نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال یازدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، (پیاپی ۴۱): صص ۲۸-۱۱

علمی- ترویجی

طراحی سامانه خبره جهت هوشمندسازی مدیریت بحران ناشی از زلزله در شهر تهران

سامان کشوری[۱]، عبدالرحمن کشوری[۲*]، محمدعلی جوادزاده [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸

چکیده

زلزله یکی از خطرات مهمی است که زندگی مردم در شهر تهران را تهدید می‌کند. ازاین‌رو، باید در جهت پیشگیری و اقدامات تأمینی لازم پس از وقوع این رخداد طبیعی بهترین تصمیمات توسط مدیریت شهری گرفته شود. با توجه به اثرات روانی زمان بحران در تصمیم‌گیری مدیران، لزوماً باید مکانیسمی طرح شود تا بتواند فارغ از اثرات بحران، موقعیت شهری را تحلیل کرده و پیشنهادهای لازم را برای مدیریت بحران ارائه دهد. شهر تهران دارای ۲۲ منطقه است که بر روی ۱۳ گسل قرار دارند. به همین دلیل در این مقاله سامانه خبره‌ای طراحی و ارائه می‌شود که با استفاده از الگوی فرآیندی که در آن شاخص‌های مهم شهری متغیرهای شناسایی زلزله که به‌وسیله مرکز لرزه‌نگاری به سامانه خبره وارد می‌شود؛ طرح اقدام لازم را به مراکز ایمنی مربوط به هر یک از مناطق بیست و دو گانه شهر تهران و مراکز معین آن‌ها ارائه دهد. این طرح بهترین اقدامات هر منطقه در صورت وقوع زلزله با توجه به شاخص‌های آن منطقه را پیشنهاد می‌دهد. هدف این مقاله ارائه سامانه خبره‌ای جهت هوشمند سازی مدیریت بحران در راستای به حداقل رساندن خسارت وارد به کلان‌شهر تهران در صورت وقوع زلزله است. به این منظور با استفاده از شاخص‌ها به‌عنوان پایگاه دانش و ورودی‌های سامانه شامل شدت، محل و یا زمان وقوع زلزله با استفاده از سامانه خبره این کار انجام می‌شود. در پایان با رخ دادن زلزله فرضی در منطقه اُزگُل در منطقه ۱ تهران، روش ارائه‌شده با پیاده‌سازی پیش‌نمایش برنامه با دو روش مرکالی و ریشتر مورد ارزیابی و مقایسه قرار داده شد. نتایج نشان می‌دهد به دلیل مؤثر بودن عوامل مختلف درروش ارائه شده در این مقاله نسبت به دو روش ریشتر و مرکالی اقدامات تأمینی پیش‌بینی‌شده در برابر زلزله موردنظر دقیق‌تر است.

کلید واژه‌ها: زلزله تهران، سامانه خبره، ایمنی شهری، اقدامات تأمینی، آسیب‌شناسی گسل‌ها

۱-کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۲- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران، (arkeshvari@ihu.ac.ir)- نویسنده مسئول

۳- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۱. مقدمه

یکی از نیازهای ضروری جامعه شهری، مقابله با حوادث و بلایای طبیعی است. ایجاد مجموعه فرآیندهای برنامه‌ریزی، پیش‌بینی، تجهیز و سامان‌دهی موقت و سپس بازسازی شهری (که به‌واسطه بلایای طبیعی یا انسان‌ساز تخریب شده‌اند) از نیازمندی‌های مقابله با حوادث و بلایای طبیعی محسوب می‌شود. موفقیت مدیریت شهری در مواقع بحران را می‌توان وابسته و نیازمند به اقدامات صحیح زمان بحران دانست [۱]. اتفاقاتی مانند آتش‌سوزی مهیب، طوفان، برف سنگین، سیل، خشکسالی، قحطی، گرمای بیش‌ازحد، انفجارهای ناخواسته (مواد شیمیایی، هسته‌ای و یا تخریبی مهمات)، بیماری‌های واگیردار، قطع ناخواسته آب، برق و گاز در زمانی طولانی، رانش زمین، جنگ و خاصه وقوع زلزله و مخاطرات ناشی از آن‌ها را می‌توان به‌عنوان نمونه‌هایی از بحران نام برد. ایران یکی از زلزله‌خیزترین کشورهای دنیا است و شهرهای آن در رابطه با این مخاطره طبیعی آسیب‌های فراوان دیده‌اند. کلان‌شهر تهران به‌عنوان کلان‌شهر اول کشور نه‌تنها از این قاعده مستثنا نیست، بلکه با توجه به وجود گسل‌های متعدد، بافت‌های فرسوده، تراکم سازه‌ای، جمعیت متراکم، عدم رعایت استانداردها و توسعه فیزیکی نامناسب با خطر جدی مواجه است [۲]. اطلاع‌رسانی و انتشار اخبار صحیح، به‌موقع و دقیق از وقوع یک زمین‌لرزه و اثرات آن به‌ویژه در ساعات و روزهای ابتدایی وقوع، نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود فرآیند مدیریت واکنش اضطراری، کاهش مرگ‌ومیر و خسارات ناشی از زلزله دارد [۳].

استفاده از ابزار هوشمند یک یا هر سه توانایی اجرای هوشمند، یادگیری هوشمند و یا تصمیم گیری هوشمند را در پی دارد. اگر ابزاری دستورات از پیش تعریف شده را به درستی و بدون دخالت یا با کمک انسان انجام دهد، به آن ابزار هوشمند گفته می شود. پیچیده ترین حالت هوشمندی، هوشمندی در تصمیم‌گیری است که با پیشرفت علم، ساخت ابزارهایی که قابلیت تصمیم گیری هوشمند به جای انسان را داشته باشد، دور از انتظار نیست. سامانه خبره یک سامانه تصمیم‌یار است که انسان را در گرفتن بهترین تصمیم یاری می‌دهد.

در این مقاله، سامانه خبره‌ای ارائه‌شده که مدت‌زمان ارزیابی اثرهای زلزله که در شکل (۱) آمده است را کاهش می‌دهد. در حین وقوع زلزله با ورود اطلاعات آن زلزله به سامانه خبره و وجود شاخص‌های مختلف که به‌عنوان دانش در پایگاه دانش سامانه خبره وجود دارند و با بهره‌گیری از امکانات سامانه‌های خبره و سرعت پردازش بالایی که در سامانه‌های رایانه‌ای وجود دارد، این زمان کاهش می‌آید. اقدامات صحیح پس از زلزله بسیار نقش مؤثری در کاهش تلفات مالی و جانی دارد. لذا افرادی که در این زمینه از تجربه و علم بالایی (که در این مقاله از این تجربه و علم تحت عنوان خبرگی یاد می‌شود) برخوردارند، می‌توانند بهترین تصمیم را در آن لحظه بگیرند. فرد خبره در همه‌جا در دسترس نیست یا اینکه به دلیل شرایط روحی روانی و یا جسمی نمی‌تواند در آن لحظه بر روی مسئله تمرکز کند، لذا وجود یک سامانه رایانه‌ای خبره هوشمند، می‌تواند در آن لحظه بسیار تأثیرگذار باشد. در این مقاله به‌صورت قدم‌به‌قدم، طراحی سامانه خبرهٔ مورد نظر ارائه شده است.

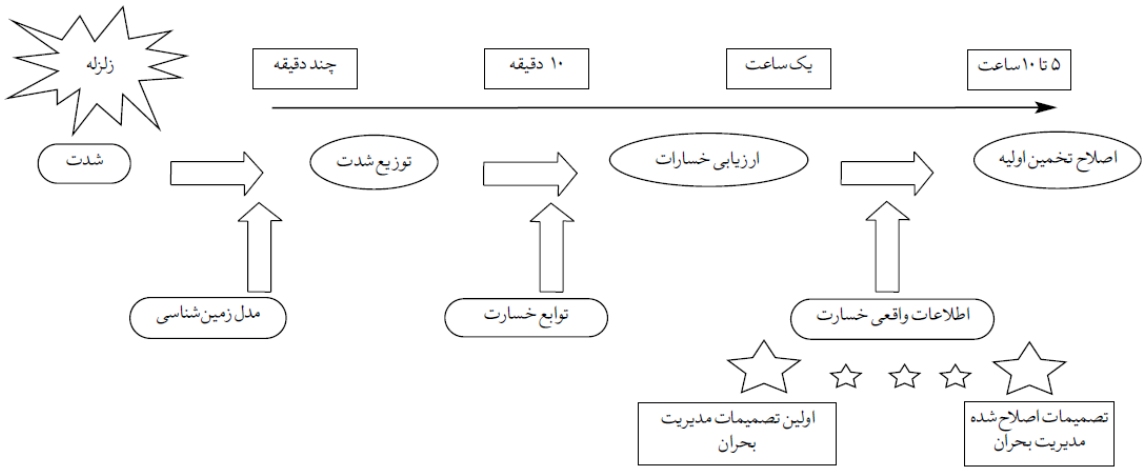
در این مقاله ابتدا به پژوهش‌هایی که قبلاً در خصوص ایمنی و زلزله شهر تهران انجام شده و همچنین به برخی از سامانه‌های خبره طراحی شده اشاره شده است؛ آنگاه، به مخاطرات شهری مد نظر این تحقیق یعنی زلزله پرداخته شده است. تهران به‌عنوان یکی از زلزله‌خیزترین شهرهای بزرگ جهان بر روی حدود ۱۳ گسل قرار دارد [۴۳] که در این مقاله به آسیب‌شناسی گسل و ویژگی‌های زلزله‌های نزدیک گسل پرداخته شده است. در ادامه با توجه به پهناوری و تفاوت مناطق مختلف شهر تهران ازلحاظ شاخص‌های مختلف، لزوم پهنه‌بندی و سطح‌بندی تهران جهت ارائه اقدامات تأمینی مناسب شرح داده شده است. در طراحی سامانه خبره، ابتدا ویژگی و محدودیت‌های این نوع سامانه‌ها را برشمرده سپس به ساخت پایگاه دانش سامانه خبره پرداخته شده است. پایگاه دانش با توجه به شاخص‌های شهرسازی، فرهنگی، تاریخی، اقتصادی، حمل‌ونقل و تأسیسات زیربنایی مناطق ۲۲گانه تهران ساخته شده است. ورودی‌های سامانه خبره شامل: گسل محل وقوع، میزان ریشتر و زمان زلزله است. در پایان با در نظر گرفتن یک زلزله فرضی در بخش اُزگُل منطقه یک تهران به مقایسه کارایی و امکاناتی که سامانه خبره در مقایسه با روش‌های ریشتر و مرکالی می‌دهد، پرداخته می‌شود. پیش‌نمایش برنامه سامانه خبره به زبان C# نوشته شده است.

۲. پیشینه و کارهای مرتبط

با توجه مسائل پرداخته شده در این مقاله، پژوهش‌هایی در زمینه‌های مدیریت بحران و زلزله در شهر تهران، همچنین سامانه‌های خبره انجام شده را می‌توان به‌عنوان مطالعات مرتبط محسوب نمود. در ادامه به برخی از آن‌ها که در تحقیق مؤثرند، اشاره شده است.

شناخت واکنش افراد حین وقوع زلزله، در ارائه طرح اقدامات تأمینی مناسب که هدف این مقاله است، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا پژوهش ده سال پس از زلزله بم از دیدگاه و رفتار مردم آنجا نسبت به موضوع زلزله و ایمنی توسط

پارسی زاده و همکارانش انجام شده است [۵].



شکل (۱): سازوکار ارزیابی اثرهای زلزله با استفاده از شبکه لرزه‌نگاری [۴]

طبق نتایج این تحقیق ۴۴/۸ درصد مخاطبان قبل از وقوع زلزله بم از روش‌های پناه گیری زمان زلزله آگاهی داشتند؛ هرچند، در زمان وقوع زلزله ۲۱ درصد دچار بهت‌زدگی و ترس شدند. ۴۹/۷ درصد افراد اولین واکنش آن‌ها فرار و رفتن به فضای باز بوده است [۵]. در مقاله کردآبادی و همکارانش به پهنه‌بندی خطر زلزله و تأثیر آن بر امنیت شهری منطقه یک تهران پرداخته شده است [۲]. طبق نتایج به‌دست‌آمده در این مقاله ۲۳ درصد منطقه یک تهران جزء مناطق کم و خیلی کم‌خطر از جهت آسیب‌پذیری در برابر زلزله هستند، درصورتی‌که مناطق دارای خطر زیاد و خیلی زیاد حدود ۵۰ درصد مساحت منطقه یک تهران را در برمی‌گیرند. نتایج این مقاله حاکی از زلزله‌خیز بودن منطقه یک تهران دارد که در ارائه اقدامات تأمینی در سامانه خبره باید به این منطقه توجه ویژه‌ای داشت.

روش‌های سنتی جمع‌آوری اطلاعات و برآورد اثرهای زلزله با توجه به مشکلات اجرایی و زمان‌بر بودن آن‌ها همواره اشکالات زیادی را در اقدامات به‌موقع واکنش اضطراری ایجاد نموده است. ازاین‌رو، امروزه روش‌های پیشرفته نظیر سنجش‌ازدور یا پایش سامانه شبکه لرزه‌نگاری و شریان‌های حیاتی، به‌منظور برآورد سریع خطرپذیری و اثرهای زلزله در اغلب کشورهای پیشرفته جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقاله منصوری برخی از روش‌های متداول برآورد سریع خطرپذیری و خسارات ناشی از زمین‌لرزه معرفی و بررسی گردیده است [۴]. در سامانه خبره ارائه‌شده با بهره‌گیری از پایگاه دانشی که از مناطق ۲۲گانه تهران در آن وجود دارد، برآورد سریعی از خطرپذیری و اثرهای زلزله ارائه می‌دهد.

در پژوهش علامه‌زاده و همکارش جهت پیش‌بینی خوشه‌های لرزه‌ای پرخطر، از روش الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی کوهونن (که الهام گرفته از عملکرد مغز انسان است) استفاده می‌شود [۶]. در این مقاله جزییات الگوهای لرزه‌ای در البرز باختری با استفاده از کاتالوگ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله بررسی شده است.

در اکثر سوانح اعم از طبیعی و یا غیرطبیعی کودکان جزء آسیب‌پذیرترین گروه‌ها هستند که عموماً دچار آسیب‌های جسمانی و روانی می‌شوند. در مقاله ایزدخواه و همکارش به مروری در رابطه با شبیه‌سازها در ایران و جهان و نقشی که آنان می‌توانند در آموزش زلزله به کودکان و ترویج فرهنگ ایمنی در خانواده‌ها ایفاء کنند، پرداخته شده و پیشنهادی در رابطه با شبیه‌سازهایی که در آموزش و ایجاد حس زلزله در کودکان مفید هستند، ارائه می‌گردد [۷]. سامانه خبره ارائه‌شده در این مقاله می‌تواند با ارائه اقدامات تأمینی مناسب و شبیه‌سازی زلزله در جهت آموزش کودکان و نوجوانان در مدارس مناطق مختلف استفاده شود.

با توجه به‌احتمال بالای آتش‌سوزی اماکن پس از زلزله، پرداختن به این موضوع جهت ارائه طرح اقدامات تأمینی مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است. در همین راستا در پژوهش ذوالفقاری و همکارش، روشی تحلیلی برای تخمین احتمال وقوع اشتعال‌های داخل ساختمانی پس از زلزله ارائه شده است [۸]. در تحقیق دیگری ضمن مرور و مقایسه اجمالی مطالعاتی که در رابطه با موضوعات مرتبط با خطرپذیری لرزه‌ای شهر تهران از دیدگاه‌های مختلف (برآورد خطر زلزله، مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای، برآورد آسیب‌پذیری و وضعیت مدیریت خطرپذیری) انجام شده است، وضعیت موجود در هر بخش بررسی و تحلیل شده و پیشنهادهایی نیز برای انجام مطالعات تکمیلی در

بخش‌های مرتبط ارائه گردیده است [۹]. در این مقاله همچنین عواملی که آسیب‌پذیری شهر تهران را در پی دارد، بیان شده‌اند. در این تحقیق به نقل از پژوهش آژانس بین‌المللی همکاری ژاپن و مرکز کاهش خسارت تهران [۱۰] فضاهای تخلیه امن در مناطق ۲۲-گانه، همچنین اولویت‌بندی بر اساس معیارهای آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر زلزله بر اساس مطالعات جایگاه و مرکز پیش‌گیری و مدیریت بحران شهر تهران آمده است. از این پژوهش علاوه بر شناسایی عوامل آسیب‌پذیری شهر تهران جهت اسکان مردم در صورت بروز زلزله، به‌عنوان یکی از اقدامات تأمینی ارائه‌شده توسط سامانه خبره، همچنین اولویت‌بندی کمک‌رسانی به بخش‌هایی که بیشتر در معرض خطر هستند، در مقاله استفاده می‌شود، با این تفاوت که سامانه خبره قادر به ارائه نقشه هر منطقه جهت اسکان مردم در فضاهای باز و کانکس‌های موقت را دارد.

در پژوهش قائم‌قامیان تأثیر نوع و بزرگای زلزله، همچنین اثر میزان فاصله در حوزه‌های نزدیک زلزله بررسی شده است. در این مقاله جنبش نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل با در نظر گرفتن توزیع یکنواخت لغزش بر روی سطح گسل مورد بررسی قرار گرفته است [۱۱]. از این مقاله برای تعیین میزان تأثیر فاصله از گسل‌های تهران به‌عنوان یک شاخص، میزان تخریب در پایگاه دانش سامانه خبره استفاده شده است. در سامانه خبره با توجه به مبدأ وقوع زلزله که یکی از ۱۳ گسل شهر تهران است، فاصله منطقه موردنظر تا مبدأ محاسبه شده، سپس با تأثیر سایر عوامل، میزان خطرپذیری زلزله ارزیابی می‌شود.

در مقاله حسینی که اهمیت اقدامات تأمینی در راستای پیشگیری از حوادث ناشی از زلزله بیان شده است، علاوه بر بیان مشکلات تهران از دیدگاه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت برای رفع آن‌ها ارائه شده است [۱۲]. با استفاده از سامانه خبره و مشاهده پاسخ آن در شرایط مختلف آزمایشگاهی، مشکلات مناطق مختلف به‌راحتی مشاهده می‌شوند، مسئولین می‌توانند در راستای رفع مشکلات این مناطق تصمیم‌گیری نمایند.

نظر به اهمیت فراوان سامانه‌های آب‌رسانی از یک‌سو و احتمال بالای وقوع زلزله در نقاط مختلف کشور ازجمله تهران از سوی دیگر، پژوهشی در جهت آسیب‌پذیری این سامانه‌ها در برابر زلزله انجام شده است [۱۳]. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که می‌توان با تمهیدات مناسب، بسیاری از پیامدهای نامطلوب حاصل از آسیب‌دیدگی‌های احتمالی ناشی از زلزله را کاهش داد. از نتایج این مقاله می‌توان جهت بهبود اقدامات پیشنهادی سامانه خبره استفاده نمود. مشاهده زلزله‌های گذشته نشان داده که پست‌های فشار ضعیف در شبکه توزیع، از آسیب‌پذیرترین مؤلفه‌های این شبکه هستند [۱۴]. به همین جهت برای ارائه طرح، اقدامات تأمینی مناسب با زلزله در سامانه خبره باید به این مورد نیز دقت نمود. در پژوهش حسینی و همکارانش مدلی برای مدیریت شرایط اضطراری شبکه توزیع برق پس از وقوع زلزله در کلان‌شهرها با تمرکز بر پست‌های فشار ضعیف ارائه شده است [۱۴]. ارائه اقدامات تأمینی برنامه‌ریزی‌شده و یکپارچه نیازمند برنامه مدیریتی منسجم است. در همین راستا در مقاله‌ای روند تحول مکانی سکونتگاه‌های شهری و فضاهای صنعتی منطقه کلان‌شهری تهران را باهدف شناخت جایگاه نظام مدیریت و برنامه‌ریزی رسمی و شهرهای جدید و شهرک‌های صنعتی در جذب جمعیت و فعالیت منطقه، موردبررسی قرار داده است [۱۵]. تجربیاتی که در مقاله‌ای که در آن چالش‌های مدیریت بحران در زمین‌لرزه سال ۱۳۴۱ بوئین‌زهرا بررسی شده است [۱۶] نقش مؤثری در طرح‌ریزی اقدامات تأمینی در هنگام وقوع زلزله‌های احتمالی آینده خواهد داشت.

در تحقیق علوی و همکارانش ساماندهی پراکنش فضایی، فضای سبز شهری در منطقه هشت شهر تهران بررسی شده است [۱۷]. ازآنجایی که فضاهای سبز مکان‌های امنی برای اسکان افراد در زلزله هستند. از تجربیات این مقاله می‌توان جهت ایجاد فضای سبز (که یکی از اقدامات تأمینی قبل از وقوع زلزله است) در مناطق مختلف تهران استفاده نمود. در پژوهش نوجوان و همکارانش نیز با توجه به اهمیت انتخاب مکانی مناسب جهت اسکان موقت، مکان‌یابی با استفاده از الگوریتم‌های فازی بامطالعه موردی منطقه یک شهرداری تهران آمده است [۱۸]. در مقاله سوادکوهی فر نیز مقدمه‌ای بر روش آمایش اسکان موقت با نمونه موردی بحران زلزله در تهران آمده است [۱۹]. در سامانه خبره، با ارائه فضاهای باز با کمک نقشه، مکان‌ها، مراکز پشتیبان و کانکس‌های اسکان موقت، مکان‌یابی مردم آسیب‌پذیر جهت مدیریت بحران با سرعت امکان‌پذیر خواهد بود.

تاکنون سامانه‌های خبره مختلفی برای نیازهای مختلف ارائه شده است. در پژوهش دشتی و همکارانش سامانه خبره‌ای برای بهداشت ایمنی و محیط زیست در راستای اقدامات مقابله‌ای با آلودگی‌های صوتی ارائه شده است [۲۰]. در تحقیقی دیگر مدیریت شبکه فاضلاب با استفاده از سامانه خبره طراحی شده است [۲۱]. در مقاله هاشمی و همکارانش سامانه خبره‌ای به‌منظور تشخیص شرایط اضطراری و ارائه راه‌کار مناسب جهت بازگشت به شرایط عادی اورژانس توسعه داده شده است [۲۲]. در تحقیقی دیگر، سامانه خبره‌ای با استفاده از مشخصه‌های ظاهری صفحه‌های اینترنتی، قابلیت‌های امنیتی و نیز اطلاعات موجود در دامنه وب‌سایت ارائه گردیده که قادر به استدلال در

خصوص میزان مشکوک بودن یک وب‌سایت به یک حمله فیشینگ در بانکداری الکترونیکی است [۲۳]. مقاله احمدی و همکارانش نیز به معرفی، کاربرد و چگونگی استفاده از سامانه‌های خبره در برنامه‌ریزی راهبردی پرداخته شده است [۲۴]. در پژوهشی دیگر یک سامانه خبره فازی برای انتخاب سامانه برنامه‌ریزی منابع سازمان مناسب بر مبنای معیارهای انتخاب معتبر و بین‌المللی طراحی شده است تا خطرپذیری ناشی از انتخاب نادرست تا حد امکان کاهش داده شود [۲۵]. در پژوهش فلامرزی و همکارانش، ایجاد یک سامانه خبره برای پیاده‌سازی خیابان‌های کامل مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است [۲۶]. تونل‌ها یکی از ساختارهای حمل‌ونقل که شامل انواع مختلفی از سامانه‌های هوشمند نظیر جت فن‌ها، چراغ‌های ال‌ای‌دی دوربین‌های نظارت شکل هستند. وجود یک اتاق کنترل جهت مدیریت حس‌گرها، تصمیم‌گیری در شرایط مختلف را تسریع می‌بخشد. در مقاله آب‌پیکر و همکارانش به تشریح نحوه عملکرد این اتاق کنترل جهت مدیریت سامانه‌های هوشمند درون تونل پرداخته شده است و بر اساس دیدگاه‌های مهندسی دانش به استخراج تجربیات در مدیریت تونل اقدام شده است [۲۷]. در پژوهش جوادزاده و همکارانش نیز پایگاه دانش سامانه خبره برای آزمون امنیت شبکه طراحی و ساخته شده است [۲۸].

در این مقاله با استفاده از تحقیقات حوزه زلزله در بخش مرور ادبیات، آسیب‌پذیری‌های شهر تهران در برابر زلزله احصا شده و از تحقیقاتی که در برابر این آسیب‌ها راه‌کارهایی ارائه داده‌اند نیز در ارائه پیشنهاداتی که سامانه خبره طراحی شده به کاربران نشان می‌دهد استفاده شده است. در کارهای مرتبط سامانه‌های خبره‌ای برای مسائل مختلف طراحی شده است که در این مقاله به استفاده از پایگاه دانش، مکانیسم استنتاج و ورودی‌های مربوط به مکان، زمان و شدت زلزله منجر به مدیریت بحران ناشی از زلزله می‌شود.

۲-۱. مخاطرات شهری

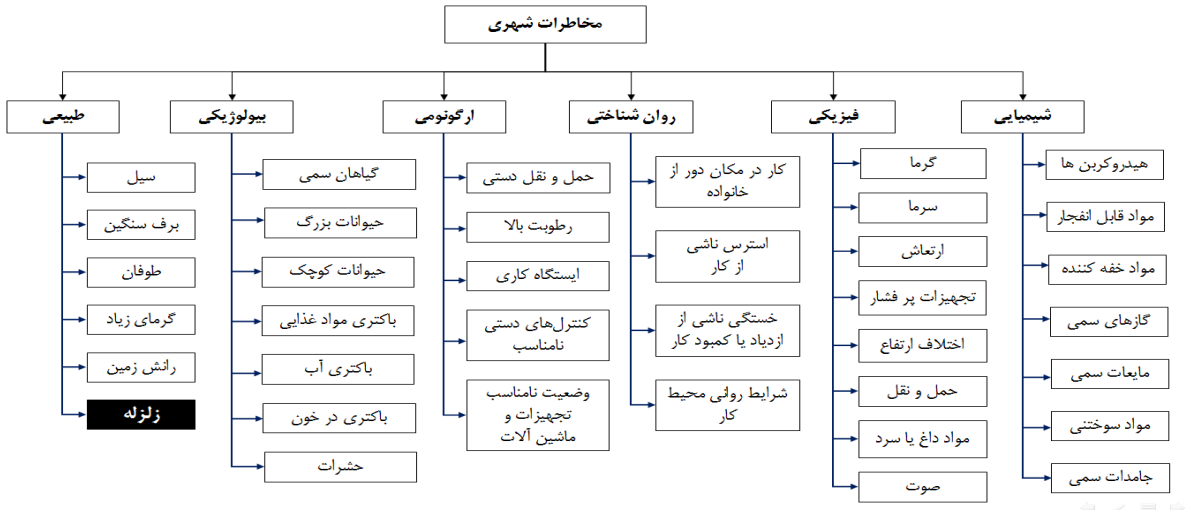
مخاطرات بسیاری (که در شکل (۲) نمونه‌های آن در دسته‌بندی‌های مختلف آمده است) زندگی افراد شهرنشین را مورد تهدید قرار می‌دهد. در این مقاله، زلزله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات شهری بررسی شده است.

۲-۲. آسیب‌شناسی گسل‌ها

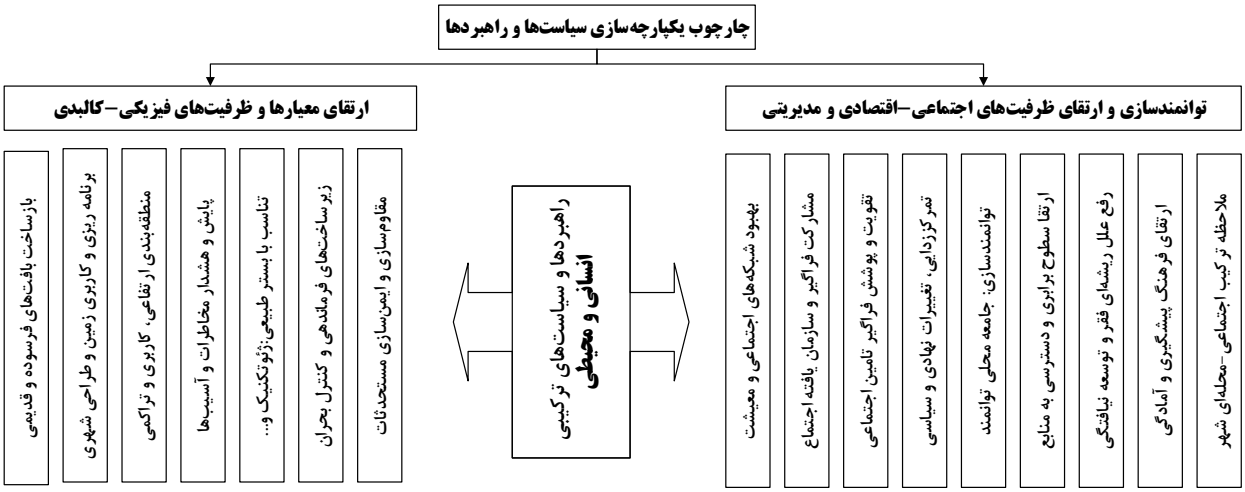
همه‌ساله در دنیا و خاصه کشور ایران که بر روی یکی از سه گسل بزرگ لرزه‌خیز جهان قرار دارد، زلزله‌هایی با قدرت‌های متفاوت رخ داده است. پس از زمین‌لرزه ۳۱ خرداد سال ۱۳۶۹ در استان‌های گیلان و زنجان باقدرت ۷/۳ در مقیاس ریشتر با بیش از چهل هزار قربانی، زلزله بم در بامداد پنجم دی‌ماه ۱۳۸۲ باقدرت ۶/۳ در مقیاس ریشتر ، باعث کشته و مجروح شدن بیش از هفتاد هزار نفر و تخریب یکی از زیباترین بناهای خشتی جهان با قدمت بیش از ۲۰۰۰ سال گردید. زلزله به دلیل تفاوت‌هایی مانند قدرت تخریب بسیار بالا، زمان بسیار کوتاه، حوزه تخریب وسیع ده‌ها و صدها کیلومترمربعی آن، خطر پس‌لرزه‌ها و عدم پیش‌بینی با تقریب زمانی مطلوب، از سایر بلایا مهم‌تر است [۴].

۲-۳. حوزه نزدیک گسل

تجربه زلزله‌های گذشته به‌ویژه زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد که جنبش زمین در نزدیک گسل خصوصیات ویژه‌ای دارد که با حرکات زمین در مناطق دور از گسل متفاوت است. در مناطق نزدیک گسل، حرکات زمین شدیداً تحت تأثیر مکانیسم شکست، جهت گسترش گسلش به ساختگاه و تغییر مکان ماندگار زمین قرار دارد. این عوامل درمجموع سبب ایجاد دو پدیده جهت‌پذیری گسیختگی و تغییر مکان ماندگار شده که برای تخمین حرکت زمین در نزدیکی گسل‌های فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۱].



شکل (۲): مخاطرات حوزه شهری



شکل (۳): سیاست‌ها و راهبردهای یکپارچه و ترکیبی کاهش آسیب‌پذیری [۳۱]

مطالعات زمین‌شناسی نشان می‌دهد بیشتر شهرهای بزرگ دنیا نزدیک گسل‌های فعال ساخته‌شده‌اند. زلزله‌هایی نظیر زلزله‌های Chi-Chi، Kobe، Northridge و ترکیه (Koceili و Izmit) که در نزدیک گسل (Near-Field) رخ‌داده، آسیب‌های بسیاری را وارد کرده و باعث از دست رفتن زندگی بسیاری از مردم شده است. بنابراین، کاهش صدمات نواحی شهری در اثر زلزله‌های نزدیک گسل یکی از موضوعات بسیار پراهمیت با فواید اجتماعی و اقتصادی است.

مشخصات اصلی حرکت زمین در زلزله نزدیک گسل، شتاب حداکثر بالا و پالس سرعت یک مؤلفه‌ای با مدت‌زمان بلند است. چنین مشخصاتی ممکن است خرابی‌های گسترده‌ای را در مناطق شهری و ساختمانی و تأسیسات شهری باعث شوند، با توجه به اختلاف مشخصات ارتعاش زلزله نزدیک گسل با زلزله‌های دور از گسل و با توجه به اینکه اکثر تحقیقات و حتی مقررات آئین‌نامه‌ای بر اساس زلزله‌های دور از گسل (Far-Field) انجام‌یافته‌اند، نیاز مبرمی به بررسی اثرات تخریبی زلزله‌های نزدیک گسل و ابزارهای موردنیاز جهت کاهش این اثرات احساس می‌شود [۲۹].

۳-۴. الزام سطح‌بندی بحران در تهران

زلزله به‌عنوان یک پدیده طبیعی به‌خودی‌خود نتایج نامطلوبی در پی ندارد. آنچه از این پدیده می‌تواند فاجعه بسازد، عدم پیشگیری از تأثیر و آمادگی مقابله با عواقب آن است. مادامی‌که عدم آسیب‌پذیری انسان، جامعه و زیستگاهش در مقابله با زلزله تضمین کافی ندارد، باید منتظر عواقب وخیم و بحران‌ساز بود. چنین عواقبی براثر آسیب‌پذیری در ابعاد مختلف مربوط به زندگی پیش می‌آید. خطر و نیز رهنمون دسته‌بندی با شیوه تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای می‌تواند به تسهیل در سطح‌بندی بحران و به‌تناسب آن ایجاد هماهنگی و اقدام کمک نماید. این عوامل با بررسی حوادث پیشین و استنتاج عقلی و عملی بوده، لذا تعمیم نتایج و جامعیت نسبی است؛ بنابراین مهم‌ترین گام برای مصون نگاه‌داشتن جمعیت ۱۱/۵ میلیون نفری تهران در برابر زلزله، اتخاذ تدابیر و بهره‌جویی از تمامی امکانات، داشته‌ها و تجارب است [۳۰]. در مقاله اسدی جهت کاهش آسیب‌پذیری شهر تهران به نقش دانش و نگرش خطرپذیری در تبیین تفاوت‌های آسیب‌پذیری اجتماعی این شهر در برابر زلزله پرداخته است [۳۱]. با توجه به نتایج این پژوهش که در شکل (۳) آمده، لازم است سیاست‌های کاهش آسیب‌پذیری به‌تناسب سهم عوامل و گروه‌های مختلف اجتماعی تنظیم گردد، زیرا سیاست‌ها و راه‌حل‌های تک‌بعدی، به‌ویژه برای گروه‌های اجتماعی پایین نتیجه‌بخش نخواهد بود. به همین دلایل و تفاوت در شاخص‌های دیگر، جهت مصون نگاه‌داشتن تهران در برابر زلزله، جداسازی مناطق برحسب آن شاخص‌ها امر مهمی است.

۴. روش تحقیق

سامانه خبره[1] یک برنامه رایانه‌ای است که به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که توانایی یک فرد خبره در حل مسئله را مدل می‌کند. لذا از دو بخش اصلی دانش فرد خبره و استدلال تشکیل می‌شود که منجر به تولید دو قسمت پایگاه دانش (KnowledgeBase) و موتور استنتاج (Inference Engine) در سامانه می‌شود.

سامانه خبره برخلاف برنامه‌های معمولی رایانه‌ای که دارای پایگاه داده هستند، از پایگاه دانش استفاده می‌کند. مهندس دانش ابتدا دانش را از فرد خبره دریافت کرده، سپس آن را به‌گونه‌ای مدل می‌کند که قابل‌فهم برای کامپیوتر است. نحوه کد

[1] Expert System

کردن دانش و واردکردن آن به پایگاه دانش، ارائه دانش گفته می‌شود که توسط مهندس دانش صورت می‌پذیرد. موتور استنتاج، پردازنده دانش است که مدلی از روش استنتاج فرد خبره است [۳۲].

۴-۱- ویژگی‌ها و محدودیت‌های سامانه خبره

افراد خبره منابع ارزشمند یک سازمان هستند. آن‌ها می‌توانند ایده‌های خلاق و ارزشمندی ارائه کنند و مسائل سخت را حل کنند. همکاری آن‌ها می‌تواند به‌طور مؤثری در سودمندی سازمان مؤثر شود؛ مانند هر ماشینی، یک سامانه خبره می‌تواند بعد از روز کاری فرد خبره به‌طور پیوسته و بی‌وقفه به فعالیت ادامه دهد؛ مانند هر برنامه کامپیوتری، به ارزانی می‌توان سامانه خبره را کپی کرده و به هر کجایی که کمبود فرد خبره احساس می‌شود ارسال نمود.

فرد خبره فناپذیر است. براثر مرگ، بازنشستگی و تغییر شغل سازمان، از مزایای دانش فرد خبره محروم خواهد شد؛ اما اگر در یک سامانه خبره دانش فرد خبره را وارد نمود، می‌توان به‌طور پیوسته و بدون محدودیت از آن دانش بهره‌مند شد. از این سامانه جهت آموزش کارشناسان جدید نیز می‌توان بهره برد.

برخلاف برنامه‌های معمولی رایانه‌ای، سامانه خبره توانایی استدلال نادقیق را دارند. درجاهایی اطلاعات نامشخص، مبهم یا حتی در دسترس نیستند یا دانش محیط کاربرد به‌صورت پایه‌ای شامل عوامل نادقیق هستند. در این مواقع سامانه خبره می‌تواند استدلال کند و به کاربر پاسخ دهد؛ ولی باید توجه داشت که سامانه خبره تنها به مسائلی می‌پردازد که قابل‌حل و با پیچیدگی معقول هستند. سامانه خبره مانند هر فرد خبره‌ای می‌تواند اشتباه کند. ویژگی مهم سامانه‌های خبره توجیه کردن پاسخ است یعنی برای پاسخی که ارائه می‌دهند دلیل آورده که موجب افزایش اعتماد و همچنین رفع اشکالات احتمالی آن می‌شود [۳۲].

۴-۲. پایگاه دانش

همان‌طور که در قسمت قبلی اشاره شد، جهت رسیدن به اهداف این مقاله، ملزم به سطح‌بندی بحران در شهر تهران هستیم. در این مقاله سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص‌های مختلف، اطلاعات مناطق ۲۲-گانه تهران را در سطح‌بندی مختلف به‌عنوان دانش به پایگاه دانش سامانه خبره وارد می‌شود. در ادامه شاخص‌های بااهمیت در رابطه با زلزله و نحوه ساخت پایگاه دانش آمده است. لازم به ذکر است که در این مقاله مورد مطالعه شهر تهران بوده و اگر این سامانه خبره در شهر یا مکان دیگر بهره‌برداری شود، لازم است که پایگاه دانش با توجه به ویژگی‌های منطقه یا شهر مورد نظر طراحی شود.

۴-۲-۱. سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص‌های بااهمیت در شهرسازی

بخش عمده‌ای از مسائل و ناهنجاری‌های کلان‌شهر تهران را می‌توان به تخلفات ساختمانی نسبت داد که پس از رشد مهاجرت به شهر، رونق ساخت‌وساز و رواج فروش تراکم و ضابطه در شهر تهران شدت یافت [۳۳]. ازجمله شاخص‌هایی که در تلفات ناشی از زلزله در شهرسازی تأثیرگذارند می‌توان به جمعیت، تراکم، خطرپذیری زلزله، کیفیت بنا و عرض و سطوح معابر اشاره کرد. میزان تأثیر هرکدام از شاخص‌های نام‌برده در مناطق ۲۲گانه شهر تهران در جدول (۱) آمده است. یکی از عوامل آسیب‌پذیری شهر تهران در برابر زلزله وجود بافت‌های فرسوده است. با توجه به پژوهش کمانرودی [۳۴] (که در آن آسیب‌ها و راه‌کارهای قانونی اجرایی تملک املاک واقع در طرح‌های ساماندهی بافت‌های فرسوده شهر تهران پرداخته شده است) در این قسمت جهت اولویت‌بندی و تقسیم‌بندی مناطق استفاده شده است.

جدول (۱): سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص‌های بااهمیت در شهرسازی بر اساس مناطق ۲۲-گانه شهر تهران [۱۹]

نوع شاخص شهرسازی	مناطق با شدت آسیب زیاد	مناطق با شدت آسیب متوسط	مناطق با شدت آسیب ضعیف
جمعیت	۴	۹، ۱۵، ۲۱	۱۲، ۲۲
تراکم	۱۰، ۱۷	۸، ۱۴	۲۲
خطرپذیری زلزله	۱۰، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷	۱، ۳، ۱۵، ۱۸، ۱۹، ۲۰	۲، ۴، ۵، ۶، ۲۱، ۲۲
کیفیت بنا	جنوب منطقه ۱۰ بالای ۷۰ درصد و ۱۹ بالای ۶۰ درصد ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۸	۱، ۲، ۳	۲۲ دارای ۱۰ درصد بناهای فرسوده
سطوح معابر	۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷	۳، ۴، ۵، ۶	۱، ۲

شکل (۴): اولویت‌بندی شهر تهران بر اساس معیارهای آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله [۹] به نقل از [۱۰]

رشد جمعیت کلان‌شهر تهران طی سال‌های اخیر روند نزولی داشته است. با توجه به ویژگی‌های مجموعه شهری تهران (هرچند هنوز نسبت جمعیت این منطقه به‌کل کشور بسیار زیاد است) نرخ رشد جمعیت در داخل محدوده قانونی شهر کاهش یافته است. این مسئله حاکی از کاهش جذب جمعیت در شهر مادر و افزایش جذب شهرها و روستاهای پیرامون تهران است [۳۵]. نتایج حاصل از مدل آنتروپی شانون و hot- spot که در طی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۸۵ انجام شده، نشان می‌دهد که شهر تهران

دارای الگوی رشد پراکنده است. همچنین ساختار فضایی شهر تهران در هشت جهت جغرافیایی نشان می‌دهد که با توجه به توزیع تراکم ساختمانی و جمعیت، ساختار فضایی شهر تهران فاقد بخش مرکزی قوی است؛ اما بعضی از شواهد حاکی از حرکت به سمت فشردگی نامحسوس در سال‌های اخیر است [۳۶]. در شکل(۴) نیز اولویت‌بندی شهر تهران بر اساس معیارهای آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر زلزله به تفکیک مناطق ۲۲-گانه آمده است.

جدول (۲): سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص‌های فرهنگی، تاریخی در تهران [۱]

نفیس (شدید)	غیر نفیس (متوسط)	آثار محلی (ضعیف)
- شاه عبدالعظیم ری، مجلس شورای ملی قدیمی در بهارستان، کاخ‌ها (مرمر، گلستان، شمس‌العماره و...) - برج طغرل ری، مدرسه عالی شهید مطهری، صداوسیما	- مراکز فرهنگی، کتابخانه ملی، پژوهشکده‌های فرهنگی -آثار باستانی ثبت‌شده: موزه ملی فرش، سکه، مردم‌شناسی، دوره‌های اسلامی تاریخی و ...	- مراکز فرهنگی محلی: سینماها و سالن‌های تئاتر - فرهنگسراها و خانه‌های فرهنگ، نگارخانه

۴-۲-۲. سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص فرهنگی، تاریخی در تهران

بر اساس شاخص‌های فرهنگی و تاریخی می‌توان بناهایی که در شهر تهران وجود دارد را نیز دسته‌بندی نمود. گروهی از بناها جز دسته مکان‌های نفیس تلقی می‌شوند که دارای ارزش بالایی هستند، لذا جدول (۲) میزان ارزش هرکدام در برابر خسارت وارده در برابر زلزله را نشان می‌دهد.

۴-۲-۳. سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص اقتصادی در تهران

یکی از عوارض مهم زلزله تأثیرات آن بر مراکز اقتصادی است. مراکز زیادی در شهر تهران وجود دارد که از اهمیت اقتصادی برخوردار هستند در جدول(۳) بحران مراکز اقتصادی شهر تهران به سه دسته شدید، متوسط و ضعیف ازلحاظ اهمیت دسته‌بندی شده‌اند. هرچقدر مرکز از اهمیت بالاتری برخوردار است میزان حساسیت آن در برابر زلزله اهمیت بیشتری دارد.

جدول (۳): سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص‌های اقتصادی در تهران[۱]

شدید	متوسط	ضعیف
- خزانه بانک‌های مرکزی و دولتی - ساختمان مرکزی وزارت بازرگانی - سازمان‌های اقتصادی بین‌المللی - تأسیسات و کارخانه‌های مؤثر در چرخه اقتصاد بین‌المللی	- بانک مرکزی، سازمان‌های اقتصادی (بورس) -تأسیسات و کارخانه‌های مؤثر در چرخه اقتصادی کشور (ایران‌خودرو، سایپا، کارخانه سیمان، ...)	- بانک‌های منطقه‌ای شامل بانک‌های عمومی و بانک‌های خصوصی - سازمان‌های اقتصادی، تأسیسات و کارخانه‌های محلی

۴-۲-۴. سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص حمل‌ونقل

برای ادامه حیات شهر، ضمن لزوم توسعه روابط اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی می‌بایست در مواقع بحران، جهت ارائه خدمات لازم به‌موقع و سریع به آسیب دیدگان، دارای شبکه قابل‌استفاده از راه‌های هوایی، ریلی و جاده‌ای فرعی، اصلی و بزرگراه‌ها باشد. راه‌ها، معابر و گذرهای شهری، نقش بسیار مهمی در میزان تحرک و امکان جابه‌جایی مردم تهران در هنگام بروز حوادث طبیعی (زلزله، طوفان، سیل) دارد. بر اساس مطالعات انجام‌شده، شهر تهران دارای راه‌ها و معابر به عرض‌های ۳-۶، ۸-۱۰، ۱۲-۱۵، ۲۰-۲۴، ۳۰-۳۵، ۴۰-۴۵ و ۷۶-۱۲۰ متر است. از منظر امداد و نجات، گذرهای با عرض ۳ تا ۶ متر از معابر آسیب‌پذیر محسوب می‌شوند [۱۹]. مورد دیگر با توجه به جدول ۱، تراکم بالای مناطق مسکونی درگذرهای ۳ تا ۶ متر در مناطق ۷ تا ۱۸ شهر تهران است.

جدول (۴): سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص حمل‌ونقل در تهران [۱۹]

شدید	متوسط	ضعیف
جاده‌های منتهی به شهر: ۱- آزادراه تهران- کرج، ساوه، قم، هراز، خراسان. ۲- فرودگاه‌های امام خمینی (ره) و مهرآباد ۳- پدهای بالگرد در سطح شهر ۴- خطوط راه‌آهن بین‌شهری و محلی	جاده‌های منتهی به تهران: از شرق و جنوب شرقی: خراسان و سمنان از جنوب: قم و ساوه از شمال: چالوس و لشگرک از غرب: بزرگراه کرج - قزوین و مترو روباز کرج - تهران، خطوط راه‌آهن حومه‌ای	جاده‌های منتهی به شهر: - جاده‌های معمولی، جاده قدیم تهران- قم، جاده قدیم و مخصوص تهران- کرج، فرودگاه دوشان تپه، فرودگاه‌های اضطراری اطراف تهران

در بافت‌های فرسوده براثر تخریب اماکن، بخش زیادی از معابر پر از نخاله و آوار شده که غیرقابل تردد خواهد شد، با توجه به این موارد و شرایط تراکم جمعیتی، ضرورت نگاه ویژه به این مناطق قبل و هنگام بحران بیشتر احساس می‌شود. [۳۷ و ۳۸] در جدول(۴) میزان اهمیت این شاخص در شهر تهران بررسی شده است. لذا جهت بهبود اوضاع حمل‌ونقل، موارد زیر توصیه می‌شود: ۱- امکان‌سنجی تسهیل و تسریع در حمل‌ونقل، ۲- کاهش ترافیک، ۳- ایجاد بستر مناسب برای امداد و نجات، ۴- افزایش ایمنی تردد [۳۹].

۴-۲-۵. سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص امنیتی و تأسیسات زیر بنایی

شاخص امنیت را می‌توان از کیفیت‌های مهم محیط‌های شهری دانست که در مدل مکان پایدار، مشتمل بر عناصر با مؤلفه‌های عملکردی مانند ایمنی و امنیت می‌باشند. جدول (۵) سطح‌بندی بحران ازلحاظ شاخص‌های امنیتی را نشان می‌دهد. این جدول‌ها به دانش تبدیل شده و به‌صورت دانش‌های مبتنی بر قانون به پایگاه دانش سامانه خبره وارد می‌شوند. عملکرد آن به این صورت خواهد بود که منطقه‌ای که قرار است اقدامات تأمینی آن نمایش داده شود به سامانه خبره وارد می‌شود و سامانه خبره با توجه به قوانین موجود برای آن منطقه خسارت آن بخش و اقدامات تأمینی لازم را ارائه می‌دهد.

جدول (۵): سطح‌بندی بحران تهران ازلحاظ شاخص امنیتی و تأسیسات زیر بنایی [۱۹]

شدید	متوسط	ضعیف
انتشار تشعشعات رادیواکتیو مانند مراکز تحقیقاتی هسته‌ای و تخریب مراکز امنیتی نظامی مانند وزارت دفاع، زندان‌ها تخریب سدها و امکان ایجاد سیل مانند سد امیرکبیر، لتیان و لار	انتشار مواد سمی: مانند کارخانه‌های سم سازی و صنایع شیمیایی تخریب مراکز نظامی، امنیتی در حد استانی، استانداری، پادگان و ندامتگاه‌های کوچک	انتشار مواد سمی و آلوده سطح زمین مانند بعضی سم‌های تخریب‌کننده، کشاورزی و یا ویروس‌ها و... تخریب مراکز امنیتی کوچک مانند پاسگاه‌ها، فرمانداری‌ها، بخش‌داری‌ها

۴-۳. ورودی‌های سامانه خبره

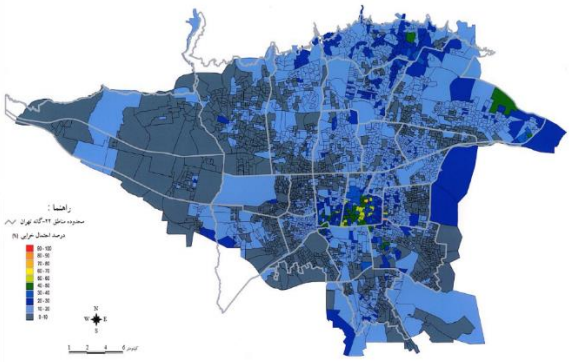
در سامانه خبره طراحی شده، سه ورودی جهت پیش‌بینی حوادث ناشی از زلزله لازم در نظر گرفته شده است. سامانه خبره با توجه به پایگاه دانش که در بخش قبل توضیح داده شد و سه ورودی که در ادامه شرح داده شده‌اند، به کمک موتور استنتاج خود این پیش‌بینی لازم را انجام می‌دهد.

۴-۴. گسل عامل

یکی از معیارهایی که در سامانه خبره‌ای برای ارزیابی میزان خطر و برآورد خسارات اهمیت دارد، فاصله مکان موردنظر از گسل زلزله است، تهران با توجه به موقعیت جغرافیایی خود دارای گسل‌های فراوانی است که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است.

گسل مشا- فشم: گسل فشاری مشا، گسل بزرگی است که شامل زیرشاخه‌های فراوانی نیز می‌شود زلزله ۱۸۳۰ میلادی به منطقه شرقی فعالیت این گسل نسبت داده می‌شود علاوه بر این زلزله بزرگی هم که در سال ۹۵۸ میلادی به بزرگی گشتاوری ۷/۷ در ۵۰ km تهران رخداده است، به قسمت غربی این گسل

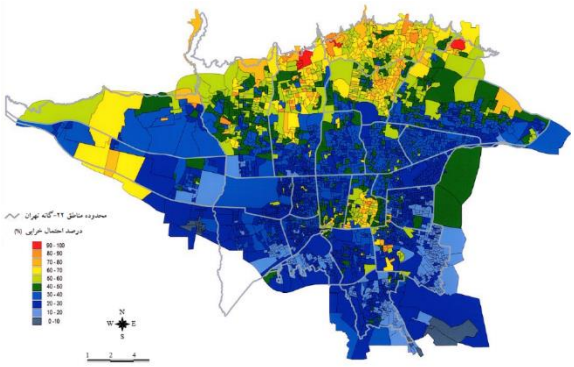
نسبت داده می‌شود. مسئله مهم در مورد این گسل تلاقی آن با گسل شمال تهران در بالادست سد لتیان است به این جهت که فعالیت این گسل می‌تواند موجب فعال شدن گسل تهران شود. گسل فشاری مشا، گسلی است با طول حدود ۴۰۰ km، اساسی و لرزه زا که در راستای آن گستره بلند البرز از شمال روی دامنه‌های جنوبی آن رانده شده است. این گسل دارای راستای شرق، جنوب شرقی - غرب، شمال غربی است. گسل مذکور درروی نقشه‌های زمین ساختی شکل سینوسی و در دو قسمت شرقی و غربی راستای تقریباً شرقی - غربی دارد. شیب گسل فشاری مشا همیشه به سمت شمال و بین ۳۵ تا ۷۰ درجه تغییر می‌کند. این گسل با طولی حدود ۴۰۰ km از جنوب غربی شاهرود و در شرق تا آبیک در غرب ادامه دارد. دریاچه آب شیرین تار در ۱۵ کیلومتری شرق شهرستان دماوند در راستای این گسل تشکیل شده است. پهنه گسلی مشا در دره مشا بیش از ۱۰ m عرض داشته و به‌شدت بریده، خرده و پودر شده است. میزان تأثیر فاصله از این گسل در صورت وقوع زلزله در شکل (۵) آمده است.



شکل (۵): میزان درصد احتمال خرابی مناطق ۲۲گانه تهران بر اثر زلزله در گسل مشا-فشم [۴۲]

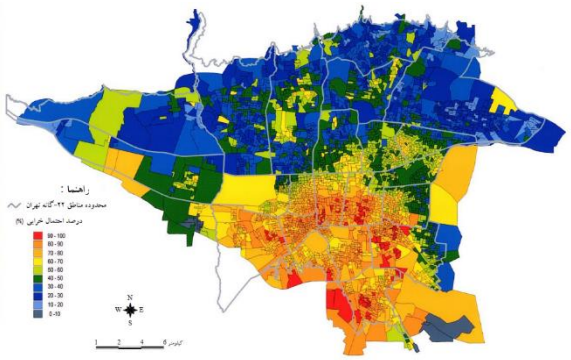
گسل شمال تهران: گسل شمال تهران بین شاخه غربی گسل مشا و شهر قرار دارد، اگر گسل شمال تهران فعال شود میزان خسارت به‌مراتب خیلی حادتر از زلزله‌ای است که در سال ۱۹۶۸ میلادی رخ داده است. گسل شمال تهران در فاصله بین کوه‌های شمال تهران و شهر. درروی پهنه‌های جنوبی کوه‌های شمال تهران به طول ۷۵ km قرارگرفته است.

راندگی شمال تهران با طول بیش از ۷۵ km در کوهپایه شمال تهران از شرق دره لشکرک ده سبو در شمال شرقی تهران تا آبادی کاظم‌آباد ۲ کیلومتری شرقی کلار و شمال بزرگراه تهران - کرج و شهر کرج در غرب ادامه یافته و نزدیک‌ترین گسل زلزله زا به شهر تهران است. میزان تأثیر فاصله از این گسل در صورت وقوع زلزله در شکل (۶) آمده است.



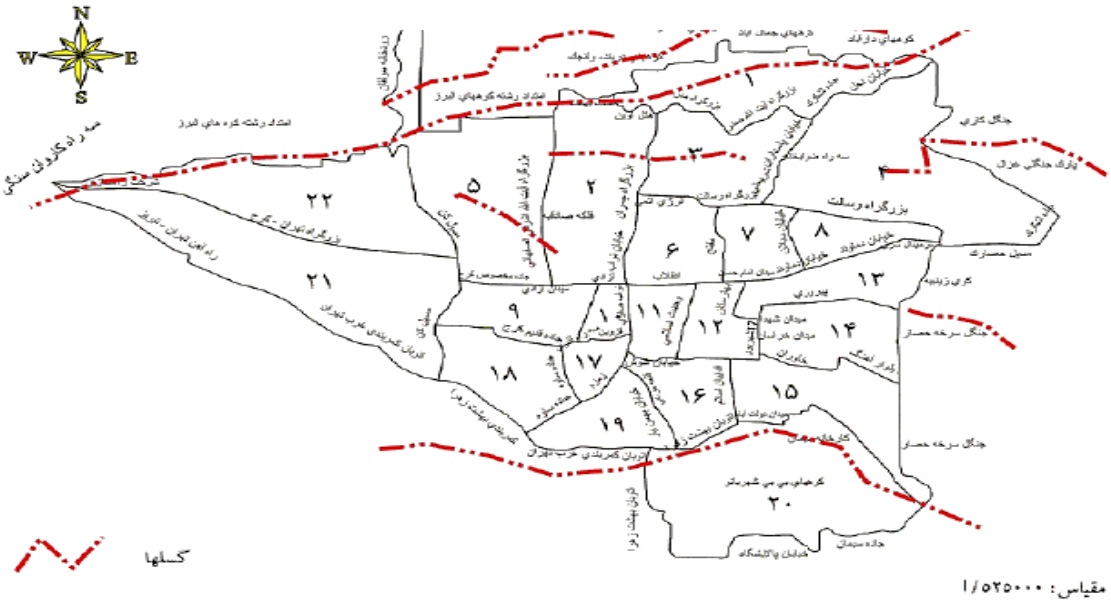
شکل (۶): میزان درصد احتمال خرابی مناطق ۲۲-گانه تهران بر اثر زلزله در گسل شمال تهران [۴۲]

گسل جنوب ری – ایوانکی: این گسل در جنوب تهران به طول ۲۰ کیلومتر قرار گرفته است. گسل جنوب ری در قسمت جنوبی خود دچار انشعابی است که در شمال آن قرار دارد و گسل شمال ری نامیده می‌شود. فاصله بین این دو گسل ۳ تا ۵ کیلومتر است، به نظر می‌رسد ریشه این دو گسل یکی است.



شکل (۷): میزان درصد احتمال خرابی مناطق ۲۲-گانه تهران بر اثر زلزله در گسل ری [۴۲]

گسل شمال ری: این گسل حوالی عظیم‌آباد در کناره جنوبی بزرگراه ری- بهشت‌زهرا قرار دارد و دیواره‌ای به ارتفاع ۲ m را به وجود آورده است امتداد آن شرقی ـ غربی بوده و طولی حدود ۱۶/۵ km دارد.



شکل (۸): گسل‌های تهران [۴۰]

گسل معکوس آهار: این گسل قسمتی از گسل معروف مشا- فشم را تشکیل داده است که با طولی در حدود ۴۰۰ کیلومتر از جنوب غربی شاهرود در شرق تا آبیک در غرب ادامه دارد و شیبی در حدود ۳۵ تا ۷۰ درجه به سمت شمال دارد. قسمتی از این گسل در ناحیه آهار، که یکی از سه‌شاخه فرعی آن است، گسل آهار نامیده می‌شود.

گسل معکوس امامزاده داوود: راستای آن از شمال غرب به جنوب غرب بوده و از حوالی امامزاده داوود عبور می‌کند. این گسل معکوس دارای شیبی معادل ۸۰ درجه به سمت شمال شرق است. این گسل در حوالی ولنجک به گسل شمال تهران می‌پیوندد.

راندگی پورکان-وردیج: از حوالی پورکان در مسیر جاده کرج چالوس تا وردیج و سپس شمال کن و فرحزاد ادامه دارد و دارای راستای شمال غرب جنوب شرق است.

گسل کهریزک: این گسل از شمال سلطان‌آباد در غرب تا کهریزک و شمال شمس‌آباد در شرق امتدادیافته و راستای آن شرقی-غربی و طول آن بیش از ۴۰ km است. این گسل دیواره‌ای به ارتفاع ۱۰-۱ متر در آبرفت‌های جنوب تهران ایجاد کرده است.

راندگی نیاوران: با راستای شمال شرقی ـ جنوب غربی و با طولی حدود ۱۳ کیلومتر از سعادت‌آباد تا نیاوران و شمال اقدسیه امتداد می‌یابد.

گسل محمودیه: گسلی با سازوکار کششی با راستای شرقی ـ غربی است.

گسل شبان کوثر: در شمال تهرانپارس با طول ۳ کیلومتر و راستای شرقی ـ غربی واقع است.

گسل شرق: این گسل نیز که پتانسیل قوی‌ترین زلزله را دارد، از شرق به تهران وارد شده و با گذر از اراضی سرخه‌حصار و حرکت روی بزرگراه شهید بابایی تا مجیدیه و سیدخندان امتداد می‌یابد.

گسل ملاصدرا: این گسل نیز که از خیابان شریعتی تا شهرک غرب امتداد یافته، محلات ونک، میرداماد، سعادت‌آباد و شهرک غرب را ناایمن ساخته است.

در شکل (۸)، نمایی کلی از گسل‌های تهران مشاهده می‌شود.

۴-۵. تأثیر فاصله از گسل‌های مختلف در مناطق ۲۲گانه تهران

هر یک از گسل‌ها در مناطق خاصی از مناطق ۲۲-گانه شهر تهران واقع شده‌اند که در صورت فعالیت هر یک از آن‌ها میزان خسارات وارده به مناطق را از نزدیک به دور تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌عبارت‌دیگر منطقه‌ای که به گسل نزدیک‌تر است خسارت بیشتری را نسبت به منطقه دورتر متحمل می‌شود. جدول(۶) میزان تأثیر فعالیت هر یک از گسل‌ها را بر مناطق ۲۲گانه شهر تهران نشان می‌دهد. اعداد ۱ تا ۸ بیانگر میزان تأثیر هر یک از گسل‌ها بر مناطق ۲۲گانه است.

جدول (۶): تأثیر فاصله از گسل‌های مختلف در مناطق ۲۲گانه تهران

منطقه	میزان تأثیر گسل								
	شبان کوثر	محمودیه	مشا - فشم	کهریزک	نیاوران	معکوس امام‌زاده داوود	شمال ری	جنوب ری	شمال تهران
۱	۱	۸	۸	۱	۸	۱	۱	۱	۸
۲	۱	۸	۸	۱	۸	۱	۱	۱	۸
۳	۱	۸	۴	۱	۴	۲	۱	۱	۸
۴	۱	۸	۴	۱	۴	۱	۱	۱	۸
۵	۱	۸	۸	۲	۴	۱	۲	۲	۸
۶	۱	۴	۲	۱	۲	۱	۲	۲	۴
۷	۱	۴	۲	۱	۲	۱	۲	۲	۴
۸	۲	۲	۲	۱	۲	۱	۲	۲	۴
۹	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۴	۴	۲
۱۰	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۴	۴	۲
۱۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۴	۴	۲
۱۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۴	۴	۲
۱۳	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۴	۴	۲
۱۴	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۴	۴	۲
۱۵	۱	۱	۱	۸	۱	۱	۸	۸	۱
۱۶	۱	۱	۱	۸	۱	۱	۸	۸	۱
۱۷	۱	۱	۱	۴	۱	۱	۸	۴	۱
۱۸	۱	۱	۱	۴	۱	۱	۸	۴	۱
۱۹	۱	۱	۱	۸	۱	۱	۸	۸	۱
۲۰	۱	۱	۱	۸	۱	۱	۸	۸	۱
۲۱	۱	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۱
۲۲	۱	۲	۸	۱	۲	۱	۴	۲	۴

منظور از میزان تأثیر، میزان تخریب منطقه موردنظر در اثر وقوع زلزله احتمالی در گسل مذکور بر اساس جدول (۷) است. درواقع فاصله هر گسل تا مراکز ۲۲-گانه در میزان تخریب هرکدام تأثیر دارد. به این معنا که هرچه فاصله کمتر باشد، عدد موجود بزرگتر بوده که بیانگر تخریب بالای منطقه موردنظر در زلزله رخ داده در گسل مشخص شده است.

جدول (۷): مفاهیم اعداد جدول (۶)

عدد	۱	۲	۴	۸
میزان تخریب	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد

۴-۶. زمان وقوع حادثه

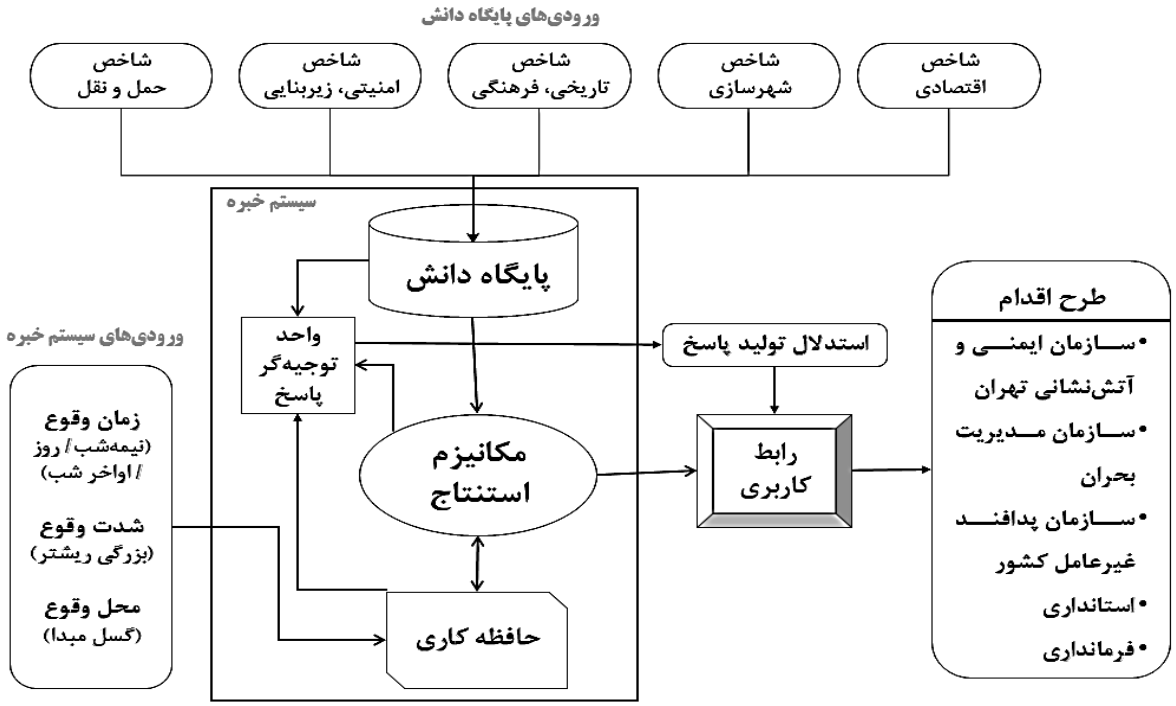
زمان وقوع زلزله تأثیر بسزایی را در میزان آسیب‌ها و خسارت‌های محتمل دارد؛ به‌عبارت‌دیگر اگر زلزله درزمانی رخ دهد که افراد بیدار و هوشیار هستند، توانایی بیشتری برای فرار از صحنه حادثه دارند، درصورتی‌که زلزله هنگامی‌که افراد در خواب هستند رخ دهد میزان آسیب ناشی از زلزله نیز افزایش می‌آید. زمان وقوع زلزله را بر اساس شدت آن در جدول (۸) آمده است.

جدول (۸): سطح‌بندی تهران ازلحاظ شاخص زمان وقوع آن‌که به‌طور طبیعی با توجه به شرایط محیطی قابل تغییر است. [۱۹]

شدید	متوسط	ضعیف
نیمه‌شب (۱-۵ صبح)	اواخر شب (از ۲۲ تا ۱ نیمه‌شب و از ۵-۷ صبح)	از ۷ صبح تا ۲۲ شب

۴-۷. ساختار و نحوه تحلیل سامانه خبره

در این سامانه خبره سه پارامتر زمان وقوع زلزله که در بخش‌های قبل به آن پرداخته شد، به‌عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود و با توجه به آن‌ها اقدامات تأمینی و یا عملیاتی لازم در جهت پیگیری و حل بحران در هر یک از مناطق ۲۲-گانه تهران ارائه می‌شود.



شکل (۹): الگوی فرآیندی عملکرد سامانه خبره هوشمند سازی مدیریت بحران ناشی از زلزله

همان‌گونه که در شکل (۹) نشان داده شده است؛ ورودی‌ها به حافظه کاری سامانه خبره وارد می‌شوند. عواملی که به‌عنوان شاخص‌های تصمیم‌گیری در بخش‌های قبل مطرح شد به‌عنوان دانش در پایگاه دانش سامانه خبره وارد می‌شوند. با توجه به پایگاه دانش و ورودی‌هایی که به حافظه کاری منتقل شده‌اند، مکانیسم استنتاج پاسخ‌های مناسب را به رابط کاربری تحویل می‌دهد. مکانیسم استنتاج با کمک توجیه‌گر پاسخ برای هر پاسخی که ارائه می‌دهد، باید دلیل آن را در صورت درخواست کاربر ارائه دهد. پاسخ سامانه خبره شامل اقدامات تأمینی برای هر منطقه از مناطق ۲۲-گانه است، این پاسخ مراکزی که مستقیماً مسئولیت انجام مأموریت در آن منطقه را دارند، شامل می‌شود. برای هر مرکز، مراکز معین در نظر گرفته شده است. درصورتی‌که مراکز معین مأموریتی نداشته باشند، اقدامات تأمینی لازم هر مرکز را مشخص می‌کند.

۵. نتایج و ارزیابی

برای نشان دادن نحوه عملکرد برنامه و مقایسه آن با عملکرد فرد خبره درزمینه ایمنی در حوزه زلزله، یک نمونه از اجرای برنامه با ورودی‌های مشخص به سامانه نتایجی حاصل شد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. نمونه موردمطالعه منطقه اُزگُل است که در منطقه ۱ و در هفت کیلومتری شرق تجریش واقع شده است. اُزگُل از شمال به توچال، از جنوب به لویزان، از شرق به دارآباد، از غرب به نوبنیاد می‌رسد.

در نمونه اجرای برنامه ورودی‌ها به این شکل بود:

ساعت وقوع: ۲۳:۳۰، شدت زمین‌لرزه: ۷ ریشتر، مبدأ وقوع: گسل شمال تهران

۵-۱. پاسخ سامانه خبره

سامانه خبره با توجه به شاخص‌های ثابت و متغیر درنهایت به یک عدد می‌رسد که میزان خطری را که آن زلزله داراست، نشان می‌دهد. جدول (۹) این واقعیت را نشان می‌دهد.

با توجه به نمونه موردی مطالعه، که منطقه اُزگُل از منطقه ۱ بوده و گسل شمال تهران فعال شده است، با استناد به جدول،۶ میزان تأثیر فاصله آن منطقه تا گسل شدید و عدد مربوطه برای این زلزله ۸ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به زمان زلزله که ساعت ۲۳:۳۰ دقیقه رخ داده است با استناد به جدول (۷) دارای خطر متوسط ازلحاظ زمان وقوع زلزله است. میزان شدت ریشتر نیز ۷ بوده که خسارت وارده از لحاظ ریشتر شدید ارزیابی می‌شود. با ضرب اعداد فوق به عدد ۱۱۲ به‌دست‌آمده که با توجه به جدول (۱۱)، بیانگر خسارات بسیار شدید است. اطلاعات مربوط به منطقه ۱ و بخش اُزگُل در پایگاه دانش سامانه خبره وجود دارد، با توجه به موارد واردشده از کاربر سامانه خبره پاسخ را مطابق با شکل (۱۰) در اختیار قرار می‌دهد.

جدول (۹): عدد خطرپذیری و میزان خسارت وارده به اماکن در اثر زلزله [۴۱]

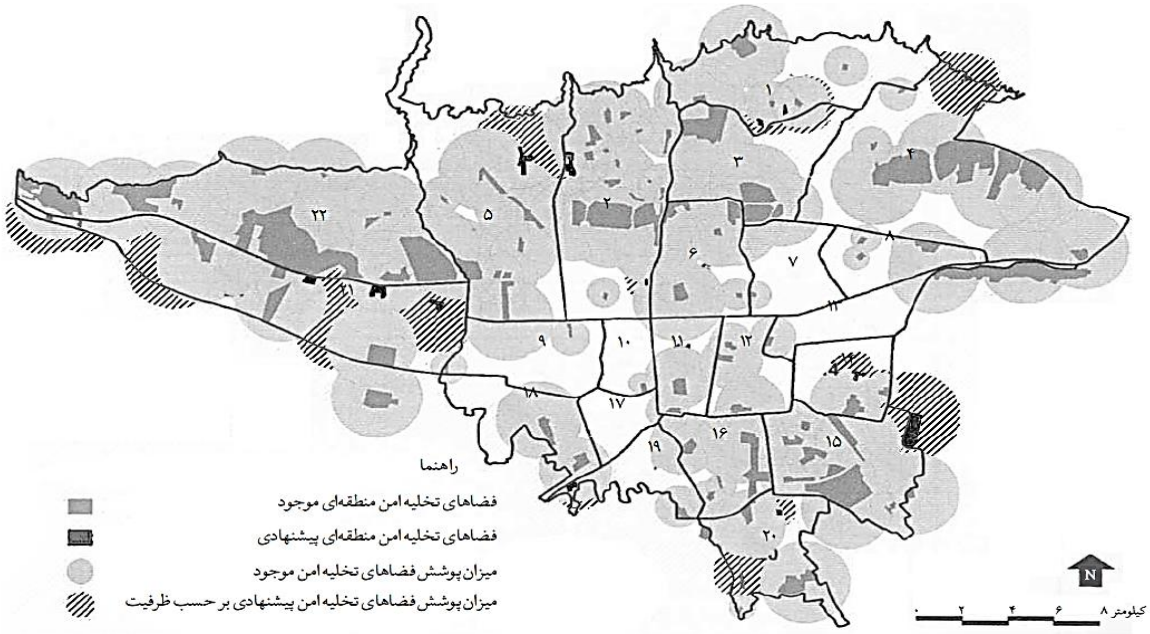
عدد خطرپذیری	میزان شدت	میزان خسارت
۰ - ۲۵	بسیار ضعیف	خسارت کم – ساختمان‌ها قابل‌استفاده– تعمیرات جزئی بدون نیاز به تخلیه ساختمان‌ها– بدون تلفات جانی
۲۵ - ۵۰	ضعیف	خسارات به میزان متوسط– تعمیرات پس از تخلیه ساختمان– بدون تلفات جانی
۵۰ - ۷۵	متوسط	خسارات زیاد– تخلیه اجباری ساختمان– نیاز به بازسازی– بدون تلفات جانی
۷۵ - ۱۰۰	شدید	خرابی و ریزش ساختمان– تلفات جانی کم
بیش از ۱۰۰	بسیار شدید	آوار شدن ساختمان‌ها و اماکن– تلفات جانی زیاد

شکل (۱۰): پاسخ اولیه سامانه خبره

با کلیک بر روی دکمه اقدامات تأمینی، کاربر می‌تواند اقدامات لازمی که سامانه خبره برای این زلزله تشخیص می‌دهد را مشاهده کند. این اقدامات در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

شکل (۱۱): اقدامات تأمینی لازم ازنظر سامانه خبره برای زلزله موردنظر

در این قسمت از نتایج مقاله حسینی و همکارش [۹] استفاده شده که در شکل(۱۲) فضاهایی را نشان می‌دهد که می‌توانند برای تخلیه امن منطقه‌ای استفاده شوند. ایستگاه‌های آتش‌نشانی و خدمات ایمنی که به این زلزله مربوط هستند نیز در صورت نیاز، به کاربر نشان داده می‌شود. در صورت نیاز می‌توان سامانه خبره به‌صورت مستقیم آنان را باخبر سازد. با توجه به نقشه راه‌ها نیز می‌توان دسترسی‌های به این منطقه را نشان داد.



شکل (۱۲): فضاهایی که می‌توانند برای تخلیه امن منطقه‌ای استفاده شوند [۹] به نقل از [۱۰]

این امکان در شکل (۱۳) نمایش داده شده است.

ایستگاه‌های آتش‌نشانی مربوط به زلزله و راه‌های دسترسی

دسترسی‌ها:

– بزرگراه شهید لشکرک – بلوار ستاد نیروی زمینی ارتش – بزرگراه شهید سرلشکر بابایی – بزرگراه امام علی(ع)

ایستگاه‌های آتش‌نشانی و خدمات ایمنی مربوط به زلزله مدنظر :

شماره	شماره تلفن	آدرس ایستگاه
۶	۲۲۲۱۷۷۷۲-۲۲۲۳۷۷۷۲	نجریش، ابتدای خیابان دزاشیب
۱۱	۸۸۷۷۰۰۰۸-۸۸۷۷۶۰۸۰	میدان ونک، بزرگراه شهید حقانی روی پل مدرس
۱۷	۷۷۴۴۹۹۹۸-۷۷۴۴۹۰۸۴	میدان رسالت، خ هنگام، میدان الغدیر، روبروی بیمارستان الغدیر
۱۹	۷۷۸۶۶۶۶۶-۷۷۸۶۷۶۷۶	چهارراه تهران‌پارس، جنب پایانه شرق
۲۳	۲۲۵۱۳۲۲۲-۲۲۵۱۴۴۴۴	بزرگراه رسالت، خ شهید استاد حسن بنا شمالی، میدان سرباز
۲۶	۷۷۰۰۲۱۳۱	انتهای اتوبان بابایی، مجتمع صنایع هوافضا
۲۹	۲۲۸۵۸۸۵۵-۲۲۸۵۹۴۹۴	خ شریعتی، سه‌راه ضرابخانه، بین شریعتی و پاسداران، جنب بزرگراه
۳۱	۷۷۸۲۵۴۳۹-۷۷۸۲۵۴۰۰	خ دماوند، نبش خ زرکش، جنب پمپ‌بنزین
۳۲	۷۷۳۳۹۹۹۵-۷۷۳۴۹۹۹۹	جاده دماوند، شرکت چاپ افست
۳۶	۲۲۴۵۴۰۰۰-۲۲۴۵۴۰۰۰	جاده لشکرک، شهرک شهید محلاتی، جنب چهارراه مینی‌سیتی
۴۳	۸۸۷۱۶۸۴۸-۸۸۰۵۰۹۰۷	میدان ونک، خ ملاصدرا، نبش خ شیخ بهایی
۵۴	۷۷۰۶۸۴۸۲-۴	خ هنگام، بالاتر از چهارراه استقلال، سمت راست، داخل جنگل
۵۶	۷۷۳۰۴۰۰۰-۷۷۳۱۱۶۳۶	حکیمیه، خیابان سازمان آب، خیابان امام حسین (ع)
۵۷	۷۷۳۸۳۸۰۰-۷۷۳۸۳۹۰۰	وفادار غربی، خیابان صاحب‌الزمان، جنب پست برق
۶۱	۲۲۸۱۰۱۰۳-۲۲۸۱۰۱۰۲	خ اقدسیه، نبش خ بوستان
۶۴	۲۲۴۲۷۷۷۷-۲۲۴۲۳۳۳۳	خ ولنجک، نبش خ ۱۵

شکل (۱۳): راه‌های دسترسی به منطقه و ایستگاه‌های آتش‌نشانی و خدمات ایمنی مربوط به زلزله موردنظر

لازم به توضیح است این برنامه با ارتباط زبان C# به پوسته سامانه خبره Clips با توجه به کتابخانه‌های موجود برای ارتباط آن‌ها پیاده‌سازی می‌شود. به این صورت که زبان C# در اینجا نقش واسط کاربری را دارد و سامانه خبره در محیط Clips طراحی و پیاده‌سازی می‌شود.

۵-۲. پاسخ سایر روش‌ها

میزان ویرانی‌های به بار آمده را به‌طور معمول با مقیاس مرکالی بیان می‌کنند. دانشمندان می‌توانند درجه مقیاس ریشتر را پس از زمین‌لرزه و زمانی که امکان مقایسه اطلاعات از ایستگاه‌های مختلف زلزله‌نگاری به وجود آمده، معین کنند؛ اما درجه مرکالی را نمی‌توان با سرعت مشخص کرد و لازم است که محققان زمانی کافی برای بررسی اتفاقاتی که حین زمین‌لرزه روی‌داده است، در اختیار داشته باشند. این شدت درواقع بیانگر میزان احساس افراد و موجودات زنده از زلزله و تأثیر برسازه‌ها است.

جدول (۱۰): مقایسه تقریبی بین اندازه‌گیری‌های مختلف و اثرات آن

بزرگی (ریشتر)	شدت مرکالی	اثرات
۰تا ۱,۹	I	تنها به وسیله دستگاه ثبت می‌شود.
۲تا ۲,۹	II	تنها به وسیله افراد حساس احساس شده و اشیا معلق به لرزش در می‌آیند.
۳تا ۳,۹	III	به وسیله برخی افراد احساس می‌شود، لرزه‌ایی مانند حرکت ماشین سنگین دارد.
۴ تا ۴,۹	IVتا V	به وسیله بیش‌تر افراد احساس شده و اشیای سنگین را به لرزه درمی‌آورد.
۵ تا ۵,۹	VI	تمام مردم آن‌را احساس کرده و کمدهای سنگین و مبلمان را جا بجا می‌کند.
۶ تا ۶,۹	VII تا IX	مردم وحشت زده می‌شوند. ساختمان‌ها ممکن است آسیب ببینند.
۷ تا ۷,۹	X تا XI	وحشت عمومی، ساختمان‌های کمی برجا می‌مانند. لغزش و ترک‌های مختلف در زمین
۸ - ۸,۶	XII	تخریب کامل - حرکت موجدار زمین

به‌طورکلی بزرگی با مقیاس ریشتر یک پارامتر کمی و زمین‌شناسی و شدت با مقیاس مرکالی یک پارامتر مهندسی است، در ضمن ریشتر از ۱ تا ۸ ولی مرکالی از ۱ تا ۱۲ درجه‌بندی می‌شود، مقیاس مرکالی در جدول ۱۰ آمده است.

با توجه به رخداد نمونه مذکور در منطقه اُزگُل با مقیاس ۷ ریشتر این زلزله در دسته‌بندی شدید قرار می‌گیرد. درروش مرکالی نیز این زلزله در دسته شدید (X تا XI) قرار می‌گیرد.

۵-۳. مقایسه عملکرد سامانه خبره با سایر روش‌ها

در سامانه خبره، زلزله با عنوان بسیار شدید مطرح‌شده و اقدامات تأمینی، نقشه، دسترسی‌ها، آدرس و شماره تلفن مراکز آتش‌نشانی و ایمنی مرتبط با زلزله مورد مطالعه اُزگُل نیز ارائه شد، درحالی‌که در روش‌های میزان ریشتر و مرکالی با عنوان زلزله شدید از آن یاد شد. دلیل این موضوع تأثیر دادن فاصله از گسل، زمان وقوع زلزله و شاخص‌های موجود در پایگاه دانش سامانه خبره است. امکاناتی که سامانه خبره ارائه داد را این روش‌ها در اختیار قرار نمی‌دهند و افرادی که قصد امدادرسانی و مدیریت بحران را بر عهده‌دارند در این روش‌ها باید زمان بیشتری را صرف یافتن مواردی کنند که سامانه خبره با کمک پایگاه دانش خود بسیار سریع موارد را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. در جدول (۱۱) مقایسه ارزیابی سامانه خبره و روش‌های ریشتر و مرکالی آمده است.

جدول (۱۰): مقایسه عملکرد سامانه خبره با سایر روش‌ها در موردمطالعه زلزله اُزگُل [۴۴]

روش	بسیار ضعیف	ضعیف	متوسط	شدید	بسیار شدید
سامانه خبره	۱ - ۲۰	۲۵ - ۵۰	۵۰ - ۵۷	۷۵ - ۱۰۰	بیش از ۱۰۰
ریشتر	۱ - ۲	۳ - ۴	۵ - ۶	۷	۸
مرکالی	۱ - ۳	۴ - ۶	۷ - ۹	۹ - ۱۱	۱۲

۶. نتیجه‌گیری

در زندگی شهری مخاطرات بسیاری زندگی افراد را درخطر قرار می‌دهد که اقدامات تأمینی خاص خود را می‌طلبد. یکی از این مخاطرات زلزله است. شهر تهران که روی گسل‌های متعددی قرار دارد خطر وقوع زلزله را بیشتر احساس می‌کند. جهت انتخاب بهترین اقدامات لازم پس از وقوع این رخداد طبیعی، ممکن است فرد خبره به دلایل روحی و جسمی و یا گستره وسیع اطلاعات الزاماً بهترین تصمیم را نگیرد. لذا بهتر است یک سامانه خبره در کنار وی باشد تا او را به ارائه بهترین اقدامات یاری کند. سامانه خبره ارائه شده با توجه به ورودی‌های زمان، مبدأ وقوع و همچنین میزان ریشتر زلزله و پایگاه دانش که شامل شاخص‌های مؤثر در سطح‌بندی بحران زلزله شهر تهران هستند، برآورد خسارت کرده و اقدامات تأمینی لازم را با توجه به موارد گفته شده برای مناطق ۲۲-گانه تهران ارائه می‌دهد. پاسخ سامانه خبره علاوه بر اقدامات تأمینی، شامل مراکز اسکان موقت، جاده‌های دسترسی، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و خدمات ایمنی مربوط به مکان موردنظر، نقشه راه‌ها و مکان‌های موردنظر می‌شود. با مقایسه سامانه خبره با روش مرکالی و ریشتر در نمونه مطالعه موردی بخش اُزگُل از منطقه یک در مقاله به مقایسه این روش‌ها با سامانه خبره ارائه شده پرداخته شده است که با توجه به آن زلزله فرضی در مقیاس ریشتر و مرکالی زلزله شدید ارزیابی شد ولی با توجه به تأثیر شاخص‌ها و همچنین فاصله این منطقه از گسل مبدأ، زمان و میزان ریشتر سامانه خبره، این زلزله را بسیار خطرناک ارزیابی کرد. درواقع سامانه خبره علاوه بر ارائه طرح اقدام مراکز ایمنی و آتش‌نشانی همچنین مراکز معین، دقت بالایی در ارزیابی وضعیت بحران در وقوع زلزله دارد.

۷. مراجع

۱. سوادکوهی‌فر، ساسان، مبانی مدیریت پروژه‌های عمرانی شهری و بحران، انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)، چاپ اول، تهران، ۱۳۸۶.

۲. کریمی کردآبادی، مرتضی، نجفی، اسماعیل، ارزیابی خطر زلزله با استفاده مدل ترکیبیAHP-FUZZY در امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان‌شهر تهران)، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۶ ، شماره ۲۰، صص.۳۴ -۱۷، ۱۳۹۴.

۳. امینی حسینی، کامبد، پیشنمازی، پروانه، بررسی نحوه اطلاع‌رسانی در زلزله‌های رودبار- منجیل و بم، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، بهار و تابستان، شماره ۲-۱، صص. ۵۷ - ۶۵، ۱۳۸۹.

۴. منصوری، بابک، روش‌های برآورد سریع خطرپذیری و خسارت لرزه‌ای بر مبنای پایش شهری، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، بهار، جلد ۱۰، شماره ۱، صص. ۴۸-۳۴، ۱۳۸۶.

۵. پارسی زاده، فرخ، استوار ایزدخواه، یاسمین،حشمتی، ویدا، اسکندری، ملیحه، احسان سیف، علی، ارزیابی دیدگاه‌ها و رفتار مردم بم نسبت به موضوع زلزله و ایمنی ده سال پس از زلزله، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ، بهار و تابستان، جلد ۱۷، شماره ۱ و۲، صص. ۶۸-۵۹،۱۳۹۳.

۶. علامه زاده، مصطفی، مهشادنیا، لیلا، پیش‌بینی خوشه‌های لرزهای پرخطر به روش شبکه‌های عصبی کوهونن، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ، بهار و تابستان، شماره ۲ – ۱، صص. ۱۰-۱، ۱۳۹۰.

۷. ایزدخواه، استوار، احمدی، یاسمین و محمدحسن، ترویج فرهنگ ایمنی در برابر زلزله در ایران از طریق آموزش کودکان به‌وسیله شبیه‌سازها، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، پاییز و زمستان، شماره ۴-۳، صص. ۶۲-۵۵، ۱۳۹۰.

۸. ذوالفقاری، محمدرضا، پیغاله، الناز، مدل‌سازی عدم قطعیت‌های مرتبط با اشتعال‌های داخل ساختمانی پس از زلزله به روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، مهندسی عمران و محیط‌زیست امیرکبیر، دوره ۴۲، شماره۲، صص. ۱۹ -۱۱، ۱۳۸۹.

۹. امینی حسینی، کامبد، بررسی وضعیت خطرپذیری لرزه‌ای شهر تهران، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، بهار، شماره ۱، صص. ۲۱-۱۱، ۱۳۸۵.

10. Japan International Cooperation Agency and Tehran Disaster Mitigation and Management Center, "The comprehensive master plan study on urban seismic disaster prevention and management for the greater," Tehran Area in the Islamic Republic of Iran, GE, JR, pp. 4-39, 2004.

۱۱. قائم‌مقامیان، محمدرضا، تأثیر نوع گسل، بزرگای زلزله و اثر فاصله برای گسلش ناهمگن بر حرکات توانمند زمین در حوزه نزدیک گسل، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، پائیز، جلد نهم، شماره ۳، صص. ۴۶-۳۵، ۱۳۸۵.

۱۲. حسینی، محمود، مشکلات تهران در مقابله با زلزله از دیدگاه برنامه‌ریزی و طراحی شهری و راه‌کارهایی برای حل آن‌ها، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، زمستان، شماره ۴، صص. ۴۳-۳۲، ۱۳۸۵.

۱۳. حسینی، محمود، سربندی فراهانی، محمد، مطالعه‌ای بر رفتار سامانه‌های آب‌رسانی در برابر زلزله، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، زمستان، شماره ۴، صص. ۸-۲، ۱۳۷۶.

۱۴. حسینی، محمد، سرور، امیرحسین، رئوفی، امیر، ارائه مدلی برای مدیریت شرایط اضطراری شبکه توزیع برق پس از وقوع زلزله در کلان‌شهرها با تمرکز بر پست‌های فشار ضعیف، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، بهار و تابستان، شماره ۲-۱، صص. ۲۱-۱۱، ۱۳۸۹.

۱۵. لاله پور، منیژه، سرور، هوشنگ، بررسی نقش نظام مدیریت و برنامه‌ریزی در سازمان‌دهی فضایی جمعیت و فعالیت در منطقه کلان‌شهری تهران، مجله جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، دوره۴، شماره۱۱، صص. ۱۲۶-۱۰۵، ۱۳۹۳.

۱۶. امینی حسینی، کامبد، ساسانی، محمد، بررسی چالش‌های مدیریت بحران در زمین‌لرزه ۱۳۴۱ بوئین‌زهرا، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تابستان، جلد پانزدهم، شماره ۲، صص. ۴۶-۳۷، ۱۳۹۱.

۱۷. علوی، سید علی، جعفری، بهبود، معززبرآبادی، محدثه، ابراهیمی، محمد، مکان‌یابی مراکز فضای سبز با استفاده از مدل منطق فازی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه هشت تهران)، مقاله ۹، دوره ۶، شماره ۲۰، صص. ۱۵۶-۱۳۹، بهار ۱۳۹۴.

۱۸. نوجوان، مهدی، امیدوار، بابک، صالحی، اسماعیل، مکان‌یابی اسکان موقت با استفاده از الگوریتم‌های فازی، مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری تهران، مجله مدیریت شهری، دوره ۱۱، شماره۳۱، صص. ۲۲۲ -۲۰۵، ۱۳۹۲.

۱۹. سوادکوهی فر، ساسان، میرزایی، صمد، جعفری، سید یونس، مقدمه‌ای بر روش آمایش اسکان موقت (نمونه موردی: بحران زلزله در تهران)، مجله علمی-پژوهشی علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه جامع امام حسین(ع)، سال اول، شماره ۱، تهران، ۱۳۸۹.

۲۰. دشتی، سید محمدصادق، گل‌کار، علی، جعفری، شهرام، سامانه خبره بهداشت ایمنی و محیط‌زیست hses، اولین همایش ملی فناوری اطلاعات و شبکه‌های رایانه‌ای دانشگاه پیام نور، طبس، دانشگاه پیام نور طبس، ۱۳۹۱.

۲۱. رمضانیان پور، علی‌اکبر، مودی، فرامرز، نامیان، مصطفی، دوست محمدی، منا، مدیریت شبکه فاضلاب با استفاده از سامانه خبره، مهندسی عمران و محیط‌زیست امیرکبیر، دوره۴۷، شماره۱، صص. ۱۵۱ -۱۴۱، ۱۳۹۴.

۲۲. هاشمی، سارا، شکری، علی، امین ناصری، محمدرضا، اکبری پور، حسین، طراحی سامانه خبره به‌منظور مدیریت انبوهی و بیش انبوهی در اورژانس، نشریه مهندسی صنایع، دوره ۴۸، شماره ۲، پاییز و زمستان، صص. ۲۹۲-۲۸۱، ۱۳۹۳.

۲۳. مقیمی، محمود، اکبری پور، حسین، امین ناصری، محمدرضا، طراحی سامانه خبره به‌منظور تشخیص حمله‌های فیشینگ در بانکداری الکترونیکی، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، دوره۱۲، شماره۲، صص. ۱۰۳-۹۵،۱۳۹۴.

۲۴. احمدی، محسن، منصورفر، حمید، نوبخت، فرهاد، کاربرد سامانه‌های خبره در برنامه‌ریزی راهبردی، کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین پژوهشی در مهندسی صنایع و مهندسی مکانیک، تهران، موسسه آموزش عالی نیکان، ۱۳۹۴.

۲۵. سهرابی، بابک، طهماسبی پور، کاوه، رئیسی وانانی، ایمان، طراحی سامانه خبره فازی برای انتخاب سامانه برنامه‌ریزی منابع سازمان، نشریه مدیریت صنعتی، دوره ۳، شماره ۶ ، صص. ۵۸-۳۹، بهار ۱۳۹۰.

۲۶. فلامرزی، امیر، عتیق عبدالله، رضا، چراغی، سمیرا، حافظی، محمدحسام، طراحی یک سامانه خبره برای پیاده‌سازی خیابان‌های کامل، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل‌ونقل ترافیک، ۱۳۹۴.

۲۷. آب پیکر، شادی، قطعی، مهدی، طراحی نرم‌افزار مبتنی بر مهندسی دانش جهت مدیریت تونل در شرایط برخط، مجله پژوهش‌های عمران و محیط‌زیست، دوره ۱، ۱ (ویژه‌نامه راه و ترابری)، ، صفحه ۲۴-۵، پاییز و زمستان ۱۳۹۳.

۲۸. جوادزاده، محمدعلی،کنگاوری، محمدرضا، فتحی، سید جواد، طراحی و ساخت پایگاه دانش سامانه خبره برای آزمون امنیت شبکه، مجله پدافند الکترونیکی و سایبری، - دوره : ۱، شماره۳، صص. ۵۱ -۴۳. ۱۳۹۲.

29. J. F. Hall, M. EERI, H. Thomas, M. EERI, W. Marvin, M. EERI, and D. Jwal, "Near – Source Ground motion and its effects on flexible building. Eearthquake spectra," vol. 11, no.4, Nov. 1995.

۳۰. اسدی، علی، بحران شناسی و جامعه‌شناسی بحران، مجله علمی پژوهشی دانشنامه، دانشگاه آزاد اسلامی، سال دوم، شماره۳، ۱۳۸۰.

۳۱. قدیری، محمود، نقش دانش و نگرش خطرپذیری در تبیین تفاوت‌های آسیب‌پذیری اجتماعی شهر تهران در برابر زلزله، جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، دوره۳، شماره۶، صص. ۱۶ -۱، ۱۳۹۲.

32. J. Durkin, "Expert Systems Design and Development," illustrated, vol. 16, no. 2, Nov. 2007.

۳۳. سرخیلی، الناز، رفیعیان، مجتبی، بمانیان، محمدرضا، بررسی انگیزه‌های تخلف احداث بنای مازاد بر تراکم ساختمانی در شهر تهران، مدیریت شهری، دوره ۱۰، شماره ۳۰، صص. ۱۶۲ -۱۴۵، ۱۳۹۱.

۳۴. کمانرودی کجوری، موسی، آسیب‌ها و راه‌کارهای قانونی- اجرایی تملک املاک واقع در طرح‌های ساماندهی بافت‌های فرسوده شهر تهران، مجله مدیریت شهری، دوره۱۱، شماره ۳۱، صص. ۲۵۶ -۲۴۱، ۱۳۹۲.

۳۵. خزاعی نژاد، فروغ، قرخلو، مهدی، مطالعه روند تغییرات سکونت جمعیت در مجموعه شهری تهران، مجله جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، دوره۲، شماره ۳، صص.۶۰-۴۷، ۱۳۹۱.

۳۶. قدمی، مصطفی، لطفی، صدیقه، خالق نیا، کوکب، بررسی تأثیر سیاست‌های فضایی بر ساختار فضایی شهری با تأکید بر تراکم ساختمانی مطالعه موردی: تهران، مجله مطالعات شهری، دوره ۲، شماره۶، صص. ۱۰۴-۸۹، ۱۳۹۲.

۳۷. باقری، حسین، سازمان مدیریت بحران، روزنامه همشهری، سال ۱۱، شماره ۲۱۹۸، ۱۳۸۵.

۳۸. الوانی، سید مهدی. پیامدهای گروه اندیشی در تصمیم‌گیری مدیران، فصلنامه مطالعات مدیریت، دانشکده حسابداری و مدیریت دانشگاه علامه طباطبایی، شماره۳، ۱۳۷۰.

۳۹. ابراهیمیان، سید قاسم، نقش مدیریت ساخت در اسکان موقت مناطق زلزله‌زده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه جامع امام حسین(ع) گروه عمران، تهران، ۱۳۸۳.

۴۰. زنگی‌آبادی، علی، زلزله تهران و ارزیابی فضایی آسیب‌پذیری مناطق شهری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶، تابستان ۱۳۸۵.

۴۱. زهرایی، سید مهدی، ارشادی، لیلی، بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های استان قزوین، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۹، شماره ۳، ، صص. ۲۹۷-۲۸۷، شهریور ۱۳۸۴.

42. ANALP, "Disaster Risk Management Profile," Tehran, Iran, Available: http://www.alnap.org/resource/7116, July 2006.

۴۳. خالقی، سید منظر، بررسی میزان خطرات گسل‌های تهران، ماهنامه علوم زمین و معدن ، سال هفتم، شماره ۷۶، مرداد ۱۳۹۱.

44. Z. O. Abu-faraj, T. F. Hamdan, M. R.Wehbi, G. A. Khalil, and H. M. Hamdan, "Design and Development of an Earthquake-Simulated Environment for the Study of Postural Stability," 2006 International Conference on Biomedical and Pharmaceutical Engineering, Singapore, 2006.

Designing an Expert System for Intelligent Management of Earthquake-Induced Crisis in Tehran

S. Keshvari, A. Keshvari*, M. A. Javadzadeh

Abstract

Earthquake is one of the eminent dangers that threaten the lives of people in Tehran. Therefore, the urban management administration should make the best decisions for prevention and safeguard measures after the occurrence of this natural event. Due to the psychological effects of the crisis time in the managers' decision-making, necessarily a mechanism independent of the crisis effects should be designed that analyzes the urban situation and provides crisis management proposals. Tehran consists of 22 zones that are located on 13 faults. Hence in this paper we design and present an expert system which uses process pattern and takes important physical and urban concepts indices, as well as the factors that are identified by the Center for Vibration Detection as input, and offers the necessary plan to take appropriate measures relating to each of the 22 zones' safety centers in Tehran. This plan offers the best actions for each region in the event of an earthquake, according to the indicators of the region. The purpose of this paper is making crisis management smart in order to minimize damage in the event of an earthquake. Finally, to evaluate and compare the proposed method with Mercalli and Richter methods, the occurrence of a hypothetical earthquake in Ozgol area of region number 1 of Tehran was assumed, and a program preview implemented. The results show that the method presented in this article is more precise than Richter and Mercalli methods in proposing the provisional measures for the mentioned earthquake, due to the effectiveness of various factors in this method.

Key Words: *Tehran Earthquake, Expert System, Urban Safety, Safeguarding Measures, Pathology Faults*

* Imam Hossein Comprehensive University (arkeshvari@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge