	۶	دارای (۳) معیار فرعی و (۳) شاخص کیفی
۵	منحصربه‌فرد بودن	۱۵	دارای (۶) شاخص کیفی
۶	نقش‌آفرینی	۷	دارای (۳) شاخص کیفی
۷	ارزش سرمایه‌ای	۱۵	دارای (۱) معیار فرعی و (۸) شاخص کیفی
۸	تبعات آسیب دیدن (پیامد)	۹	دارای (۳) شاخص کیفی
مجموع	(۸) معیار کلی	۱۰۰	مجموعاً (۸) معیار فرعی و (۴۲) شاخص کیفی

جدول ۲: دسته‌بندی معیارهای سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها

ردیف	معیارهای اصلی	معیارهای فرعی	شاخص‌های تخصصی
۱	ماهیت بنیادی زیرساخت مورد نظر	دارای (۷) معیار فرعی	دارای (۳۵) شاخص کیفی (به ازای هر معیار فرعی، ۵ شاخص)
۲	محیط پیرامونی زیرساخت مورد نظر	دارای (۵) معیار فرعی	دارای (۲۵) شاخص کیفی (به ازای هر معیار فرعی، ۵ شاخص)
۳	ملاحظات پدافندی	دارای (۵) معیار فرعی	دارای (۲۵) شاخص کیفی (به ازای هر معیار فرعی، ۵ شاخص)
۴	پیامدهای مترتب ناشی از حمله‌ی هدفمند	دارای (۵) معیار فرعی	دارای (۲۵) شاخص کیفی (به ازای هر معیار فرعی، ۵ شاخص)
۵	نحوه‌ی وابستگی زیرساخت مورد نظر	دارای (۳) معیار فرعی	دارای (۱۵) شاخص کیفی (به ازای هر معیار فرعی، ۵ شاخص)
مجموع	(۵) معیار اصلی	(۲۵) معیار فرعی	(۱۲۵) شاخص کیفی با سنجه‌ی قابل اندازه‌گیری

بر این اساس در این بخش براساس مطالعه بر روی تحقیقات مختلف [۴، ۵، ۲۱ و ۲۲] و همچنین با الهام از دستورالعمل عمومی سطح‌بندی مراکز ثقل [۲۰]، ۵ معیار اصلی، ۲۵ معیار فرعی و ۱۲۵ شاخص تخصصی مطابق جدول ۲ ارائه گردید.

گام دوم: ارائه‌ی وزن اهمیت هر یک از معیارهای اصلی اولویت‌بندی زیرساخت‌ها

همان‌طور که در فوق به آن اشاره شد، اشکالاتی به دسته‌بندی معیارهای موجود در جدول ۱ وارد است؛ ولی با توجه به اینکه این دسته‌بندی در قالب دستورالعملی در سازمان پدافند غیرعامل منتشر شده است، در این مقاله سعی شده است ماهیت معیارها به‌طور کامل عوض شود و برای تعیین وزن هر یک از معیارهای ارائه‌شده در جدول ۲، بر اساس امتیاز معیارهای اصلی جدول ۱ به‌صورت ذیل تعیین گردد:

- با توجه به اینکه گزینه‌ی «ماهیت بنیادی زیرساخت موردنظر» از تلفیق دو معیار «منحصر به فرد بودن» و «ارزش سرمایه‌ای» جدول ۱ تشکیل شده است، وزن این گزینه ۳۰ از ۱۰۰ اعمال می‌گردد.
- با توجه به اینکه گزینه‌ی «محیط پیرامونی زیرساخت موردنظر» از تلفیق دو معیار «گستره‌ی حوزه‌ی نفوذ» و نیمی از ارزش معیار «عمق اثرگذاری در اداره‌ی کشور» جدول ۱ تشکیل شده است، وزن این گزینه ۲۵ از ۱۰۰ اعمال می‌گردد.
- با توجه به اینکه گزینه‌ی «ملاحظات پدافندی زیرساخت موردنظر» از تلفیق معیار «نقش آفرینی» و نیمی از ارزش معیار «اهمیت اساسی» جدول ۱ تشکیل شده است، وزن این گزینه ۱۴ از ۱۰۰ اعمال می‌گردد.
- با توجه به اینکه گزینه‌ی «پیامدهای مترتب ناشی از تهدید» از تلفیق دو معیار «امکان جایگزینی» و «تبعات آسیب‌دیدن (پیامد)» جدول ۱ تشکیل شده است، وزن این گزینه ۱۵ از ۱۰۰ اعمال می‌گردد.
- با توجه به اینکه گزینه‌ی «نحوه‌ی وابستگی زیرساخت موردنظر» از تلفیق نیمی از ارزش دو معیار «عمق اثرگذاری در اداره‌ی کشور» و بخشی از معیار «اهمیت اساسی» جدول ۱ تشکیل شده است، وزن این گزینه ۱۶ از ۱۰۰ اعمال می‌گردد.

گام سوم: بی مقیاس‌سازی وزن اهمیت هر یک از معیارهای اصلی

هر یک از معیارهای اصلی دارای مقیاس اندازه‌گیری خاص خود هستند که این کار مقایسه‌ی مقادیر آن‌ها با یکدیگر را غیرممکن می‌سازد. لذا باید بر اساس تکنیک‌های بی‌مقیاس‌سازی، آن‌ها را مستقل از واحد اندازه‌گیری کرد تا بتوان عمل مقایسه را انجام داد. تکنیک‌های مختلفی همانند روش نرم (اقلیدسی) [۲۳]، روش خطی [۲۴] و روش نرمالیزه [۲۵] به‌منظور بی‌مقیاس‌سازی و نرمال نمودن وزن‌ها وجود دارد که به‌منظور بی‌مقیاس‌سازی در این مقاله از روش نرمالیزه استفاده می‌گردد که نتایج بی مقیاس‌سازی وزن هر یک از معیارهای اصلی مطابق جدول ۳ است.

گام چهارم: تعیین معیارهای فرعی هر یک از معیارهای اصلی

جدول ۳: نتایج بی‌مقیاس‌سازی وزن اهمیت معیارهای اصلی

شماره	وزن معیار اصلی	وزن نرمال
۱	۳۰	۰،۳
۲	۲۵	۰،۲۵
۳	۱۴	۰،۱۴
۴	۱۵	۰،۱۵
۵	۱۶	۰،۱۶
مجموع	۱۰۰	۱

دسته‌بندی معیارهای فرعی برای هر یک از پنج معیار اصلی مطابق جدول ۲ و عناوین معیارهای فرعی برای هر یک از پنج معیار اصلی، مطابق تصویر ۱ ارائه می‌گردد.

گام پنجم: تهیه‌ی وزن اهمیت هر یک از معیارهای فرعی

عموماً مبنای ارزش‌گذاری معیارهای کیفی به دو صورت طیف لیکرت و روش دوقطبی است (تصویر ۲). در این مرحله وزن اهمیت هر یک از معیارهای فرعی بر اساس نظر خبرگان و امتیازهای روش ۲ قطبی گردآوری می‌گردد. گفتنی است علی‌رغم کمبود تعداد متخصصان و صاحبنظران در این حوزه، ۳۱ نفر شناسایی شدند که ۲۰ نفر دارای مدرک کارشناسی ارشد و ۱۱ نفر دارای مدرک دکتری بودند. ۱۵ نفر از این افراد فارغ‌التحصیل رشته‌ی پدافند غیرعامل، ۱۰ نفر فارغ‌التحصیل رشته‌ی عمران و ۶ نفر فارغ‌التحصیل سایر رشته‌ها ولی با سابقه‌ی انجام مطالعات در حوزه‌ی پدافند و زیرساخت‌های حیاتی بودند. تمامی این افراد جامعه‌ی آماری این مطالعه محسوب می‌شوند. در جدول ۲، میانگین نتایج نظر خبرگان برای پنج دسته معیار فرعی قابل مشاهده است.

گام ششم: تعیین روایی و پایایی

پس از تهیه‌ی معیارها، گام بعدی تعیین وزن اهمیت هر یک از معیارهاست. برای این منظور پرسش‌نامه‌ای تهیه گردید و در بین نمونه‌ی تحقیق توزیع گردید. گفتنی است، به طور کلی دو سؤال مهم در بررسی یافته‌های یک طرح تحقیق مطرح می‌شود؛ اول اینکه نسبت به یافته‌های تحقیق یک طرح، تا چه اندازه می‌توان اطمینان داشت؟ در پاسخ به این سؤال باید اعتبار درون تحقیق را مد نظر قرار داد. سؤال دوم این است که تا چه اندازه می‌توان یافته‌های تحقیق را به جوامع دیگر و شرایط گوناگون تعمیم داد؟ این سؤال با اعتبار بیرونی تحقیق سر و کار دارد.

- روایی (اعتبار)

مقصود از روایی آن است که وسیله‌ی اندازه‌گیری‌های نامناسب و ناکافی، می‌تواند هر نوع پژوهش علمی را بی ارزش و ناروا سازد [۲۶]. به همین منظور برای اینکه پرسش‌نامه بتواند صلاحیت لازم را از نظر روایی پیدا کند، از روش روایی محتوا استفاده می‌شود. در این راستا و برای اطمینان از روایی، پرسش‌نامه‌ی طراحی‌شده در اختیار خبرگان موضوع، از جمله اساتید مدیریت بحران و پدافند غیرعامل و مدیران حوزه‌ی پدافند غیرعامل برخی از زیرساخت‌های حیاتی کشور قرار گرفت و با توجه به بازخوردهای دریافت شده تغییرات لازم اعمال گردید.

- پایایی (اعتماد)

پایایی یکی از ویژگی‌های فنی ابزار اندازه‌گیری (پرسش‌نامه) است. مفهوم یاد شده با این امر سروکار دارد که ابزار اندازه‌گیری در شرایط یکسان تا چه اندازه نتایج یکسان تولید می‌کند. به عبارت دیگر اگر ابزار اندازه‌گیری را در یک فاصله‌ی زمانی کوتاه چندین بار و به گروه واحدی از افراد اختصاص داد، باید نتایج حاصل، نزدیک هم گردد. برای محاسبه‌ی ضریب پایایی یا قابلیت اعتماد، شیوه‌های مختلفی به کار برده می‌شوند که از آن جمله می‌توان به اجرای دوباره (روش باز آزمایی)، روش موازی (همتا)، روش تصنیف (دو نیمه‌کردن عبارات پرسش‌نامه و محاسبه‌ی همبستگی نمرات دو دسته)، روش کودر ریچاردسون و روش آلفای کرونباخ اشاره کرد [۲۶].

در این پژوهش برای اندازه‌گیری قابلیت اعتماد پرسش‌نامه از روش آلفای کرونباخ استفاده شده است. این روش برای محاسبه‌ی هماهنگی درونی پرسش‌نامه به کار می‌رود. برای محاسبه‌ی ضریب آلفای کرونباخ باید واریانس نمره‌های هر زیر مجموعه سؤال‌های پرسش‌نامه و واریانس کل را محاسبه کرد، سپس با استفاده از رابطه‌ی ۱ ضریب آلفا را محاسبه نمود [۲۶]:

رابطه‌ی ۱:

$$\alpha = \left(\frac{n}{n-1}\right) * \left(1 - \frac{\sum si^2}{st^2}\right)$$

$$\alpha = \left(\frac{n}{n-1}\right) * \left(1 - \frac{\sum si^2}{st^2}\right)$$

که در آن n تعداد سؤال‌ها، si^2 واریانس سوال i، st^2 واریانس کل است. هرچه این ضریب به مثبت یک نزدیک‌تر باشد قابلیت اعتماد پرسش‌نامه نیز بیشتر است. با استفاده از نرم‌افزار SPSS مقدار ضریب آلفای کرونباخ ۰/۹۳ برآورد گردید، که با توجه به آنکه از مقدار قابل قبول یعنی ۰/۷ بیشتر است، می‌توان نتیجه گرفت که پرسش‌نامه‌ی حاضر دارای پایایی قابل قبولی است.

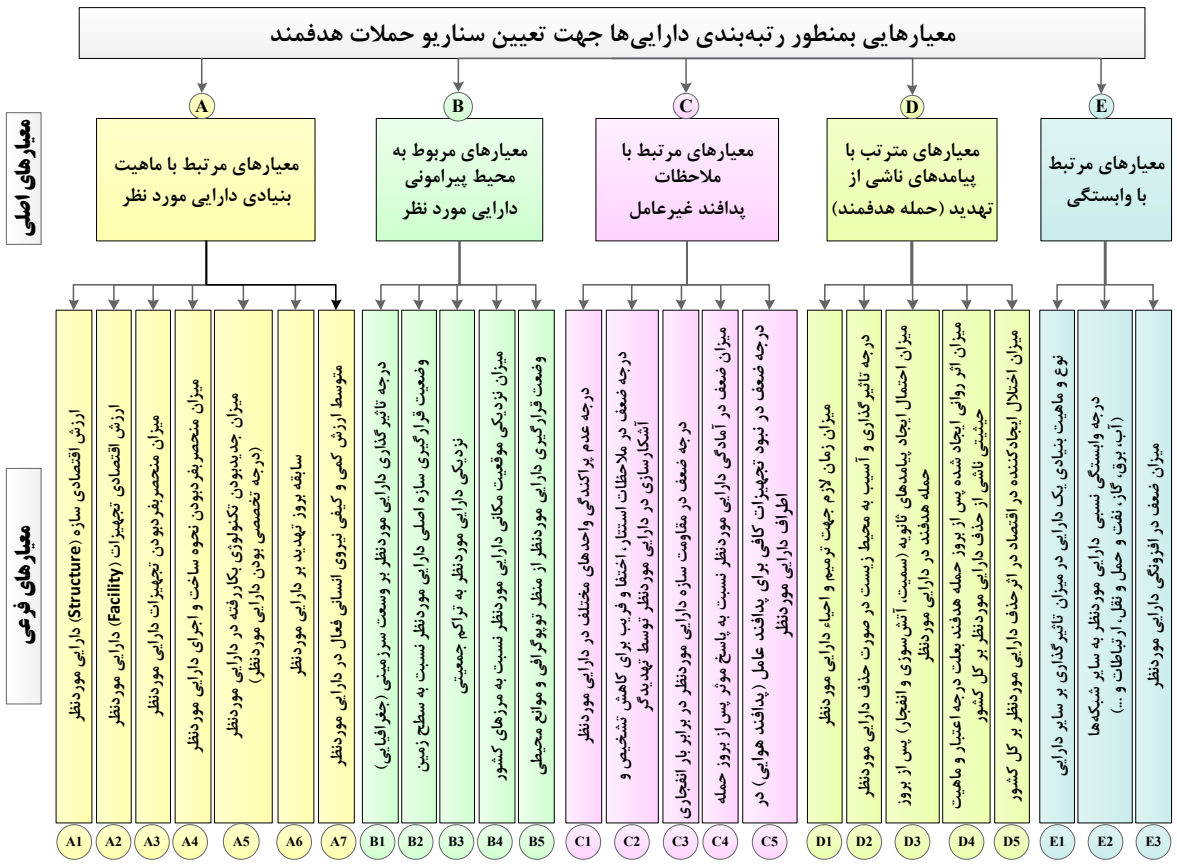
گام هفتم: بی‌مقیاس‌سازی وزن اهمیت هریک از معیارهای فرعی

در این مرحله بر اساس روش نرمالیزه، مقادیر وزن اهمیت معیارهای فرعی، بی‌مقیاس می‌شوند. نتایج بی‌مقیاس‌سازی پنج گروه معیار فرعی در جدول ۴ محاسبه شده است.

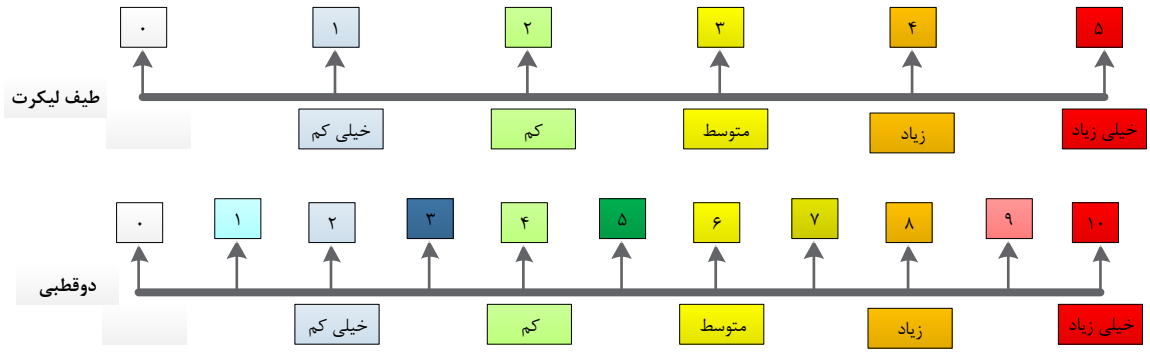
گام هشتم: تهیه‌ی شاخص‌های هریک از معیارهای فرعی

شاخص‌های اندازه‌گیری برای هر یک از معیارهای فرعی، مطابق تصاویر ۳ تا ۷ است. چنان‌که در تصویر ۳، شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی «ماهیت بنیادی زیرساخت»، در تصویر ۴ شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی «محیط پیرامونی زیرساخت»، در تصویر ۵ شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی «ملاحظات پدافندی»، در تصویر ۶ شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی پیامدهای مترتب با حمله‌ی هدفمند و در تصویر ۷ شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی مرتبط با «نحوه‌ی وابستگی» قابل مشاهده است.

گام نهم: تجمیع امتیازهای تمامی پنج معیار اصلی و ۲۵ معیار فرعی



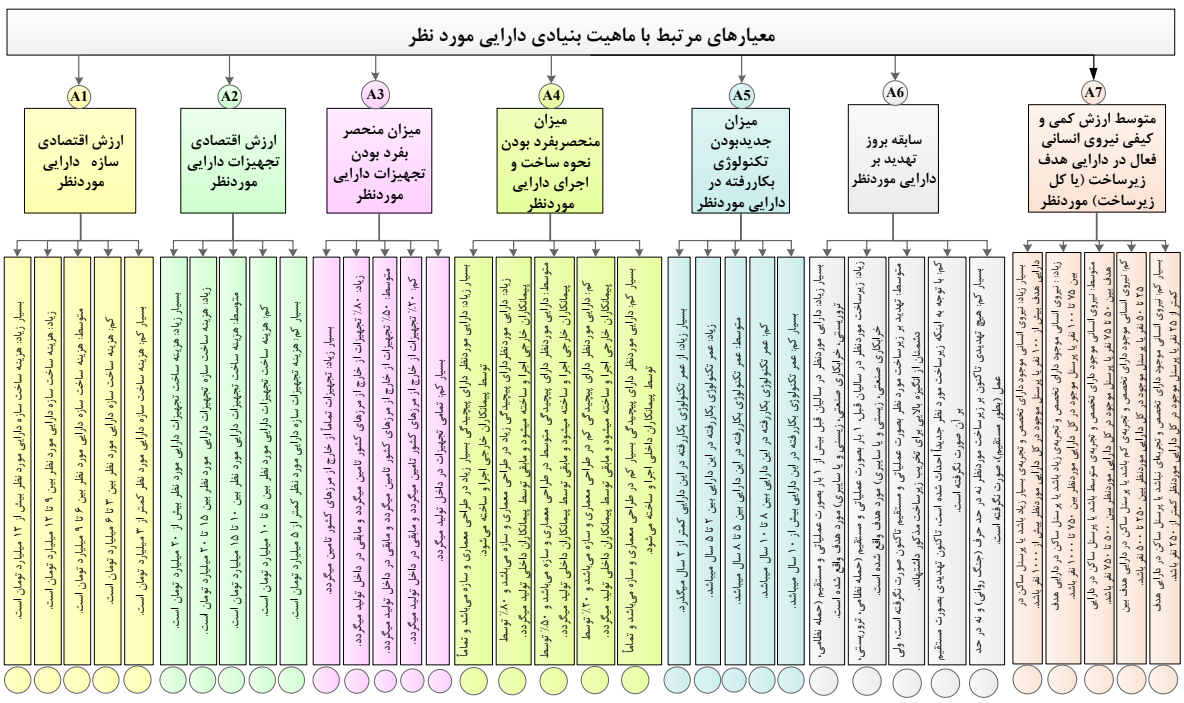
تصویر ۱: نمایش معیارهای اصلی و فرعی به‌منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها برای اعمال تهدید از طریق حملات هدفمند



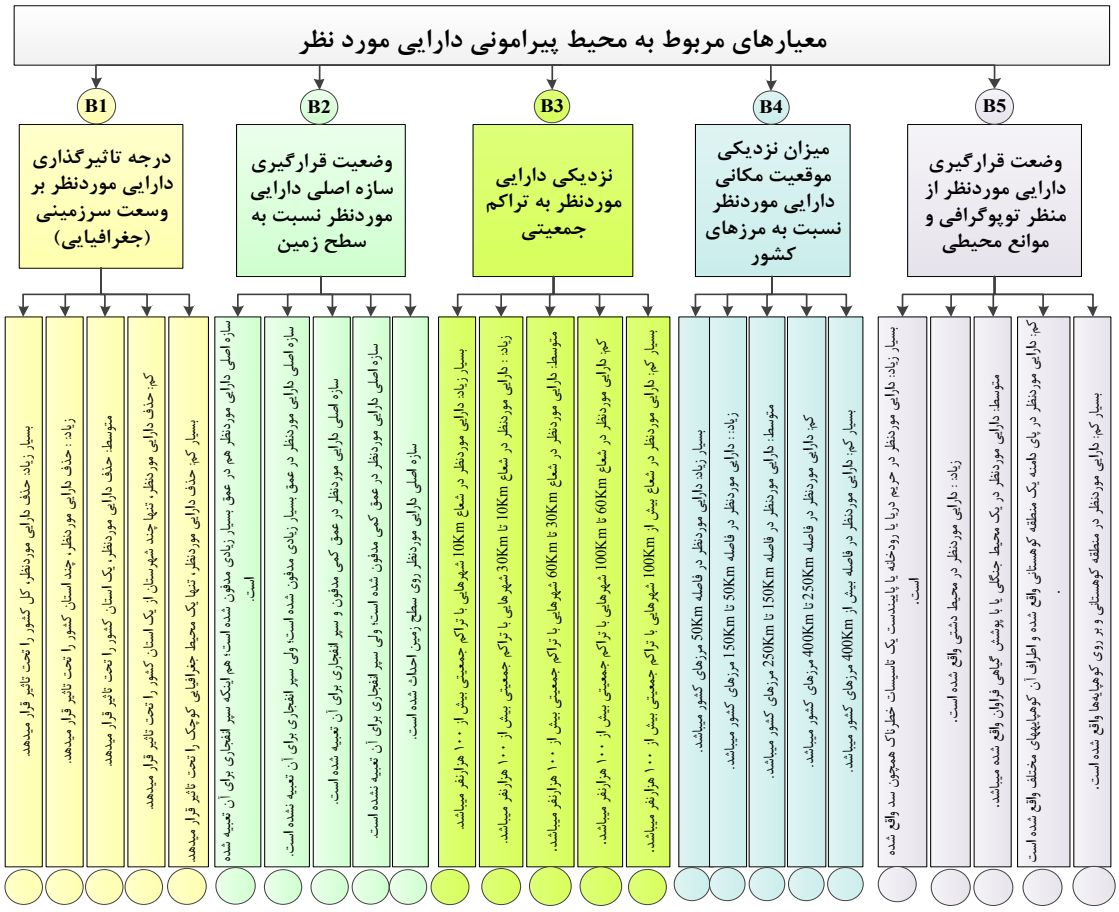
تصویر ۲: امتیازات طرح کلی دو روش طیف لیکرت و دوقطبی

جدول ۴: میانگین وزن نظرات خبرگان برای هر یک از معیارهای فرعی و تعیین وزن نرمال‌شده برای هر گروه از معیارهای فرعی

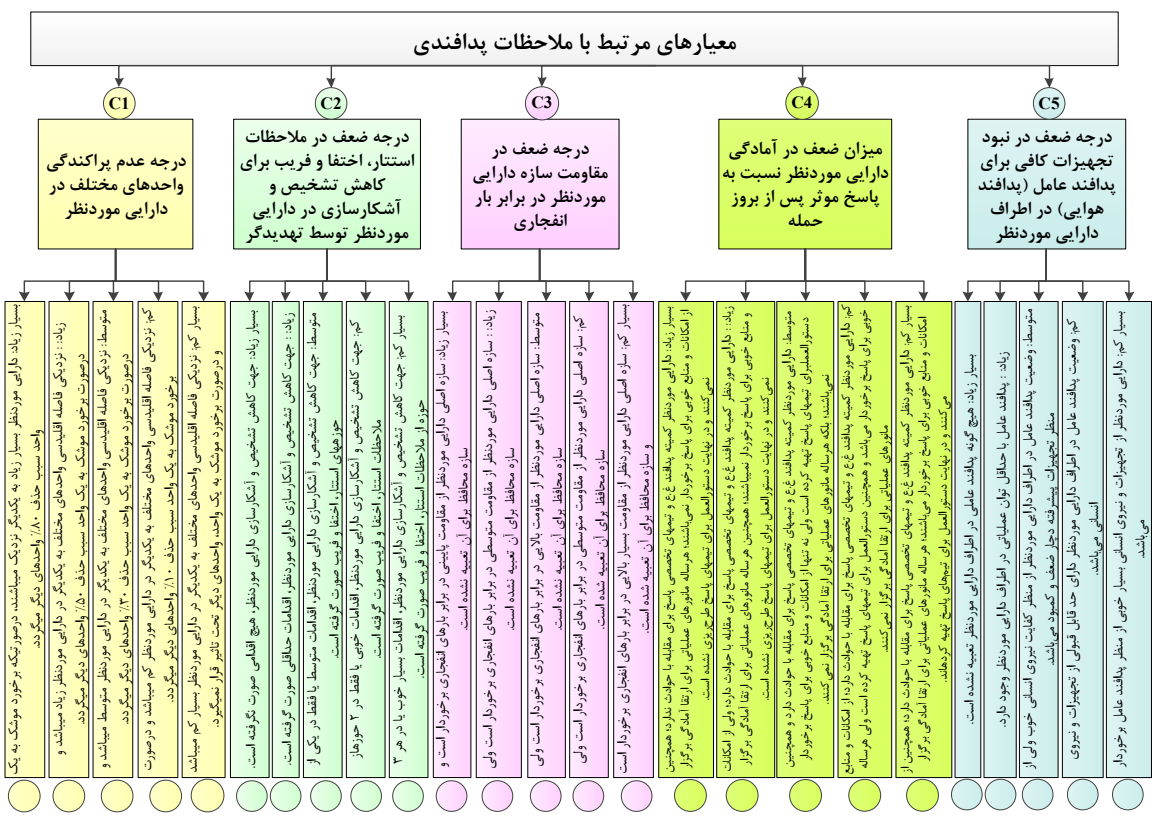
معیارهای فرعی گروه ۵ (براساس معیار اصلی پنجم)			معیارهای فرعی گروه ۴ (براساس معیار اصلی چهارم)			معیارهای فرعی گروه ۳ (براساس معیار اصلی سوم)			معیارهای فرعی گروه ۲ (براساس معیار اصلی دوم)			معیارهای فرعی گروه ۱ (براساس معیار اصلی اول)		
وزن نرمال	وزن معیار فرعی ۵	شماره	وزن نرمال	وزن معیار فرعی ۴	شماره	وزن نرمال	وزن معیار فرعی ۳	شماره	وزن نرمال	وزن معیار فرعی ۲	شماره	وزن نرمال	وزن معیار فرعی ۱	شماره
۰,۲۸	۷,۱۸	۱	۰,۲۶	۹,۹	۱	۰,۲۵۵	۹,۲	۱	۰,۲۳۷	۹,۳۱	۱	۰,۱۲۹	۷,۵	۱
۰,۳۹	۹,۹۵	۲	۰,۱۶	۶,۲۵	۲	۰,۱۴۴	۵,۲	۲	۰,۲۰۷	۸,۱۲	۲	۰,۱۴۳	۸,۳	۲
۰,۳۲	۸,۱۷	۳	۰,۲۴	۹,۱۵	۳	۰,۲۳	۸,۳	۳	۰,۲۵۳	۹,۹۲	۳	۰,۱۷۰	۹,۸۵	۳
۱	۲۵,۳	مجموع	۰,۱۴	۵,۲۵	۴	۰,۱۷	۶,۱۵	۴	۰,۱۶۷	۶,۵۴	۴	۰,۱۶۱	۹,۳۲	۴
			۰,۲۱	۸,۱	۵	۰,۲۰۱	۷,۲۵	۵	۰,۱۳۶	۵,۳۵	۵	۰,۱۴۱	۸,۱۵	۵
			۱	۳۸,۶۵	مجموع	۱	۳۶,۱	مجموع	۱	۳۹,۲۴	مجموع	۰,۰۹۸	۵,۶۷	۶
												۰,۱۵۸	۹,۱۴	۷
												۱	۵۷,۹۳	مجموع



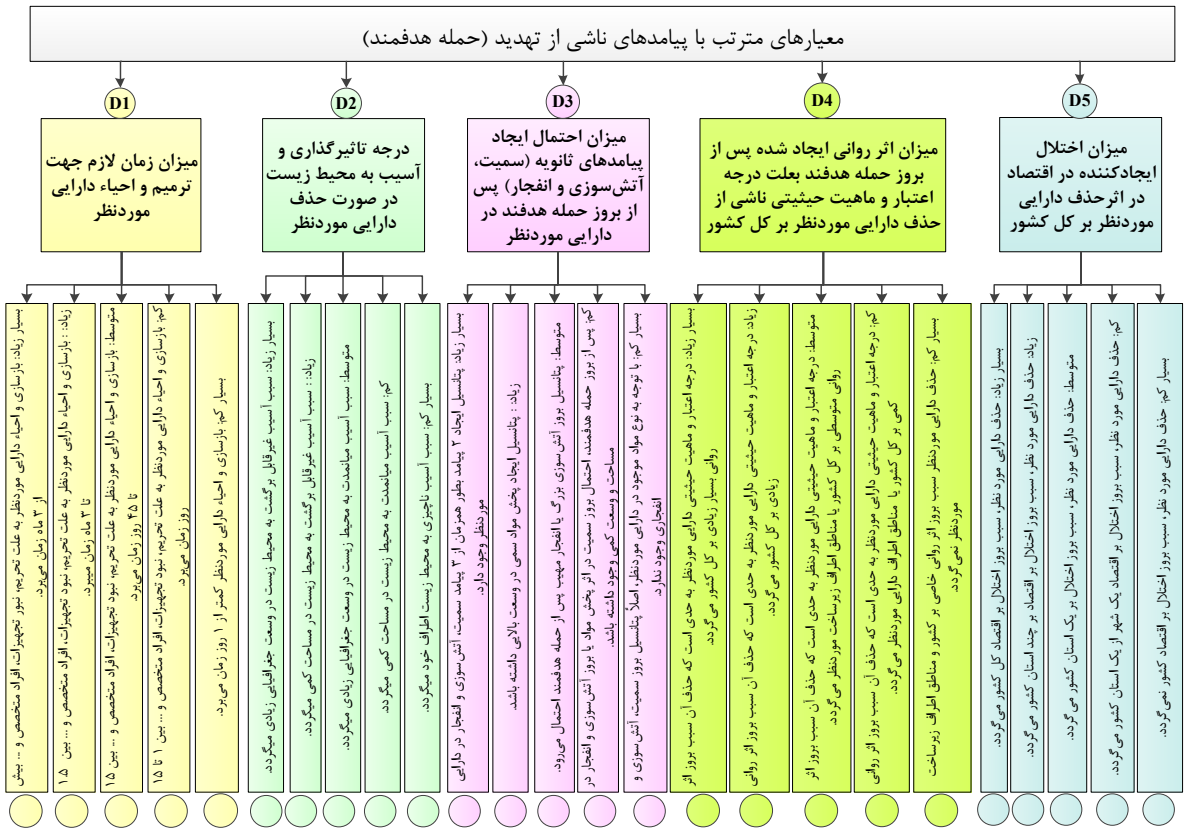
تصویر ۳: شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی «ماهیت بنیادی زیرساخت» به‌منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها



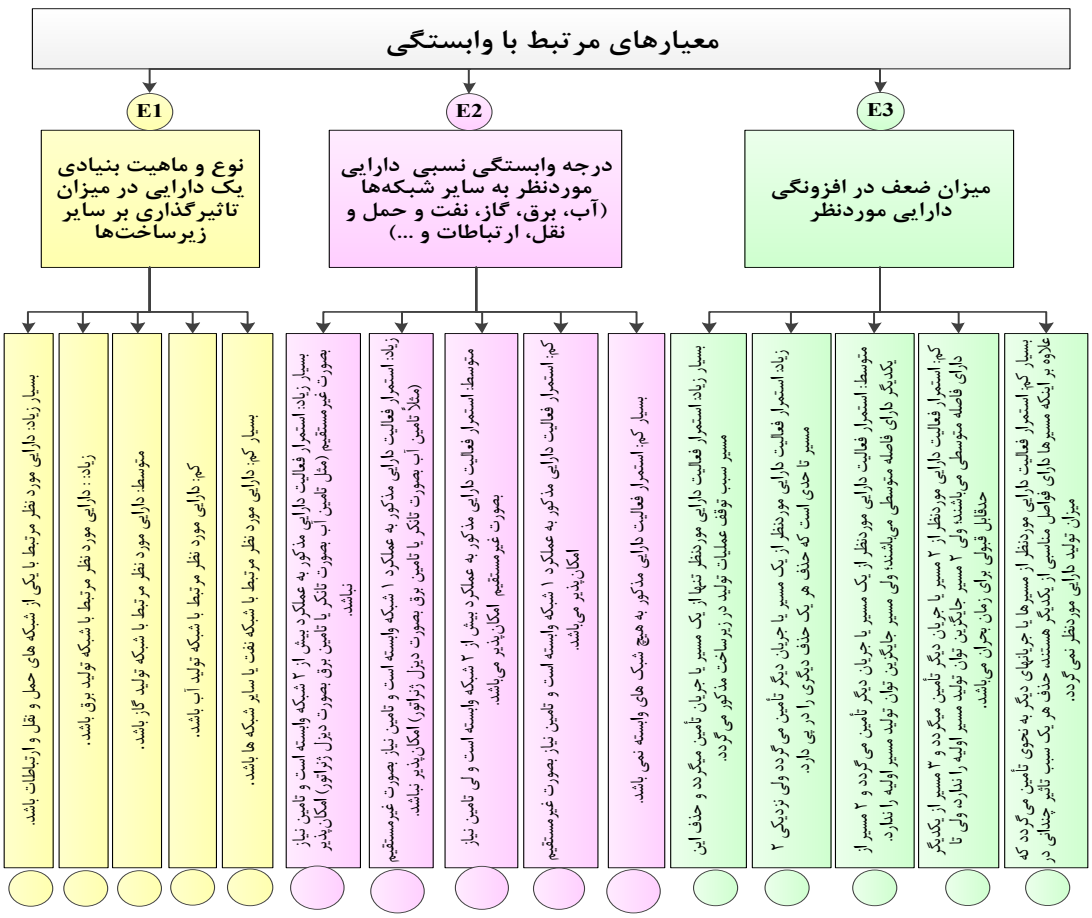
تصویر ۴: شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار «محیط پیرامونی زیرساخت» به‌منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها



تصویر ۵: شاخص‌های هر یک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار «ملاحظات پدافندی» به‌منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها



تصویر۶: شاخص‌های هریک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار «پیامدهای مترتب با حمله‌ی هدفمند»



تصویر۷: شاخص‌های هریک از معیارهای فرعی مرتبط با معیار اصلی «نحوه‌ی وابستگی» به‌منظور رتبه‌بندی زیرساخت‌ها

در این مرحله برای هر زیرساخت، ۲۵ معیار فرعی وجود داشت که بر اساس شاخص‌های آن هر یک از ۲۵ معیار فرعی یک امتیازی از ۰ تا ۱۰ گرفته است. این امتیازها برای هر معیار فرعی در وزن اهمیت معیار فرعی و وزن اهمیت معیار اصلی متناظر آن ضرب شده و از مجموع این ۲۵ معیار فرعی، امتیاز نهایی هر گزینه (زیرساخت) محاسبه می‌شود. بر این اساس رتبه‌بندی زیرساخت‌های حیاتی در اثر حملات هدفمند ارزیابی می‌گردد و زیرساختی که امتیاز بالاتری دریافت نماید، نتیجه می‌گردد که در بالاترین رتبه برای حمله‌ی هدفمند مستقیم توسط دشمن اصلی قرار دارد و سناریوی میزان خسارت آن بر این اساس تدوین می‌گردد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها

پس از تعیین امتیاز و اولویت جذابیت هر زیرساخت برای دشمنان، تجزیه و تحلیل‌های آماری بر روی داده‌های تحلیل با دو هدف زیر صورت گرفت:

۱. تعیین درجه شباهت پاسخ‌دهندگان به هر یک از معیارها؛
۲. تعیین معیارهای فرعی با بیشترین تأثیر در هر دسته از معیارهای اصلی.

تحلیل‌های آماری به‌طور کلی به دو بخش عمده‌ی آمار ناپارامتریک و پارامتریک تقسیم می‌گردد. در اولین مرحله باید نوع تحلیلی (ناپارامتریک یا پارامتریک) که مورد نیاز آمارگر است، مشخص گردد و به تبع آن از آزمون‌های آماری مناسب برای هر تحلیل استفاده شود.

برای تصمیم‌گیری درخصوص اینکه از کدام یک از آزمون‌های آماری پارامتریک یا ناپارامتریک می‌توان استفاده نمود، باید نوع توزیع داده‌ها را تعیین نمود. چنانچه توزیع داده‌ها نرمال باشد، در ادامه باید از آزمون‌های آماری پارامتریک استفاده نمود، در غیر اینصورت باید از آزمون‌های ناپارامتریک بهره برد [۲۶].

آزمون مناسب برای تست نرمال بودن متغیرها، تست کولموگروف - اسمیرنوف[۴] است. آزمون فرض آن عبارت است از [۲۷]:

۱. H_0: توزیع داده‌ها مربوط به هریک از معیارهای فرعی نرمال است.
۲. H_1: توزیع داده‌ها نرمال نیست.

در نتیجه چنانچه میزان P-Value بیش از ۵ درصد باشد، داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کند، که با توجه به اینکه P-Value برای تمامی سؤالات پرسش‌نامه کمتر از ۰/۰۵ است، فرض صفر رد و توزیع داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. از این‌رو به‌منظور انجام تحلیل‌های آمار استنباطی، باید از آزمون غیر پارامتریک استفاده نمود.

آزمون کروسکال والیس

زمانی که فرض‌های بنیادی تحلیل واریانس مانند نرمال بودن توزیع داده‌ها و برابری واریانس گروه‌ها برقرار نباشد، از آزمون کروسکال والیس استفاده می‌شود. فرضیه‌ی صفر در این آزمون این است که میان گروه‌های مورد بررسی از نظر جمع رتبه‌هایشان تفاوتی وجود ندارد [۲۸].

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA[۵])، ابعاد کلیه‌ی مشاهدات را بر اساس شاخص ترکیبی و دسته‌بندی مشاهدات مشابه کاهش می‌دهد. روش فوق نه تنها یکی از با ارزش‌ترین نتایج کاربرد جبر خطی است که در کلیه اشکال تحلیلی از علوم شبکه‌های عصبی تا نمودارهای کامپیوتری استفاده می‌شود، چرا که یک روش آسان و غیر پارامتریک برای استخراج اطلاعات مرتبط از یک مجموعه داده پیچیده است [۲۹]. برای تعیین مؤلفه‌ها و متغیرهای اصلی، باید گام‌های زیر طی شود:

- گام اول: تعیین شاخص KMO[۶] و آزمون بارتلت[۷]

از آنجایی که روش PCA مستلزم وجود و قبول فرضیاتی درباره‌ی جامعه‌ی مورد مطالعه است، لازم است امکان استفاده از روش مذکور و نتایج به‌دست آمده از آن‌ها به وسیله‌ی عامل KMO یا آزمون بارتلت مشخص شود. شاخص KMO شاخصی از کفایت نمونه‌گیری است که کوچک بودن همبستگی بین متغیرها را بررسی می‌کند و آزمون بارتلت برای شناسایی ساختار به کار می‌رود. مقدار KMO بین صفر تا یک تغییر می‌کند. در صورتی که فاکتور تست مربوط به این روش کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای تجزیه و تحلیل عوامل اصلی مناسب نخواهند بود و اگر مقدار آن بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد، باید با احتیاط بیشتر به تجزیه و تحلیل عوامل پرداخت. اما در صورتی‌که مقدار آن بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تجزیه و تحلیل مناسب خواهد بود. در خصوص آزمون بارتلت چنانچه P-Value کوچک‌تر از ۵ درصد باشد؛ تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار مناسب است. زیرا فرض شناخته شده بودن ماتریس همبستگی رد می‌شود [۳۱].

- گام دوم: تعیین معیار استخراج تعداد عامل‌ها

معیار مقدار ویژه و معیار درصد واریانس و معیار تست بریدگی مهم‌ترین پارامترهای استخراج تعداد عوامل هستند که در این فرایند به کار گرفته می‌شوند [۳۰].

- اشتراک: میزان واریانس مشترک بین یک متغیر با دیگر متغیرهای به کار گرفته شده در تحلیل را نشان می‌دهد.
- مقدار ویژه: میزان واریانس تبیین‌شده به وسیله‌ی هر عامل را بیان می‌کند.
- معیار مقدار ویژه: هر عامل شامل یک یا چند متغیر است. مجذورات بارهای یک عامل نشان‌دهنده‌ی درصدی از واریانس ماتریس همبستگی است که به وسیله آن عامل تبیین می‌شود، این مقدار را مقدار ویژه می‌نامند. برای محاسبه آن کافی است ضریب همبستگی متغیرها را با یک عامل به توان برسانیم و با هم جمع کنیم تا مقدار ویژه آن عامل به دست آید. هر چه مقدار ویژه یک عامل بیشتر باشد، آن عامل واریانس بیشتری را تبیین می‌کند. بر این اساس تعداد

عامل‌ها با توجه به مقدار ویژه هر عامل مشخص می‌شود و عامل‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها بیشتر ازیک باشد، به عنوان عامل‌های معنی‌دار در نظر گرفته می‌شود [۲۹].

- معیار تست بریدگی: این معیار عامل‌ها را بر مبنایی تعیین می‌کند که هنوز میزان واریانس خاص بر واریانس مشترک غلبه نکرده باشد، بنابراین تا زمانی که مقدار واریانس مشترک بیشتر از مقدار واریانس خاص باشد، عامل‌های معنی‌دار استخراج می شود [۳۰]. برای تعیین تعداد عامل‌ها بر اساس این معیار، نمودار مقدار ویژه در برابر تعداد عامل‌ها رسم می‌شود.

- گام سوم: معیار درصد واریانس تجمعی

واریانس مشترک به نسبتی از واریانس گفته می‌شود که به وسیله‌ی عامل‌های مشترک تبیین می‌شود. در این حالت درصد واریانس تبیین‌شده مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد و عامل‌هایی استخراج می‌شوند که درصد واریانس بالایی را در بر داشته باشند. چنانچه مقدار واریانس کمتر از ۵۰ درصد باشد، باید متغیرهایی را که میزان اشتراک آنها کم است، حذف گردد [۳۱].

- گام چهارم: اجرای چرخش مناسب روی ماتریس ضرایب مؤلفه‌ها

چون در تشکیل هر مؤلفه از تمام متغیرهای اولیه استفاده می‌شود، تفسیر مؤلفه‌ها مشکل خواهد بود. به این دلیل روش‌هایی برای تفسیر ساده‌تر مؤلفه‌ها به وجود آمده است. این روش‌ها همان چرخش مؤلفه‌ها هستند که به دو نوع چرخش عمودی و مایل تقسیم می‌شوند. به دلیل اینکه در روش چرخش عمودی، استقلال بین مؤلفه‌ها حفظ می‌شود، این چرخش بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعات علمی بیشتر از چرخش واریماکس[۸] استفاده می‌شود که یکی از روش‌های چرخش عمودی است [۳۰]. این روش نسبت به بقیه‌ی روش‌ها نتایج بهتری را ایجاد می‌کند و به‌منزله‌ی چرخش استاندارد توصیه می‌گردد.

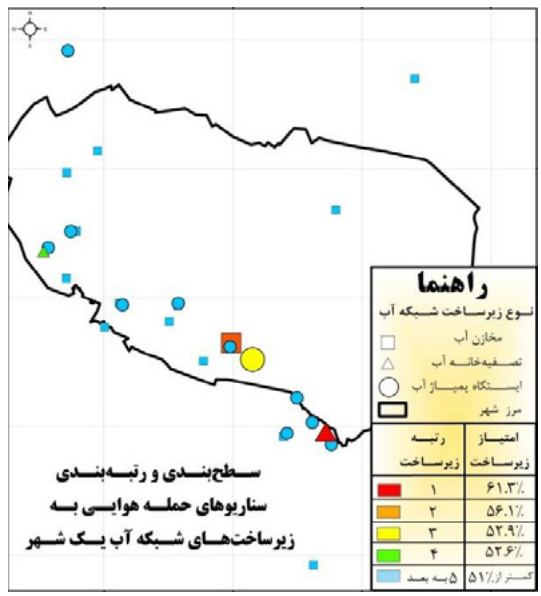
نتایج و بحث

نتایج اجرای مدل برای یک نمونه‌ی موردی

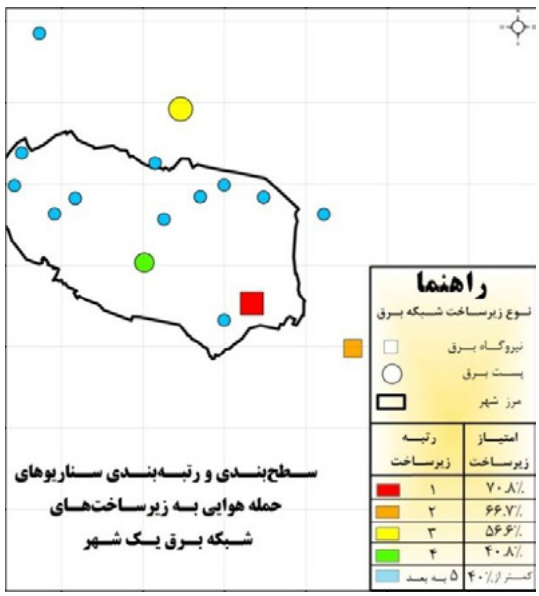
با توجه به گام‌های مطرح‌شده، این مدل برای زیرساخت‌های سه شبکه‌ی آب، برق و سوخت برای یک منطقه‌ی شهری فرضی پیاده‌سازی شد تا بتوان بهتر بر روی خروجی‌های موجود آن بحث و بررسی نمود. به‌منظور اجرای این مدل، از پنج معیار اصلی و ۲۵ معیار فرعی (تصویر ۱) و همچنین از ۱۲۵ شاخص ارائه‌شده در گام هفتم این مدل (تصاویر ۳ تا ۷) استفاده گردید و امتیازهای آن استخراج شد و بر اساس گام هشتم این مدل، امتیاز نهایی سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌ها برای هر یک از شبکه‌ها تعیین می‌گردد. مطابق نقشه‌ی پهنه‌بندی تصویر ۸، بیشترین امتیاز برای شبکه‌ی آب این شهر به ترتیب اولویت به تصفیه‌خانه‌ی آب شرقی شهر، یکی از مخازن آب، یکی از ایستگاه‌های پمپاژ و تصفیه‌خانه‌ی آب غربی شهر اختصاص دارد و سایر زیرساخت‌ها نیز در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

معیارهایی که در این چهار زیرساخت شبکه‌ی آب بیشترین تأثیر را داشتند عبارت‌اند از:

۱. ارزش اقتصادی سازه زیرساخت موردنظر؛
۲. درجه‌ی تأثیرگذاری زیرساخت موردنظر بر وسعت سرزمینی و جغرافیایی؛
۳. نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی؛
۴. درجه‌ی عدم پراکندگی واحدهای مختلف در زیرساخت موردنظر؛
۵. درجه‌ی ضعف در ملاحظات آفا برای کاهش تشخیص و آشکارسازی در زیرساخت موردنظر توسط تهدیدگر؛



تصویر ۸: سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌های شبکه‌ی آب در اثر حملات هدفمند



تصویر ۹: سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌های شبکه‌ی برق در اثر حملات هدفمند

۶. درجه‌ی ضعف در مقاومت سازه در برابر بار انفجاری.

با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی تصویر ۹، بیشترین امتیاز برای شبکه‌ی برق این شهر به ترتیب اولویت به نیروگاه برق مرکزی شهر، نیروگاه برق شرقی شهر، پست برق شمالی شهر و یکی از پست‌های برق مرکزی شهر اختصاص داشت. سایر زیرساخت‌ها در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

معیارهایی که در این چهار زیرساخت شبکه‌ی برق بیشترین تأثیر را داشتند عبارت‌اند از:

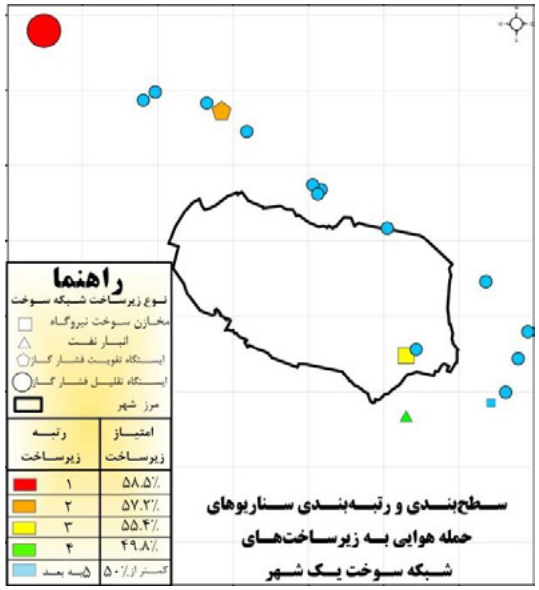
۱. درجه‌ی تأثیرگذاری زیرساخت موردنظر بر وسعت سرزمینی و جغرافیایی؛
۲. نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی؛
۳. ارزش اقتصادی سازه‌ی زیرساخت موردنظر؛
۴. نوع و ماهیت بنیادی یک زیرساخت در میزان تأثیرگذاری بر سایر زیرساخت‌ها.

با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی تصویر ۱۰، بیشترین امتیاز برای شبکه‌ی سوخت این شهر به ترتیب اولویت به ایستگاه تقلیل گاز شمال غربی شهر، ایستگاه تقویت گاز شمال غربی شهر، مخزن سوخت نیروگاه برق مرکزی شهر و انبار نفت جنوب شرقی شهر اختصاص داشت. سایر زیرساخت‌ها در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

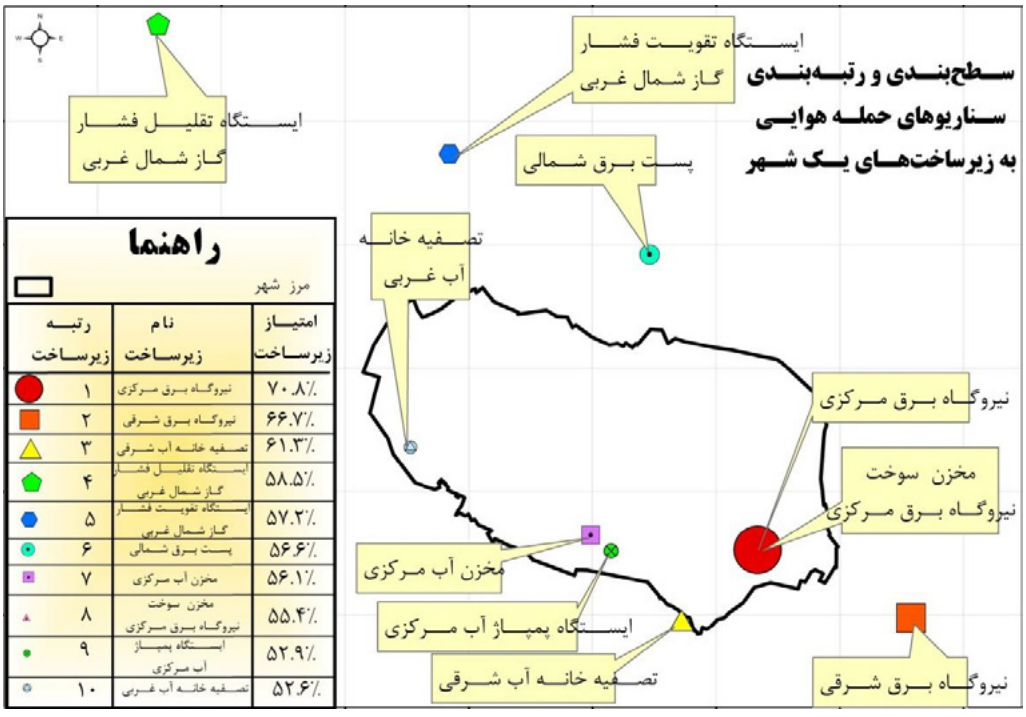
معیارهایی که در این چهار زیرساخت شبکه‌ی سوخت بیشترین تأثیر را داشتند عبارت‌اند از:

۱. ارزش اقتصادی تجهیزات زیرساخت موردنظر؛
۲. نزدیکی زیرساخت مورد نظر به تراکم جمعیتی؛
۳. درجه‌ی عدم پراکندگی واحدهای مختلف؛
۴. درجه‌ی ضعف در ملاحظات آفا برای کاهش تشخیص و آشکارسازی در زیرساخت موردنظر توسط تهدیدگر؛
۵. درجه‌ی ضعف در مقاومت سازه‌ی زیرساخت موردنظر در برابر بار انفجاری؛
۶. درجه‌ی ضعف در نبود تجهیزات کافی برای پدافند عامل (پدافند هوایی) در اطراف زیرساخت موردنظر؛
۷. میزان احتمال ایجاد پیامدهای ثانویه (سمیت، آتش‌سوزی و انفجار) در زیرساخت موردنظر.

به‌طور کلی پس از تلفیق امتیازات سطح‌بندی و رتبه‌بندی تمامی شبکه‌ها، رتبه‌بندی زیرساخت‌ها به همراه امتیاز و نام آن‌ها در تصویر ۱۱ قابل‌مشاهده است. معیارهایی که در این ۱۰ زیرساخت



تصویر ۱۰: سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌های شبکه‌ی سوخت در اثر حملات هدفمند



تصویر ۱۱: سطح‌بندی و اولویت‌بندی زیرساخت‌های شهر در اثر حملات هدفمند

منتخب منطقه‌ی فرضی، بیشترین تأثیر را برای بالابردن امتیاز رتبه زیرساخت‌ها دارا بودند، عبارت‌اند از:

۱. ارزش اقتصادی تجهیزات زیرساخت موردنظر؛
۲. درجه‌ی تأثیرگذاری بر وسعت سرزمینی و جغرافیایی؛
۳. نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی؛
۴. درجه‌ی عدم پراکندگی واحدهای مختلف؛
۵. درجه‌ی ضعف در ملاحظات آفا برای کاهش تشخیص و آشکارسازی در زیرساخت موردنظر توسط تهدیدگر.

نتایج تحلیل‌های آماری

نتایج آزمون کروسکال والیس

برای تعیین اینکه بین نظر و رتبه‌های پاسخ‌دهندگان برای هر شاخص اختلافی وجود دارد یا ندارد، از آزمون کروسکال والیس استفاده می‌شود. در جدول ۵ میانگین و انحراف معیار و همچنین نتایج آزمون کروسکال والیس در رتبه‌بندی نظرات پاسخ‌گویان را نشان می‌دهد. در این جدول رتبه‌بندی ۲۵ معیار فرعی از بین پنج معیار اصلی سطح‌بندی زیرساخت‌های حیاتی انجام شده است.

نتایج آزمون نشان می‌دهد که پنج معیار فرعی مهم در رتبه‌بندی به ترتیب عبارتند از:

۱. درجه‌ی وابستگی نسبی زیرساخت موردنظر نسبت به سایر شبکه‌ها؛
۲. نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی؛
۳. میزان زمان لازم برای ترمیم و احیای زیرساخت؛
۴. میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات زیرساخت موردنظر؛
۵. میزان منحصربه‌فرد بودن نحوه‌ی ساخت و اجرا.

گفتنی است براساس نظر پاسخ‌دهندگان در ۲۲ معیار از ۲۵ معیار، P-Value بیش از ۵ درصد برآورد شده است، از این‌رو می‌توان به تأیید فرض صفر و نبود تفاوت بین رتبه‌هایی که پاسخ‌دهندگان به شاخص‌ها داده‌اند، اشاره نمود. این مسئله شبیه بودن نظر پاسخ‌دهندگان را در این معیارها نشان می‌دهد، که معیار خوبی از توافق بین نظر پاسخ‌دهندگان است. سه شاخصی که بین نظر پاسخ‌دهندگان دارای تفاوت معناداری (به‌علت P-Value کمتر از ۵ درصد) است، عبارتند از:

جدول ۵: نتایج آزمون کروسکال والیس و رتبه‌بندی بین معیارها

معیارها	میانگین	انحراف معیار	رتبه بندی	P -کروسکال والیس
درجه‌ی وابستگی نسبی زیرساخت موردنظر به سایر شبکه‌ها	۹،۹۵	۱،۳۰۱	۱	۰،۶۲۷
نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی	۹،۹۲	۱،۰۴۲	۲	۰،۴۴۵
میزان زمان لازم برای ترمیم و احیای زیرساخت موردنظر	۹،۹	۰،۸۹۲	۳	۰،۲۶۵
میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات زیرساخت موردنظر	۹،۸۵	۰،۹۶۳	۴	۰،۳۷۷
میزان منحصربه‌فرد بودن نحوه‌ی ساخت و اجرای زیرساخت موردنظر	۹،۳۲	۱،۳۱۵	۵	۰،۷۴۲
درجه‌ی تأثیرگذاری زیرساخت موردنظر بر وسعت سرزمینی (جغرافیایی)	۹،۳۱	۱،۰۳۲	۶	۰،۴۲۷
درجه‌ی ناپراکندگی واحدهای مختلف در زیرساخت موردنظر	۹،۲	۰،۴۴۰	۷	۰،۳۲۷
میزان احتمال ایجاد پیامدهای ثانویه پس از بروز حمله هدفند در زیرساخت موردنظر	۹،۱۵	۰،۶۴۵	۸	۰،۲۴۵
متوسط ارزش کمی و کیفی نیروی انسانی فعال در زیرساخت موردنظر	۹،۱۴	۰،۵۳۴	۹	۰،۱۶۵
ارزش اقتصادی تجهیزات زیرساخت موردنظر	۸،۳	۰،۵۹۱	۱۰	۰،۴۲۳
درجه‌ی ضعف در مقاومت سازه‌ی زیرساخت موردنظر در برابر بار انفجاری	۸،۳	۰،۷۸۲	۱۱	۰،۰۳۷*
میزان ضعف در افزونگی زیرساخت موردنظر	۸،۱۷	۰،۵۷۶	۱۲	۰،۰۱۱*
میزان جدید بودن تکنولوژی به‌کاررفته در زیرساخت موردنظر	۸،۱۵	۰،۹۲۵	۱۳	۰،۱۴۱
وضعیت قرارگیری سازه‌ی اصلی زیرساخت موردنظر نسبت به سطح زمین	۸،۱۲	۰،۷۸۰	۱۴	۰،۴۲۷
میزان اختلال ایجادکننده در اقتصاد در اثر حذف زیرساخت موردنظر بر کل کشور	۸،۱	۰،۸۶۳	۱۵	۰،۳۴۵
ارزش اقتصادی سازه‌ی زیرساخت موردنظر	۷،۵	۰،۶۳۸	۱۶	۰،۱۵۶
درجه‌ی ضعف در نبود تجهیزات کافی برای پدافند عامل در اطراف زیرساخت موردنظر	۷،۲۵	۰،۸۸۹	۱۷	۰،۳۸۳
نوع و ماهیت بنیادی یک زیرساخت در میزان تأثیرگذاری بر سایر زیرساخت‌ها	۷،۱۸	۰،۹۹۶	۱۸	۰،۷۴۲
میزان نزدیکی موقعیت مکانی زیرساخت موردنظر نسبت به مرزهای کشور	۶،۵۴	۰،۸۸۹	۱۹	۰،۴۳۱
درجه‌ی تأثیرگذاری و آسیب به محیط زیست در صورت حذف زیرساخت موردنظر	۶،۲۵	۱،۳۸۲	۲۰	۰،۵۶۵
میزان ضعف در آمادگی زیرساخت موردنظر نسبت به پاسخ مؤثر پس از بروز حمله	۶،۱۵	۱،۱۵۶	۲۱	۰،۰۳۱*
سابقه‌ی بروز تهدید بر زیرساخت موردنظر	۵،۶۷	۰،۸۵۰	۲۲	۰،۴۶۳
وضعیت قرارگیری زیرساخت موردنظر از منظر توپوگرافی و موانع محیطی	۵،۳۵	۰،۱۵۳	۲۳	۰،۵۷۸
میزان اثر روانی ایجاد شده پس از بروز حمله‌ی هدفمند	۵،۲۵	۰،۲۳۴	۲۴	۰،۳۳۱
درجه‌ی ضعف در ملاحظات استتار، اختفا و فریب برای کاهش تشخیص و آشکارسازی	۵،۲	۱،۰۸۶	۲۵	۰،۱۷۶

۱. درجه‌ی ضعف در مقاومت سازه‌ی زیرساخت موردنظر در برابر بار انفجاری؛
۲. میزان ضعف در افزونگی زیرساخت موردنظر؛
۳. میزان ضعف در آمادگی زیرساخت موردنظر نسبت به پاسخ مؤثر پس از بروز حمله.

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

با توجه به اینکه در این پژوهش پنج معیار اصلی از عوامل اثرگذار در تعیین سطح‌بندی زیرساخت‌های حیاتی معرفی شده است، باید برای هر کدام از این معیارهای اصلی، تحلیل PCA به‌صورت جداگانه انجام گردد. این تحلیل‌ها برای تمامی پنج دسته معیار به‌صورت مجزا انجام شد، ولی با توجه به تعدد خروجی‌ها، برای معیار اصلی اول به‌عنوان نمونه تحلیل‌ها به‌صورت گام‌به‌گام نمایش داده می‌شود و برای سایر معیارها، تنها به ذکر نتایج بسنده می‌گردد.

اولین عامل مطابق تصویر ۱، معیار ماهیت بنیادی زیرساخت است. این عامل بر اساس تصویر ۱ شامل هفت مؤلفه است که در جدول ۶ نتایج آزمون بارتلت و KMO نشان داده شده است.

بر اساس جدول ۶، مقدار ضریب KMO برابر با ۰/۷۷۵ برآورد گردید. با توجه به اینکه این شاخص از ۰/۵ بالاتر است، کفایت نمونه‌ها برای متغیرها در PCA مناسب است. بررسی کردن شاخص KMO و آزمون بارتلت، حداقل شرایط لازم برای PCA است. از این‌رو ماتریس داده‌ها برای PCA حاوی اطلاعات معناداری است، زیرا مقدار P-Value برای آزمون بارتلت، کمتر از ۰/۰۵ است.

در جدول ۷ نتایج محاسبه‌ی مقادیر ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها قابل مشاهده است. به‌نحوی‌که مقادیر ویژه‌ی اولیه[۹] برای هر یک از مؤلفه‌ها در قالب مجموع واریانس تبیین‌شده برآورد شده است. در این بخش، واریانس تبیین‌شده بر حسب درصدی از کل واریانس و درصد تجمعی قابل مشاهده است. مقدار ویژه‌ی هر مؤلفه نسبتی از واریانس کل متغیرهاست که توسط آن عامل تبیین می‌شود. مقدار ویژه از طریق مجموع مجذورات بارهای عاملی مربوط به تمام متغیرها در آن عامل قابل محاسبه است. از این رو مقادیر ویژه، اهمیت مؤلفه‌ها را در عامل «ماهیت بنیادی زیرساخت» نشان می‌دهد. پایین بودن این مقدار برای یک عامل به این معنی است که آن مؤلفه نقش اندکی در تبیین واریانس مؤلفه‌ها داشته است. همچنین در این جدول مؤلفه‌هایی که مقادیر ویژه‌ی آن‌ها بزرگ‌تر از عدد یک باشد، به‌منزله‌ی مؤلفه‌های نهایی قابل مشاهده است.

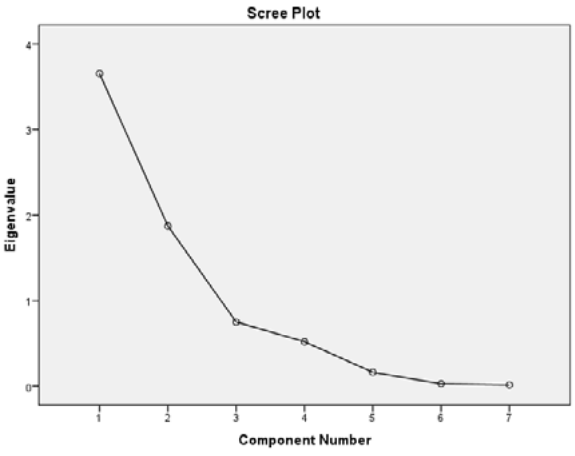
براساس جدول ۷، دو مؤلفه قابلیت تبیین واریانس‌ها را دارند. زیرا این دو عامل قادرند، ۸۹/۷٪ از واریانس کل مؤلفه‌های عامل «ماهیت بنیادی زیرساخت» را در سطح‌بندی زیرساخت‌های حیاتی پوشش نمایند، که این مقدار قابل ملاحظه است.

تغییرات مقادیر ویژه در ارتباط با مؤلفه‌ها در تصویر ۱۲ قابل مشاهده است. این نمودار برای تعیین تعداد بهینه‌ی مؤلفه‌ها به کار می‌رود. با توجه به این نمودار، مشاهده می‌شود که از مؤلفه‌ی دوم به بعد، تغییرات مقدار ویژه کم می‌شود، پس می‌توان دو مؤلفه را به‌منزله‌ی مؤلفه‌های مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، استخراج کرد.

جدول ۸ سهم متغیرها و شاخص‌ها را در عامل‌ها، قبل از چرخش نشان می‌دهد. این ضرایب از یک‌سو نشان‌دهنده‌ی

جدول ۶: نتایج آزمون بارتلت و KMO

KMO and Bartlett's test		
ضریب KMO		۰،۷۷۵
آزمون بارتلت	Approx. chi-square	۲۴۲۵،۱۹
	درجه‌ی آزادی	۲۱
	P-Value	۰،۰۰۰



تصویر ۱۲: نمودار اسکری گراف برای تعیین تعداد مؤلفه‌ها

جدول ۷: درصد واریانس و مقادیر ویژه‌ی مؤلفه‌های مختلف

مؤلفه	مقادیر ویژه‌ی اولیه			استخراج مؤلفه‌های ویژه‌ی نهایی		
	نهایی	درصد واریانس	واریانس تجمعی	نهایی	درصد واریانس	واریانس تجمعی
۱	۵۲،۲۳	۵۲،۲۳	۳،۶۶	۵۲،۲۳	۵۲،۲۳	۳،۶۶
۲	۸۹،۶۹	۳۷،۴۶	۰،۷۵	۸۹،۶۹	۳۷،۴۶	۰،۷۵
۳	۹۴،۳۱	۴،۶۲	۰،۷۵			
۴	۹۷،۱۱	۲،۸۰	۰،۵۲			
۵	۹۹،۴۱	۲،۳۰	۰،۱۶			
۶	۹۹،۸۰	۰،۳۹	۰،۰۳			
۷	۱۰۰،۰	۰،۲۰	۰،۰۱			

توانایی مؤلفه‌های تعیین شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه است و از سویی دیگر می‌تواند برای بررسی تناسب متغیرها برای PCA استفاده شود. همان‌طور که در جدول ۸ قابل مشاهده است، با توجه به اینکه می‌توان تمامی متغیرها (شاخص‌ها) را در دو مؤلفه جاگذاری کرد، دیگر نیازی به انجام چرخش نیست.

از این رو مطابق جدول ۸، با توجه به سهم متغیرها، معیارهای فرعی سوم، چهارم، پنجم و ششم را می‌توان در مؤلفه‌ی اول و معیارهای (متغیر) اول، دوم و سوم را در مؤلفه‌ی دوم قرار داد. با توجه به نتایج این جدول، معیارهای «میزان منحصر به فرد بودن تجهیزات» و «متوسط ارزش کمی و کیفی نیروی انسانی» با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، بیشترین معیار تأثیرگذار در عامل «ماهیت بنیادی زیرساخت» برای سطح‌بندی زیرساخت‌ها است.

جدول ۸: ماتریس مؤلفه‌ها قبل از چرخش

	مؤلفه‌ها	
	۱	۲
ارزش اقتصادی سازه	۰،۱۵۲	۰،۶۵۲
ارزش اقتصادی تجهیزات	۰،۱۰۱	۰،۷۷۶
میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات	۰،۹۴۴	-۰،۰۴۲
میزان منحصربه‌فرد بودن نحوه‌ی ساخت و اجرا	۰،۸۶۰	-۰،۴۵۲
میزان جدید بودن تکنولوژی‌ها	۰،۷۴۸	۰،۲۱۱
سابقه‌ی بروز تهدید	۰،۵۷۳	۰،۲۱۴
متوسط ارزش کمی و کیفی نیروی انسانی	۰،۲۹۷	۰،۹۳۸

این آنالیزها برای سایر معیارهای اصلی نیز به همین صورت انجام گرفت، که به‌طور خلاصه نتایج آن به شرح ذیل است:

- پس از انجام آنالیز اجزای اصلی برای معیار «محیط پیرامونی»، حداقل شرایط لازم برای PCA (شاخص KMO و آزمون بارتلت) تأیید شد و معیارها در نهایت در دو مؤلفه‌ی اصلی دسته‌بندی شدند که دو معیار «نزدیکی به تراکم جمعیتی» و «درجه‌ی تأثیرگذاری بر وسعت سرزمین» حائز بیشترین تأثیر در این معیار شدند.
- پس از انجام آنالیز اجزای اصلی برای معیار «ملاحظات پدافندی»، حداقل شرایط لازم برای PCA (شاخص KMO و آزمون بارتلت) تأیید شد و معیارها در نهایت در دو مؤلفه‌ی اصلی دسته‌بندی شدند که دو معیار «درجه‌ی عدم پراکندگی واحدهای مختلف» و «درجه‌ی ضعف در مقاومت سازه در برابر بار انفجاری» حائز بیشترین تأثیر در این معیار شدند.
- پس از انجام آنالیز اجزای اصلی برای معیار «پیامدهای ناشی از تهدید»، حداقل شرایط لازم برای PCA (شاخص KMO و آزمون بارتلت) تأیید شد و معیارها در نهایت در دو مؤلفه‌ی اصلی دسته‌بندی شدند که دو معیار «میزان زمان لازم برای ترمیم و احیا» و «میزان احتمال ایجاد پیامدهای ثانویه» حائز بیشترین تأثیر در این معیار شدند.
- پس از انجام آنالیز اجزاء اصلی برای معیار «وابستگی»، حداقل شرایط لازم برای PCA (شاخص KMO و آزمون بارتلت) تأیید شد و معیارها در نهایت در یک مؤلفه‌ی اصلی دسته‌بندی شدند که معیار «درجه‌ی وابستگی نسبی زیرساخت موردنظر به سایر شبکه‌ها» حائز بیشترین تأثیر در این معیار شد.

نتیجه‌گیری

جنگ‌های دهه‌ی اخیر نشان داده‌اند که سامانه‌های تأمین، انتقال و توزیع انرژی و تأسیسات جنبی آن با توجه به تأثیر قاطعی که در تداوم زندگی مردم و نیروهای مدافع دارند، یکی از اهداف دشمن تلقی می‌گردند. ازاین‌رو یکی از اهداف اصلی پدافند غیرعامل بر محافظت از نیروی انسانی و زیرساخت‌های حیاتی کشور متمرکز است. ازاین‌رو در این مقاله مدلی به‌منظور اولویت‌بندی زیرساخت‌های حیاتی در اثر حملات هدفمند بر اساس تعدادی معیار اصلی و فرعی ارائه شده است. هر زیرساختی که رتبه‌ی بالاتری کسب کند در اولویت اول اعمال تهدید توسط دشمنان است و از جذابیت بالاتری برخوردار است. به‌منظور سطح‌بندی زیرساخت‌ها در اثر حملات هدفمند، سه فرض برای تسهیل در محاسبات صورت گرفت. ابتدا دشمن از مجموع دارایی‌های یک زیرساخت با ابزارهای موجود، مهم‌ترین دارایی یک زیرساخت را هدف قرار می‌دهد. ثانیاً از تسلیحات پیشرفته بدون ردیابی و با نقطه‌زنی بسیار بالا استفاده می‌کند. ثالثاً با توجه به دقت در هدف‌گیری، آسیب‌پذیری زیرساخت مورد هدف بسیار زیاد است. ازاین‌رو به‌منظور تعیین زیرساخت‌های با رتبه‌ی بالای جذابیت توسط دشمن، پنج معیار اصلی و ۲۵ معیار فرعی ارائه شد. گفتنی است به ازای هر معیار فرعی نیز پنج شاخص و سنجه ارائه شد و درمجموع ۱۲۵ شاخص طراحی گردید. سپس برای هر زیرساخت، بر اساس وزن اهمیت هر یک از معیارها و امتیازات کسب‌شده برای هر معیار فرعی، درنهایت امتیاز نهایی زیرساخت‌ها محاسبه گردید و به ترتیب اهمیت، مرتب و رتبه‌بندی گردید. انجام این مطالعه در قالب مدل ارائه‌شده، می‌تواند به‌منزله‌ی یک دستورالعمل برای اولویت‌بندی تمامی زیرساخت‌های هر یک از مناطق جغرافیایی کشور اجرایی شود و سپس زیرساخت‌هایی که از اولویت بیشتری برخوردار باشند، بودجه‌ی بیشتری به‌منظور تخصیص منابع برای اجرای ملاحظات پدافند غیرعامل، می‌توانند دریافت نمایند.

پس از معرفی و اجرای مدل، تحلیل‌های آماری بر روی داده‌ها صورت پذیرفت. در ابتدا به کمک تست کولموگوروف- اسمیرنوف بررسی ادعای نرمال بودن توزیع داده‌ها آنالیز شد، که نتایج نشان از نرمال نبودن داده‌ها و الزام برای استفاده از آزمون‌های آماری غیرپارامتریک داشت. در ادامه رتبه‌بندی ۲۵ معیار فرعی بر اساس میانگین امتیازهایی که پاسخ‌دهندگان به هر معیار دادند، صورت گرفت. همچنین به‌منظور تجزیه و تحلیل بر مقایسه‌ی رتبه‌ها از آزمون کروسکال والیس که معادل آزمون F مستقل در روش تحلیل

واریانس یک‌طرفه است، استفاده گردید. پنج معیار فرعی که از نظر پاسخ‌دهندگان دارای رتبه‌ی بالایی بودند، به ترتیب عبارتند از:

۱. درجه‌ی وابستگی نسبی زیرساخت موردنظر به سایر شبکه‌ها (آب، برق، گاز، نفت و حمل‌ونقل، ارتباطات و ...)؛
۲. نزدیکی زیرساخت موردنظر به تراکم جمعیتی؛
۳. میزان زمان لازم جهت ترمیم و احیای زیرساخت موردنظر؛
۴. میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات زیرساخت موردنظر؛
۵. میزان منحصربه‌فرد بودن نحوه‌ی ساخت و اجرای زیرساخت موردنظر.

در ادامه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی در این حوزه ارائه می‌شود:

۱. پیشنهاد می‌گردد مدل ارائه شده برای تمامی زیرساخت‌ها در مناطق مختلف کشور پیاده‌سازی شود و زیرساخت‌های با اولویت بالا در اولویت نخست اقدامات پدافند غیرعامل قرار گیرند.
۲. توصیه می‌شود معیارهایی برای اولویت‌بندی زیرساخت‌ها بر اثر سایر تهدیدات (به‌جز حملات هدفمند) ارائه گردد.
۳. پیشنهاد می‌گردد در تحقیقاتی مجزا معیارهایی برای هر یک از سلاح‌های مبنا به‌صورت مجزا ارائه شود.

پی‌نوشت

1. Utility System
2. Transportation
۳. معیار کارور، بر اساس ۶ شاخص حیاتی بودن، قابلیت دسترسی، قابلیت بازیابی، آسیب‌پذیری، قابلیت جاسوسی و افزونگی به ارزیابی اهمیت دارایی‌ها می‌پردازد.
4. Kolmogorov–Smirnov test
5. Principal Component Analysis
6. Kaiser-Mayer-Olkin index
7. Bartlett Test
8 .Varimax
9. Intial eigenvalues

منابع

۱. موحدی‌نیا، جعفر (۱۳۸۳). *دفاع غیرعامل*. دانشکده فرماندهی و ستاد سپاه، چاپ اول.
۲. مدیریت بازرسی سازمان صنایع دفاع (۱۳۸۶). *کلیاتی پیرامون پدافند غیرعامل*. چاپ اول.
۳. جمشیدی، علی؛ علیدوستی، علی؛ گیوه چی، سعید؛ رجبی، روزبه (۱۳۹۱). ارائه‌ی الگویی برای ارزیابی آسیب‌پذیری امنیتی در صنعت نفت، مطالعه‌ی موردی: تأسیسات نفتی دریایی. *دو فصلنامه‌ی علمی پژوهشی مدیریت بحران* دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۱، ۶۱-۶۷.
۴. جلالی فراهانی، غلامرضا؛ شمسایی زفرقندی، فتح‌اله؛ غضنفری، مصطفی؛ قنبری‌نسب، علی (۱۳۹۲). تعیین و رتبه‌بندی تهدیدات انسان‌ساخت عمدی در اجزای اصلی ایستگاه‌های مترو. *دو فصلنامه‌ی مدیریت بحران*، شماره‌ی چهارم، پاییز و زمستان.
۵. مشهدی، حسن، امینی ورکی، سعید، (۱۳۹۴). تدوین و ارائه‌ی الگوی ارزیابی تهدیدات، آسیب پذیری و تحلیل خطر پذیری زیرساخت‌های حیاتی با تأکید بر پدافند غیرعامل. *دو فصلنامه‌ی مدیریت بحران*، شماره‌ی هفتم، بهار و تابستان ۱۳۹۴.
۶. سلیمانی، عاطفه؛ برزگر، اکرم؛ نورالهی، حانیه؛ عوض‌آبادیان، فرشید (۱۳۹۴). ارائه‌ی الگوی ارزیابی ریسک در مقیاس‌های فراشهری با تلفیق رویکردهای آمایشی و زیرساختی. *اولین کنفرانس ملی مدیریت ریسک در زیرساخت‌ها*، ۵ تا ۶ خرداد.
۷. سهامی، حبیبا..؛ قنادیان چالشتری، مسعود، (۱۳۹۴). روش‌های حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی در صنعت نفت و گاز و ارائه راهکارهای کاهش آسیب پذیری مبتنی بر مدیریت ریسک. *اولین کنفرانس ملی مدیریت ریسک در زیرساخت‌ها*، ۵ تا ۶ خرداد.
۸. رنجبر، محمدحسین؛ پیرایش، ابوالفضل (۱۳۹۴). ارائه‌ی شاخصی برای ارزیابی آسیب‌پذیری سامانه‌ی قدرت در برابر تهدیدات تروریستی. *مجله‌ی علوم و فناوری‌های پدافند نوین*. سال ششم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴، ۲۸۹-۲۹۷.
9. Assaf, D. (2018). Models of Critical Information Infrastructure Protection. *International Journal of Critical Infrastructure Protection 2008*, 1, 6-14.
10. Hiete, M.; Merz, M. (2009). In an Indicator Framework to Assess the Vulnerability of Industrial Sectors against Indirect Disaster Losses. *International ISCRAM Conference*, Gothenburg, Sweden.
11. DHS, (2011). *Presidential Policy Directive/PPD-8: National Preparedness*. Washington, D.C., 2011, available at http://www.dhs.gov/presidential-policy-directive-8-national-preparedness.
12. White House, (2013). *Presidential Policy Directive - Critical Infrastructure Security and Resilience*. Presidential Policy Directive/PPD-21, Washington. D.C., 2013, available at http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/02/12/presidential-policy-directive-criticalinfrastructure-security-and-resil.
13. Petit, F.; Bassett, G. W.; Buehring, W. A.; Collins, M. J.; Dickinson, D. C.; Haffenden, R. A.; Huttenga, A. A.; Klett, M. S.; Phillips, J. A.; Veselka, S. N. (2013). Protective Measures Index and Vulnerability Index: Indicators of Critical Infrastructure Protection and Vulnerability. *Office of Argonne National Laboratory (ANL)*, United States, Tech. Rep ANL/DIS-13/04, 2013, available at http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1108161.
۱۴. عبداله خانی، علی (۱۳۸۵). *بررسی و نقد نظریه امنیتی ساختن*. فصلنامه‌ی مطالعات راهبردی، شماره‌ی ۳۳، تهران.
۱۵. جلالی، غلامرضا (۱۳۸۹). *روش و الگو براورد تهدیدات در پدافند غیرعامل*. انتشارات دانشگاه امام حسین(ع)، تهران.
۱۶. علمداری، شهرام (۱۳۸۷). *دستورالعمل براورد تهدید و تدوین سناریو در دستگاه های کشور و استانی*. سازمان پدافند غیرعامل، تهران.
17. ISO/IEC. (2002). *Guide 73 Risk Management- Vocabulary- Guidelines for Use in Standards*. International Organization for Standardization and International Electro Technical Commission.
۱۸. موحدی‌نیا، جعفر (۱۳۸۵). *مفاهیم نظری و عملی دفاع غیرعامل*. معاونت آموزش و نیروی انسانی ستاد مشترک سپاه، مرکز برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی، چاپ اول، تهران.

19. Coppola, D. P. (2006). *Introduction to International Disaster Management*. 3rd Edition, Butterworth Heinemann, Burlington.

۲۰. سازمان پدافند غیرعامل کشور (۱۳۹۴). *دستورالعمل عمومی سطح‌بندی مراکزثقل*. معاونت اطلاعات و عملیات، بهار ۱۳۹۴.

۲۱. پوریاری، مقصود؛ عباسی، حمید (۱۳۸۹). اولویت‌بندی زیرساخت‌ها در حوزه‌ی صنایع دریایی با نگاه پدافند غیرعامل. *دوازدهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران*، زیباکنار، انجمن مهندسی دریایی ایران، http:// html. ۲۱۷_NSMI۱۲-www.civilica.com/Paper-NSMI۱۲

۲۲. عطایی، محمدحسن (۱۳۹۴). *تعیین درجه اهمیت و اولویت زیر ساخت‌های استراتژیک از منظر دفاع غیر عامل با تأکید برفرودگاه‌های غیر نظامی، نمونه‌ی موردی: فرودگاه بین المللی امام خمینی(ره)*. پایان‌نامه برای اخذ کارشناسی ارشد در رشته پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۲۳. محمد مرادی، اصغر؛ اخترکاوان، مهدی (۱۳۸۸). روش‌شناسی مدل‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره. *مجله آرمانشهر*، شماره‌ی ۲، بهار و تابستان ۱۳۸۸.

۲۴. اصغرپور، محمد جواد، (۱۳۷۷). *تصمیم‌گیری‌های چند معیاره*. نشر دانشگاه تهران، چاپ اول.

25. Cimren, E.; Catay, E.; Budak, E. (2007). Development of a Machine Tool Selection System Using AHP. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35, 363-376.

26. Kothari, C. R. (2004). *Research methodology: Methods and techniques*. Second Edition, Publication of New Age International, University of Rajasthan, Jaipur (India), 401.

27. Massey, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46 (253), 68-78.

28. Vargha, A.; Delaney, H. D. (1998). The Kruskal-Wallis Test and Stochastic Homogeneity, *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 23 (2), 170-192.

29. Wold, S.; Esbensen, K.; Geladi, P. (1987). Principal component analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2 (1), 37-52.

30. Jolliffe, I. (2002). *Principal component analysis*. Publication of Wiley Online Library.

31. Parinet, B.; Lhote, A.; Legube, B. (2004). Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management—application to a tropical lake system. *Ecological Modelling*, 178 (3), 295-311