ارائه رویکرد جامعی بر مدیریت بحران شهری بر اساس نقشه آسیب‌پذیری و پهنه‌بندی خطر
مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری تهران

وحید اسماعیلی کیاسج
دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
v_esmaeili@iust.ac.ir

دکتر فرناز برزین پور(نویسنده مسئول)
استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
barzinpour@iust.ac.ir

دکتر کامران شهانقی
استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
shahanaghi@iust.ac.ir

چکیده

بلایای طبیعی همواره در طول دوران حیات کره زمین وجود داشته و خواهند داشت. با پیشرفت جوامع بشری، مناطق مسکونی و کلان‌شهرها نیز نسبت به اثرات و پیامدهای مخرب ناشی از وقوع بحران‌ها مصون نبوده‌اند. آسیب‌پذیری جوامع، علاوه بر گستردگی و شدت بحران‌ها، وجود زیرساخت‌های مناسب شهری و سازه‌های مستحکم، به برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه و ایجاد آمادگی مناسب در سازمان‌های متولی مدیریت بحران نیز بستگی فراوانی دارد. وقوع بحرانی مانند زلزله، معمولا منجر به ایجاد آسیب‌های ثانویه‌ای در مناطق شهری می‌شود که هر یک از آن‌ها به دلایل روشنی اتفاق می‌افتند و پیامدهای مشخصی به دنبال خواهند داشت. شناسایی تمامی این دلایل و پیامدها، منجر به ایجاد نقشه‌ای از آسیب‌پذیری در مناطق شهری می‌شود که می‌تواند مبنای ایجاد برنامه‌های پیشگیرانه باشد. از طرفی، یکی از مؤثرترین و کاراترین روش‌های برنامه‌ریزی برای آمادگی و مقابله با شرایط بحرانی در سازمان‌های متولی مدیریت بحران، طراحی زنجیره‌های امداد و تعیین مسئولیت‌ها بر اساس داده‌های ناشی از مطالعات آسیب‌پذیری منطقه است. لذا، در این مقاله سعی خواهد شد تا رویکردی برای استفاده از داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و استخراج دانش خبرگان سازمان‌های مسئول در مناطق شهری ارائه گردد تا به کمک آن ضمن ایجاد نقشه‌های پهنه‌بندی خطر و آسیب‌پذیری عملکردی منطقه شهری، به طراحی فازهای پیشگیری، آمادگی و واکنش مدیریت بحران پرداخته شود. برای ایجاد درک بهتری از نحوه عملکرد رویکرد پیشنهادی، از منطقه یک شهرداری شهر تهران به عنوان مطالعه موردی استفاده شده و نتایج حاصل از مطالعه بر روی آسیب‌پذیری ناشی از بروز زلزله در این منطقه ارائه خواهد شد.

کلید واژه:

مدیریت بحران شهری - ارزیابی آسیب پذیری - زنجیره امداد - مدل ریاضی جایابی و توزیع - تحلیل درخت واقعه - تحلیل درخت خطا - سیستم اطلاعات جغرافیایی

مقدمه

وقوع بحران در هر کلان‌شهری یا منطقه مسکونی امری محتمل است. تنوع بلایای طبیعی و بحران‌های انسان‌ساخت، نامشخص بودن زمان و شدت وقوع بحران همگی دلایلی هستند که باعث ایجاد ابهام در پیامدهای ناشی از وقوع آن‌ها می‌شوند. پیشگیری، بعنوان مرحله‌ای بلندمدت و یا استراتژیک از چرخهٔ مدیریت بحران، اهمیت بسیاری در کاهش خسارات و تلفات ناشی از آن دارد. با این وجود، کارآمدترین استراتژی‌ها و برنامه‌های پیشگیرانه نیز نمی‌توانند پیامدهای ناشی از بروز بحران را بطور کامل حذف نمایند. بنابراین طراحی و اجرای فعالیت‌های لازم جهت مواجهه با پیامدهای احتمالی بحران، امری ضروری است. در این میان، سوالی که مطرح خواهد

بود این است که به منظور کسب آمادگی‌های لازم پیش از وقوع بحران و مواجهه با شرایط آن پس از وقوع، چه فعالیت‌هایی و در قالب چه ساختار باید انجام شوند و نقش سازمان‌های متولی در مدیریت نیازمندی‌های شهروندان چیست؟

در مراحل پیشگیری و آمادگی، تلاش می‌شود تا سطح آسیب‌پذیری جوامع در مواجهه با بحران‌های احتمالی کاهش یابد. این امر در مرحله پیشگیری از طریق کاهش احتمال وقوع مخاطره و یا کاهش اثرات و پیامدهای ناشی از آن انجام می‌گیرد و در مرحله آمادگی، با توجه به محدویت‌هایی نظیر زمان، منابع، نیروی انسانی، مسیرهای حرکت و غیره، برنامه‌ریزی‌های لازم به منظور استفاده از ظرفیت‌های موجود برای مدیریت بهتر فعالیت‌های واکنشی ایجاد می‌شوند. نهایتاً، تهیه و تدوین فعالیت‌های مرحله واکنش در برابر بحران در یک شهر و یا منطقه شهری بصورت منسجم و هماهنگ با فعالیت‌های مراحل آمادگی و بازیابی، منجر به توانمندسازی آن شهر برای مقابله با پیامدهای مستقیم و غیر مستقیم وقوع بحران خواهد شد. گستردگی و شدت مخاطرات در کنار سطح آسیب‌پذیری جامعه در مواجهه با آن‌ها، فاکتورهای اصلی تعیین‌کننده شدت بحران بوده و سطح واکنش مورد نیاز برای مدیریت پیامدهای ناشی از بحران را دیکته می‌نمایند.

یکی از مؤثرترین و کاراترین روش‌های برنامه‌ریزی برای آمادگی و مقابله با شرایط بحرانی، استفاده از زنجیره‌های امداد و اصول لجستیک در شرایط اضطراری است. هدف از واکنش به بحران در زنجیره امداد انسان‌دوستانه ارائه سریع امداد (غذا، آب، دارو، سرپناه و کالاهای اضطراری) به مناطق آسیب‌دیده است تا رنج و سختی و تلفات انسان‌ها را حداقل نماید [۱]. طراحی زنجیره امداد نقش مهمی در رسیدن به واکنش موثر و کارا ایفا می‌کند. تنها در چند سال اخیر بوده است که سازمان‌های امداد انسان‌دوستانه به اهمیت و وجوب مدیریت زنجیره امداد در موفقیت عملیات امداد در بحران پی برده‌اند [۲]. شو [۳] در سال ۲۰۰۷ لجستیک امداد در شرایط اضطراری را به صورت زیر تعریف نموده است: « فرآیند برنامه‌ریزی، مدیریت و کنترل جریان کارای امداد، اطلاعات و خدمات از نقطه مبدا به نقطه مقصد برای برآورده نمودن نیاز ضروری مردم آسیب‌دیده تحت شرایط اضطراری.»

این مقاله سعی دارد با یکپارچه نمودن مفاهیم آسیب‌پذیری و مدیریت بحران، رویکردی ارائه دهد تا چرخه مدیریت بحران یک منطقه شهری، مفاهیم استراتژی‌های پیشگیرانه در کنار فعالیت‌های عملیاتی واکنش، با توجه به نقشه‌هیی ارزیابی ریسک و خسارات طراحی شوند. به این ترتیب، امکان هدایت اثربخش و کارای کلیه فعالیت‌های وابسته به مدیریت بحران در قالب یک چارچوب کلی میسر می‌گردد. در ادامه، به مرور پیشینه تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌های مشابه پرداخته می‌شود.

۱. مرور ادبیات

نات [٤] در سال ۱۹۸۷ مسئله ارسال اقلام غذایی به مایل آخر (رسیدن محصول به دست مصرف‌کننده نهایی یعنی مردمی که مستقیما تحت تاثیر بحران قرار گرفته‌اند) از یک مرکز توزیع به تعدادی از کمپ‌های پناهندگان را مورد بررسی قرار داد. با درنظر گرفتن مسئله عرضه چند- کالایی تحت شرایط اضطراری، راتی و همکاران [٥] در سال ۱۹۹۲ سه مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه دادند تا به تخصیص تعداد محدودی وسیله نقلیه برای حمل کالاها بپردازند.

مقالات زیادی روی بهینه‌سازی حمل و نقل و توزیع غذا کار کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به أه و حقانی [٦ و ٧] در سال‌های ۱۹۹٦ و ۱۹۹۷، باربارسوگلو و همکاران [۸] در سال ۲۰۰۲ و أزدمار و همکاران [۹] در سال ۲۰۰٤ اشاره نمود. حقانی و أه [٦ و ٧] مسئله حمل و نقل امداد با ابعاد بزرگ در بحران را به عنوان یک مدل جریان شبکه چند-کالایی و چند-قیدی[1] با یک تابع هدف فرمول‌بندی کردند. یک رویکرد تجزیه سلسله‌مراتبی دو سطحی توسط باربارسوگلو و همکاران [۸] برای برنامه‌ریزی ماموریت‌های هلی‌کوپتر در عملیات امداد بحران ارائه شده است. أزدمر و همکاران [۹] به بکارگیری مسئله مسیریابی وسایل نقلیه[2]

(VRP) در فرآیند توزیع امداد پرداختند. به طور مشابه، بیمون و کتلبا [۱۰] در سال ۲۰۰٦ نیز به مسئله کمیابی تحقیق در زمینه مدیریت موجودی در لجستیک انسان‌دوستانه و اقتباس مدلسازی کنترل موجودی برای الگوی تقاضای منحصر بفرد آن اشاره نموده‌اند. تزنگ و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۰۷ یک مدل چند معیاره قطعی برای توزیع کالاها به مناطق آسیب‌دیده با درنظر گرفتن هزینه، زمان خدمت و برآورده شدن تقاضا ارائه داده‌اند که سه هدف حداقل شدن هزینه کل، حداقل شدن کل زمان سفر و حداکثر شدن حداقل رضایتمندی در طی دوره برنامه‌ریزی در آن درنظر گرفته شده است. وی و کومار [۱۲] در سال ۲۰۰۷، یک روش ابتکاری بر پایه بهینه‌سازی با الگوریتم مورچگان ارائه داده‌اند که مسئله اولیه لجستیک شرایط اضطراری را به دو فاز تصمیم‌گیری تقسیم می‌نماید: ساخت مسیرهای وسایل نقلیه و ارسال کالاهای چندگانه در توزیع امداد بحران.

واکنش سریع به نیازهای امدادی ضروری درست بعد از رخ دادن یک بلای طبیعی با استفاده از توزیع لجستیک اضطراری روشی کارا به منظور تسکین شدت اثر فاجعه در مناطق آسیب‌دیده است. شو [۳] در سال ۲۰۰۷ یک مدل بهینه‌سازی– خوشه‌بندی فازی ترکیبی برای عملیات لجستیک اضطراری برای توزیع ارائه داده است که به تقاضای امداد ضروری در دوره نجات بحرانی واکنش نشان می‌دهد. بالچیک و بیمون [۱۳] در سال ۲۰۰۸، مسئله تصمیم‌گیری جایابی تسهیلات برای زنجیره امداد انسان‌دوستانه برای واکنش به حوادث ناگهانی را درنظر گرفتند. به خصوص، مدلی برای تعیین تعداد و موقعیت مراکز توزیع در شبکه امداد و میزان اقلام امدادی که باید در هر مرکز توزیع برای برآوردن نیاز مردم آسیب‌دیده ذخیره شوند، ایجاد شده است. انورمت و زابینسکی [۱٤] در سال ۲۰۰۹ رویکرد بهینه‌سازی تصادفی را برای مسئله ذخیره‌سازی و توزیع اقلام درمانی برای مدیریت بحران تحت گستره وسیعی از انواع بحران‌ها با بزرگی و شدت متفاوت ارائه نموده‌اند که با داشتن اطلاعات به‌روز شدهٔ میدانی از بحران، می‌تواند برای تعیین میزان بارگیری و مسیریابی وسایل حمل و نقل اقلام درمانی برای واکنش به بحران استفاده شود.

اورتونو و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۱۰ یک مدل لکزیکوپرافی آرمانی برای مسئله توزیع ارائه کردند که برای مردم تحت تاثیر بحران در کشورهای درحال توسعه درنظر گرفت شده است و از یک سیستم پشتیبان تصمیم استفاده می کند. بالچیک و همکاران [۱٦] در سال ۲۰۱۱ مسئله توزیع آخرین مایل را در امداد انسان دوستانه مورد بررسی قرار دادند. از آنجائیکه رساندن اقلام امدادی از مراکز توزیع محلی به مصرف کننده نهایی آخرین بخش زنجیره امداد است آنها از یک سیستم بر پایه خودرو استفاده نمودند تا کالاهای امدادی را به نقاط تقاضا تخصیص داده و زمانبندی و مسیر هر وسیله نقلیه را در افق زمانی معینی تعیین کنند.

در تحقیقات مشابه داخلی، بزرگی امیری و همکاران [۱۷ و ۱۸] در سال ۲۰۱۱ مدلی غیر قطعی را برای لجستیک امداد در نظر گرفتند. در مدل آنها، فرض بر این بوده است که ممکن است دسته ای از اقلام امدادی که از قبل در پایگاه ها انبار شده اند بر اثر بحران نابود شوند و با توجه به این فرض از یک رویکرد چندهدفه استوار برای مدل مسئله جایابی غیر قطعی خود استفاده کرده اند و این مدل را با استفاده از داده های واقعی برای یک مطالعه موردی حل نموده‌اند. نهایتا، عشقی و نجفی [۱۹] نیز در سال ۲۰۱۲ به ارائه مدل برنامه‌ریزی برای لجستیک بحران در فاز واکنش پرداخته‌اند. این مدل به صورت چند محصولی و چند دوره‌ای درنظر گرفته شده و برای پاسخگویی به بحران زلزله مورد استفاده قرار گرفته است.

در بررسی عمده مطالعات صورت گرفته در زمینه ارزیابی خسارت ناشی از بحران زلزله، می‌توان به تحقیقاتی اشاره نمود که در شاخه مهندسی زلزله و عمران انجام شده است. در این راستا، با استفاده از خصوصیات زمین‌شناسی شهر مورد مطالعه و یا دیگر پارامترهای مهم مانند زیرساخت‌ها،شریان‌های حیاتی،جمعیت و نوع ساختمان‌ها و غیره معیارهایی برای سنجش میزان آسیب‌پذیری محیط شهری تعریف شده و به ارزیابی و تخمین خسارات و تلفات ناشی از وقوع بحران پرداخته می‌شود و بر اساس نتایج بدست آمده، قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه رتبه‌بندی می‌گردد. میورا و همکاران [۲۰] در سال ۲۰۰۸ به ارزیابی و تخمین خسارات

ناشی از زلزله بر پایه عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها پرداختند. این محققین، با استفاده از نظرات خبرگان به ایجاد نمودارها و منحنی‌های شکست سازه‌ای و ظرفیت سازه‌ای ساختمان‌ها پرداخته و سپس با استفاده از روش دلفی به تجمیع این نظرات پرداخته‌اند و نتایج بدست آمده از این روش را با خروجی‌های نرم‌افزار تخمین خسارت HAZUS[۳] مقایسه نموده‌اند. الهساوی و اوکازاکی [۲۱] در سال ۲۰۰۸ با استفاده از نرم‌افزار رادیوس و داشتن دو سناریویی محتمل زلزله به تخمین میزان تلفات و مصدومین برای منطقه تبوک عربستان صعودی پرداختند و نتیجه‌گیری کردن که حکومت نیاز به ایجاد برنامه‌های مؤثرتری برای واکنش به بحران است. در تحقیق مشابه دیگری سینها و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۰۸ به توسعه سیستمی بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی[٤] GIS پرداختند تا خطرات لرزه‌ای، آسیب‌پذیری سازه‌ای، میزان مواجهه با ریسک و تخمین خسارات را به صورت کمّی در اختیار کاربر قرار دهد. همچنین، می‌توان به تحقیقات آنسال و همکاران [۲۳] در سال ۲۰۰۹ اشاره نمود که به ارزیابی میزان خسارت شهر استانبول بر اثر وقوع زلزله احتمالی در دریای مرمره پرداختند. در مطالعات اشاره شده با استفاده از داده‌های GIS و با در دست داشتن سناروهای وقوع زلزله میزان ریسک برای شهر استانبول محاسبه شده است. سناریوهای وقوع زلزله بر حسب سری‌های زمانی برای سرعت و شتاب ناشی از زلزله برای مدل‌های ناشی از گسیختگی ناشی از شبیه‌سازی زلزله‌ها تعیین شده و نتایج ناشی از مدل GIS نشان‌دهنده این بوده است که سی درصد از ساختمان‌های این شهر نیاز به مقاوم‌سازی دارند تا به درجه مناسبی از ایمنی برسند. در تحقیق مشابه دیگری، فرزین‌پور سائین و فرزین‌پور سائین [۲٤] در سال ۲۰۱۲ با استفاده از یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها و استفاده از مشخصات زمین‌شناسی شهر تهران، مدلی برای رتبه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهرری در برابر وقوع زلزله ارائه دادند. مطالعات صورت گرفته در [۲۵، ۲٦، ۲۷، ۲۸ و ۲۹] نیز روند کمابیش مشابهی را دنبال می‌کنند و ریسک ناشی از بحران زلزله را با استفاده از معیارهای زمین‌شناسی و زیرساخت‌های شهری محاسبه می‌نمایند.

همانطور که در بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت بحران مناطق شهری مشخص است، معمولا تحقیقات صورت گرفته به دو دسته تقسیم می‌شوند. گروهی از مطالعات که عمدتا در زمینه مهندسی زلزله است، به ارزیابی و تخمین ریسک ناشی از وقوع بحران زلزله پرداخته و به ایجاد رتبه‌بندی برای مناطق مختلف می‌پردازند. دسته دیگر تحقیقات که بیشتر به لجستیک بحران مربوط می‌شود، روی ایجاد برنامه مدیریت بحران در یکی از چهار مرحله پیشگیری، آماده‌سازی، واکنش و یا بازیابی تاکید می‌کنند و با استفاده از روش‌هایی که عمدتا از تصمیم‌گیری و مدل‌سازی ریاضی و یا ایجاد مدل‌های مفهومی و استراتژیک نشئت گرفته‌اند، تلاش می‌کنند تا فعالیت‌هایی از قبیل جایابی تسهیلات امدادی، توزیع اقلام، مسیریابی و .. را به‌طور کاراتر و مؤثرتری مدیریت نمایند. در این میان، ارتباط بین این دو شاخه از مدیریت بحران و ایجاد رویکردی که بتواند با استفاده از نتایج حاصل از تحقیقات مدیریت ریسک و ارزیابی‌های آسیب‌پذیری شهری، به طراحی مراحل مختلف چرخه مدیریت بحران بپردازد کمتر به چشم خورده است. بنابراین، در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از رویکردی که در ادامه آن معرفی می‌شود، ابتدا نقشه‌ای از آسیب‌پذیری‌های یک منطقه شهری تهیه شده و سپس با استفاده از آن به طراحی فازهای مدیریت بحران برای آن پرداخته شود. آسیب‌پذیری‌های درنظر گرفته شده در این رویکرد، هم آسیب‌پذیری‌های محیطی ناشی از بحران زلزله است که در قالب رتبه‌بندی ریسک منطقه ارائه می‌شود و هم علل ریشه‌ای و پیامدهای ثانویه ناشی از وقوع بحران شناسایی می‌شود. از نقشه آسیب‌پذیری منطقه در طراحی مدل جایابی-توزیع زنجیره امداد برای فازهای آمادگی و واکنش استفاده خواهد شد و از رتبه‌بندی علل ریشه‌ای بروز آسیب‌پذیری‌ها و پیامدهای ثانویه ناشی از آن‌ها در طراحی استراتژی‌های پیشگیرانه منطقه شهری استفاده می‌شود. برای ایجاد درک بهتری از نحوه عملکرد رویکرد پیشنهادی، از منطقه یک شهرداری شهر تهران به عنوان مطالعه موردی استفاده شده است و نتایج حاصل از مطالعه برای این منطقه ارائه شده است.

۲ . معرفی رویکرد دو مرحله‌ای پیشنهادی برای مدیریت بحران مناطق شهری

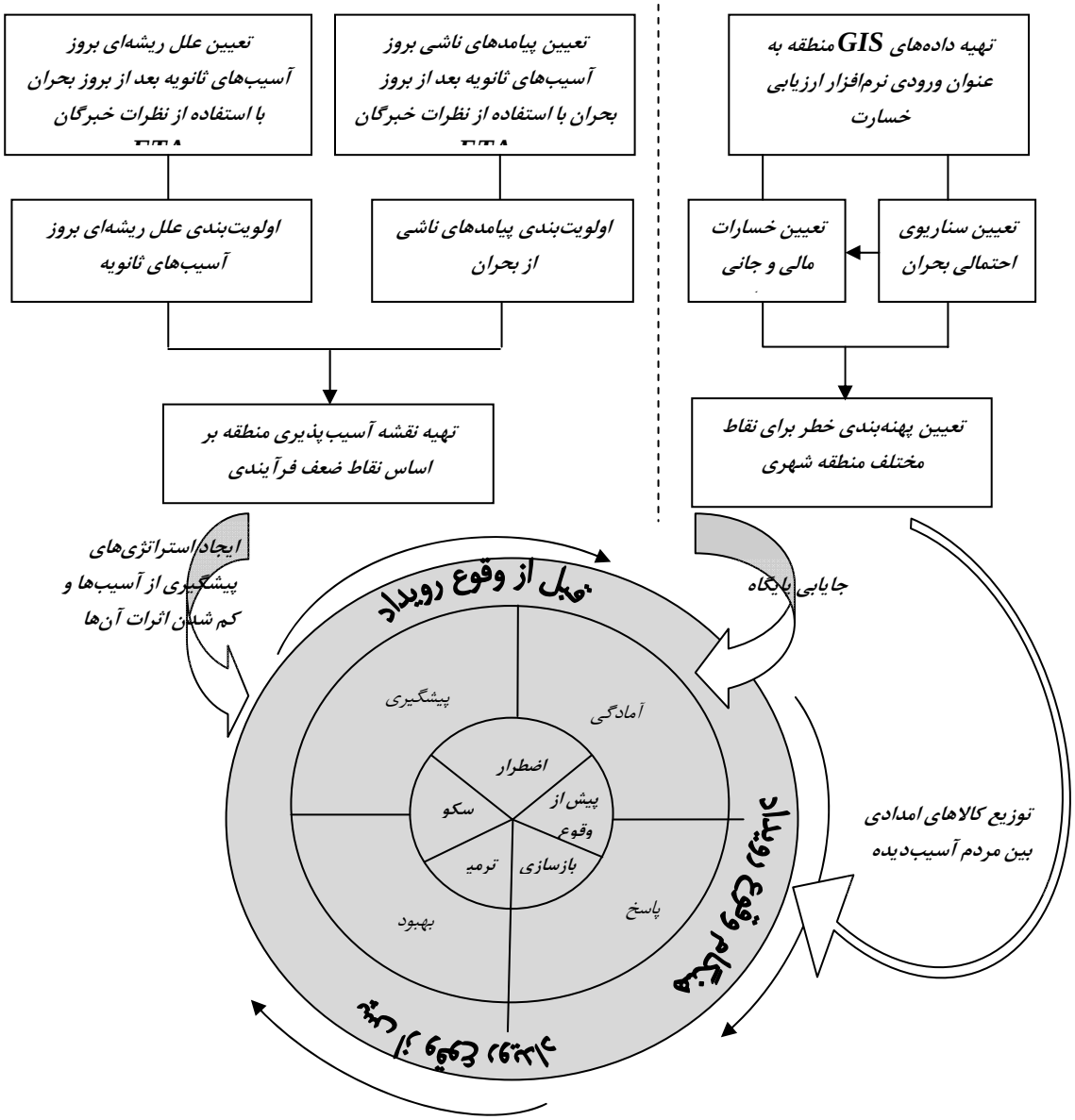
یکی از مهم‌ترین سوالاتی که همواره ذهن مدیران شهری و مسئولان سازمان‌های وابسته به مدیریت بحران را در برابر وقوع بلایایی مانند زلزله و طوفان به خود مشغول کرده است، بررسی و مطالعه میزان آمادگی و ظرفیت‌های یک منطقه شهری در برابر بلایای طبیعی و ارزیابی جامع شرایط و وضعیت احتمالی آن پس از وقوع بحران می‌باشد. نتایج حاصل از این ارزیابی در واقع بیان کننده این موضوع خواهد بود که در صورت بروز بحران در منطقه؛ با چه وضعیتی روبه رو خواهیم بود؟ بر اساس وضعیت موجود می توان انتظار داشت چه آسیب‌های ثانویه‌ای مشاهده گردد؟ پیامدهای ناشی از این آسیب‌ها و الویت‌بندی آنها چگونه خواهد بود؟ عوامل ریشه‌ای ایجاد کننده آسیب‌های ثانویه و الویت‌بندی آنها چگونه خواهد بود؟ بر اساس سناریوهای در نظر گرفته شده، خسارتهای واردشده به منطقه به چه میزان خواهد بود؟

بطور مشخص، بخش ارزیابی وضعیت یک شهر در مواجهه با بحران یکی از بخش‌های کلیدی در طراحی چرخه مدیریت بحران است و نتایج حاصل از این ارزیابی بطور مستقیم یعنی طراحی سیستم مدیریت بحران و در هر یک از مراحل پیشگیری، آمادگی، مقابله و بازسازی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

به منظور ارزیابی وضعیت یک منطقه شهری در مواجهه با بحران، می‌توان از دو رویکرد متفاوت و در عین حال مکمل، استفاده نمود. رویکرد اول؛ مبتی بر ارزیابی وضعیت منطقه در مواجهه با بحران بر اساس داده‌های آماری جمع‌آوری شده و نظرات خبرگان آشنا به وضعیت منطقه است. رویکرد دوم مبتنی بر برآورد خسارت با استفاده از اطلاعات GIS شهری و نرم‌افزارهای مرتبط است. هر دوی این رویکردها را می‌توان بر اساس سناریوهای احتمالی بزرگی یک بحران مورد بررسی قرار داد. در شکل (۱)، فرآیند پیشنهادی برای استفاده همزمان از این دو رویکرد در طراحی‌های مرتبط با فازهای مختلف چرخه مدیریت بحران یک منطقه شهری باشد.

۲,۱ . مرحله اول – ارزیابی وضعیت مناطق شهری بر اساس نظرات خبرگان

بطور مشخص، تنها وقوع بلایای طبیعی مانند زلزله، سونامی و سیل نیست که باعث بروز بحران همه جانبه در جوامع بشری می‌گردد. بلکه آسیب‌پذیری‌های موجود در سطح شهرها و مناطق مسکونی و عدم آمادگی در برابر این بلایا باعث افزایش میزان خسارات و تلفات شده و موجب بروز بحران می‌شود. در چنین شرایطی شناسایی آسیب‌پذیری‌ها و پیامدهای احتمالی، نقاط ضعف و قوت یک منطقه شهری در برابر بلایای طبیعی و در نهایت ایجاد برنامه‌ریزی مناسب برای مدیریت موثر بحران، یکی از الزامات مبحث مدیریت بحران در مناطق شهری است. از طرفی با توجه به وضعیت و پتانسیل هر منطقه، مجموعه آسیب پذیری‌ها، میزان اهمیت آنها، پیامدها و عوامل ایجادکننده آنها نیز ممکن است متفاوت از سایر مناطق باشد. لذا بررسی و ارزیابی هر منطقه‌ای نیازمند در نظر گرفتن شرایط و پتانسل خاص آن منطقه بوده و می بایست با تکیه بر اطلاعاتی انجام شود که برگرفته از مطالعه و شناخت دقیق آن منطقه باشد. درکنار داده‌های ثبت شده و اطلاعات موجود در رابطه با هر منطقه شهری، یکی دیگر از مهمترین منابع اطلاعاتی که در این زمینه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تجربیات و دانش ذخیره شده در افرادی است که در طی سالیان گذشته نسبت به وضعیت منطقه شناخت نسبتاً عمیقی کسب نموده‌اند. استفاده از نظرات خبرگان، به خصوص در مواع و مناطقی که به دلیل نو بودن مباحث مدیریت بحران، سابقه طولانی از جمع‌آوری داده‌های مورد اعتماد ندارند که بتوان با استناد به آنها وضعیت منطقه را برآورد و ارزیابی نمود، گزینه مناسبی خواهد بود.



شکل (۱)- رویکرد دو مرحله‌ای پیشنهادی برای مدیریت بحران مناطق شهری

۲،۱،۱. تعیین پیامدهای نهایی- علل اولیه

با توجه به اینکه مقدمه هر فرآیند طراحی و برنامه‌ریزی استفاده از ابزارهای کمی‌سازی وضعیت مسئله است، بنابراین در بحث مدیریت بحران شهری نیز لازم است تا وضعیت منطقه با استفاده از مدل‌های مناسبی که بتوانند داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز را بطور مناسبی جمع‌آوری نماید کمّی شود. با وجود اینکه در بیشتر مباحث مرتبط با مدیریت ریسک، از احتمال وقوع یک ریسک در تعریف آن استفاده می‌شود، ولی باید گفت که از آنجا که در رویکرد پیشنهادی، از نظرات خبره استفاده شده است، بنابراین بجای

پیمانه احتمال از پیمانه فازی «امکان» برای ثبت نظر خبرگان استفاده می‌شود. در توضیح این مطلب باید گفت که نظرات خبرگان در خصوص وقوع یا عدم وقوع پیامدی نمی‌تواند بعنوان احتمال معرفی گردد زیرا این نظر نه بر اساس داده تاریخی بلکه بعنوان دانش خبرگی مطرح است و در ادبیات مدلسازی و تحلیل نظرات خبرگان از آن بعنوان احتمال ذهنی خبره و با همان امکان یاد می‌شود.

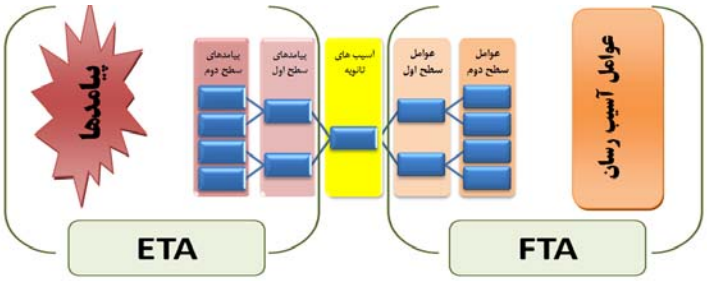
- ***تجزیه و تحلیل درخت واقعه برای تعیین پیامدهای نهایی***

روش آنالیز درخت رویداد یا واقعه (ETA[۵]) یک تکنیک مدل‌سازی قیاسی است که با ایجاد دو شاخه موفقیت و نقص بطور همزمان به ارزیابی علل یک رویداد منفرد می‌پردازد. این تکنیک پاسخ‌های سیستم در برابر یک چالش شروع‌کننده را تشریح کرده و امکان ارزیابی احتمال یک پیامد مطلوب و یا نامطلوب را فراهم می‌سازد.

- ***روش تجزیه و تحلیل درخت خطا برای تعیین علل ریشه‌ای***

فرایند تحلیل درخت خطا (FTA[۶]) عبارت است از یک روش سیستماتیک و جامع جهت شناسایی، ارزیابی و کنترل خطرات در یک سیستم.

بعد از شناسایی سیستم باید خطرات و دلایل پیدایش و وقوع آنها و اثراتشان آنها را شناسایی کرد. به طور کلی می توان گفت روش ارزیابی درخت خطا عبارت است از ابزار تجزیه و تحلیل استنباطی و همچنین دیاگرامی گرافیکی برای نشان دادن منطق و ایجاد فرایند درک استنباطی از چگونگی وقوع وقایع نامطلوب مورد نظر که از آن برای شرح چگونگی وقوع وقایع ناخواسته ویژه در یک سیستم استفاده می‌شود. تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا مسیری برعکس درخت واقعه را طی می‌کند و به جای پرداختن به پیامدها، در جهت رسیدن به علل ریشه‌ای گام برمی‌دارد. با بکارگیری همزمان این دو مدل در جلسات طوفان ذهنی، می‌توان به شناسایی عوامل ریشه‌ای و پیامدهای ناشی از بروز آسیب‌های ثانویه پرداخته و نقشه آسیب‌پذیری منطقه را بدست آورد.



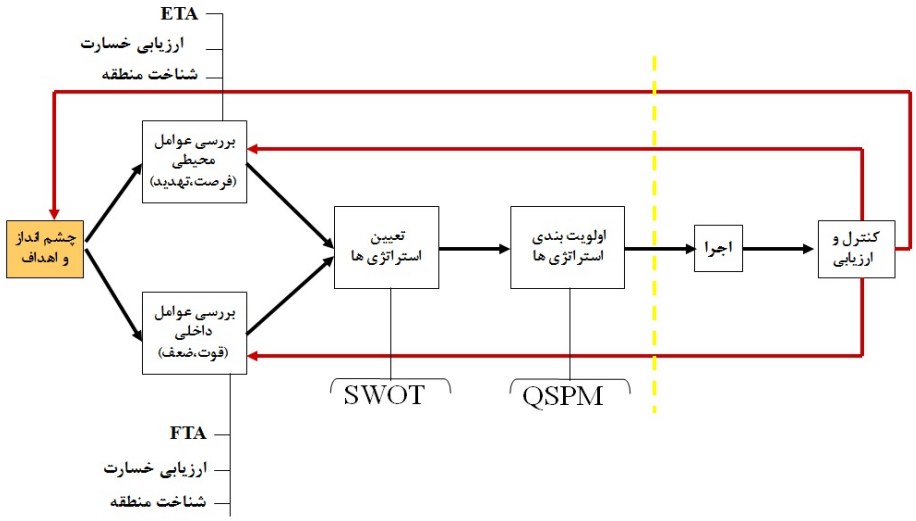
شکل (۲)- استفاده از ETA و FTA برای شناسایی پیامدها و عوامل بروز آسیب های ثانویه

۲٫۱٫۲ . ارائه استراتژی‌های پیشگیرانه مدیریت شهری بر اساس نقشه آسیب‌پذیری

پیشگیری به منظور کاهش ریسک گاهی به عنوان بنیان و اساس مدیریت بحران در نظر گرفته می‌شود. در حالی که سه مرحله دیگر از چرخه مدیریت بحران (آمادگی، پاسخ و بهبود) جهت واکنش به آسیب یا پیش‌بینی پیامدهای آن اجرا می‌شوند، پیشگیری به دنبال کاهش احتمال وقوع بحران یا کاهش ریسک پیامدهای آن است. بین مدیریت استراتژیک و مدیریت بحران ارتباط تنگاتنگی وجود دارد چرا که فاز پیشگیری در فرایند مدیریت بحران دارای ماهیت استراتژیک است. برنامه‌ریزی استراتژیک و مدیریت بحران در شش عامل با یکدیگر مشترک هستند. این وجوه اشتراک به‌این قرار است: بر روابط با محیط تأکید دارند، مجموعه پیچیده‌ای از ذی‌نفعان در آن حضور دارند، مدیریت ارشد سازمان با آنها سر و کار دارند، کل سازمان را تحت تأثیر قرار می‌دهند، توصیفی از یک الگوی ثابت هستند و نمایانگر فرایندهای نوظهور می‌باشند. بدون انجام اقدامات استراتژیک در حوزهٔ مدیریت بحران احتمال

وقوع رخدادهای بحرانی نیز زیاد می‌شود. فرایند مدیریت استراتژیک با تغییرات سریعی سر و کار دارد که از محیط بیرونی نشأت می‌گیرند. این دیدگاه با دیدگاه سازمان به عنوان سیستم باز تطابق دارد. بررسی محیط اطراف سازمان و شناسایی تغییرات و اتفاقاتی که در آن رخ می‌دهد مشخص می‌سازد که سازمان باید از چه استراتژی‌هایی در جهت تطابق با محیط بیرونی استفاده کند. فاز پیشگیری در فرایند مدیریت بحران نیز از دیدگاه سیستم باز استفاده می‌کند زیرا باید پویایی‌های بحرانها را بهتر درک کند و تلاشهایی را برای ادارهٔ بحران انجام دهد.

نبض تپنده مهار بحران، تلاش ها و برنامه های پیشگیرانه ایست که قبل از وقوع آن انجام می شود. فاز پیشگیری در فرایند مدیریت بحران نیز همانند برنامه ریزی استراتژیک علاوه بر افق بلندمدت برنامه‌ریزی تغییرات آینده محیط را به دقت مورد بررسی قرار داده و بر اساس شرایط محیط فعالیت و وضعیت درونی سازمان محورهای عمده حرکت سازمان را تبیین می نماید. با روشن شدن محور های عمده و استراتژیک می‌توان در هر یک از بخش ها نیز اقدامات کلی را در راستای دستیابی به اهداف استراتژیک کلی سازمان طراحی و اجرا نمود. فرآیند تدوین سند پیشگیری مدیریت بحران مناطق شهری با رویکرد برنامه‌ریزی استراتژیک در قالب شکل (۳) به صورت شماتیک نمایش داده شده است. این مراحل با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی استراتژیک ارائه شده در [۳۰] طراحی شده‌اند.



شکل (۳)- مراحل تدوین برنامه پیشگیری از بحران مناطق شهری

- *تدوین چشم انداز سازمان:* در مناطق شهری، چشم انداز یا دورنما تصویری است که وضعیت منطقه از بعد مدیریت بحران را مشخص می‌کند، زمانی که به اهداف و استراتژی‌های خود دست یافته باشد.
- *تدوین اهداف:* تعیین اهداف بلندمدت بخشی از برنامه ریزی استراتژیک است. اهداف استراتژیک بر مبنای چشم انداز و در حوزه های مختلف تعیین می شوند.
- *تعیین نقاط قوت و ضعف:* در ارتباط با مناطق شهری، برای استخراج نقاط قوت و ضعف، از تحلیل وضعیت منطقه بر اساس نظر خبرگان با استفاده از تحلیل درخت خطا (FTA) و همچنین نتایج حاصل از ارزیابی خسارت استفاده می‌شود.

- *تعیین فرصت ها وتهدیدها:* برای استخراج فرصت‌ها وتهدیدهای منطقه از تحلیل وضعیت منطقه بر اساس نظر خبرگان با استفاده از تحلیل درخت پیامدها (ETA) و همچنین نتایج حاصل از ارزیابی خسارت استفاده می‌شود.
- *تدوین استراتژی:* استراتژی‌های پیشگیرانه و کاهش اثرات بلایا و بحران‌ها، با بررسی و ارزیابی نظرات خبرگان و غربال کردن نتایج آن، تحلیل وضعیت منطقه بر اساس نظر خبرگان با استفاده از تحلیل درخت پیامدها (ETA) و تحلیل درخت عوامل (FTA) بدست می‌آیند.

۲,۲ . مرحله دوم – ارزیابی منطقه شهری بر اساس داده‌های GIS و برآورد خسارت

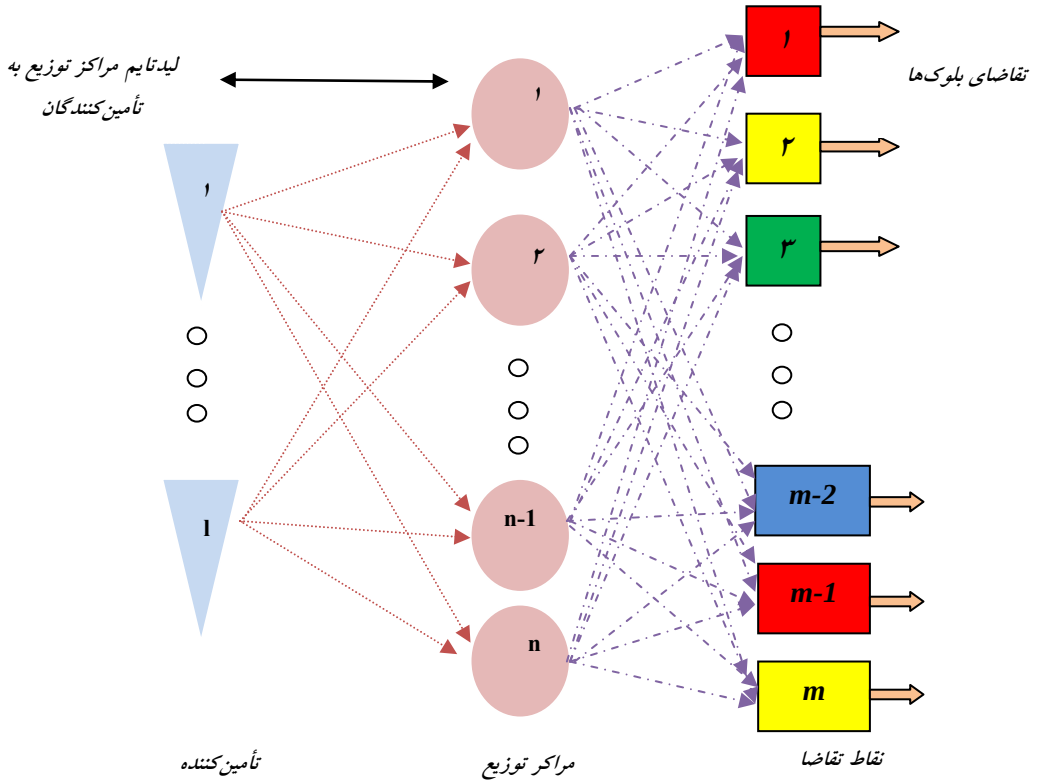
علاوه بر نظرات خبرگان، تدوین برنامه جامع مدیریت بحران، نیازمند استفاده از داده‌های کمّی مناطق شهری و آگاهی از تنوع، حجم، گستردگی، پهنه‌بندی آسیب‌ها و مقادیر خسارات احتمالی در صورت وقوع بحران نیز می‌باشد. بعبارت دیگر، برآورد خسارت در یک منطقه، باید شبیه‌سازی وضعیت آن بلافاصله پس از وقوع بحران باشد تا اطلاعات با ارزشی را در اختیار تصمیم‌گیران امور شهری قرار دهد. ارزیابی خسارت، فرآیندی است که در طی آن نتایج و پیامدهای حاصل از وقوع یک مخاطره واقعی و یا بالقوه تعیین می‌گردد که از نتایج برآوردهای بدست آمده از آن، برای تعیین پهنه‌بندی بحران و چگونگی اثرگذاری آن بر مردم و ساختارها استفاده می‌شود.

مدل‌ها و نرم‌افزارهای متعددی وجود دارند که به کمک آن‌ها و با داشتن اطلاعات GIS مورد نیاز، می‌توان اثرات بحران احتمالی را شبیه‌سازی نمود. این نرم‌افزارها با توجه به بلایای طبیعی مختلف توسعه داده شده‌اند ولی مهمترین خاصیت مشترک آن‌ها ایجاد پهنه‌بندی خطر بر حسب منطقه مورد مطالعه است. شاخص‌های آسیب‌پذیری که در هر نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرد ممکن است تا حدودی متفاوت باشد ولی به صورت کلی می‌توان سه دسته شاخص آسیب‌پذیری طبیعی، کالبدی و ساختمانی و انسانی (اجتماعی) را برا آن‌ها درنظر گرفت. شاخص‌های طبیعی را می‌توان به نوع خاک، شیب زمین و سطح آب زیرزمینی و دیگر عوامل تجزیه کرد. شاخصهای کالبدی و ساختمانی به مواردی مانند مصالح ساختمان، تعداد طبقات و قدمت ساختمان، تراکم ساختمانی در منطقه شهری و شبکه معابر آن، تراکم مراکز صنعتی خطرناک مانند پمپ بنزین‌ها، سوله‌ها و کارگاه‌ها و ... و فضاهای باز مرتبط است. شاخص‌های انسانی و اجتماعی مانند تراکم جمعیت، تراکم جمعیت سالخورده و خردسال، توزیع شخصیت‌های مهم در یک منطقه شهری و غیره نیز دسته سوم از این‌گونه معیارها در یک منطقه شهری می‌باشند که ممکن است در نرم‌افزارها به عنوان داده ورودی مورد استفاده قرار گیرند.

۲,۲,۱ . ایجاد زنجیره اقلام امدادی بر حسب پهنه‌بندی خطر مناطق شهری

توزیع اقلام امدادی و جایابی انبارها همواره به عنوان دو موضوع و زمینه تحقیقاتی مهم در حوزه مدیریت زنجیره امدادی مطرح بوده اند. در ادبیات زنجیره‌های تامین تجاری با این موضوع ها با تعریف مسائل جایابی-تخصی-توزیع و دیگر مدل‌های مرسوم برخورد شده است درحالیکه هنوز در ادبیات زنجیره امداد چه از لحاظ کمیت مقالات و تحقیقات و چه از لحاظ نحوه نگرش محققین و عمق تحقیقات خلاءهایی موجود است. چنانچه با توجه به مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته می‌توان این‌طور بیان کرد که هنوز در زمینه استفاده از مدل‌های تخمین و ارزیابی خسارت به عنوان ورودی مدل‌های ریاضی جایابی-توزیع تحقیق جدی صورت نگرفته است و بنابراین پیش‌بینی نیازهای اقلام و تعداد پایگاه‌های مورد نیاز در مناطق شهری در بسیاری از موارد بعد از وقوع بحران صورت می‌پذیرد، در صورتی که با شبیه‌سازی مناسب بحران و پیامدهای ناشی از آن در فاز آمادگی، می‌توان مدل‌های مناسبی ایجاد نمود که در آن‌ها از اطلاعات پهنه‌بندی خطر مناطق استفاده شده است.

می‌توان یک زنجیره امداد سه سطحی یا دو سطحی را برای مسئله جایابی و تخصیص در نظر گرفت که در یک سطح این زنجیره، پایگاه‌های محلی پشتیبانی به عنوان مراکز توزیع باشند و در سطح دیگر آن، مناطق و نواحی مسکونی (به صورت بلوک‌ها و یا پیکسل‌های هم اندازه) تعریف شده باشند که نقش مشتری را به عهده داشته باشند. در زنجیره‌های سه‌سطحی، مراکز توزیع عمومی به عنوان تامین‌کننده‌های مراکز توزیع محلی درنظر گرفته می‌شوند که امکان دریافت کمک از نواحی و یا حتی کشورهای دیگر را میسر می‌سازند. تقاضای پیکسل‌ها به عنوان تابعی از جمعیت آنها و سطح پیش‌بینی شده خسارت در آنها درنظر گرفته شده است. در شکل زیر، بر پایه ارزیابی خسارت صورت گرفته شده، ٤ نوع پیکسل تقاضا درنظر گرفته شده است که به ترتیب با رنگ‌های قرمز، زرد، سبز و آبی نشان داده شده‌اند. رنگ قرمز نشان دهنده پیکسل‌هایی است که در برابر بحران بیشترین خسارت را متحمل می‌شوند و در مقابل، رنگ آبی نشان‌دهنده ایمن‌ترین نواحی شهری می‌باشند. مسئله اصلی در این مدل تعیین تعداد پایگاه‌های محلی و موقعیت آنها می‌باشد به گونه‌ای که بیشترین پوشش برای نقاط تقاضا ایجاد شود.



شکل (٤)- شاکله زنجیره امداد سه سطحی

- اندیس‌های مدل

اندیس‌های استفاده شده در مدل به صورت زیر می باشند:

l= 1, 2...L : کل منطقه به تعداد مشخصی ناحیه تقسیم شده است که آن ها را با این اندیس نشان می دهیم.

m= 1, 2...M : کالاها و تجهیزات امدادی مورد نیاز که باید در انبار پایگاه ها ذخیره شوند با اندیس مشخص شده اند.

i= 1, 2... I, j= 1, 2…J : مختصات پیکس ها که با زوج مرتب (i,j) در منطقه نشان داده می شوند.

k= 1, 2... K : شدت خسارت برای هر پیکسل با توجه به رنگ های مختلف با توجه به اندیس نشان داده می شود که در آن عدد ۱ نشان دهنده بیشترین خسارت و عدد K نشان دهنده کمترین خسارت است.

- **پارامترهای مدل**

$a_{k,(i,j)}^{damage}$ اگر پیکسل قرار گرفته در مختصات (i,j) به سطح k از تخمین خسارت تعلق داشته باشد ین پارامترها برابر ۱ است و در غیر اینصورت مقدار آن ۰ است.

$a_{l,(i,j)}^{region}$ اگر پیکسل قرار گرفته در مختصات (i,j) به ناحیه l تعلق داشته باشد ین پارامترها برابر ۱ است و در غیر اینصورت مقدار آن ۰ است.

$t_{1,(i,j),(i',j')}$ اگر پیکسل قرار گرفته در مختصات $(i,j) \in l$ اجازه ارسال خدمت به پیکس متقاضی واقع در (i',j') را داشته باشد این پارامتر برابر ۱ می شود و در غیر اینصورت مقدار آن ۰ است. به عبارت دیگر هر پایگاه فقط می تواند به ناحیه ای که در آن واقع شده خدمت دهد:

$$t_{1,(i,j),(i',j')} = a_{k,(i,j)}^{damage} . a_{l,(i,j)}^{region} \quad ; \forall l, (i,j) \in l, (i',j') \in l \qquad (1)$$

$f_{(i,j)}$ هزینه متوسط برپایی و یا احداث پایگاه واقع در مختصات (i,j)

$D_{(i,j),(i',j')}$ متوسط فاصله بین مختصات (i,j) و (i',j')

tt_m متوسط هزینه حمل و نقل برای کالاهای نوع m در واحد مسافت

$Pen_{m,(i,j)}$ متوسط هزینه جریمه برای کمبود کالاهای نوع m در پایگاه موجود در مختصات (i,j)

v_m حجم انبارش برای کالاهای نوع m

$\bar{Q}$ فضای انبار پایگاه

$hold_{m,(i,j)}$ متوسط هزینه نگه داری برای کالاهای نوع m در پایگاه موجود در مختصات (i,j)

$Pop_{(i,j)}$ متوسط جمعیت در پیکسل واقع در مختصات (i,j)

$Dem_{m,k}$ میزان کالاهای نوع m مورد نیاز در سطح k از تخمین خسارت به ازای هر نفر

$DEQ_{m,(i,j)}$ تقاضای پیکسل واقع در مختصات (i,j) از کالای نوع m. به عبارت دیگر:

$$DEQ_{m,(i,j)} = Pop_{(i,j)} . \left(\sum_k a_{k,(i,j)}^{damage} . Dem_{m,k} \right) \; ; \forall (i,j), m \qquad (2)$$

- **متغیرهای تصمیم**

$Z_{(i,j)}$ اگر جمعیت واقع در مختصات (i,j) بوسیله پایگاهی پوشش داده شود مقدار ۱ را می گیرد و در غیر اینصورت برابر ۰ می شود.

$Y_{(i,j)}$ اگر پایگاهی در مختصات (i,j) جایابی شود برابر ۱ می شود و در غیر اینصورت برابر ۰ می شود

$X_{m,(i,j),(i',j')}$ مقدار کالای نوع m که از تسهیلات واقع در مختصات (i,j) به نقاط تقاضای واقع در (i',j') ارسال می شود

$S_{m,(i,j)}$ میزان کالاهای نوع m که در انبار پایگاه واقع در مختصات (i,j) ذخیره می شود

$\alpha_{m,(i,j)}$ میزان کمبود کالاهای نوع m که در پیکسل تقاضای واقع در مختصات (i,j)

- **مدل ریاضی**

$$Max \sum_{(i,j)} \left(Pop_{(i,j)} . Z_{(i,j)}\right) \quad (3)$$

$$Min \sum_{(i,j)} f_{(i,j)} . Y_{(i,j)} \quad (4)$$

$$Min \sum_{m,(i,j),(i',j')} tt_m . D_{(i,j),(i',j')} . X_{m,(i,j),(i',j')} + \sum_{m,(i,j)} \left(\left(hold_{m,(i,j)} . S_{m,(i,j)}\right) + \left(Pen_{m,(i,j)} . \alpha_{m,(i,j)}\right)\right) \quad (5)$$

$$S.T.$$

$$Z_{(i',j')} \leq \sum_{(i,j) \in l} t_{i,(i,j),(i',j')} . Y_{(i,j)} \; ; \forall \, l \; ; \forall \, (i',j') \in l \quad (6)$$

$$\sum_{(i',j')} t_{i,(i,j),(i',j')} . X_{m,(i,j),(i',j')} \leq S_{m,(i,j)} \; ; \forall l, m, (i,j) \in l \quad (7)$$

$$S_{m,(i,j)} \leq \sum_k DEQ_{m,(i,j)} . Y_{(i,j)} \; ; \forall (i,j), m \quad (8)$$

$$\sum_m S_{m,(i,j)} . v_m \leq Q . Y_{(i,j)} ; \forall (i,j) \quad (9)$$

$$\alpha_{m,(i',j')} = DEQ_{m,(i',j')} - \sum_{(i,j)} t_{i,(i,j),(i',j')} . X_{m,(i,j),(i',j')} \; ; \forall (i',j') \quad (10)$$

$$\sum_{(i,j)} t_{i,(i,j),(i',j')} . Y_{(i,j)} . X_{m,(i,j),(i',j')} \geq DEQ_{m,(i',j')} . Z_{(i',j')} \; ; \forall l, m, (i',j') \in l, \quad (11)$$

$$\alpha_{m,(i,j)} , X_{m,(i,j),(i',j')} , S_{m,(i,j)} \geq 0 \; ; \; \forall (i,j), (i',j'), m \quad (12)$$

$$Y_{(i,j)} , Z_{(i,j)} = 0 \; Or \; 1 \; ; \quad \forall (i,j) \quad (13)$$

تابع هدف اول مدل سعی می‌کند که پوشش جمعیت توسط پایگاه ها در منطقه را در هر بلوک یا پیکسل برای کل منطقه بیشینه کند. توابع هدف دوم و سوم به هزینه های لجستیکی مربوط می‌شوند و به ترتیب سعی در می‌نیمم کردن هزینه‌های برپایی پایگاه ها و نیز حمل و نقل و کمبود و نگه داری در آنها را دارند. یکی از دلایل جدا نمودن این هزینه ها تفاوت مقیاس های هزینه ای می باشد و دلیل دوم متضاد بودن این دو نوع هزینه می باشد چنانچه با زیاد شدن یکی از آنها دیگری کاهش می یابد و بالعکس.

محدودیت اول مسئله که در قالب نامعادله شماره (٦) نوشته شده است محدودیت مربوط به مسئله حداکثر پوشش است تا این اطمینان را در مدل ایجاد نماید که اگر پایگاهی در مختصات $(i,j) \in l$ قرار داشته باشدبتواند جمعیت واقع در پیکسل $(i',j') \in l$ را پوشش دهد. محدودیت دوم مدل که با شماره (٧) مشخص شده است شرایط لازم برای ارسال کالا از پایگاه ها به نقاط تقاضا را شرح می دهد. به این معنی که حداکثر مقدار حمل و نقل از یک پایگاه به نقاط تقاضا می تواند به اندازه کالاهای موجود در انبار آن پایگاه باشد. محدودیت شماره (٨) نشان دهنده این است که تنها در صورتی که پایگاهی در مکانی ایجاد شود می تواند کالا در خود ذخیره کند. محدودیت شماره (٩) حداکثر حجم انبار برای ذخیره کالا در پایگاه ها را نشان می دهد و محدودیت شماره (١٠) مقدار کمبود را که برابر است با تفاوت تقاضا و مقدار کالای درنظر گرفته شده برای هر پیکسل نشان می دهد. محدودیت شماره (١١) یک

محدودیت غیرخطی است که این اطمینان را ایجاد می کند که اگر یک پیکسل تقاضا پوشش داده شده است تقاضای آن توسط کالاهای موجود در پایگاه های ناحیه مرتبط خود تامین گردد. محدودیت های شماره (۱۲) و (۱۳) نیز برای مشخص کردن ماهیت متغیرها به کار رفته است.

۳ . مطالعه موردی- منطقه یک شهرداری تهران

کلیه اطلاعات بکار گرفته شده در این مطالعه موردی، بر اساس سناریوی وقوع زلزله ۷,۲ ریشتری در منطقه یک شهرداری تهران جمع آوری شده است. شدت زلزله مفروض در این سناریو مبتی بر سناریوی فعال شدن گسل‌های شمال تهران (NTF [۷]) است.

۳,۱ . اولویت‌بندی آسیب‌های ثانویه، پیامدها و علل ریشه‌ای آن‌ها

به منظور استخراج آسیب‌های ثانویه و در ادامه پیامدها و عوامل موثر بر بروز آن‌ها، از اعضای ستاد مدیریت بحران منطقه و با حضور مدیران و مسئولان ارشد سازمان‌های مسئول استفاده شده است و مجموعه پیامدهای ناشی از آسیب‌های ثانویه به همراه امکان وقوع هر یک مورد بحث و بررسی قرار گرفت و بطور همزمان نیز علل و عوامل ریشه‌ای بروز آن‌ها شناسایی و امکان اثرگذاری هر یک برآورد و ثبت شدند. جداول (۱) و (۲) نمونه‌ای از نحوه ایجاد نمودارهای درختی علل و پیامدها را برای آسیب‌های ثانویه نشان می‌دهند.

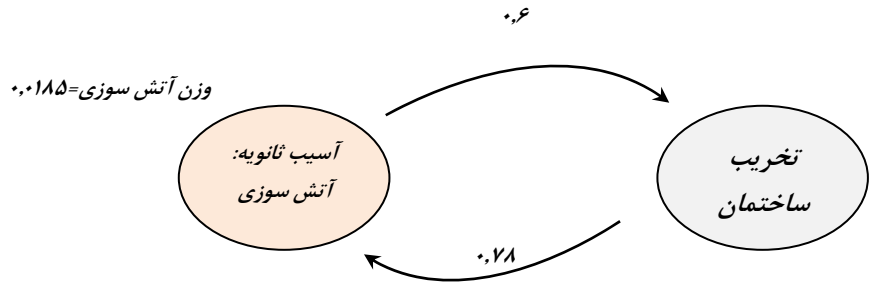
جدول (۱)- علل پیامد آسیب رسیدن به خطوط تلفن و مخابرات (یکی از آسیب‌های ثانویه شناسایی شده در مطالعه موردی)

پیامد: آسیب رسیدن به خطوط تلفن و مخابرات					
علل سطح اول	امکان	علل سطح دوم	امکان	علل سطح سوم	امکان
از کار افتادن تاسیسات برقی	۹۰,۰۰				
رانش زمین	۷۰,۰۰	شیب زیاد زمین	۵۹,۳۳		
		نوع خاک و جنس زمین	۶۶,۰۰		
		نفوذ آب	۵۰,۰۰		
		عوامل دست‌ساز بشر	۵۱,۶۷	وجود قنوات	۳۶,۰۰
				حفر چاه	۴۲,۶۷
		عدم استفاده صحیح از زمین	۵۸,۳۳	عدم به کارگیری زه‌کشی	۵۴,۶۷
				دپو زباله در مناطق نامناسب	۵۹,۳۳
		عدم مقاومت لایه‌های سطحی زمین	۵۳,۶۷		
		به هم زدن اکوسیستم منطقه	۷۱,۶۷	قطع بی‌رویه درختان	۵۵,۶۷
				برداشت بی رویه سنگ‌ها	۳۶,۳۶
		بارندگی شدید و آبیاری بیش از حد	۷۰,۳۳		
		ریزش بهمن و بهمن‌سنگ از کوه	۵۵,۰۰		
سیلاب	۴۰,۰۰	تجاوز به بستر و حریم رودخانه	۶۴,۴۷	ضعف سیستم نظارت بر ساخت و ساز در حریم روخانه	۱۰۰
		تخلیه نخاله در اطراف رود	۶۰,۰۰	ضعف سیستم مدیریت حریم رودخانه ها	۱۰۰
		برداشت سنگ از بستر رود	۵۱,۴۲	ضعف سیستم مدیریت حریم رودخانه ها	۱۰۰
		ضعف سیستم‌های هشدار دهنده	۴۶,۳۲		
		شکست آب‌بندها	۶۱,۸۴	ضعف رعایت نکات ایمنی در طراحی، ساخت و نگهداری آب بندها	۱۰۰
		از بین رفتن پوشش گیاهی در حریم رودخانه ها	۴۸,۶۸	ضعف سیستم مدیریت حریم رودخانه ها	۱۰۰
		سقوط سنگ‌ها و ایجاد مانع در مسیر حرکت آب	۶۰,۵۳	ضعف سیستم مدیریت حریم رودخانه ها	۱۰۰

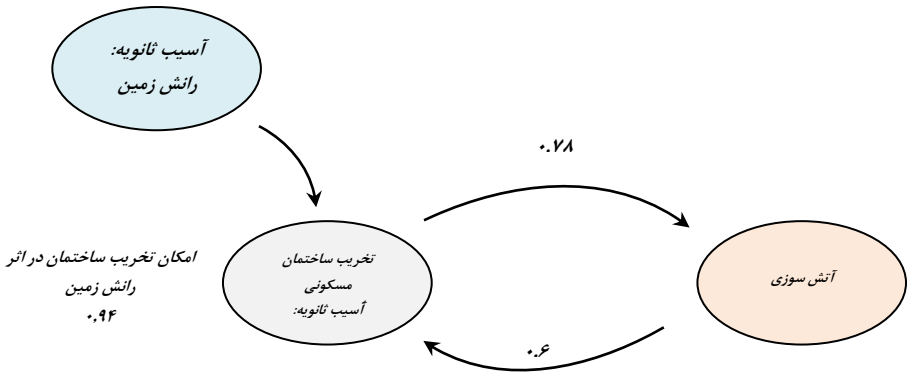
جدول(۲) – پیامدهای ناشی از قطع و یا سقوط درختان (یکی از پیامدهای شناسایی شده در مطالعه موردی)

پیامد: قطع و یا سقوط درختان					
پیامدهای سطح اول	امکان	پیامدهای سطح دوم	امکان	پیامدهای سطح سوم	امکان
مسدود شدن راه های ارتباطی	۸۱	ترافیک	۸۳	اختلال در امداد رسانی	۷۹
				اختلال در تخلیه اضطراری	۷۶
				آسیب رسیدن به خودروهای داخل ترافیک	۴۸
		اختلال در امداد رسانی	۸۴		
		از بین رفتن ارتباط با سایر مناطق	۷۴		
		اختلال در تخلیه اضطراری	۸۲		
قطع خطوط برق	۷۲				
تخریب ساختمان های مجاور	۶۱				
آب گرفتگی	۵۹				

هنگام تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده، مجموعه‌ای از حلقه‌های روابط عللی و معلولی بین آسیب‌های ثانویه با پیامدهای آن و یا بین پیامدهای یک آسیب ثانویه مشاهده گردید. بعنوان مثال در آسیب ثانویه آتش‌سوزی، این آسیب می‌تواند باعث تخریب ساختمان شود و آسیب تخریب ساختمان نیز می‌تواند باعث آتش‌سوزی گردد. در چنین حالتی، به منظور محاسبه وزن هر یک از آن‌ها حلقه‌های بازخوری ایجاد می‌گردد که نمونه‌ای از آن در دو شکل شماره (۵) و (٦) آورده شده است.



شکل(۵)- حلقه اثرگذاری بین آسیب ثانویه و پیامد حاصل از آن



شکل (٦)- حلقه اثرگذاری بین پیامدها

برای در نظر گرفتن اثرات تقویت شوندگی حاصل از ایجاد حلقه‌ها، ابتدا اثرات تشدید درونی حلقه محاسبه شده و بر اساس موقعیت حلقه در جدول آسیب‌پذیری، مجموع اثرات ناشی از تشدید حلقه یا به میزان اهمیت آسیب ثانویه و یابه امکان وقوع پیامد مقدم حلقه که در جدول پیامدهای مورد بررسی زودتر مشاهده شده است اضافه می‌گردد. محاسبه اثرات تقویتی یا میزان اثر تشدید موجود در حلقه با استفاده از جمع اثرات، در قالب مجموعه جملات تصاعد هندسی محاسبه می‌شود. فرمول‌های زیر نحوه محاسبه این مقادیر را نشان می‌دهد:

در اولین تکرار حلقه، میزان اثرگذاری حلقه بصورت رابطه زیر خواهد بود.

میزان اثرگذاری حلقه (تکرار ۱) = امکان وقوع پیامد مقدم (b) × امکان وقوع پیامد تالی (c) × اهمیت آسیب ثانویه(a) (١٤)

در صورتیکه روند حلقه تکرار گردد، اثرات تشدید از حاصلضرب رابطه (١٤) در رابطه شماره (١٥) بدست می‌آید:

امکان وقوع پیامد مقدم (b) × امکان وقوع پیامد تالی (c) (١٥)

بنابراین با در نظر گرفتن تکرار بی نهایت برای یک حلقه (در بدترین حالت)، جمع اثرات هر بار تکرار حلقه بصورت زیر خواهد بود:

$$a\times(b\times c)+a\times(b\times c)^2+a\times(b\times c)^3+\dots \quad (١٦)$$

که در نهایت چنانچه مشاهده می شود جمع اثرات برابر جمع جملات تصاعدی هندسی با جمله اول a و نسبت $b\times c$ خواهد بود. که مقدار جدید تشدید شده a یعنی A از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

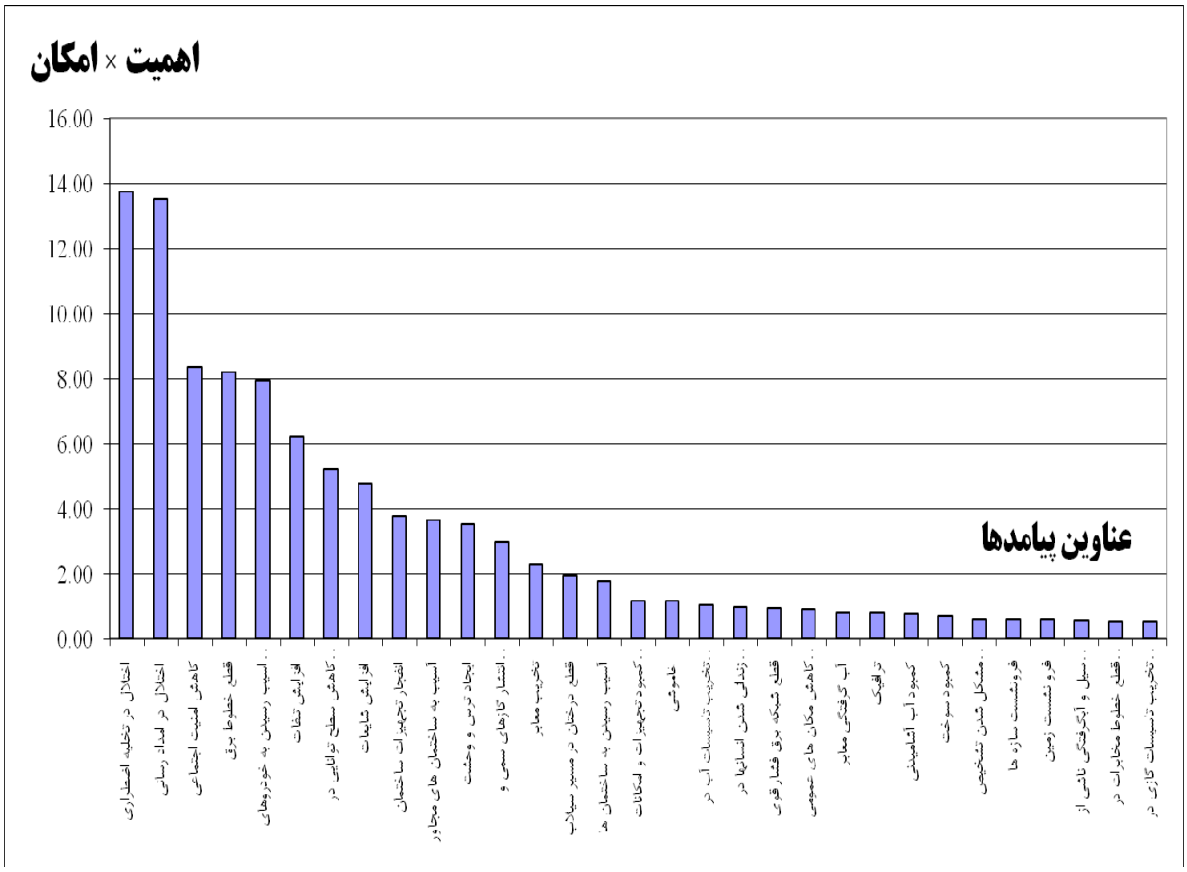
$$A=\frac{a}{1-b\times c} \quad (١٧)$$

بطور مشابه، در مورد شکل دوم نیز همین فرآیند تکرار می‌گردد، با این تفاوت که میزان تشدید حاصل از حلقه به امکان پیامد مقدم اضافه می‌گردد. با انجام محاسبات فوق و با جمع اثرات حلقه‌های موجود و اضافه نمودن این اثرات به وزن آسیب‌های ثانویه، مجموعه مقادیر اهمیت نسبی آسیب‌های ثانویه و مقادیر امکان‌های پیامدهای مقدم اصلاح می‌گردد که در جدول (٣) لحاظ شده است:

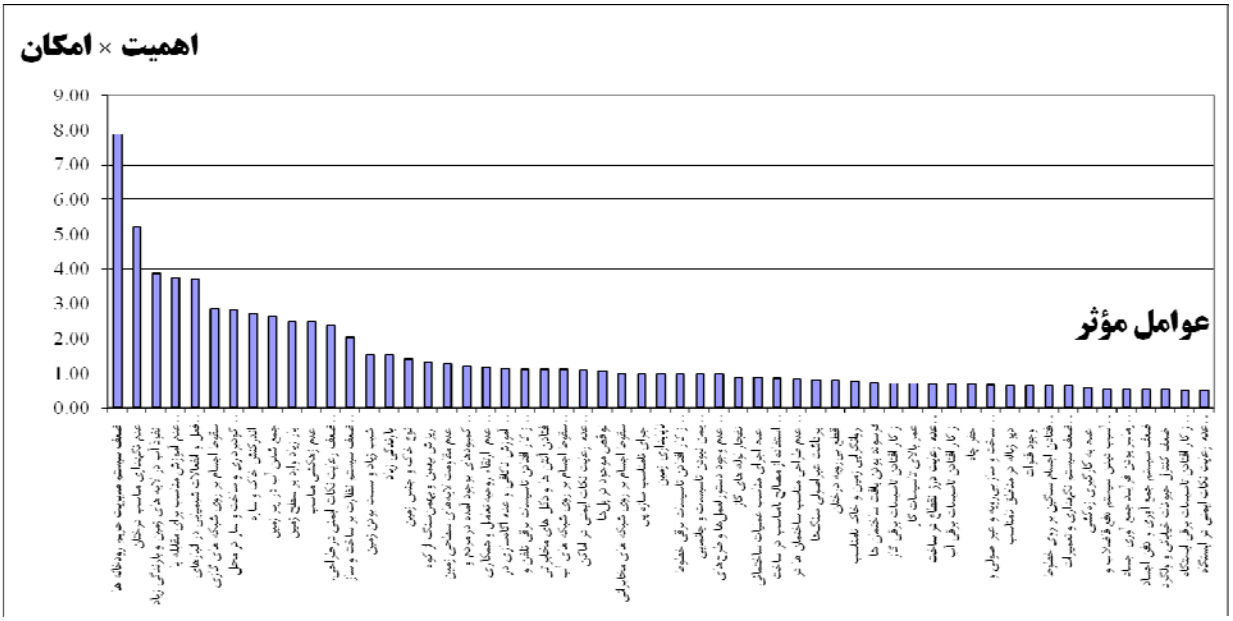
جدول (۳)- لیست آسیب های ثانویه به همراه اهمیت نسبی اصلاح شده آنها با در نظر گرفتن اثرات وجود حلقه ها

ردیف	آسیب های ثانویه	اهمیت (وزن)	ردیف	آسیب های ثانویه	اهمیت (وزن)
۱	آتش سوزی	۰,۳۳۰۷	۱۳	آسیب رسیدن به اماکن خدماتی و امدادی	۰,۰۵۵۶
۲	آسیب رسیدن به تاسیسات برق	۰,۵۶۰	۱۴	آسیب رسیدن به اماکن عمومی	۰,۰۰۹۳
۳	آسیب رسیدن به تاسیسات آب	۰,۰۵۵۶	۱۵	ریزش کوه - سنگ ها	۰,۰۰۹۳
۴	آسیب رسیدن به تاسیسات گاز	۰,۳۵۵۰	۱۶	طغیان رودها و سیلاب ها	۰,۱۱۱۱
۵	آسیب رسیدن به خطوط تلفن و مخابرات	۰,۰۵۵۶	۱۷	هرج و مرج	۰,۰۳۷۰
۶	آسیب دیدن انبارهای سوخت	۰,۰۳۷۰	۱۸	ریزش قنوات و کانالهای زیرزمینی	۰,۱۱۱۱
۷	آسیب دیدن پمپ های گاز و بنزین	۰,۰۱۹۴	۱۹	آسیب رسیدن به معابر	۰,۰۳۷۰
۸	انفجار انبارهای نظامی	۰,۰۳۷۰	۲۰	آسیب های احتماعی و روانی	۰,۰۱۸۵
۹	آسیب دیدن و ریزش پل ها	۰,۰۳۷۳	۲۱	شیوع بیماری های واگیردار	۰,۰۳۷۰
۱۰	آسیب‌دیدن و تخریب ساختمان‌های مسکونی	۰,۰۳۷۰	۲۲	رها شدن حیوانات در سطح منطقه	۰,۰۱۸۵
۱۱	قطع درختان	۰,۰۵۵۶	۲۳	تخریب محیط زیست	۰,۰۰۰
۱۲	رانش و لغزش زمین	۰,۰۳۷۰			

از حاصلضرب اهمیت هر یک از آسیب‌های ثانویه در امکان وقوع پیامدهای نهایی حاصل از آن‌ها، معیاری معادل با ریسک مبتنی بر نظر خبره محاسبه می‌گردد که در نمودار پارتوی شکل (۷) ارائه شده است. بطور مشابه با آنچه که در بخش تحلیل پیامدها انجام شد، داده‌های مربوط به علل ریشه‌ای و عوامل موثر بر بروز آسیب‌های ثانویه نیز به منظور ایجاد نمودار پارتوی مبتنی بر ریسک معادل در این قسمت ایجاد شده است که در شکل (۸) نشان داده شده است. با داشتن این نمودارها، می‌توان پیامدهای مهمتر ارجح را در کنار عوامل موثرتر مشخص نموده و از آن‌ها در طراحی سیستم مدیریت بحران منطقه، به ویژه توسعه استراتژی‌های پیشگیری و الزامات آمادگی و مقابله استفاده نمود.



شکل (۷)- نمودار پارتوی پیامدهای نهایی آسیبها بر حسب اهمیت و امکان وقوع (بالای ۰/۵)



شکل (۸)- نمودار پارتوی علل ریشه‌ای بروز آسیبها بر حسب اهمیت و امکان وقوع (بالای ۰/۵)

۳،۱،۱. استراتژی‌های پیشگیرانه منطقه در برابر آسیب‌های اولویت‌بندی شده

در تدوین استراتژی‌های مرتبط با فاز پیشگیری از چرخه مدیریت بحران برای منطقه شهری درنظر گرفته شده، ابتدا لازم است تا حوزه‌های استراتژیک منطقه شناسایی شوند و اهداف استراتژیک مرتبط با هر حوزه مشخص گردد. سپس می‌توان استراتژی‌های مشخصی را با توجه به هر هدف تعیین نمود. با استفاده از این رویکرد، کلیه فعالیت‌های پراکنده‌ای که در سازمان‌های مختلف مرتبط با امور شهری صورت می‌گیرد، به صورت مجموعه‌ای از استراتژی‌های هدفمند و اولویت‌بندی شده انجام می‌شوند تا منطقه را به چشم‌اندازی که برای خود تعریف نموده است برسانند. جدول (٤)، حوزه‌ها و اهداف استراتژیک منطقه را در کنار استراتژی‌های تعریف شده در هر یک نشان می‌دهد:

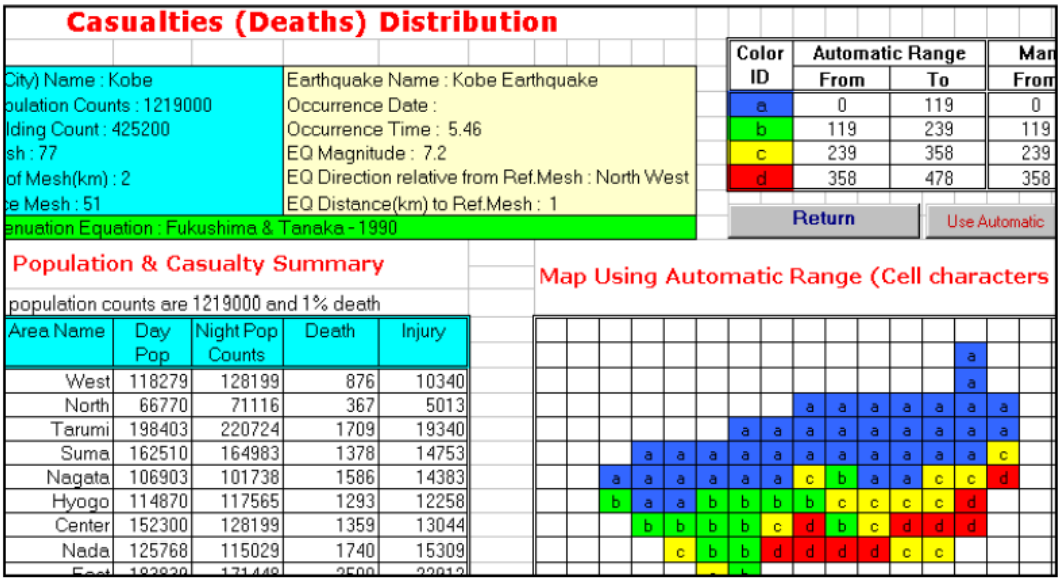
جدول (٤)- استراتژی‌های منطقه بر اساس حوزه‌ها و اهداف استراتژیک شناسایی شده

حوزه استراتژیک	اهداف استراتژیک	استراتژی‌ها
برنامه‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی	ارتقاء دانش مدیران	طراحی و استقرار سیستم آموزش الکترونیک تدوین تقویم آموزشی بحران
	ارتقاء آگاهی عمومی شهروندان	طراحی سایت اطلاع‌رسانی و ایجاد ارتباط مستقیم با پایگاه داده طراحی و انتشار کاتالوگ‌های آموزشی طراحی و پیاده‌سازی تبلیغات شهری تدوین تقویم مانور بحران تقویت طراح دوام طراحی و استقرار سیستم آموزش عمومی
شریان‌های حیاتی	افزایش ضریب قابلیت اطمینان شریان‌های حیاتی منطقه	ساخت تونل انرژی بازسازی شریان‌های حیاتی فرسوده نصب تجهیزات هشداردهنده و قطع کننده راه‌اندازی اتاق هماهنگی خدمات شهری مقاوم‌سازی ایستگاه‌های شریان‌های حیاتی
زیرساخت‌های حمل‌ونقل	افزایش ضریب اطمینان پل‌ها	مقاوم سازی پل‌ها
	حفظ ارتباط با سایر مناطق	تعریض خیابان‌های منتهی به مناطق مجاور شناسایی عوامل مسدود کننده راه و مقاوم سازی آنها
	رفع اختلال کوتاه مدت ترافیک	شناسایی گره‌ها و گلوگاه‌های ترافیکی در زمان بحران
ساختمان‌ها و بناها	مقاوم سازی ساختمان‌های موجود	ارزیابی خسارات وارده به ساختمان‌ها و دسته‌بندی بناها بر اساس آن نیازسنجی و تدوین برنامه‌های آموزشی متناسب با گروه‌های هدف ارائه تسهیلات به مالکان جهت مقاوم‌سازی بناها
	پیشگیری از ریسک غیر سازه‌ای	تدوین برنامه‌های آموزشی در مورد پیشگیری‌های غیرسازه‌ای
	بهبود طراحی ساختمان‌های جدید	بازنگری در طراحی و اجرای سیستم نظارت بر ساخت و سازها ارائه تسهیلات برای ساخت و سازهای ایمن طراحی و پیاده‌سازی سیستم انگیزشی برای ساخت و سازهای ایمن
سیستم مدیریت شهری	همگن‌سازی کاربری زمین	بازنگری در طراحی و اجرای سیستم نظارت بر ساخت و سازها
	افزایش مناطق امن در برابر بحران	مکانیابی پارک‌ها، بوستان‌ها و فضاهای باز با توجه به نقشه آسیب‌پذیری منطقه
	کاهش ریسک قنوات و رود دره‌ها و مسیل‌ها	بازسازی قنوات ارتقاء سیستم مدیریت رودخانه‌ها و مسیل‌ها
امنیت	ارتقاء سطح امنیت منطقه پس از بحران	آموزش نیروهای انتظامی منطقه و استان‌های معین
بافت‌های فرسوده	بازسازی و نوسازی بافت‌های فرسوده	طراحی و پیاده‌سازی طرح جامع ساماندهی بافت‌های فرسوده
زیرساخت‌های مدیریت بحران	ارتقاء سطح دانش مدیران منطقه در ارتباط مدیریت بحران	طراحی و استقرار سیستم آموزش الکترونیک تدوین تقویم آموزشی بحران
	ارتقاء سطح هماهنگی بین سازمان‌های مسئول در ستاد مدیریت بحران	برگزاری مانورهای مشترک طراحی و پیاده‌سازی سیستم مدیریت اطلاعات در سطح سازمان‌ها راه‌اندازی اتاق هماهنگی خدمات شهری
	ارزیابی سریع و موثر سازه‌ها پس از زمین لرزه	طراحی و پیاده سازی سیستم ارزیابی سریع خسارت
	ارتقاء سیستم‌های اطلاعاتی	طراحی و پیاده‌سازی سیستم مدیریت اطلاعات در سطح سازمان‌ها
	تقویت ساختار فرماندهی حادثه	بازنگری ساختار فرماندهی و کنترل مدیریت بحران در منطقه
	ارتقاء سطح ایمنی مراکز امداد و نجات در منطقه	ارزیابی لرزه‌ای مراکز امداد و نجات مقاوم سازی مراکز امداد و نجات
	رعایت استانداردهای جهانی در تعداد مراکز امداد و نجات	بهینه‌سازی و متناسب‌سازی تعداد مراکز امدادو نجات با جمعیت منطقه
استان‌های معین	ارتقاء دانش استان‌های معین	برگزاری دوره‌های آموزشی مدیریت بحران در استان‌های معین

حوزه استراتژیک	اهداف استراتژیک	استراتژی‌ها
		برگزاری مانورهای مشترک با استان‌های معین
	ارتقاء سطح شناخت استان‌های معین از منطقه	برگزاری کارگاه‌های معرفی منطقه و تجهیزات ستاد مدیریت بحران به استان‌های معیین
	ارتقاء سطح تجهیزات آن‌ها	بازسازی ناوگان امداد و نجات استان‌های معین
	توسعه سطح یکپارچگی اطلاعاتی	طراحی پایگاه داده مشترک بر بستر اینترنت

۲,۳ . استفاده از رویکرد رادیوس[۸] برای ارزیابی خسارت و ایجاد پهنه‌بندی

رویکرد رادیوس در سال ۱۹۹۶ با هدف تهیه سناریوی زلزله و تدوین برنامه اقدام برای شهرهای در معرض خطر زلزله در کشورهای در حال توسعه به‌کار گرفته شد. این نرم افزار تحت حمایت سازمان ملل و با کمک های فنی و مالی ژاپن توسعه داده شده و بعنوان یک نرم افزار چندملیتی مورد تایید سازمان ملل می‌باشد. هدف اصلی پروژه رادیوس، بالا بردن آگاهی و ایجاد یک ابزار علمی و کاربردی برای کاهش خطر زلزله در مناطق شهری است. این رویکرد با اصلاحات انجام شده، به صورت یک برنامه ساده در محیط نرم‌افزار مایکروسافت اکسل[۹] و بدون استفاده از داده‌های GIS طراحی شده است که به خاطر کاربری آسان برای ایجاد آگاهی عمومی و ارزیابی سریع خسارات ناشی از زلزله مناسب است. در شکل (۹) نمونه‌ای از محیط کاری نرم افزار رادیوس در تخمین تلفات ناشی از زلزله آورده شده است.



شکل (۹)- شماتیکی از محیط کاری نرم‌افزار RADIUS در برآورد تلفات انسانی

برای تهیه و تدوین یک سناریوی خسارت زلزله، باید ناحیه هدف مشخص شود و با توجه به زمین‌شناسی و موقعیت گسل‌ها، بایستی بزرگی، مرکز زلزله و مدل افت قدرت موج مشخص شود. تخمین خسارت با توجه به مخاطره و سازه‌های موجود و تعداد و نوع سازه‌ها و شریانهای حیاتی برآورد خواهد شد. نقشه خسارت بیان کننده ارتباط بین شدت لرزه‌ای و درجه خسارت به سازه‌ها خواهد بوده و تلفاتی همچون مرگ و جراحت هنگام وقوع زلزله بر اساس زمان انتخاب شده در شب و یا روز تخمین زده می‌شوند. برای استفاده از رادیوس کاربر بایستی اطلاعات زیر را در این نرم افزار وارد نماید:

- اندازه و حد و مرز منطقه مورد مطالعه از طریق شبکه‌بندی
- جمعیت کل منطقه مورد مطالعه
- تعداد کل ساختمانها و نوع سازه ساختمان

- نوع خاک منطقه مورد مطالعه
- مجموع کل شریانهای حیاتی
- انتخاب سناریوی زلزله و پارامترهای آن

سپس برنامه به بررسی اعتبار داده‌های ورودی پرداخته و تحلیل را انجام می‌دهد. خروجی‌های این برنامه عبارتند از:

- شدت لرزه‌ای
- خسارات وارده به ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی
- تلفات، شامل تعداد کشته‌شدگان و زخمی‌ها
- جداول و نقشه‌های که نتایج را به شکل موضوعی نمایش می‌دهند.

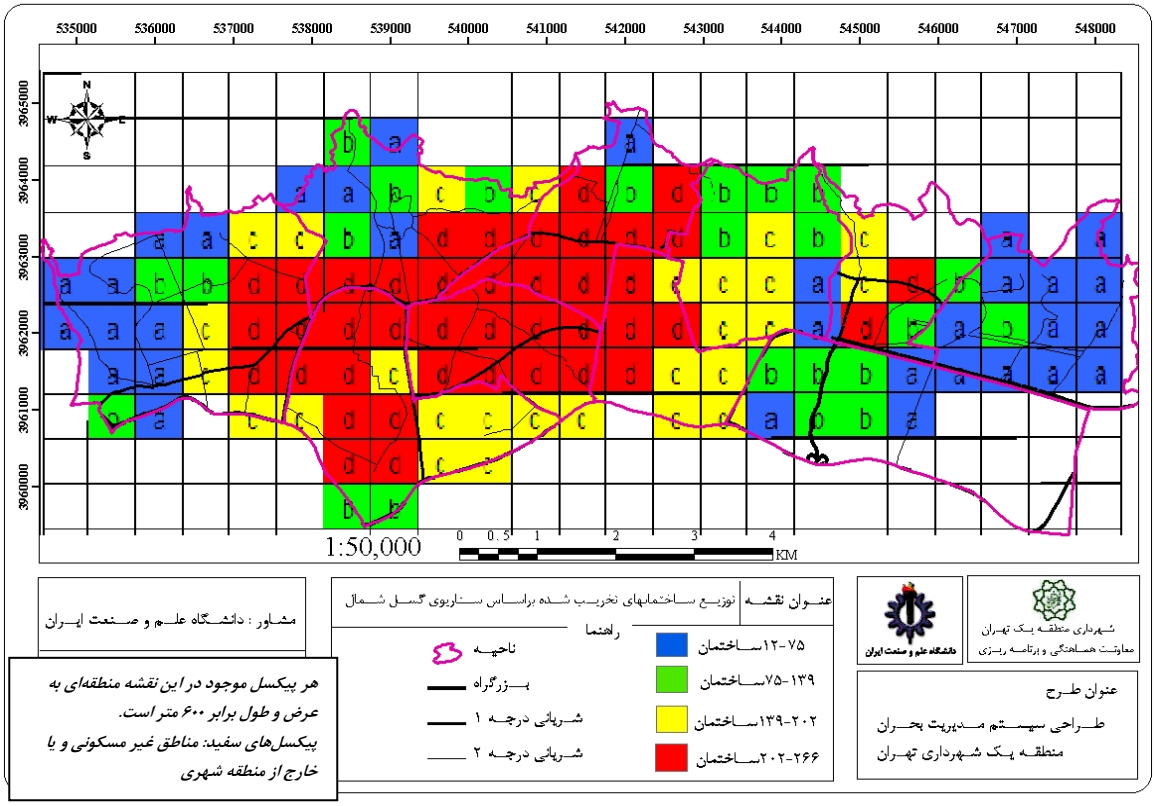
۳،۲،۱. نتایج برآورد خسارات

- **برآورد میزان ساختمانهای تخریب شده و توزیع آنها در منطقه براساس سناریوی گسل شمال تهران**

با توجه به خروجی نرم‌افزار رادیوس، برآورد می‌شود که در صورت وقوع زلزله ناشی از گسل شمال تهران با بزرگی ۷/۲ ریشتر، ۱۷۸٦۷ ساختمان در منطقه مورد مطالعه (معادل ٤۲,٤ درصد از کل ساختمان‌ها) تخریب خواهند شد. تعداد ساختمانهای تخریب شده در نواحی ده‌گانه منطقه یک در جدول زیر مشاهده می‌شود، آمار جدول حاکی از آن است که بیشترین خسارات در نواحی ۷،٤،۲ و۳روی می‌دهد و این نواحی آسیب‌پذیرترین نواحی منطقه هستند و کمترین خسارات نیز در نواحی ۹ و ۱۰ روی می‌دهد. شکل (۱۰) نقشه توزیع ساختمانهای تخریب شده را بر اساس میزان تخریب در نواحی مختلف منطقه نشان می‌دهد.

جدول (۵): تعداد ساختمانهای تخریب شده براساس سناریوی گسل شمال تهران

نواحی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	منطقه
تعداد ساختمانهای تخریب شده	۱۷۸۳	۲۶۶۵	۲۱۰۰	۲۳۵۲	۱۴۶۵	۹۸۴	۳۳۵۸	۱۹۸۷	۶۰۵	۶۰۰	۱۷۸۹۹
درصد تخریب	۸۶/۶	۵۱/۷	۴۶/۹	۸۲/۵	۵۲/۴	۴۵/۶	۷۲/۵	۴۱/۳	۵۶	۲۹/۱	۴۲/۴



شکل (۱۰)- نقشه توزیع ساختمانهای تخریب شده براساس سناریوی گسل شمال تهران

- **برآورد میزان کشته شدگان و صدمه‌دیدگان و توزیع آنها در منطقه بر اساس سناریوی گسل شمال تهران**

در صورت وقوع زلزله ناشی از گسل شمال تهران با بزرگی ۷/۲ ریشتر، ۷٤۸۳ نفر در منطقه کشته و ٦۲۸۰۵ نفر نیز مجروح خواهند شد. که تعداد کشته‌شدگان و صدمه دیدگان در نواحی ده‌گانه منطقه یک در جدول (٦) مشاهده می‌شود، آمار جدول حاکی از آن است که بیشترین تعداد کشته شدگان در ناحیه‌های ۷،۲،٤و۸ خواهد بود و این نواحی بیشترین میزان تلفات را دارند و کمترین تعداد کشته شدگان نیز در نواحی ۱۰ و۹ می‌باشد، نیز بیشترین تعداد صدمه دیدگان در ناحیه‌های ۷،۲،٤و۱ خواهد بود و کمترین تعداد کشته‌شدگان نیز در نواحی ٦ و۹ است، شایان ذکر است که نسبت کشته شدگان بر اساس این سناریو برابر با ۲/۲ درصد از جمعیت می باشد.

جدول (٦) – تعداد کشته شدگان و مصدومان براساس سناریوی گسل شمال تهران

نواحی	۱	۲	۳	٤	۵	٦	۷	۸	۹	۱۰	منطقه
تعداد کشته‌شدگان	۷۹۳	۱۰۵۰	۷۳۸	۹۶۴	۶۰۴	۴۴۸	۱۳۱۵	۸۰۱	۳۷۸	۳۹۲	۷۴۸۳
درصد تلفات	۳/۱	۱/۷	۱/۷	۳/۲	۱/۲	۱/۸	۲/۴	۱/۵	۰/۵۵	۱/۱	۲/۲
تعداد مصدومان	۶۲۰۹	۸۸۳۳	۶۰۷۸	۷۲۵۰	۵۰۶۴	۳۹۲۱	۱۱۰۴۷	۵۹۸۳	۳۷۸۴	۴۶۳۶	۶۲۸۰۵
درصد مصدومان	۲۳/۹۱	۱۳/۹۷	۱۳/۹۱	۲۴/۲۲	۹/۹۱	۱۵/۵۸	۲۰/۴۳	۱۱/۳۵	۵/۵۱	۱۳/۰۶	۱۳/۹۵

۲,۲,۳ . نتایج مدل ریاضی در خصوص جایابی پایگاه‌های امدادی و تخصیص مناطق منطقه به آن‌ها

با استفاده از مدل ریاضی معرفی شده برای سیستم زنجیره امداد طراحی شده برای منطقه و داده‌های بدست آمده از ارزیابی خسارت، می‌توان به جایابی پایگاه امدادی مورد نیاز در منطقه در فاز آمادگی پرداخت و نحوه تخصیص مردم منطقه را به این پایگاه‌ها و میزان موجودی انبار هر یک را برای ارسال امداد موثر به مردم و برآورده نمودن تقاضای اولیه آن‌ها در فاز واکنش مشخص نمود. جدول (۷) خلاصه نتایج حاصل از حل مدل را برای منطقه مورد مطالعه ارائه می‌دهد که با توجه به آن درصد پوشش مردم و کل تعداد پایگاه‌های امدادی مورد نیاز در منطقه و میزان ذخیره اقلام امدادی در آن مشخص شده است.

جدول (۷)- خلاصه نتایج محاسباتی برای ۱۰ ناحیه منطقه یک شهرداری

نتایج / نواحی	درصد مردم پوشش داده شده	تعداد کل پایگاه ها	کمبود کالاها (بر حسب واحد)	کل کالا ذخیره شده (بر حسب واحد)	کل هزینه عملیاتی (بر حسب واحد)
۱	۹۴.۵	۱۷	۶۸۷۱	۱۰۵۷۰۹	1.04E+09
۲	۸۳.۹	۱۶	۲۲۹۲۳	۶۱۳۶۱	9.38E+08
۳	۱۰۰	۱۳	۲۱۲۳۲	۴۰۵۲۶	8.95E+08
۴	۱۰۰	۷	۱۶۹۴۷	۴۶۴۷۶	7.02E+08
۵	۱۰۰	۸	۱۳۵۹۹	۲۹۶۹۷	4.98E+08
۶	۱۰۰	۷	۰	۳۰۳۶۸	2.66E+08
۷	۱۰۰	۷	۸۱۶۲۳	۵۹۴۹۱	1.92E+09
۸	۱۰۰	۷	۲۶۰۰۴	۶۴۳۹۲	1.02E+09
۹	۱۰۰	۸	۲۸۹۵	۵۴۳۹۸	5.27E+08
۱۰	۸۴	۱۳	۱۸۴۷	۵۷۹۲۶	5.39E+08
مجموع	۹۶.۲۴	۱۰۳	۱۹۳۹۴۱	۵۵۰۳۴۴	8.35E+09

نتیجه گیری

همانطور که اشاره شد، آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر بحران‌ها به عوامل متعددی بستگی دارد. شناسایی علل بروز آسیب‌های ثانویه ناشی از یک بحران و پیامدهای پس از آن سازمان‌های متولی مدیریت بحران کمک می‌کند تا فعالیت‌های پراکنده صورت گرفته در زمینه پیشگیری را در قالب چارچوبی استراتژیک و مدوّن پیاده‌سازی کنند و یکپارچگی ایجاد شده بین آن‌ها منجر به کاراتر شدن و مؤثرتر شدن هرچه بیشتر آن‌ها گردد. از طرف دیگر، با داشتن دانشی مبتنی بر داده‌های به‌روز منطقه و استفاده از آن در تهیه پهنه‌بندی خطر برای مناطق شهری با استفاده از معیارهای زمین‌شناسی و زیرساخت‌ها، می‌توان تخمینی از میزان خارات و تلفات در صورت بروز سناریوهای مختلف بحران بدست آورد و آن را در جهت ایجاد برنامه‌های آمادگی و واکنش به کار برد. در این تحقیق، ابتدا با استفاده از روش‌های ETA و FTA، نقشه آسیب‌پذیری منطقه بر اساس علل ریشه‌ای بروز آسیب‌های ثانویه تا پیامدهای نهایی وقوع آن‌ها به همراه رتبه‌بندی آسیب‌ها، مهمترین دلایل بروز و پرریسک‌ترین پیامدهای آن‌ها ایجاد شده و از آن در تهیه استراتژی‌های پیشگیرانه مدیریت بحران استفاده گردید. در مجموع، ۲۳ آسیب مهم در مطالعه موردی شناسایی شدند که ۷ پیامد ناشی از وقوع آن‌ها به عنوان مهم‌ترین پیامدهای زلزله در شهر تهران مشخص شده و با استفاده از نمودار پارتو، ۱۵ علت ریشه‌ای به عنوان مهمترین دلایل بروز این آسیب‌ها تعیین شدند. درنتیجه، ۹ حوزه استراتژیک به همراه اهداف و استراتژی‌های مشخص برای هر یک از آن‌ها به عنوان برنامه پیشگیری منطقه تعریف شد. سپس، با استفاده از نرم‌افزار RADIUS و بدترین سناریوی بروز زلزله در شهر تهران، نقشه پهنه‌بندی خطر برای منطقه یک شهرداری تهیه شده و از آن به عنوان ورودی مدل

ریاضی جایابی- توزیع برای فازهای آمادگی و واکنش مدیریت بحران استفاده شد. نتایج حاصل، نشان‌دهنده نیاز به ایجاد ۱۰۳ پایگاه مدیریت بحران محلی برای ذخیره اقلام امدادی است تا نیازهای اولیه مردم منطقه پس از بروز زلزله را پوشش دهند.

منابع

1. *Beamon, B.M. and Kotleba, S.A. (2006a). Inventory modeling for complex emergencies in humanitarian relief operations. Int. J. Logist.: Res., Appl. 9:1 , pp. 1-18.*
2. *Van Wassenhove, L.N. (2006). Blackett Memorial Lecture Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear, Journal of the Operational Research Society, 57, 475–489.*
3. *Sheu, J.B. (2007). An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters, Transportation Research Part E, 43, 687-709.*
4. *Knott, R. (1987). The Logistics of Bulk Relief Suppliers, Disaster, Vol. 11, pp. 113 –115.*
5. *Rathi, A.K. Church, R.L. Solanki, R.S. (1992). Allocating resources to support a multicommodity flow with time windows. Logistics and Transportation Review, 28 (2), 167–188.*
6. *Oh, S. and Haghani, A. (1996). Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations, Transport. Res., 30, 231–250.*
7. *Oh, S. and Haghani, A. (1997). Testing and evaluation of a multi-commodity multi-modal network flow model for disaster relief management. Journal of Advanced Transportation, 31, 249–282.*
8. *Barbarosoglu, G. Ozdamar, L. Cevik, A. (2002). An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations, Eur. J. Operation Res., 140, 118–133.*
9. *Ozdamar, L. Ekinci, E. Kucukyazici, B. (2004). Emergency logistics planning in natural disasters, Annals of Operations Research, 129, 217–245.*
10. *Beamon, B.M. and Kotleba, S.A. (2006b). Inventory management support systems for emergency humanitarian relief. Operations in South Sudan. Int. J. Logist. Manag. 17:2, pp. 187-212.*
11. *Tzeng, G.H. Cheng, H.J. Huang, T.D. (2007). Multi-bjective optimal planning for designing relief delivery systems, Transportation Research Part E, 43, 673–686.*
12. *Wei, Y. Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations, Transportation Research Part E, 43, 660–672.*
13. *Balcik, B. Beamon, B.M. (2008). Facility location in humanitarian relief, International Journal of Logistics: Research and Applications, 11, 101–121.*
14. *OnurMete, H. Zabinsky, Z.B. (2009). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management, Int. J. Production Economics, 126, 76-84.*
15. *Ortuño, M.T. Tirado, G. Vitoriano, B. (2010).A lexicographical goal programming based decision support system for logistics of Humanitarian Aid, TOP.*
16. *Balcik, B. Beamon, B.M. Smilowitz, K. (2011). Last Mile Distribution in humanitarian relief, Journal of Intelligent Transportation Systems, 12(2):51–63.*
17. *Bozorgi-Amiri A. Jabalameli M.S. Mirzapour Al-e-Hashem S.M.J. (2011a). A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. OR Spectrum, DOI: 10.1007/s00291-011-0268-x.*
18. *Bozorgi-Amiri A. Jabalameli M.S. Alinaghian M. Heydari M. (2011b). A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment, Int J Adv Manuf Technol; 60, Issue 1-4, 357-371.*

19. *Eshghi, K. Najafi, M. (2013). A Logistics Planning Model to Improve the Response Phase of Earthquake, International Journal of Industrial Engineering & Production Management, v23, Number 4, pp. 401-416.*

20. *Miuraa, H. Midorikawab, S. Fujimotoc, K. Pachecod, B.M. Yamanaka, H. (2008). Earthquake damage estimation in Metro Manila, Philippines based on seismic performance of buildings evaluated by local experts' judgments, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v28, 764–777.*

21. *Al-Hasawi, A., Okazaki, K. (2008). Proposal on disaster management plan of Saudi Arabia based on earthquake damage estimation of Tabuk City, Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, v42, 103-108.*

22. *Sinha, R., Aditya, K.S.P., Gupta, A. (2008). GIS-based urban seismic risk assessment using RISK.iitb, ISET Journal of Earthquake Technology, v45, Issue 3-4, Page 41.*

23. *Ansal A. Akinci A. Cultrera G. Erdik M. Pessina V. Tonu k G. Ameri G. (2009). Loss estimation in Istanbul based on deterministic earthquake scenarios of the Marmara Sea region (Turkey), Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v29, 699–709.*

24. *FarzipourSaein A. FarzipoorSaen R. (2012). Assessment of the Site Effect Vulnerability within Urban Regions by Data Envelopment Analysis: A Case Study in Iran, Computers & Geosciences, Computers &Geosciences, DOI:10.1016/j.cageo.2012.01.018.*

25. *Carren, M.L. Cardona, O.D. Barbat, A.H. (2007). Urban Seismic Risk Evaluation: A Holistic Approach, Natural Hazards, 40:137–172.*

26. *Inel, M. Selcuk, S.M. Toprak, S. Manav, Y. (2008). Seismic risk assessment of buildings in urban areas: a case study for Denizli, Turkey, Nat Hazards, 46:265–285.*

27. *Martinelli, A. Cifani, G. Cialone, G. Corazza, L. Petracca, A. Petrucci, G. (2008). Building vulnerability assessment and damage scenarios in Celano (Italy) using a quick survey data-based methodology, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28: 875– 889.*

28. *Sarris, A. Loupasakis, C. Soupios, P. Trigkas, V. Vallianatos, F. (2010). Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: application to Chania City, Crete Island, Greece, Nat Hazards, 54:395–412.*

29. *Tantalaa, M.W. Nordensonb, G.J.P. Deodatisc, G. Jacob, K. (2008). Earthquake loss estimation for the New York City Metropolitan Region, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v28 812–835.*

۳۰. علی احمدی، ع. فتح الله، م. تاج‌الدین، ا. (۱۳۸۶). نگرش جامع بر مدیریت استراتژیک، انتشارات تولید دانش.

پی‌نوشت

[1] *A Multi-Commodity Multi-Modal Network Flow Model*
[2] *Vehicle routing problem (VRP)*
[3] *HAZard United States*
[4] *Geographic Information System*
[5] *Event Tree Analysis*
[6] *Fault Tree Analysis*
[7] *North Tehran Fault*
[8] *Risk Assessment tools for DIagnosis of Urban areas against Seismic disasters (RADIUS)*
[9] *Microsoft Excel*