ارائه‌ی الگوی ارزیابی خطرپذیری(ریسک) بر اساس تلفیق رویکردهای عملکردی و آمایشی در زیرساخت‌های حیاتی

حانیه نورالهی *- پژوهشگر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، h_nurollahi@yahoo .com
اکرم برزگر- پژوهشگر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.
فرشید عوض آبادیان- پژوهشگر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.
عاطفه سلیمانی- پژوهشگر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.
آرزو علیخانی- پژوهشگر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۵

چکیده

رویکردهای متفاوتی در ارزیابی خطرپذیری شهری وجود دارد که ابعاد مختلف زندگی شهری را در بر می‌گیرد. فرایند و الگوی پیشنهادی این مطالعه به دنبال تلفیق مفاهیم خطرپذیری در زیرساخت‌های حیاتی با اهداف برنامه‌ریزانه در نگاه آمایشی به شهر است. به این منظور ابتدا با استفاده از مفاهیم اندرکنش درون‌زیرساختی و بین‌زیرساختی، روابط در شبکه زیرساخت‌های حیاتی تبیین شده و سپس آسیب‌پذیری و پیامدهای اجزای این زیرساخت‌ها با توجه به توزیع جمعیت و فعالیت در پهنه فضا مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. برای دستیابی به این مهم، در الگوی پیشنهادی از مفهوم "فروش از دست رفته" در ارتباط با عملکرد دارایی‌ها استفاده شده است. استفاده از این مفهوم علاوه بر افزودن ملاحظات آمایشی به مطالعه زیرساخت‌های حیاتی، امکان مقایسه بین دارایی‌های مختلف را نیز فراهم کرده‌است. برای عینی شدن این تحلیل، فرایند مذکور در یک منطقه شهری فرضی پیاده‌سازی شده است.

واژگان کلیدی: *خدمات رسانی، زیرساخت‌های حیاتی، اندرکنش، فروش از دست رفته.*

Developing a New Model for Risk Assessment, Combining Critical Infrastructure Studies and Spatial Planning Criteria

Hanieh Nurollahi*[1] Akram Barzegar[2] Farshid Evaz Abadian[3] Atefeh Soleimani[4] Arezu Alikhani[5]

Abstract:

Recent years have witnessed a significant growth in risk assessment literature in various fields, especially in the urban and infrastructure studies. According to the nature of risk assessment and urban life, there are many different kinds of approaches to this assessment. The proposed model in this article seeks to combine the notions of risk in critical infrastructure with urban planning and management objectives. In order to do so, firstly, the relations and inter and intra dependencies in different infrastructure networks were calculated and then the consequences and vulnerability of each asset in each network of infrastructure were assessed based on the distribution of population and activity. This was achieved using the notion of “lost sales” in the network which not only helped in providing a quantitative look to risk assessment but also made the comparison possible between assets. In order to test the proposed model, it was implemented in an imaginary urban area.

Keywords: service provision, critical infrastructure, interdependency, lost sale

1 Researcher, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran; h_nurollahi@yahoo .com.
2 Researcher, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
3 Researcher, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
4 Researcher, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
5 Researcher, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

مقدمه

امروزه زیرساخت‌ها به دلیل تأثیر محور بودن نسل جدید جنگ‌ها، اهداف جذابی برای نیروهای متخاصم به شمار می‌آیند؛ چرا که تجربیات جنگ‌های اخیر نشان می‌دهد که ابرقدرت‌ها معمولاً به‌منظور سلب قدرت مرکزی همواره درصدد از کار انداختن یا حذف زیرساخت‌ها بوده‌اند؛ از این رو، یکی از اهداف اصلی پدافند غیرعامل، تداوم خدمات رسانی از طریق محافظت از نیروی انسانی و تأسیسات حیاتی کشور است.

برای دستیابی به این هدف، چه در مقیاس محلی و چه منطقه‌ای، یکی از راهکارهای اصلی ارزیابی خطرپذیری زیرساخت‌های حیاتی است. در مطالعات ارزیابی خطرپذیری زیرساخت‌ها، عمدتاً به بررسی روابط عملکردی زیرساخت‌های انرژی، آب و راه و پیوستگی‌های بین آنها پرداخته می‌شود. این در حالی است که خسارت زیرساخت‌ها و اختلال در ایجاد عملکرد، پیامدهای دیگری نیز به دنبال خواهد داشت. ارزیابی میزان این پیامدها نیز می‌تواند تصویر دقیق‌تری از وضعیت خطرپذیری در شبکه‌ی زیرساختی به وجود آورد.

در این مقاله با محور قرار دادن خدمات‌رسانی به شهروندان، سعی بر آن است تا از طریق تعریف و محاسبه‌ی عوامل مختلف، الگویی برای ارزیابی پیامدهای عملکردی زیرساخت‌ها و در نتیجه ارزیابی خطرپذیری آنها ارائه شود و به این ترتیب، علاوه بر در نظر گرفتن بعد عملکردی، تأثیر زیرساخت‌ها در بعد برنامه‌ریزی و آمایشی نیز مد نظر قرار گیرد. توجه به این ابعاد به‌طور همزمان می‌تواند موجب افزایش هر چه بیشتر ظرفیت کشور در مقابله با تهدیدات و ارتقای توانمندی‌ها شود.

در این مطالعه ابتدا به مرور مبانی نظری موجود مرتبط با ارزیابی خطرپذیری زیرساخت پرداخته و سپس با ارائه توضیحاتی الگوی تدوین شده تشریح می‌شود. در انتها نیز کاربرد الگوی پیشنهادی در یک منطقه فرضی شهری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱.مبانی نظری

ارزیابی خطرپذیری

واژه‌ی «خطرپذیری»(ریسک) از واژه‌ی ایتالیایی ریسیکار[1] مشتق شده که به معنای»جرئت کردن» است. خطرپذیری مفهومی است که بشر در طول تاریخ همواره با آن سر و کار داشته است، از ناپیدایی وقوع طغیان رودخانه‌ها و احتمال ایراد خسارت به مایملک بشر گرفته تا فرصت برد در بازی‌ها و سودآوری در سرمایه‌گذاری آدمی را به تفکر در مورد مفهوم خطرپذیری یا قطعیت نداشتن وقوع رخدادی در آینده وادار کرده است [۱].

مروری بر ادبیات مرتبط در زمینه‌ی پدافند غیرعامل و ارزیابی خطرپذیری نشان می‌دهد که کلمه‌ی خطرپذیری به روش‌های مختلف و با معانی مختلف استفاده می‌شود و به تبع آن با روش‌های مختلفی نیز مورد ارزیابی و سنجش قرار می‌گیرد. برای مثال، کمیته بین‌المللی الکتروتکنیک و سازمان بین‌المللی استانداردسازی عقیده دارد که سؤال "خطرپذیری چیست؟" از سه سؤال زیر تشکیل شده است:

چه چیزی می‌تواند رخ دهد؟

آن چیز چقدر محتمل است؟

پیامدهای آن چیست؟

پاسخ به سؤال اول، این امر را توصیف می‌کند که چه مشکلی ممکن است پیش بیاید که می‌توان آن را سناریو نامید. میزان محتمل بودن سناریو، به‌وسیله‌ی یک احتمال یا یک فراوانی نشان داده می‌شود و پیامد، خسارت وارده را نشان می‌دهد. پاسخ به این سه سؤال در کنار هم خطرپذیری را تعیین می‌کند. بنابراین، هنگام استفاده از این کلمه، بیان واضح منظور و مقصود از اهمیت بسزایی برخوردار است [۲].

تعاریف بسیار دیگری در مورد خطرپذیری ذکر شده که برخی از آنها در این قسمت ذکر می‌شود:

خطرپذیری به عنوان فرصت ایراد خسارت به یک شخص یا یک دارایی با ارزش از طریق وقوع یک حادثه یا اقدام خصمانه است [۳].

ریسك احتمال رخداد يك خطر در خلال يك دوره‌ی زمانی به‌خصوص است [۴].

ریسك = احتمال * پیامد [۵].

ریسك معیار احتمال وقوع خطر است [۶].

ظرفیت تلفات مربوط به يك خطر و با مفاهیمی از احتمال و تناوب، ظهور و پیامدهای مورد انتظار تعریف شده است [۷].

ریسك، احتمالی مبتنی بر داده‌های موجود و اطلاعات علمی، از وقوع يك حادثه در محلی به‌خصوص است [۸].

ریسك بر تخمین و کمی کردن احتمال تأکید داشته و این به منظور تعیین سطوح مناسب ایمنی، پذیرش يك فناوری خاص یا روش است. ریسك همیشه در کنار خطر معنا دارد [۶].

حاصل‌ضرب خطر[2] در آسیب‌پذیری[3] که مجموعه‌ای از عوامل جمعیت، دارایی، فعالیت‌های اقتصادی، خدمات عمومی و مانند اینها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و این بر اساس تهدیدی از يك بحران در منطقه‌ای مشخص است. ریسك به واسطه‌ی ترکیبی از احتمال حوادث و تبعات (معمولاً بر اساس تلفات و صدمات) در صورت وقوع حوادث تخمین زده می‌شود [۹].

خطرپذیری‌ها ابهامات (عدم اطمینان‌های) مهمی در رابطه با نتایج هستند. این ابهامات در دو بعد معنا می‌یابند، احتمال رخداد حادثه و وسعت پیامدهای حاصل از رخداد آن. واژه‌های متناظر برای مفهوم خطرپذیری در زمینه‌های مختلف متفاوت است. برای مثال در مقولات امنیتی، غالباً از واژه تهدید و در مقولات مرتبط با ایمنی و بهداشت حرفه‌ای یا موضوعات زیست‌محیطی از واژه‌ی خطر، استفاده می‌شود. حال واژه هر چه باشد، همیشه دانستن منبع خطرپذیری مهم است. رخدادهای خطرپذیر منجر به بروز مشکل می‌شوند، برخی از آنها جذب می‌شوند یا اصلاح می‌شوند، اما بقیه پیامدهایی دارند که اهداف طرح‌ها را با مشکل مواجه می‌سازند [۱۰].

علاوه بر تعاریف فوق، سازمان DHS[4]، تعدادی از روش‌های ارزیابی خطرپذیری را به منظور ارزیابی خطرپذیری شریان‌های

حیاتی بررسی کرده[5] که در تازه‌ترین و معتبرترین آنها، ارزیابی خطرپذیری به گونه‌ی زیر مطرح شده است:

خطرپذیری = تهدید *آسیب‌پذیری * پیامد

خطرپذیری

در این تعریف عبارت است از احتمال اینکه دشمن با یک تهدید خاص از آسیب‌پذیری امنیتی موجود در یک هدف یا مجموعه‌ای از اهداف در برای یک حمله‌ی موفقیت‌آمیز استفاده و پیامدهایی را به مجموعه تحمیل کند [۱۱]. در ادامه اجزای این تعریف به‌طور خلاصه شرح داده می‌شوند.

تهدید

تهدید[6]، توانایی‌ها، نیات و اقدامات دشمنان بالفعل و بالقوه برای ممانعت از دستیابی موفقیت‌آمیز خودی به علائق و مقاصد امنیت ملی یا مداخله به نحوی که نیل به این علائق و مقاصد به خطر بیفتد، تعریف می‌شود [۱۲].

در جای دیگر، تهدید به معنای هر نوع شرایط، موقعیت یا رویدادی است که امکان بالقوه‌ی آسیب رساندن و خسارت زدن به سرمایه ها را دارد، تعریف شده است [همان].

در تعریف دیگری تهدید به عنوان هرگونه نشانه‌ی وضعیت یا حادثه‌ای عنوان شده است که امکان وارد آوردن ضرر و خسارت به دارایی یا جمعیت را داشته باشد. در موضوع خطر تروریسم، تهدید قصد و توانایی دشمن برای انجام اقدامات زیان‌بار به یک دارایی یا جمعیت را نشان می‌دهد [۱۳].

براساس استانداردهای متنوع منتشر شده از سوی مؤسسه[7] NFPA، تهدیدات دسته‌بندی‌های متنوعی دارند؛ برای مثال، در استاندارد ۷۳۰ که ارزیابی خطرپذیری ناشی از تهدیدات امنیتی در محیط‌های مسکونی، آموزشی، تجاری، خرده فروشی و صنعتی است، مراحل ارزیابی خطرپذیری برشمرده شده و در آن، منظور از تهدید به شرح تروریسم، حملات سایبری، انفجار ساختمان، انفجار بمب، تسلیحات شیمیایی، بیولوژیکی و هسته‌ای، و تهدیدات ناشی از تسلیحات الکترومغناطیسی بیان شده است [۱۵].

در دیگر استاندارد صادر شده از این مؤسسه که در باره‌ی مدیریت سانحه،شرایط اضطراری و تداوم فعالیت موسوم به NFPA۱۶۰۰ است، تهدیدات هر عامل انسان‌ساخت، طبیعی یا ناشی از وجود فناوری تلقی می‌شود که فعالیت عادی جامعه را مختل کند و به جان‌ها، اموال، فعالیت‌ها یا محیط‌زیست صدمه وارد کند و در آن، تهدیدات انسان‌ساخت به دو نوع تصادفی و عمدی دسته‌بندی شده است [۱۵].

تجارب حاصل از جنگ‌های گذشته خصوصاً هشت سال دفاع مقدس، جنگ ۴۳ روزه ۱۹۹۱ متحدین علیه عراق (جنگ اول خلیج فارس)، جنگ ۱۱ هفته‌ای سال ۱۹۹۹ ناتو علیه یوگسلاوی، جنگ اخیر آمریکا و انگلیس علیه عراق، مؤید این نظر است که کشور مهاجم برای درهم‌شکستن اراده 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 می‌کند. از این رو ،انجام اقدامات دفاع غیرعامل در جنگ‌های نامتقارن امروزی برای مقابله با تهاجمات خصمانه و تقلیل خسارت ناشی از حملات، موضوعی بنیادی است که وسعت و گستره‌ی آن تمامی زیرساخت‌ها و مراکز حیاتی و حساس نظامی و غیرنظامی، سیاسی، ارتباطی، مواصلاتی نظیر بنادر، فرودگاه‌ها، پل‌ها، زیرساخت‌های محصولات کلیدی نظیر پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، مجتمع‌های بزرگ صنعتی، مراکز هدایت و فرماندهی و جمعیت مردمی کشور را دربرمی‌گیرد [۱۲].

آسیب‌پذیری

در حوزه‌ی مسائل مهندسی، آسیب‌پذیری، قابلیت میزان خسارتی است که در اثر در معرض قرارگیری در مقابل یک یا مجموعه‌ای از عوامل ایجاد خطر، سنجیده می‌شود. در واقع، آسیب‌پذیری عبارت است از احتمال ایجاد خطر یا حمله موفقیت‌آمیز به یک جزء یا به عبارت دیگر کمّیت مقاومت در مواجهه با یک تهدید که بین صفر تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌کند [۱۳].

در تعریف دیگری آسیب‌پذیری عبارت است از هر نقطه ضعفی که توسط دشمن مورد بهره‌برداری قرار می گیرد تا دشمن به‌طور غیرمجاز به دارایی‌های یک زیرساخت دسترسی پیدا کند و متعاقباً به آنها خسارت وارد یا آنها را سرقت کند (همان).

علاوه بر این، به عقیده‌ی تیمرمن، آسیب‌پذیری عبارت است از درجه‌ای که سیستم در شرایط خطرناک پس از وقوع حادثه، فعالیت اصلی خود را انجام ندهد. تیمرمن همچنین آسیب‌پذیری را به برگشت‌پذیری مرتبط و عنوان می‌کند که برگشت‌پذیری، ظرفیت سیستم به منظور جذب و بازاوری خود پس از رخداد یک سانحه‌ی خطرناک است [۱۶].

پیامد

پیامد[8] عوامل تعریف‌کننده‌ی میزان خطرپذیری یک حادثه است. طبق تعریف ارائه شده در ایزو ۳۱۰۰۰، پیامدها عبارتند از اثرات بالقوه‌ی دشمن بر فضای فیزیکی زیرساخت و جمعیت حاضر در زیرساخت در اثر یک حمله‌ی موفقیت‌آمیز [۱۲]. پیامد معمولاً تأثیراتی را توصیف می‌کند که ممکن است وقوع یک بحران یا خطر انسان‌ساخت،در ساختارهای شهری (شامل زیرساخت‌ها و اقتصاد) و محیط ایجاد کند. به‌طور کلی برای شناسایی و تعیین پیامدهای یک بحران، سه عامل اصلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند: ۱) تعداد تلفات انسانی، ۲) تعداد مصدومان و ۳) میزان خرابی‌ها که در قالب هزینه (واحد پول رایج) و شدت پیامدهای یک حادثه‌ی امنیتی عموماً با میزان جراحات و خسارات ناشی از یک حمله‌ی موفق، بیان می‌شود [۱۷].

هر حادثه‌ای می‌تواند منجر به دامنه‌ی وسیعی از پیامدها شود و دشمنان معمولاً درصدد ایجاد بدترین و بیشترین خسارات به دارایی‌ها هستند؛از این رو، در بررسی پیامدها باید بدترین حالت ممکن ناشی از رخداد تهدید مد نظر قرار گیرد. نکته دیگر آن است که یک پیامد می‌تواند قطعی یا غیرقطعی باشد و می‌تواند تأثیرات مثبت یا منفی بر اهداف داشته باشد و عواقب آن می‌تواند به

صورت کمّی یا کیفی بیان شوند و بر اساس شاخص‌هایی از قبیل شدت، عمق و گستره‌ی جغرافیایی خسارت و پیامدهای انسانی دسته‌بندی و سنجیده می‌شوند [۱۸]. دسته‌بندی‌های متنوعی برای پیامد ارائه شده است که برخی از آنها تمامی پیامدهای مربوط به وقوع یک بحران یا واقعه‌ی خاص را در برمی‌گیرند. دو نوع رایج از این دسته‌بندی‌ها به شرح زیر هستند:

پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم

پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم توسط کیث اسمیت[۹] (۱۹۹۲) در کتاب مخاطرات محیطی[۱۰] به این صورت توصیف شده‌اند: اولین پیامدهایی که بلافاصله بعد از وقوع حادثه اتفاق می‌افتند؛ همانند تلفات و خرابی‌هایی که در اثر فرو ریختن ساختمان‌ها هنگام وقوع زلزله اتفاق می‌افتد پیامد مستقیم نامیده می‌شود. پیامدهای غیرمستقیم ممکن است بسیار دیرتر نسبت به زمان وقوع حادثه روی دهند. همچنین شاید یافتن ارتباط بین وقوع حادثه و این پیامدها به آسانی قابل درک و شناسایی نباشد [۱۹].

پیامدهای محسوس (ملموس) و غیرمحسوس

پیامدهای محسوس، پیامدهایی هستند که می‌توان آنها را به واحد پول تبدیل کرد. به‌طور معمول پیامدهای محسوس می‌توانند شامل براورد و تخمین حوادث آینده و گزارشی از اتفاقات گذشته باشند. پیامدهای غیرمحسوس، پیامدهایی هستند که نمی‌توان آنها را در قالب یک واحد پول بیان کرد. این امر یکی از اصلی‌ترین دلایلی است که تلفات و صدمات جانی به عنوان یک دسته‌ی مجزا از اندازه‌گیری هزینه‌های پیامد در مدیریت بحران ارزیابی می‌شوند. چنین پیامدهایی تقریباً هیچ‌وقت در ارزیابی‌ها یا پیش‌بینی‌های خسارت گنجانده نمی‌شوند (همان).

علاوه بر دو دسته‌ی مذکور، فرایند AHRA[۱۱] دسته‌بندی پیامد مردم، اقتصاد، محیط، طول مدت اصلاح وضعیت، امنیت سرزمینی، اجتماعی و روانشناسانه برای پیامد ارائه داده است [۲۰].

۲- ارائه‌ی الگوی ارزیابی خطرپذیری

جمع‌بندی کلی از تعاریف ارائه شده نشان می‌دهد که مفهوم خطرپذیری مبتنی بر مفاهیم احتمال تهدید، آسیب‌پذیری و پیامد است؛ از این رو؛ تعریف مزبور اساس کار مطالعه در محاسبه خطرپذیری قرار گرفته است. در ادامه به ترتیب الگوی ارزیابی هر یک از این عوامل در این مقاله ارائه می‌شود. لازم به ذکر است از آنجا که شناسایی دارایی یکی از مراحل مهم در ارزیابی خطرپذیری محسوب می‌شود، ابتدا به تعریف آن و نحوه‌ی غربال دارایی‌ها در این مقاله پرداخته می‌شود.

دارایی‌شناسی

هر گونه اموال شخصی، حقیقی و حقوقی ملموس یا غیرملموس که دارای ارزش مادی باشد یا مواردی مانند اعتبار، اطلاعات اختصاصی و اموال وابسته به آن یا حتی افراد و کارکنان یک مجموعه و شرکت، دارایی نامیده می‌شود [۲۱].

ارگان‌ها و نهادهای مختلف دارایی‌ها را در دسته‌های مختلف شناسایی کرده‌اند که در جدول ۱ برخی از آنها به عنوان نمونه ارائه شده‌اند.

با توجه به توضیحات مقدماتی در بخش تهدید و رویکرد نوین در جنگ‌ها، از میان دارایی‌های فوق، زیرساخت‌ها به عنوان اصلی‌ترین دارایی‌های هر کشور همواره مورد توجه‌اند و در این مقاله نیز تاکید بر آنهاست؛ چراکه با انهدام یک زیرساخت پیامدهای فراوانی به‌وجود می‌آید که در این بین نه تنها آن زیرساخت از دست رفته، بلکه عملکرد نظام‌مند شهر یا کشور دچار تزلزل خواهد شد.

زیرساخت‌ها به هر آن چیزی اطلاق می‌شود که یک جامعه‌ی مدرن به آن نیازمند است و بدون آن شکل عادی زندگی مردم به‌هم می‌ریزد از قبیل تجهیزات و تأسیسات تولید و انتقال نیرو، تجهیزات ارتباط از دور، حمل و نقل و سامانه‌های مالی. اجزای مختلف یک زیرساخت را دارایی می‌نامند. دارایی‌ها می‌توانند شامل اموال و دستگاه‌ها، نیروی انسانی، اطلاعات و غیره باشد [۲۶].

به‌طور کلی می‌توان گفت که زیرساخت‌های حیاتی شامل مجموعه زیرساخت‌های زیربنایی شبکه‌ای می‌شود که عبارتند از شبکه‌های آب و فاضلاب، برق، مخابرات، گاز، سوخت و انرژی، فاضلاب، راه و راه‌آهن. البته لازم به ذکر است که در موارد و مناطق خاص، دیگر زیرساخت‌ها نظیر بنادر، صنایع شیمیایی و ... نیز به عنوان زیرساخت حیاتی باید منظور شوند.

تهدید

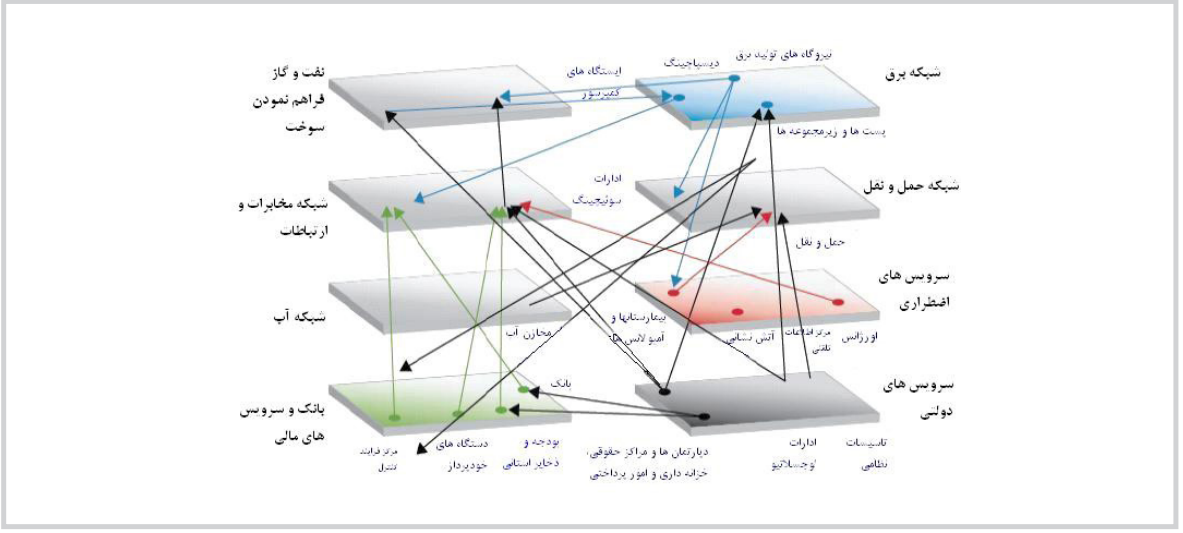
کسب اطلاع در مورد هر تهدید از جمله تاریخچه‌ی فعالیت، روش‌ها و توانایی‌های آنها، طرح‌های ممکن و انگیزه‌های دشمن برای برنامه‌ریزی در بخش‌های مختلف ضروری است، اما از آنجا که تعیین دشمنان کشور امری تخصصی است و از سیاست‌های کلان و ملی به شمار می‌رود، سیاست‌های ابلاغی سازمان پدافند غیرعامل کشور به عنوان سازمان متولی این امر، اساس کار قرار دارد و طبق آن، آمریکا به عنوان اصلی‌ترین دشمن جمهوری اسلامی ایران شناخته شده است. فهرست تهدید آمریکا بر ضد جمهوری اسلامی ایران شامل تهدیدات سیاسی، تهدیدات اقتصادی، تهدیدات اجتماعی و فرهنگی، تهدیدات زیست‌محیطی، تهدیدات نظامی [۲۷] و تهدیدات سایبری [۲۸] است. پس احتمال وقوع موارد مذکور باید در محدوده‌ی مورد بررسی قرار گیرد.

آسیب‌پذیری

همان‌طور که بیان شد، استمرار فعالیت یکی از اهداف اصلی پدافند غیر عامل است. در این مطالعه نیز استمرار فعالیت در زیرساخت‌ها مبنای ارائه الگو قرار گرفته است. از ویژگی‌های اصلی این زیرساخت‌ها "شبکه‌ای" بودن آنهاست. مشخص است که در صورت آسیب‌دیدگی یک گره در شبکه، آسیب‌دیدگی مذکور در شبکه گسترش می‌یابد و سایر اجزای شبکه نیز به تبع آن گره،

مؤسسه PICCP [۲۲]	مخابرات، سیستم‌های برق، نفت و گاز، زیرساخت‌های مالی و بانکداری، سیستم‌های تأمین آب، خدمات و (تسهیلات عمومی و تسهیلات مرتبط با شرایط اضطراری (امداد و نجات
وزارت دفاع داخله آمریکا[۲۱] [۳۲]	زیرساخت‌های کشاورزی و غذا، زیرساخت‌های بانکداری و مالی، صنایع تولید مواد شیمیایی و مواد خطرناک، صنایع نظامی، انرژی، خدمات اضطراری، زیرساخت‌های بخش فناوری اطلاعات، مخابرات، پست و بارگیری، زیرساخت‌های بخش بهداشت و درمان، زیرساخت‌های بخش حمل و نقل، شبکه آبرسانی، آثار و نمادهای ملی، تجهیزات و ساختارهای تجاری، ساختمان‌های دولتی، سدها، صنایع هسته‌ای، صنایع و کارخانجات
هیأت O.E. ۱۰۳۱. [۴۲ و ۵۲]	ارتباطات دوربرد، سیستم‌های برق قدرت، ذخیره گاز و نفت، حمل و نقل، بانکداری و تامین بودجه، سیستم‌های منابع آب، خدمات ضروری (شامل پزشکی، پلیس، آتش‌نشانی و نجات)، بقای دولت، و همچنین گروهی از منابع حیاتی نظیر: آثار تاریخی و تندیس‌های ملی، نیروگاه‌های هسته‌ای، سدها، تجهیزات دولتی، منابع بازرگانی حیاتی

جدول ۱: نمونه‌ای از دسته‌بندی ارگان‌ها در مورد دارایی‌ها



شکل ۱: وابستگی متقابل بین زیرساخت‌ها[۳۱]

هر کدام به میزانی کارایی‌شان کاهش می‌یابد. به مجموعه‌ی این کاهش عملکردهایی که از حذف یک گره ایجاد می‌شود، "مرکزیت"[۱۳] آن گره در شبکه گفته می‌شود. برای محاسبه‌ی مقدار مرکزیت هر گره در شبکه از روابط بازگشتی استفاده می‌شود. با توجه به قرابت معنایی مرکزیت به تعریف آسیب‌پذیری، برای بررسی آسیب‌پذیری‌ها، معیار مرکزیت انتخاب شد. منظور از مرکزیت یک گره در شبکه، میزان آسیبی است که در صورت آسیب‌دیدگی، یک واحد (یک درصد) آن گره به شبکه وارد می‌شود [۲۹].

با توجه به تعریف مرکزیت، آنچه در این میان اهمیت می‌یابد، نوع و میزان وابستگی اجزاست که به واسطه آن کارکرد دیگر اجزا تحت‌الشعاع آن قرار می‌گیرد. از این رو، برای دستیابی به میزان مرکزیت دارایی‌ها از معیار اندرکنش دارایی‌ها[۱۴] استفاده شده است که دستیابی به این مطلوب را میسر می‌سازد؛ چرا که منظور از اندرکنش دارایی‌ها ارتباط یک‌سویه یا دوسویه میان دارایی «الف» و دارایی «ب» است به‌طوری‌که به عنوان نمونه وضعیت دارایی «الف» با وضعیت دارایی «ب» همبستگی دارد [۳۰]. از آنجا که در جنگ‌های نوین دشمن درصدد آن است که با کمترین هزینه بیشترین خسارت را وارد کند، اجزای کلیدی زیرساخت‌ها باید شناسایی شوند که برای نیل به این هدف، ابتدا بررسی اندرکنش عملکردی مورد استفاده قرار گرفته است.

اندرکنش عملکردی دارایی‌ها توصیف جریان مواد میان زیرساخت‌های یک مجموعه دارایی را نشان می‌دهد و حاصل پیوند فیزیکی ناشی از ورود و خروج مواد و انرژی (آب، برق، گاز و نیروی انسانی) میان زیرساخت‌های مورد نظر است؛ برای مثال، سیستم برق و تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات با یکدیگر از نظر فیزیکی اندرکنش دارند. سیستم برق به زیرساخت‌های ارتباطات و اطلاعات برق‌رسانی می‌کند و در مقابل، زیرساخت ارتباطات به نظارت و کنترل داده‌های عملیاتی موردنیاز برای کارکرد بهتر تولید، انتقال و توزیع برق می‌پردازد (شکل ۱)به عبارت دیگر، آنچه باید در این مرحله به آن پرداخت، این است که اختلال در یک جزء از زیرساخت مورد نظر بر سایر اجزای زیرساخت چه تأثیری خواهد گذاشت که برای نیل به آن باید ماتریس‌های مجاورت در مورد اجزای شناخته شده‌ی زیرساخت‌ها ترسیم شود. ماتریس مجاورت علاوه بر وابستگی، درصد آن را نیز مشخص می‌کند. به‌طور مثال، اگر یک دارایی به سه دارایی دیگر متصل باشد، درصد وابستگی آن ۱/۳ یا به عبارتی ۳۳٪ خواهد شد.

طبق خروجی‌های مرکزیت، اگر مقدار مرکزیت یک گره بیش از یک مقدار مشخص باشد آن گره به منزله‌ی یک دارایی بحرانی به‌شمار می‌آید و باید شبکه به‌نحوی اصلاح شود که میزان آسیب‌پذیری دارایی‌های بحرانی (مقدار مرکزیت دارایی‌های بحرانی) کاهش یابد.

پیامد

با توجه به دسته‌بندی‌های ارائه شده در مورد انواع پیامدها، آنچه در این مقاله مورد توجه قرار دارد، پیامدهای محسوس مستقیم و غیرمستقیم ناشی از حذف زیرساخت‌های حیاتی است که به صورت جمعیت تحت تأثیر، وسعت تحت تأثیر، زمان و هزینه مورد نیاز برای احیا، دسته‌بندی شده است.

جمعیت تحت تأثیر: پیامدهای انسانی با توجه به میزان جمعیت تحت پوشش هر یک از زیرساخت‌ها محاسبه می‌شود. به این معنا که پیامد انسانی به صورت دسترسی نداشتن به خدمات یا اختلال در خدمت‌رسانی به جمعیت هدف، تعریف شده است. پس، ابتدا جمعیت تحت پوشش اجزای هریک از زیرساخت‌ها ارزیابی می‌شود و سپس در ارزیابی پیامد مد نظر قرار می‌گیرند.

وسعت تحت تأثیر: در مسئله‌ی امدادرسانی و تأمین خدمات، مساحت محدوده‌ی آسیب‌دیده می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا کند. به عنوان مثال، در صورت قطع آب، آب‌رسانی به یک محدوده با وسعت کم می‌تواند از طریق تانکرهای آب‌رسانی صورت گیرد، اما انجام این کار در محدوده‌هایی با وسعت بالاتر بسیار دشوار خواهد بود.

زمان موردنیاز برای احیا: زمان جایگزینی اجزای آسیب‌دیده در هر زیرساخت که با توجه به ماهیت آن جزء و همچنین عملکرد آن تعیین می‌شود، نقش بسزایی در تسریع و یا کند شدن روند امدادرسانی، خدمات‌رسانی و همچنین بازگشت به حالت عادی ایفا می‌کند. بنابراین، زمان جایگزینی به عنوان یکی از پیامدها مد نظر قرار گرفته است.

هزینه موردنیاز برای احیا: قیمت مد نظر در این محاسبات، هزینه‌ی لازم برای راه‌اندازی مجدد اجزای آسیب‌دیده در هر زیرساخت است. علاوه بر زمان، هزینه‌ی راه‌اندازی مجدد اجزای آسیب‌دیده نیز نقش اساسی در سرعت روند بازگشت به حالت عادی خواهد داشت.

از آنجا که می‌توان پیامدهای محسوس را به واحد پول تبدیل کرد، روشی که می‌توان برای ترکیب معیارهای پیامد مورد استفاده قرار داد، تبدیل معیارها به فاکتور قیمتی آنها و در نهایت محاسبه‌ی ارزش قیمتی هر دارایی است. در این مطالعه برای انجام این تبدیل از مفهوم " فروش از دست رفته[15]" استفاده شده است.

منظور از فروش از دست رفته میزان محصولی است که به واسطه‌ی آسیب‌دیدگی دارایی نمی‌توان آن را فروخت. به عبارت دیگر، فروش از دست رفته فروشی است که تقاضای آن در بازار وجود دارد، ولی شبکه‌ی تامین‌کنندگان به دلایلی نمی‌تواند محصول لازم برای تامین این تقاضا را تولید کند و در نتیجه، مقداری سودی را که می‌توانسته به‌دست بیاورد از دست می‌دهد. این میزان با ضرب زمان احیای دارایی در نرخ تقاضای تحت تأثیر دارایی، به‌دست می‌آید. برای محاسبه‌ی تقاضای تحت تأثیر هر دارایی نیز ابتدا میزان کالایی که هر مصرف‌کننده، مصرف می‌کند تعیین می‌شود و در ادامه با توجه به جمعیت وابسته و میزان متوسط مصرف هر یک از زیرساخت‌ها به ازای هر نفر، تقاضای تحت تأثیر دارایی در واحد زمان محاسبه می‌شود (شکل ۲).

از آنجا که مفهوم فروش از دست رفته تلفیقی از معیارهای آسیب‌پذیری و پیامد است، با توجه به تعریف خطرپذیری و در صورت احتساب معیار تهدید (احتمال)، می‌توان نتایج حاصل از محاسبه این مفهوم را معادل ارزیابی خطرپذیری در نظر گرفت. با توجه به آنچه تا کنون بیان شد، الگوی پیشنهادی این مطالعه برای ارزیابی خطرپذیری را می‌توان این گونه معرفی کرد (شکل ۳):

۳. مطالعه موردی

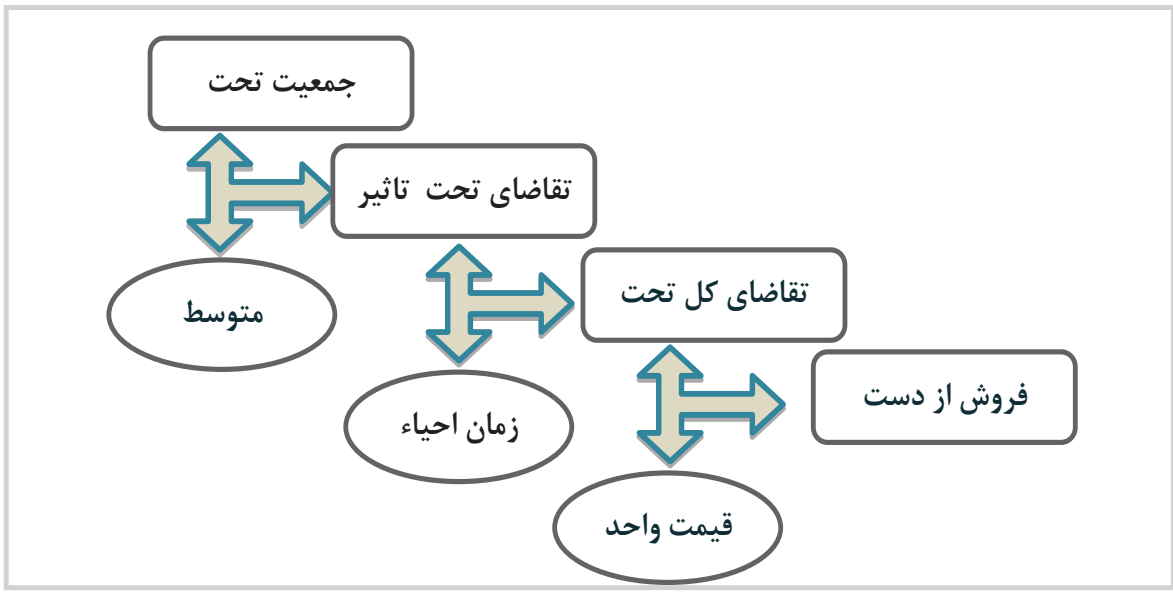
همان طور که در بخش مقدمه و مبانی نظری ذکر شد، هدف این مطالعه تلفیق رویکرد بررسی عملکردی زیرساخت‌ها و آمایش در براورد میزان خطرپذیری است. خسارت و پیامد ناشی از انهدام زیرساخت‌ها بسیار گسترده و وسیع است و از جذاب‌ترین دارایی‌ها به شمار می‌روند؛ از این رو، الگوی محاسبه خطرپذیری آنها در این مقاله ارائه شد و برای بررسی دقیق‌تر، نتایج در محدوده فرضی مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که برای امکان تحلیل مناسب‌تر از الگوی ارائه شده، در این مطالعه تنها بخشی از شبکه‌های زیرساخت مورد بررسی قرار می‌گیرند که شامل شبکه‌های آب، برق و گاز است (جدول ۲). همچنین با توجه به امنیتی بودن موضوع، امکان انتخاب نمونه‌ی موردی واقعی وجود نداشت و نمونه‌ی موردی به‌طور فرضی در محدوده‌ای شهری در نظر گرفته شده است.

تحلیل تهدید در مطالعه موردی

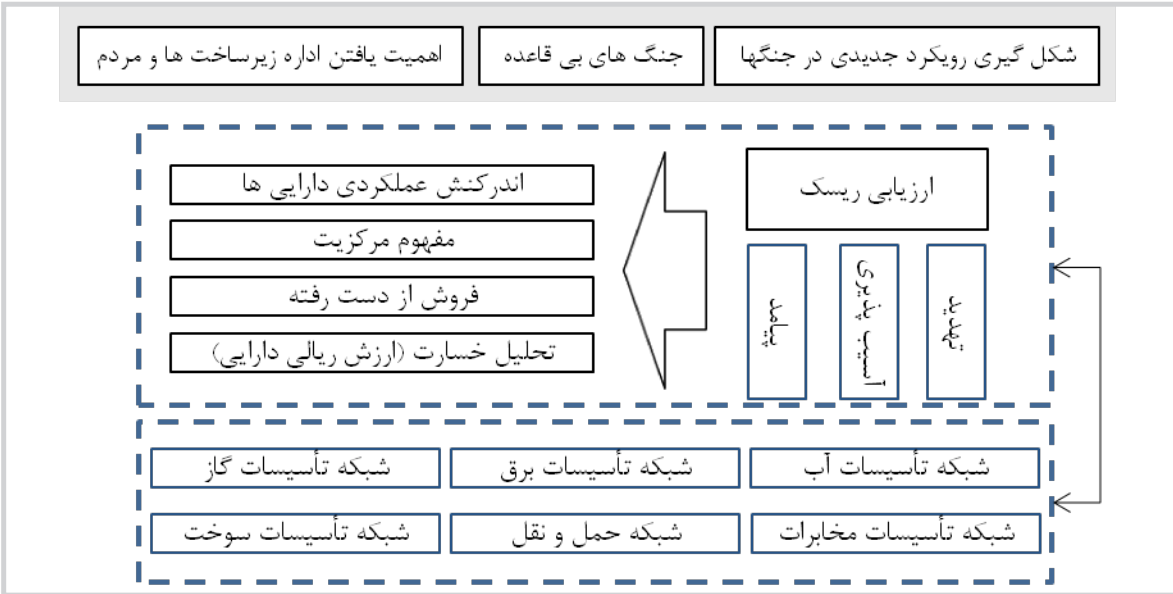
همان طور که ذکر شد، بررسی پیامدها باید در بدترین حالت ممکن ناشی از رخداد تهدید مدنظر قرار گیرد؛بنا بر این، تهدید در محاسبه‌ی میزان خطرپذیری "۱" فرض می‌شود. اما از آنجا که روابط داخلی و خارجی، هزینه و زمان بازسازی زیرساخت‌ها و جمعیت و مساحت تحت تأثیر و از دست رفتن کارکرد آنها همگی از معیارهای سنجش آسیب‌پذیری و پیامد در این مطالعه هستند، می‌توان به‌طور کلی گفت که علاوه بر تهدید نظامی، تهدیدات سایبری و اقتصادی نیز به نوعی مورد توجه قرار گرفته‌اند (شکل ۴).

تحلیل آسیب‌پذیری در مطالعه‌ی موردی

همان گونه که در بخش‌های قبل بیان شد، به منظور تحلیل آسیب‌پذیری از شاخص مرکزیت و ماتریس‌های مجاورت استفاده می‌شود. در این راستا ماتریسی که در آن تمامی دارایی‌ها و وابستگی داخل شبکه‌ای و خارج شبکه‌ای آنها مورد بررسی قرار گرفت، تشکیل و برای حل دستگاه فوق از نرم افزار متلب[16] استفاده



شکل ۲ :فرایند محاسبه فروش از دست رفته



شکل ۳ الگوی ارزیابی ریسک

زیرساخت	اجزای زیرساخت	زیرساخت	اجزای زیرساخت
آب	تصفیه‌خانه آب	برق	نیروگاه
	مخزن آب		پست ۴۰۰ کیلوولت
	ایستگاه پمپاژ آب		پست ۱۳۲ کیلوولت
	خطوط اصلی انتقال آب	گاز	پالایشگاه
	چاه آب		CGS
	سد		خط انتقال گاز

جدول ۲: زیرساخت‌ها و اجزای مورد بررسی آنها در مطالعه‌ی موردی

شکل ۴: ساختار تشکیلاتی تهدیدات

شد. مطلوب در این قسمت مرکزیت هر یک از زیرساخت‌ها و اجزای تشکیل‌دهنده آن است.

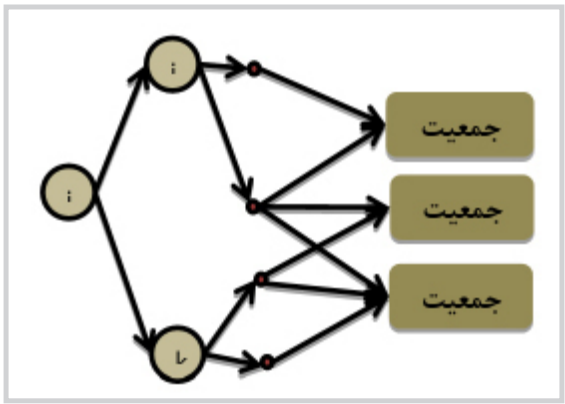
تحلیل پیامد در مطالعه موردی

در این بخش عامل‌های محاسبه‌ی پیامد مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در اولین گام جمعیت تحت پوشش هر دارایی بررسی می‌شود. از آنجا که در شبکه‌های مختلف معمولاً گره‌های واقع شده در انتهای شبکه (در صورت سلسله مراتب قایل شدن برای اجزای شبکه مانند اجزای شبکه‌ی برق) به مصرف کننده‌هایی متصل هستند، حذف آنها تأثیر مستقیمی بر جمعیت مصرف‌کننده‌ی مرتبط با آنها دارد و موجب می‌شود که جمعیت خاصی تحت‌تأثیر خرابی آنها قرار گیرد. اما این موضوع برای سایر اجزای شبکه نیز صادق است به این معنا که با حذف آنها با چند واسطه، جمعیت مشخصی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (شکل ۵).

در این مرحله ابتدا ماتریس جمعیت تحت تأثیر ناشی از حذف هر گره استخراج شده است. در ماتریس مذکور تنها جمعیتی که مستقیماً تحت تأثیر قرار می‌گیرد، لحاظ شد؛ چراکه دارایی‌ها دارای سلسله مراتبی هستند که در آنها گره‌های اولیه در واقع گره‌های مولد هستند، گره‌های سطح دوم گره‌های واسط بوده ، محصول (یا توان) از طریق آنها به گره‌های سطح سوم می‌رسد و در نهایت، گره‌های سطح سوم تحویل‌دهنده‌ی محصول به جمعیت هستند. با این توصیف، در ماتریس مذکور جمعیت تنها به گره‌های سطح سوم تخصیص داده شده و با توجه به ماتریس و نحوه‌ی وابستگی‌ها، جمعیت به صورت سلسله‌وار به گره‌های سطح ۲ و یک منتقل می‌شود. با توجه به روش فوق جمعیت وابسته به هر یک از زیرساخت‌ها جداگانه محاسبه شد. محاسبه‌ی مساحت تحت پوشش نیز به همین روش اعمال می‌شود.

در جدول ۲ و جدول ۳ اطلاعات مورد نیاز مذکور در محاسبه فروش از دست رفته (متوسط میزان مصرف و متوسط هزینه مصرف و زمان احیای زیرساخت) که در مطالعه‌ی موردی استفاده شده است، دیده می‌شود.

حال با تلفیق فروش از دست رفته و هزینه‌ی مورد نیاز برای احیای زیرساخت، مطلوب نهایی این بخش که همان ارزش ریالی هر یک از زیرساخت‌ها و نشان دهنده‌ی میزان خطرپذیری آنها نیز است، به‌دست آمد (جدول ۵).



شکل ۵: تأثیر دارایی i بر جمعیت‌های مصرف کننده

۴. نتیجه‌گیری

خطرپذیری برامدی است از عامل‌های تهدید، آسیب‌پذیری و پیامد. در این مطالعه با تلفیق رویکرد آمایشی و عملکردی و با استفاده از یک مفهوم میانی (فروش از دست رفته) میزان خطرپذیری حاصل از تخریب و از بین رفتن زیرساخت‌های حیاتی به صورت کمّی تعیین و محاسبه شد. در این مفهوم با تبدیل تمامی عامل‌ها به هزینه‌ی ریالی، علاوه بر ایجاد تصویری از میزان خطرپذیری در کل شبکه، امکان مقایسه بین زیرساخت‌ها و اجزای آنها نیز فراهم آمد. همان‌طور که انتظار می‌رفت نتایج نمونه موردی نیز مبیّن این مهم است که هر یک از اجزای زیرساخت‌ها که مرکزیت، جمعیت، وسعت، هزینه و زمان احیای بیشتری دارد، میزان فروش از دست رفته و خطرپذیری آن در کل شبکه بالاتر است.

با دانستن این مطلب که کدام یک از زیرساخت‌های حیاتی یک شهر می‌تواند تأثیرات مخرب بیشتری بر عملکرد شهر (از نظر هزینه وارده بر سیستم) داشته باشد، برنامه‌ریزان شهری می‌توانند تصمیمات و پیش‌بینی‌های مطلوب‌تر و واقعی‌تری برای ارتقای امنیت و بازدارندگی ارائه دهند. این تصمیمات می‌توانند گستره‌ی وسیعی از راهبردها را شامل شود. نمونه‌ی کوچکی از عناوین کلی این راهبردها می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

-ایجاد تغییرات در شبکه و کاهش بار عملکردی اجزا؛

-ایجاد سامانه‌های پشتیبانی؛

-تأمین امکان خدمات‌رسانی به نقاط جمعیتی از راه‌های گوناگون؛

-استفاده از اجزای جایگزین در شبکه‌ها،

-توزیع متناسب اجزای شبکه با توجه به نقاط جمعیتی.

-همچنین با توجه به وضعیت شبکه ی مورد بررسی و امکانات و توان اقدام در هر محدوده مورد مطالعه، می‌توان راهکارهای گوناگونی برای کاهش میزان خطرپذیری ارائه داد.

زیرساخت	اجزای زیرساخت	هزینه موردنیاز (ریال)	زمان موردنیاز (ماه)
آب	تصفیه خانه آب	۱۱۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۳۶
	مخزن آب	۳۸,۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۰
	ایستگاه پمپاژ آب	۴,۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۴
	(خطوط اصلی انتقال آب (هر کیلومتر	۱۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۳
	چاه آب	۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۳
	سد	۳,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۳۶
برق	نیروگاه	۹۵,۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۹۲
	پست ۴۰۰ کیلوولت	۹,۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۱
	پست ۱۳۲ کیلوولت	۱,۴۴۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۵
گاز	پالایشگاه	۴۲,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۶۲
	CGS	۱۶,۱۶۳,۲۵۰,۰۰۰	۱۱
	(خط انتقال گاز (هر کیلومتر	۶,۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲

جدول ۳ :هزینه و زمان مورد نیاز برای احیای اجزای زیرساخت‌های مورد مطالعه

زیرساخت	متوسط میزان مصرف	متوسط هزینه مصرف
گاز	متوسط مصرف گاز به ازای هر مشترک در سال ۱۳۹۰: ۶۸۰ مترمکعب	قیمت هر متر مکعب گاز طبیعی در سال ۱۳۹۰: ۱۱۴۰ریال
آب	متوسط مصرف آب هر مشترک خانگی در سال ۱۳۹۱: ۱۹۰،۸ مترمکعب	قیمت هر متر مکعب آب در سال ۱۳۹۲: ۳۰۵۰ ریال
برق	سرانه مصرف برق به ازای هر مشترک خانگی در سال ۱۳۹۰: ۱۴۶۹ کیلووات ساعت	قیمت هر کیلووات ساعت برق در سال ۱۳۹۳: ۳۴۷ ریال

جدول ۴ متوسط میزان مصرف و متوسط هزینه مصرف زیرساخت‌های موردمطالعه

نام دارایی	فروش از دست رفته (تومان)	نام دارایی	فروش از دست رفته (تومان)	نام دارایی	فروش از دست رفته (تومان)
رده بندی : بسیار بالا		abSad_1	۲۹,۷۷۹,۵۲۷,۷۹۷,۲۰۱	barghPost132_9	۴,۴۶۵,۲۳۵,۴۷۵,۱۶۱
gasPalayesh_1	۱,۲۸۱,۹۹۷,۳۲۷,۷۶۹,۱۷۰	abSad_3	۲۹,۷۷۹,۵۲۷,۷۹۷,۲۰۱	barghPost132_4	۴,۱۷۲,۱۸۰,۱۲۶,۲۸۷
abSad_2	۵۹۱,۷۳۵,۷۶۹,۱۵۳,۳۰۴	abTasfie_1	۲۹,۴۸۱,۸۶۷,۷۹۷,۲۰۱	gasLine_6	۳,۶۰۷,۰۵۶,۶۳۵,۷۹۴
abTasfie_3	۵۹۱,۴۳۸,۱۰۹,۱۵۳,۳۰۴	abKhat_3	۲۴,۶۴۵,۸۷۹,۰۴۸,۰۵۴	gasLine_14	۳,۶۰۷,۰۵۶,۶۳۵,۷۹۴
bargh_nirugah1	۵۸۲,۷۴۹,۸۳۷,۴۵۷,۴۹۲	barghPost132_7	۲۳,۴۹۴,۷۶۱,۲۵۲,۶۱۲	gasLine_9	۳,۶۰۷,۰۵۶,۶۳۵,۷۹۴
bargh_nirugah3	۳۶۸,۹۹۲,۳۵۵,۵۵۳,۹۱۱	abMakh_8	۲۳,۴۵۳,۹۷۳,۱۹۳,۴۸۳	barghPost132_2	۲,۸۸۲,۴۱۳,۷۵۶,۳۰۵
رده بندی : بالا		gasCGS_7	۲۲,۲۱۴,۲۳۷,۹۰۰,۷۵۷	abKhat_2	۱,۲۳۱,۰۳۵,۶۵۸,۲۱۷
barghPost132_16	۱۸۰,۸۰۹,۲۲۹,۰۹۶,۵۸۵	gasLine_15	۲۱,۴۳۹,۳۸۳,۱۸۳,۳۰۷	abMakh_11	۱,۱۲۸,۷۸۹,۳۹۹,۴۲۵
abTasfie_2	۱۱۰,۲۰۰,۰۲۲,۴۰۶,۲۷۵	رده بندی : کم		barghPost400_1	۹۹۱,۴۹۲,۵۲۴,۰۸۶
abPomp_1	۹۱,۴۶۷,۱۷۱,۶۵۴,۵۴۶	gasLine_7	۱۹,۶۸۶,۸۹۶,۹۲۴,۰۲۳	barghPost400_2	۹۶۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
abPomp_2	۹۱,۴۶۷,۱۷۱,۶۵۴,۵۴۶	abPomp_3	۱۹,۶۵۴,۹۰۸,۵۳۱,۴۶۷	barghPost400_3	۹۶۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
bargh_nirugah2	۷۶,۱۸۵,۹۴۴,۸۱۵,۱۸۰	barghPost132_8	۱۹,۱۹۹,۲۶۷,۰۱۱,۳۶۴	barghPost400_4	۹۶۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
abMakh_6	۶۸,۷۵۶,۱۶۷,۰۹۹,۳۲۱	gasLine_12	۱۷,۸۰۴,۵۵۱,۷۰۲,۴۵۹	gasLine_2	۸۱۴,۱۶۸,۱۴۱,۲۸۸
abMakh_10	۶۷,۷۷۶,۵۶۲,۱۰۴,۴۹۷	gasLine_8	۱۶,۹۹۴,۰۳۵,۶۲۵,۳۲۳	abChah_2	۳۳۷,۸۱۲,۶۵۵,۶۶۸
abMakh_5	۶۷,۶۶۳,۹۴۶,۰۲۵,۱۵۱	barghPost132_14	۱۶,۹۴۰,۱۳۲,۷۸۳,۴۲۲	barghPost132_5	۲۵۲,۰۴۰,۸۹۷,۵۰۳
abMakh_1	۶۶,۵۳۶,۴۴۲,۳۶۹,۰۲۵	abMakh_3	۱۵,۵۶۹,۵۵۱,۰۶۸,۳۵۶	abChah_3	۲۴۷,۵۵۲,۷۳۱,۶۴۳
abMakh_9	۶۰,۴۸۱,۹۷۸,۰۲۰,۳۱۹	gasLine_10	۱۳,۱۲۹,۹۸۸,۳۸۹,۷۳۰	barghPost132_6	۱۴۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
رده بندی : متوسط		barghPost132_12	۱۰,۹۸۳,۰۱۶,۲۹۹,۰۹۷	abChah_6	۷۸,۴۱۶,۱۶۸,۳۳۸
abMakh_2	۵۸,۱۶۱,۰۶۸,۴۲۴,۶۴۶	gasLine_11	۱۰,۳۰۵,۹۹۸,۶۷۱,۱۵۵	gasLine_1	۱۶,۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰
gasCGS_3	۵۲,۵۲۴,۱۵۲,۵۵۸,۹۲۲	barghPost132_13	۹,۴۷۵,۶۴۸,۸۴۲,۱۵۸	gasLine_5	۱۶,۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰
abMakh_4	۴۶,۱۲۷,۷۰۳,۲۶۳,۱۸۵	abMakh_7	۸,۵۳۵,۲۸۸,۷۲۷,۸۸۷	gasLine_13	۱۶,۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰
gasCGS_4	۴۵,۲۵۷,۰۸۶,۸۷۰,۱۲۵	gasLine_3	۶,۵۰۷,۵۲۹,۹۸۴,۹۲۸	abChah_4	۱,۸۹۰,۰۰۰,۰۰۰
gasCGS_5	۳۸,۰۳۴,۰۷۳,۱۷۹,۹۱۷	barghPost132_3	۶,۳۱۷,۱۴۲,۰۰۰,۶۷۲	abChah_5	۱,۸۹۰,۰۰۰,۰۰۰
gasCGS_1	۳۳,۹۲۰,۲۶۶,۱۷۷,۳۷۱	gasLine_4	۵,۴۳۴,۰۳۸,۷۶۲,۶۰۶	abChah_7	۱,۸۹۰,۰۰۰,۰۰۰
gasCGS_2	۳۳,۳۰۶,۵۷۹,۱۷۴,۳۰۷	رده بندی : بسیار کم		abChah_8	۱,۸۹۰,۰۰۰,۰۰۰
gasCGS_6	۳۱,۹۸۷,۷۲۵,۶۵۱,۵۰۳	abKhat_1	۴,۵۹۴,۲۹۲,۱۰۰,۲۶۱	...	...

جدول ۵ :ارزش ریالی دارایی‌ها در صورت حذف آنها

پی‌نوشت‌ها

1- Risicare
2- Hazard
3- Vulnerability
4- Department of Homeland Security
5- سازمانی در ایالات متحده امریکا که در طول سال‌های متمادی مفهوم ریسک و معیارهای تعریف کننده‌ی آن را به طور گسترده و از جنبه‌های گوناگون مورد مطالعه و ارزیابی قرار داده و تعریف جامعی از مفهوم ریسک و چگونگی ارزیابی آن ارائه کرده است.
6- Threat
7- National Fire Protection Association
8- Consequences
9- Keith Smith
10- Environmental Hazards
11- All Hazards Risk Assessment
12- Department of Homeland Security
13- Centrality
14- Infrastructure Interdependency
15- Lost Sell
16- MATLAB

منابع

1. Oxford English Dictionary, 1989.
2. ISO/IEC (2002). "Guide 73 Risk management- Vocabulary- Guidelines for use in standards", International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission.
3. Woodruff, J. M. (2005). "Consequence and likelihood in risk estimation: a matter of balance in UK health and safety risk assessment practice". Safety Science,43(5e6), 345e353.
4. Godschalk, David R., Edward Kaiser, and Philip Berke (1998). "Integrating Hazard Mitigation and Local Land Use Planning". Chapter four in Cooperating with Nature, edited by Raymond Burby, National Academy Press, Joseph Henry Press, Washington, DC.
5. Ansell, J. and F. Wharton (1992). "Risk: Analysis, Assessment, and Management", Chichester: John Wiley & Sons.
6. Cutter, Susan L. (2001). "The Changing Nature of Risks and Hazard". Chapter 1, in American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters, Joseph Henry Press, Washington, DC.
7. FEMA (1997). "Multi Hazard Identification and Assessment", FEMA, Washington, D.C.
8. Pearce, Laurie (2000). "An Integrated Approach for Community Hazard, Impact, Risk and Vulnerability Analysis: HIRV". University of British Columbia. Doctoral Dissertation.
9. Alexander, David E. (1991). "Natural Disasters: A Framework for Research and Teaching," Disasters, 15(3): 209-226.
10. NSW (New South Wales) Department of Finance and Services (2011). "Project Risk Management Guideline", Version 3.3, NSW Government, Finance and Services.
11. Norman, Thomson (2010). "Risk Analysis and Security Countermeasure selection", CRC press, USA.

۱۲. موحدی‌نیا، جعفر (۱۳۸۵). «مفاهیم نظری و عملی دفاع غیرعامل»، معاونت آموزش و نیروی انسانی ستاد مشترك سپاه، مرکز برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی، چاپ اول، تهران.

13. RAMCAP Plus (2009). «All Hazard Risk and Resilience, Prioritizing Critical Infrastructure by Using the RAMCAP Plus SM Approach», ASME Innovative Technologies Institute.
14. NFPA 730(2014)."Guide for Premises Security".
15. NFPA 1600(2004)."Standard on Disaster/Emergency Management and Business Continuity Programs".
16. Sinha, P. (2006). Disaster Vulnerabilities and Risks, Trends, Concepts, Classifications and Approaches. Indian: SBS Publishers & Distributers.
17. Coppola, Damon P (2006). "Introduction to International Disaster Management", Butterworth Heinemann. Burlington. pp. 113-119
18. API/NPRA (2004). "Security Vulnerability Assessment Methodology".
19. Gabriel, Paul (2009). "Victoria's State-Level Emergency Risk Assessment Method", Australian Journal of Emergency Management. Vol 24, No. 1. February
20. All Hazards Risk Assessment Methodology Guidelines,2012-2013
21. ASIS (2003). "General Security Risk Assessment Guidline", International Advancing Security Worlwide, Virginia, USA.
22. Rinaldi Steven M., Peerenboom James P. and Kelly Terrence K. (2001). "Identifying, Understanding and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies", IEEE Control Systems Publication, US.
23. Homeland Security (2008). "Infrastructure Taxonomy", US
24. E.O.1310 (1996): "Critical Infrastructure Protection",US.
25. White House (2003). "The National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructure and Key Assets",URL: http://www.whitehouse.gov/pcipb/physical_strategy.pdf.
26. Knight, John C. Elder, Matthew C. Flinn , James and Marx, Patrick.(1997). " Summaries of Three Critical Infrastructure Applications", Computer Science Report No. CS-97-27.

۲۷. سازمان پدافند غیرعامل کشور (۱۳۹۱). " انواع تهدیدات و نحوه بررسی و ارزیابی آنها " .

۲۸. علی محمدی، غلامعلی (۱۳۹۰). « تهدیدات سایبری و راه مقابله با آن (شناسایی، پیشگیری و مقابله)»، مجموعه مقالات سومین همایش ملی پدافند غیرعامل.

۲۹. عوض آبادیان، فرشید. جمشیدی، علی. رضایتی، آرمان و مهدی زاده، رسول (۱۳۹۳). « ارائه الگو نوین برای تحلیل وابستگی دارایی‌های حیاتی در آسیب‌پذیری صنایع»، دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، سال سوم، شماره اول، بهار و تابستان، صفحات ۴۷-۵۶.

30. Eusgeld, Irene; Henzi, David and Kröger, Wolfgang (2008). "Comparative Evaluation of Modeling and Simulation Techniques for Interdependent Critical Infrastructures", Zurich: Scientific Report, laboratory for safety analysis.
31. Dudenhoeffer. D, Pederson. P, Hartley. S & Permann. M (2007). "Critical Infrastructure Interdependency Modeling", A Survey of U.S and International Research.