

مِنْهُ



دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران

صاحب امتیاز: دانشگاه صنعتی مالک اشتر به همراه انجمن علوم ایمنی ایران

مدیر مسئول: دکتر مهدی نوری

سر دبیر: دکتر علیرضا آزموده اردلان

جانشین سر دبیر: دکتر محمدعلی نکویی

مدیر اجرایی: حسن کشاورز

مدیر داخلی: آسیه ملکی

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر علیرضا آزموده اردلان

دکتر محمدرضا ثروتی

دکتر جمشید صالحی صدقیانی

دکتر محمدرضا عارف

دکتر مجتبی قدیری معصوم

دکتر ناصر مهردادی

دکتر رضا حسنوی

دکتر نعمت الله جعفرزاده حقیقی فرد

دکتر محمد ابراهیم سنجقی

دکتر ابراهیم محمودزاده

دکتر مهدی مدیری

دکتر منوچهر منطقی

دکتر محمدعلی نکویی

دکتر ناصر الهی

دکتر سعید گیوه چی

استاد دانشگاه تهران

استاد دانشگاه شهید بهشتی

استاد دانشگاه علامه طباطبائی

استاد دانشگاه صنعتی شریف

استاد دانشگاه تهران

استاد دانشگاه تهران

استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دانشیار دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

استادیار دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

استادیار دانشگاه تهران

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر،

مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، صندوق پستی ۳۸۶۴-۱۶۷۶۵

تلفن: ۰۲۱-۲۲۹۷۰۲۲۴ | ۰۲۱-۲۲۹۵۱۱۳۰

داخلی ۱۸۱ و ۱۸۲

www.joem.ir

joem_magazine@gmail.com

sdg@mut.ac.ir

وبگاه:

رایانامه:

همکاران اجرایی: زینب شمسی پور، غلامرضا نصرآبادی، آسیه

ملکی، محسن ایزدپور، زهره سادات میرحسینی

طراح گرافیک (لوگو، جلد و گرید): اکرمبرزگر بفروئی

ویراستار فارسی: مریم مقدم

ویراستار انگلیسی: سمیه میرزبابایی

قیمت: ۱۲۰۰۰ تومان

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

چاپ: چاپ دانشگاه صنعتی مالک اشتر

داورهای این شماره:

آزموده اردلان | حسن آقابراتی | پرویز جعفری فشارکی | رضا حسنوی | بهشید حسینی | حمید دهقانی | محمد یاسر رادان | حمید رضا رنجبر | زاهدی | فتح اله شمسایی | ناصر شمس کیا |

صوبوری | غلامی | مرتضی فیروزی | مهدی کرباسیان | سید حسین میرزینی یزدی | محمد علی نکویی

دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران بر اساس نامه ی شماره ۳/۷۷۴۹۰ مورخ ۹۱/۴/۱۰ دبیرخانه ی کمیسیون نشریات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری دارای رتبه ی علمی و پژوهشی از شماره ی بهار و تابستان ۹۱ است.

فهرست

لیوناطیبی مهدی یزدانی	۵ — مدل سازی مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص در شرایط بحران زلزله و حل آن به وسیله‌ی الگوریتم‌های فراابتکاری
محدثه غفاری فتانه تقی‌زاده فرهمند طیب جمالی	۲۱ — برآورد تعینی خطر لرزه‌ای شهر بردسیر در استان کرمان با استفاده از سیستم فازی
خلیل دیدهبان بختیار فیضی‌زاده خلیل ولیزاده کامران	۳۳ — بررسی تأثیر جابه‌جایی سطح زمین بر ساختمان‌های تخریبی در شهر بیم با استفاده از تکنیک‌های فازی شی‌گرا و تداخل سنجی راداری
فاطمه صبوچی آرمین جبارزاده	۴۵ — مدل بهینه‌سازی امکانی استوار برای شبکه‌ی توزیع اقلام امدادی تحت عدم قطعیت
علی عباسی‌رائی عیسی نخعی کمال‌آبادی سید حسین پاریاب احمد لطفی	۵۵ — کاربرد روش دلفی و شیوه‌ی دیمتل در شناسایی و ساختاردهی به شاخص‌های تأثیرگذار بر چابکی لجستیک بحران
غلامرضا جلالی‌فراهانی مجتبی عراقی‌زاده سید جواد هاشمی فشارکی	۶۷ — تعیین و اولویت‌بندی اثرگذارترین شاخص‌ها در طراحی معماری ساختمان‌های اداری از منظر پدافند غیرعامل با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)
مسعود صادقی خدایی محمد صادق سپاسیان	۷۷ — برنامه‌ریزی بازیابی پیش از وقوع تند باد شبکه‌های توزیع فشار متوسط با هدف بهبود مدیریت بحران پیش‌اقدامانه
علیرضا محمدی الهه پیشگر سپیده نوری حجت ارزنگی	۹۱ — شناسایی محله‌های آسیب‌پذیر شهری از نظر اتفاقات شبکه‌ی آب مطالعه‌ی موردی: شهر اردبیل
معصومه خادمی رامین فضل‌اولی علیرضا عمادی	۱۰۷ — بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن در شرایط بحرانی وقوع سیلاب براساس الگوریتم شبیه‌سازی بازپخت مطالعه‌ی موردی: سد مخزنی البرز
علی ویسکرمی حسین نوفرستی	۱۱۹ — تحلیل و بررسی زمین لغزش ترانشه در راه ارتباطی خرم‌آباد - پل دختر

مدل سازی مسئله مکان یابی و تخصیص در شرایط بحران زلزله و حل آن به وسیله الگوریتم های فراابتکاری

لیونا طیبی: کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
مهدی یزدانی*: استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
mehdi_yazdani2007@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

در این پژوهش، یک مسئله مکان یابی و تخصیص با در نظر گرفتن قید ظرفیت، در شرایط بحران زلزله، طرح شده است. هدف، انتخاب بهترین مکان ها برای اسکان موقت افراد و همچنین تخصیص بهینه ی افراد به این اماکن است، به نحوی که میزان تلفات و آسیب های ناشی از زلزله و پس لرزه های بعد از آن، حداقل شود. در ادامه تخصیص بهینه ی افراد به مراکز درمانی نیز مورد بحث قرار می گیرد. برای دستیابی به این اهداف، مدل ریاضی متناسب با شرایط مسئله با در نظر گرفتن محدودیت های تعریف شده، ارائه شده است. با توجه به تحقیقات پیشین پژوهشگران این امر، مسئله مکان یابی و تخصیص یک مسئله بهینه سازی پیچیده محسوب می شود. برای حل این گونه مسائل، روش های فراابتکاری پیشنهاد شده است. در این تحقیق از الگوریتم های ژنتیک و رقابت استعماری استفاده شده و نتایج نهایی با هم مقایسه شده اند. طبق نتایج به دست آمده الگوریتم رقابت استعماری می تواند رقیبی برای الگوریتم ژنتیک در این گونه مسائل باشد، چرا که میانگین جواب های پیدا شده توسط این الگوریتم بهتر از الگوریتم ژنتیک است، اما سرعت همگرایی در الگوریتم ژنتیک، بیشتر است. مطالعه ی موردی این پژوهش، مطالعه بر روی منطقه ی شماره ۳ شهر تهران است. با استفاده از اطلاعات موجود و در دسترس این منطقه، مکان هایی که دارای شرایط مطلوب برای اسکان هستند، با کمک علم سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نرم افزار ARC GIS استخراج شده است. الگوریتم رقابت استعماری برای حل این مسئله پیاده سازی شده است و در پایان تعداد بهینه ی مراکز اسکان و تخصیص بهینه ی افراد منطقه به این مراکز و همچنین تخصیص افراد به مراکز درمانی موجود در منطقه، ارائه شده است.

واژه های کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدیریت بحران زلزله، مسئله مکان یابی تخصیص، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم رقابت استعماری

Modeling Location Allocation Problem in Earthquake crisis Situation and Solving by Metaheuristic Algorithm

Liona Tayebi¹, Mehdi Yazdani^{*2}

Abstract

In this study, a location-allocation problem is proposed regarding capacity factor in a critical situation of an earthquake. The output is the selection of the best places for temporary shelters and the optimized arrangement of the casualties in those places somehow minimizing casualties and damages. In the following, efficient allocation of the casualties to the medical centers will be discussed. Reaching these goals, a mathematics model proportionate to the problem conditions and constraints is presented. In literature, location-allocation problem has been classified as NP-Hard Problem. For these problems, metaheuristic algorithm was proposed. In this research, Imperialist Competitive Algorithm (ICA) and Genetic Algorithm (GA) is used and the results comprised with each other. Based on the results of research, in such cases, ICA can be an opponent for Genetic Algorithm, because of the average of the solution obtained by this algorithm is rather better than Genetic Algorithm. However the GA convergence is faster than ICA. The case study is performed on region ۳ of Tehran. Using available information of this region, the most appropriate places for sheltering are extracted from GIS science and ARC GIS software. ICA is implemented to solve the problem. Finally, the number of optimized shelters and arrangement of inhabitants in these places and also arrangement of casualties to available medical centers in the region are presented.

Keywords: Geographic Information System, Earthquake Crisis Management, Location-Allocation Problem, Genetic Algorithm, Imperialist Competitive Algorithm

1. MSc, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

2. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

مقدمه

در کشورهای حادثه‌خیز پیامدهای ناشی از بحران‌ها، از عوامل اصلی بازدارنده‌ی توسعه به شمار می‌آیند. آثار عمومی وقوع حوادث عبارتند از مرگ و جراحت افراد، خسارت به اموال و تولیدات و خدمات و تأسیسات زیربنایی و در نتیجه تأثیر بر شیوه‌ی زندگی و ابعاد اجتماعی و روانی آن [۱]. بحران، نتیجه‌ی یک شکست زیست‌محیطی در روابط بین انسان و محیط زیست است. بحران را می‌توان هم بلایای طبیعی (مانند سیل، زلزله، طوفان و غیره) و هم فجایع ساخته‌ی دست انسان (مانند حمله‌ی تروریستی، نشت شیمیایی و غیره) نامید. هر ساله بیش از ۵۰۰ فاجعه و بحران، در سیاره‌ی ما اتفاق می‌افتد که باعث کشته شدن حدود ۷۵۰۰۰ نفر شده و بر بیش از ۲۰۰ میلیون نفر تأثیرات منفی به جا می‌گذارد [۲]. در حدود ۷۵ درصد مردم دنیا در مناطقی زندگی می‌کنند که در دهه‌های اخیر حداقل وقوع یکی از چهار عامل عمده‌ی مرگ‌ومیر ناشی از بحران‌ها یعنی زلزله، سیل، طوفان یا خشکسالی را تجربه کرده‌اند. در سال‌های اخیر وقوع سوانح و تعداد افراد آسیب‌دیده و خسارات مالی ناشی از آن‌ها افزایش چشمگیری یافته است. در دو دهه‌ی گذشته بیش از یک‌ونیم میلیون نفر در سراسر دنیا در اثر سوانح طبیعی جان خود را از دست داده‌اند و به این ترتیب به طور متوسط به ازای هر ۳۰۰۰ نفر افراد در معرض خطر یکی از آن‌ها کشته می‌شود [۱]. تا امروز حتی با پیشرفت علم و تکنولوژی هم این امکان فراهم نیامده است که به طور صددرصد مانع بروز این حوادث شوند و یا میزان خسارات را به صفر برسانند. اما این امکان وجود دارد که تا حدودی میزان این خسارات را کاهش دهند. یکی از مسائل مهم و پرکاربرد در مواقع بحران، تدارکات اضطراری و مسئله‌ی لجستیک امداد و بحران است که می‌تواند با برنامه‌ریزی و پیش‌بینی عواقب این بحران‌ها، در کاهش میزان خسارات تأثیر بسزایی داشته باشد [۳].

تدارکات اضطراری عبارت است از فرایند برنامه‌ریزی، مدیریت و کنترل جریان بحران به منظور کمک به افراد آسیب‌دیده. با این حال برنامه‌ریزی سیستماتیک برای تدارکات اضطراری اغلب نادیده گرفته می‌شود [۴]. برای ارائه‌ی برنامه‌ی مناسب در شرایط اضطرار، بررسی جامع فاز پاسخ‌گویی، ارزیابی ریسک موجود و همچنین بهره‌وری هزینه بسیار تأثیرگذار و حیاتی است [۵]. گستره‌ی جغرافیایی ایران نیز از نظر احتمال وقوع حوادث طبیعی به‌ویژه زلزله، از آسیب‌پذیرترین بخش‌های کره‌ی زمین است که هر ساله وقوع این حوادث موجب خسارت‌های جانی و مالی فراوان می‌شود و گستره‌های شهری نیز همواره تجربه‌ی تلخی از بروز این‌گونه بلایا داشته‌اند و به نظر می‌رسد انجام برنامه‌ریزی خاص برای مصون‌سازی هر چه بیشتر فضاهای شهری ضرورت دارد [۶]. با توجه به آمارهای موجود در زمینه‌ی وقوع حوادث در کشور، بایستی تصمیمات مناسب و عملی برای مدیریت بحران در کشور برای حوادث و بحران‌های مختلف به‌ویژه زلزله و سیل، اتخاذ شود. با توجه به اینکه کشور ما یک کشور پر حادثه است، لذا همواره باید در حال برنامه‌ریزی اضطراری برای مواقع بحرانی باشیم تا بتوانیم آمادگی لازم را در رویارویی با بحران‌های

ممکن داشته باشیم. زمان عامل حیاتی در کاهش میزان تلفات پس از زلزله است، به گونه‌ای که ۲۴ ساعت اولیه پس از وقوع زلزله، فرصتی طلایی برای کمک به حادثه‌دیدگان است، زیرا در این ساعت‌ها بیشترین احتمال زنده ماندن قربانیان وجود دارد. بنابراین توسعه‌ی روشی مناسب برای تعیین مکان‌های اسکان موقت و تخصیص بهینه‌ی افراد به این اماکن، تأثیر بسزایی در کاهش آسیب‌های ناشی از وقوع زلزله دارد [۷].

در این مقاله یک مدل ریاضی برای مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص با در نظر گرفتن قید ظرفیت، در شرایط بحران زلزله، توسعه داده شده است. اهداف مسئله، انتخاب بهترین مکان‌ها برای اسکان موقت افراد و همچنین تخصیص بهینه‌ی افراد به این اماکن است، به نحوی که میزان تلفات و آسیب‌های ناشی از زلزله و پس‌لرزه‌های بعد از آن، حداقل شود. در ادامه تخصیص بهینه‌ی افراد به مراکز درمانی نیز مورد بحث قرار می‌گیرد. برای حل مسئله در ابعاد بزرگ از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده است. سپس مطالعه‌ی موردی بر منطقه‌ی ۳ شهر تهران شرح داده می‌شود. مکان‌هایی که دارای شرایط مطلوب اسکان هستند، استخراج شده، الگوریتم فراابتکاری برای حل این مسئله پیاده‌سازی شده و در پایان تعداد بهینه‌ی مراکز اسکان و تخصیص بهینه افراد منطقه به این مراکز و همچنین تخصیص افراد به مراکز درمانی موجود در منطقه، ارائه شده است.

پیشینه‌ی پژوهش

مکان‌یابی و تخصیص یک مسئله‌ی جدید نیست. از آغاز پیدایش بشر، یکی از اولویت‌های اصلی او یافتن یک راه حل خوب برای مسائل مکان‌یابی و تخصیص بوده است. به‌طور مثال در سال‌های اولیه‌ی آغاز حیات، برای پیدا کردن مکانی مناسب برای اسکان در نزدیکی منابعی مانند چوب، غذا و آب تا مسائل امروزی مانند قرار دادن ترانزیستورها در تراشه‌های پردازنده به‌طوری که سرعت حداکثر شده و حرارت حداقل شود، مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸]. مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص از مسئله‌ی وبر^۱ در سال ۱۹۰۹ آغاز شد [۹]. مطالعه‌ی وبر در مورد مسئله‌ی مکان‌یابی به‌طور رسمی از سال ۱۹۲۹ با پژوهشی در مورد چگونگی تعیین مکان یک منبع و سپس در سال ۱۹۶۴ با تحقیقات حکیمی آغاز شد. از زمان پیدایش مسائل مکان‌یابی و تخصیص تاکنون، روش‌های زیادی از جمله روش‌های دقیق و یا ابتکاری برای حل آن‌ها معرفی شده است. اما استفاده از روش‌های دقیق برای حل مسائل پیچیده و بزرگ به علت زمان‌های اجرای طولانی، چندان منطقی نیست. به همین علت در ارتباط با کاربرد روش‌های ابتکاری برای حل این‌گونه مسائل مطالعات زیادی انجام گرفته است.

الگوریتم پرندگان یا ازدحام ذرات اولین بار توسط بیوکی و گانز [۱۰] برای حل مسئله‌ی مکان‌یابی مراکز خدماتی بدون در نظر گرفتن قید ظرفیت در فضای پیوسته به کار گرفته شد. در همان سال لیو و همکاران [۱۱] در مقاله‌ای برای مکان‌یابی بهینه‌ی ایستگاه‌های آتش‌نشانی مدلی ارائه کردند و در آن به

مکان‌یابی و تخصیص ایستگاه‌های آتش‌نشانی با توجه به ایستگاه‌های موجود و مکان‌های مناسب برای ایجاد ایستگاه‌های جدید پرداختند. مدل ارائه شده در این پژوهش با استفاده از الگوریتم مورچگان و سیستم اطلاعات مکانی حل شد. مدل‌های بهینه‌سازی برای اولین بار در تدارکات اضطراری در دهه‌ی ۱۹۷۰، در پی چند فاجعه‌ی دریایی که در اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ رخ داد (برای مثال حادثه‌ی کشتی توری کنیون در سواحل انگلستان و فاجعه آرگو در ماساچوست در سال ۱۹۷۶)، توسعه داده شدند [۱۲]. برای اولین بار ترگاس^۳ و همکاران [۱۳] برای مکان‌یابی محل احداث مراکز امداد رسانی در مواقع اضطراری از مدل مکان‌یابی پوشش^۴ استفاده کردند. هدف در این پژوهش، مکان‌یابی حداقل تعداد ممکن تجهیزات برای پوشش کلیه‌ی نقاط تقاضا، بدون در نظر گرفتن معیارهای جمعیت و فواصل بوده است. به همین دلیل برای برآوردن کلیه‌ی تقاضاها میزان زیادی از تجهیزات مورد نیاز بوده است. برای رفع این مشکل، مسئله‌ی پوشش حداکثری^۵ در سال ۱۹۷۴ مطرح شد. همچنین مدلی برای مکان‌یابی مراکز خدمت‌دهی، توسط بیانچی^۶ و همکاران [۶] ارائه شد که در آن تعداد تجهیزات به کار رفته برای خدمت‌دهی محدود شده بود اما در عوض بیش از یک خدمت‌دهنده در هر ایستگاه برای پوشش استفاده شد. برای تعیین مکان‌های مناسب برای ایجاد ایستگاه‌های آتش‌نشانی، یک روش مدل‌سازی چند معیاره با اهداف کمینه کردن هزینه و مسافت سفر، توسط بدری^۷ و همکاران [۱۴] ارائه شد. نتایج به صورتی اعلام شد که مدل برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح مدل مناسبی برای مسئله‌ی مذکور است و به تصمیم‌گیران برای یافتن مکان مناسب برای محل ایستگاه‌های آتش‌نشانی کمک بسیاری می‌کند.

با توجه به اینکه بسیاری از کشورها در مسیر توسعه و پیشرفت هستند، لزوم ارائه‌ی یک مدل مناسب برای احداث مراکز درمانی با توجه به وسعت جوامع در یک مقاله‌ی مروری در سال ۲۰۰۰ بیان شد. هدف در این مطالعه آزمودن شایستگی این مدل‌ها برای طراحی و بنا ساختن سیستم‌های سلامت و مراکز درمانی برای تأمین نیازهای جوامع امروزی بوده است [۱۵]. وانگ^۸ و همکاران [۱۶] در مقاله‌ای به بررسی مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات با در نظر گرفتن تقاضای تصادفی مشتری و با هدف کمینه کردن هزینه‌ی کل سفر و زمان انتظار مشتری، پرداختند. در این مدل میزان تقاضای تصادفی مشتریان با توجه به نزدیک‌ترین تسهیلات ساکن در نظر گرفته شد. مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات برای پاسخ‌گویی به حوادث اضطراری و شرایط بحران در مقیاس بزرگ مطرح شده‌اند. دکه و همکاران [۱۷] در مطالعه‌ای بر روی شناسایی مراکز بازیابی بحران و مکان‌یابی این مراکز، برای منطقه‌ای در فلوریدا مدلی در شرایط بحران طوفان ارائه دادند. هدف در این مدل حداقل‌سازی تعداد نهایی مراکز بازیابی بحران، در شرایط پوشش کامل مناطق آسیب‌دیده با در نظر گرفتن محدودیت فاصله است. مستر^۹ و همکاران [۱۸] در یک مطالعه، از دو مدل مکان‌یابی و تخصیص برای برنامه‌ریزی شبکه‌ی بیمارستان‌ها استفاده نمودند. این مدل‌ها با هدف بهبود دسترسی جغرافیایی و همچنین

حداقل کردن میزان هزینه‌ها ارائه شده‌اند. در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۵، مسئله‌ی تخصیص مراکز خدمت‌رسانی اورژانس و همچنین مکان‌یابی این پایگاه‌ها، از طریق یک الگوریتم ژنتیک با مدل شبیه‌سازی یکپارچه مورد مطالعه قرار گرفت. در این مسئله کلاس‌های مختلف بیمار (نقاط تقاضا) بررسی شده و دو ردیف عرضه (پایگاه‌های اورژانس و خودروهای امداد رسانی) در مدل لحاظ شدند. هدف مسئله به حداکثر رساندن احتمال بقای بیمار در حال انتظار بود و از داده‌های واقعی در مراکز خدمات اورژانس لندن استفاده شده بود [۱۹]. بونمی^{۱۰} و همکاران [۵] در مقاله‌ای با اشاره به وقوع بلایای طبیعی از سال ۱۹۵۰ تاکنون و بررسی مشکلات ناشی از آن، مدلی برای بهینه‌سازی مکان‌یابی تسهیلات در شرایط اضطرار ارائه داده و یک الگوریتم دقیق و یک الگوریتم اکتشافی برای حل آن پیشنهاد کرده‌اند.

موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

مطالعه‌ی موردی در این پژوهش منطقه‌ی شماره‌ی ۳ شهر تهران است. منطقه‌ی ۳ یکی از ۲۲ منطقه‌ی شهر تهران در پهنه‌ی شمال شرقی شهر واقع است. این منطقه از شمال به بزرگراه‌های صدر، مدرس و چمران، از جنوب به بزرگراه‌های رسالت و همت، از غرب به بزرگراه چمران و از شرق به خیابان پاسداران و خیابان شریعتی محدود می‌گردد. مساحت منطقه ۳۱/۲۰۸ کیلومتر مربع است و از این حیث در رتبه‌ی دهم شهر تهران قرار دارد و ۴/۳ درصد از کل وسعت شهر تهران را شامل می‌شود. این منطقه دارای ۶ ناحیه و ۱۲ محله است. جمعیت تقریبی معادل ۲۳۷۱۰۰ نفر را در ۹۱۹۸۱ خانوار در خود جای داده است. برای طرح مرحله‌ی اول این مسئله در ابتدا نیاز داریم شرایط منطقه را شناسایی کرده و داده‌های مناسب را جمع‌آوری کنیم. اولین گام در حل مسئله‌ی مکان‌یابی، داشتن نقشه‌ی منطقه و اطلاعاتی در رابطه با داده‌های مورد نیاز است. در این مقاله داده‌های مورد نیاز برای مکان‌یابی اولیه، عبارت‌اند از: تراکم مراکز خدماتی موجود (بیمارستان‌ها و پمپ‌بنزین)، موقعیت گس‌ها، موقعیت راه‌های اصلی، موقعیت نقاط تقاضا (بلوک‌های جمعیتی مبدأ)، تراکم جمعیت هر بلوک و شیب منطقه. پس از بیان روش تحقیق و روش‌های حل مسئله به تشریح مطالعه‌ی موردی خواهیم پرداخت. تصویر ۱ نقشه‌ی محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش تحقیق

در این پژوهش، بحث بر روی مکان‌یابی مراکز اسکان موقت و تخصیص بهینه‌ی افراد به این اماکن است. همچنین تخصیص بهینه‌ی افراد به مراکز درمانی موجود نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرایند بهینه‌سازی اسکان افراد در این تحقیق شامل ۲ گام اصلی است:

۱. تعیین مکان‌های کاندید برای اسکان موقت.
۲. تخصیص بهینه‌ی بلوک‌های جمعیتی (مبدأ) به مکان‌های امن و مراکز درمانی.



تصویر ۱: نقشه‌ی منطقه‌ی ۳ شهر تهران (شهرداری تهران)

مسئله، بهینه نمودن تعداد اماکن امن برای اسکان موقت افراد، کمینه کردن مجموع هزینه‌ی جابه‌جایی افراد از بلوک‌های ساختمانی (مبدأ) تا اماکن امن و کمینه کردن مجموع هزینه‌ی جابه‌جایی از بلوک‌های ساختمانی (مبدأ) تا مراکز درمانی است.

در این مسئله، بلوک‌های ساختمانی که افراد در آن مستقر هستند به منزله‌ی مبدأ در نظر گرفته شده است. شرایط مسئله، ۲۴ تا ۷۲ ساعت اول پس از وقوع بحران زلزله است و طی آن، افراد از بلوک‌های ساختمانی تعریف شده، به اماکن امن کاندید شده و مراکز درمانی تخصیص می‌یابند. برای نزدیک‌تر شدن مسئله به شرایط واقعی، مکان‌های امن کاندید شده برای استقرار افراد (مراکز اسکان موقت)، در گام اول مسئله توسط نرم‌افزار ArcGIS انتخاب می‌شوند. سپس در مرحله‌ی بعد، از بین مکان‌های کاندید شده، بهترین مکان‌ها برای احداث مراکز اسکان موقت، انتخاب می‌شود که انتقال بهینه‌ی افراد از بلوک‌های ساختمانی به مراکز اسکان مورد بررسی قرار گرفته و تخصیص بهینه انجام می‌شود. در این بین تعدادی مراکز درمانی با جای ثابت و معلوم نیز وجود دارد که چگونگی انتقال بهینه‌ی افراد از بلوک‌های ساختمانی به این مراکز درمانی نیز مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. مدل ارائه شده در این پژوهش از اجزای زیر تشکیل شده است که به شرح زیر است:

مفروضات مسئله

- برای مکان‌یابی مسئله فرض می‌شود فقط معیارهای مکانی بر روی مسئله تأثیرگذار هستند.
- در این تحقیق ترافیک مسیرهای انتقالی در نظر گرفته نمی‌شود.
- در همه جای مناطق امکان ایجاد اسکان موقت وجود ندارد.
- ظرفیت اماکن اسکان موقت محدود است.
- کلیه‌ی پارامترهای هزینه و ظرفیت معلوم است.

در گام اول با استفاده از اطلاعات موجود و در دسترس برای منطقه‌ای در تهران (نقشه‌ها، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و غیره) می‌توان مکان‌هایی را که دارای شرایط مطلوب برای اسکان هستند، استخراج نمود. داده‌های مورد نیاز در این گام، از پایگاه‌های مدیریت بحران و همچنین شهرداری منطقه به دست آمده است. در این مطالعه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ و داده‌های سنجش از دور، مکان‌یابی مناطق مناسب برای استفاده به منزله‌ی عنوان پناهگاه، مورد بررسی قرار می‌گیرند. باید توجه داشت که احداث این مراکز در همه‌ی مناطق امکان‌پذیر نیست. فاصله از گسل، فاصله از مناطقی که پس از زمین‌لرزه احتمال انفجار دارند، مانند پمپ بنزین و قابلیت دسترسی مناسب به همه‌ی قسمت‌های منطقه به طور نسبی، می‌تواند معیارهای مناسبی برای تعیین مکان مناسب برای احداث اماکن امن باشد. همچنین نزدیک بودن مراکز اسکان موقت تا مراکز امدادی و بیمارستان‌ها، می‌تواند نقش مؤثری در نجات جان قربانیان حادثه ایفا کند.

۱. هدف از گام بعد نیز مکان‌یابی و تخصیص بهینه‌ی افراد به مناطق امن است، به گونه‌ای که دو شرط زیر رعایت گردند: ۱. از بین مکان‌های کاندید شده برای اسکان موقت افراد، بهترین مکان‌ها طبق معیارهای تعریف شده، انتخاب شوند. ۲. جابه‌جایی جمعیت از بلوک‌های ساختمانی به مکان‌های امن باید حداقل باشد تا افراد با بیشترین سرعت و کمترین میزان تلفات در مکان‌های امن اسکان یابند. در این راستا محدودیت‌هایی نظیر مجموع ظرفیت مکان‌های مورد استفاده، در نظر گرفته می‌شود. معیارهای مورد استفاده، فاصله‌ی بلوک‌های ساختمانی از اماکن امن و از مراکز درمانی، و جمعیت این بلوک‌هاست به علاوه‌ی ظرفیتی که برای هر کدام از این اماکن امن در نظر گرفته شده است. برای اینکه جابه‌جایی جمعیت حداقل باشد بایستی بلوک‌های ساختمانی پر جمعیت به مکان‌های امن نزدیک‌تر انتقال یابند. در واقع اهداف پیشنهادی در این

- جمعیت کل و جمعیت هر بلوک ساختمانی معلوم است.
- هزینه‌ی احداث یا تجهیز مراکز اسکان موقت در نظر گرفته می‌شود.
- فاصله‌ی بلوک‌های ساختمانی تا مراکز اسکان و مراکز درمانی معلوم است.
- مرگ و میر در این مسئله در نظر گرفته نمی‌شود. بدین معنی که برنامه‌ریزی اسکان تمامی جمعیت موجود در منطقه را پوشش خواهد داد.

مدل سازی ریاضی

$$z = \min \sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij} + \sum_i \sum_k C_{ik} X_{ik} + \sum_j C_j Y_j$$

$$\sum_i \sum_j X_{ij} = B * P \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_k X_{ik} = A * P \quad (2)$$

$$\sum_i X_{ik} \leq H_k \quad \forall k \quad (3)$$

$$\sum_i X_{ij} * Y_j \leq T_j \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ij} \leq \sum_j T_j * Y_j \quad (5)$$

$$\sum_j Y_j \leq n \quad (6)$$

$$\sum_j X_{ij} * Y_j \geq 1 \quad \forall i \quad (7)$$

$$\sum_k X_{ik} \leq O_i \quad \forall i \quad (8)$$

$$\sum_j X_{ij} \leq W_i \quad \forall i \quad (9)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq Y_j * Q \quad \forall j \quad (10)$$

$$X_{ij}, X_{ik} \geq 0$$

اگر مرکز اسکان موقت در نقطه‌ی مورد نظر ایجاد شود $Y_j = 1$
در غیر این صورت $Y_j = 0$

اندیس‌های مدل:

i: بلوک‌های ساختمانی (مبدأ) ($1 \leq i \leq I$)

j: مراکز کاندیدا برای استقرار اماکن امن برای اسکان ($1 \leq j \leq J$)

k: مراکز درمانی ($1 \leq k \leq K$)

ورودی‌های مدل

C_{ij} : هزینه‌ی انتقال افراد از مبدأ i به مرکز اسکان موقت j که رابطه‌ی مستقیم با فاصله از i تا j دارد.

C_{jk} : هزینه‌ی انتقال افراد از مبدأ i به مرکز درمانی k که رابطه‌ی مستقیم با فاصله از i تا k دارد.

C_j : هزینه‌ی ثابت ایجاد یا تجهیز یک مرکز اسکان موقت
B: درصدی از کل جمعیت که از مبدأ i به اسکان زمی‌روند (مقدار ثابت)

A: درصدی از کل جمعیت که از مبدأ i به بیمارستان k می‌روند (مقدار ثابت)

P: کل جمعیت منطقه

H_k : ظرفیت بیمارستان k

T_j : ظرفیت مکان اسکان j

n: تعداد مکان‌های کاندیدا برای اسکان (از گام اول مسئله)

O_i : تعداد افرادی که از بلوک i به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند.

W_i : تعداد افرادی که از بلوک i به مراکز اسکان منتقل می‌شوند.

Q: عدد بسیار بزرگ

متغیرهای تصمیم مدل

X_{ij} : جمعیتی که از مبدأ i به مرکز اسکان موقت j منتقل می‌شوند.

X_{ik} : جمعیتی که از مبدأ i به مرکز درمانی k منتقل می‌شوند.

Y_j : اگر مرکز اسکان موقت در منطقه‌ی مورد نظر ایجاد شود برابر با ۱ و در غیر این صورت ۰ خواهد بود.

در قسمت اول تابع هدف مجموع جابه‌جایی از بلوک ساختمانی مبدأ تا مرکز اسکان کمینه شده است. در قسمت دوم مجموع جابه‌جایی از مبدأ تا مراکز درمانی کمینه شده و در آخر هزینه‌ی ثابت تجهیز یک مرکز اسکان موقت در نظر گرفته شده است. محدودیت شماره‌ی ۱ بیان می‌کند که B درصد کل جمعیت از i به j منتقل می‌شوند. محدودیت شماره‌ی ۲ نشان می‌دهد که A درصد کل جمعیت از i به k منتقل می‌شوند. محدودیت ۳ کنترل می‌کند که مجموع افرادی که از i به k منتقل می‌شوند باید کمتر مساوی ظرفیت آن k باشند. طبق روابط محدودیت ۴ مجموع افرادی که از i به j منتقل می‌شوند باید کمتر مساوی ظرفیت آن j باشند. محدودیت ۵ نشان می‌دهد که کل افرادی که به j منتقل می‌شوند باید کمتر مساوی ظرفیت کل مراکز اسکان باشند. طبق روابط محدودیت ۶ مجموع مکان‌های امن انتخاب شده کمتر یا مساوی تعداد مکان‌های کاندیدا برای اسکان است. محدودیت ۷ بیان می‌کند که هر بلوک مبدأ حتماً به یک مکان امن تخصیص یابد. محدودیت ۸ نشان‌دهنده‌ی این است که از هر بلوک چند نفر به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند (O_i ها عدد ثابت هستند و تصادفی به دست می‌آیند). محدودیت ۹ بیان می‌کند که از هر بلوک چند نفر به مراکز اسکان منتقل می‌شوند (W_i ها عدد ثابت هستند و تصادفی به دست می‌آیند). محدودیت ۱۰ بیان می‌کند که اگر مکانی به عنوان مرکز اسکان انتخاب نشد، افراد از بلوک به آن مکان تخصیص پیدا نکنند.

روش حل مسئله

مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص یک مسئله‌ی بهینه‌سازی پیچیده است. حل این مسائل از طریق روش‌های سنتی دقیق نیاز به زمان محاسباتی زیادی برای رسیدن به جواب دارد. ابعاد مسئله‌ای که توسط این نوع از روش‌های سنتی دقیق حل می‌شود، کوچک است. استفاده از روش قطعی به دلیل زمان محاسبات طولانی برای حل این مسائل امکان‌پذیر نیست [۲۰]. بنابراین، روش‌هایی برای حل بهینه که بر مبنای یک یا چند معیار باشد و در نقطه‌ی بهینه محلی قرار نگیرند باید ارائه شوند. این روش‌ها، روش‌های فراابتکاری هستند. در این تحقیق از الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری برای حل مدل استفاده خواهد شد. در

ادامه به بررسی روش‌های تکاملی و به طور خاص الگوریتم‌های به کار گرفته شده در این تحقیق می‌پردازیم.

رویکرد حل الگوریتم رقابت استعماری^{۱۲}

الگوریتم رقابت استعماری با الهام از یک فرایند اجتماعی-سیاسی، نسبت به سایر روش‌های دارای توانایی بالایی بوده و تا حد بسیار زیادی نیز سریع است. این الگوریتم برگرفته از مفاهیم رشد و توسعه‌ی اجتماعی است. در حقیقت پایه‌های این الگوریتم بر مبنای شبیه‌سازی نحوه‌ی تکامل اجتماعی بشر بنا شده است [۲۱]. با توجه به کارایی بالای الگوریتم رقابت استعماری در حل مسائل با توابع هدف پیچیده، این الگوریتم فراابتکاری برای حل مسئله معرفی شده در این پژوهش، انتخاب گردیده است. فرایند بهینه‌سازی در این الگوریتم با تولید جمعیتی اولیه شروع می‌شود. بر مبنای مفاهیم بنیادین الگوریتم رقابت استعماری جواب‌های تولیدی در این الگوریتم، اصطلاحاً کشور^{۱۳} خوانده می‌شوند. هزینه‌ی هر جواب در حقیقت نشان‌دهنده‌ی قدرت آن کشور است. کشورها با کمترین هزینه و بیشترین قدرت به عنوان امپراطور^{۱۴} در رأس امپراطوری‌ها قرار گرفته و دیگر کشورها را تحت سلطه و استعمار خود قرار می‌دهند [۲۲]. قدرت کل یک امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور استعمارگر به اضافه‌ی درصدی از قدرت میانگین مستعمرات آن مطابق رابطه‌ی ۱ تعریف می‌شود.

رابطه‌ی ۱:

$$Total\ Cost_n = Cost\ imperialist_n + \xi \cdot mean\ \{Cost\ (colonies\ of\ empire_n)\}$$

همگون‌سازی^{۱۵} و انقلاب^{۱۶} عملگرهای اصلی الگوریتم رقابت استعماری محسوب می‌گردند. عملگر همگون‌سازی برای حرکت دادن مستعمرات به طرف امپراطورها و کم کردن فاصله بین آن‌ها به کار می‌رود. عملگر انقلاب تغییراتی ناگهانی را در موقعیت برخی کشورها ایجاد می‌کند. همگون‌سازی‌ها و انقلاب‌های پیاپی باعث می‌شود تا برخی از مستعمرات از امپراطورهای خود پیشی گرفته و به عنوان امپراطور جدید در رأس امپراطوری‌ها قرار گیرند. رقابت استعماری^{۱۷} بخش دیگری از این الگوریتم به حساب می‌آید. در این قسمت تمام امپراطوری‌ها می‌کوشند تا مستعمرات بیشتری را تحت کنترل خود بگیرند. در هر تکرار الگوریتم، هر امپراطور به نسبت قدرت خود امکان تصرف یک یا چند مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری را پیدا می‌کند [۲۲]. رقابت استعماری باعث می‌شود که به مرور زمان، به حالتی برسیم که در آن تنها یک امپراطوری در دنیا وجود دارد که آن را اداره می‌کند. این حالت زمانی است که الگوریتم رقابت استعماری با رسیدن به نقطه‌ی بهینه تابع هدف، متوقف می‌شود [۲۱].

شبه‌کد الگوریتم طراحی شده برای حل مسئله‌ی بهینه‌سازی فوق در ادامه آورده شده است:

۱. پارامترهای مدل بهینه‌سازی را بخوان.
۲. مقادیر مربوط به پارامترهای الگوریتم از جمله تعداد کشورها، امپراطوری‌های اولیه، درصد تقاطع و جهش و مقادیر زیر را از کاربر بگیر.

۳. امپراطوری‌های اولیه را بساز.
- ۱،۳. کشورهای اولیه را به صورت تصادفی بساز.
- ۲،۳. الگوریتم شبیه‌سازی را فراخوانی نموده و قدرت هر کشور (مقدار تابع هدف) آن را برازش کن.
- ۳،۳. امپراطورها و مستعمراتشان را بر مبنای قدرت کشورها مشخص کن.
۴. مستعمرات را به سمت کشور امپریالیست حرکت بده (سیاست همسان‌سازی یا جذب).
۵. عملگر انقلاب^{۱۸} را اعمال کن.
۶. اگر مستعمره‌ای در یک امپراطوری وجود داشته باشد که هزینه‌ای کمتر از امپریالیست داشته باشد؛ جای مستعمره و امپریالیست را با هم عوض کن.
۷. هزینه‌ی کل یک امپراطوری را حساب کن (با در نظر گرفتن هزینه‌ی امپریالیست و مستعمراتشان).
۸. یک مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری انتخاب کرده و آن را به امپراطوری‌ای که بیشترین احتمال تصاحب را دارد، بده.
۹. امپراطوری‌های ضعیف را حذف کن.
۱۰. اگر تنها یک امپراطوری باقی مانده باشد، توقف کن وگرنه به ۲ برو.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، الهامی از علم ژنتیک و نظریه‌ی تکامل داروین است و بر اساس بقای برترین‌ها یا انتخاب طبیعی استوار است. یک کاربرد متداول الگوریتم ژنتیک، استفاده از آن به عنوان تابع بهینه‌کننده است. الگوریتم ژنتیک ابزار سودمندی در بازشناسی الگو، انتخاب ویژگی، درک تصویر و یادگیری ماشینی است. در الگوریتم‌های ژنتیکی، نحوه‌ی تکامل ژنتیکی موجودات زنده شبیه‌سازی می‌شود. این الگوریتم با الهام از طبیعت بر پایه‌ی اصل تکاملی پایداری بهترین‌ها^{۱۹} استوار است [۲۳].

روند حل الگوریتم ژنتیک

طبق مبنای الگوریتم ژنتیک، یک جمعیت از افراد بر اساس مطلوبیتشان در محیط امکان بقا پیدا می‌کنند. افرادی با قابلیت‌های برتر، شانس ازدواج و تولید مثل بیشتری را خواهند یافت. بنابراین بعد از چند نسل فرزندان با کارایی بهتر ایجاد می‌شوند. در الگوریتم ژنتیک هر عضو از جمعیت به صورت یک کروموزوم معرفی می‌شود. کروموزوم‌ها در طول چندین نسل کامل‌تر می‌شوند. در هر نسل کروموزوم‌ها ارزیابی می‌شوند و متناسب با ارزش خود امکان بقا و تکثیر می‌یابند. تولید نسل در بحث الگوریتم ژنتیک با عملگرهای تقاطع و جهش صورت می‌گیرد. والدین برتر در میان جمعیت بر اساس یک تابع برازندگی انتخاب می‌شوند [۲۳].

شبه‌کد الگوریتم طراحی شده برای حل مسئله‌ی بهینه‌سازی در این تحقیق در ادامه آورده شده است:

۱. پارامترهای مدل بهینه‌سازی را بخوان.

۲. پارامترهای الگوریتم (از جمله اندازه‌ی جمعیت، درصد نگهداری، تقاطع و جهش، نقطه‌ی شکست و تعداد جابه‌جایی ژن‌ها در عملگر جهش) را مقدار دهی کن.
۳. جمعیت اولیه را بساز.
- ۱،۳. جمعیت (جواب‌های) فوق را برازش کن.
۴. حلقه‌ی زیر را تا پیش از برقراری شرط توقف اجرا کن (حلقه‌ی اصلی الگوریتم).
- ۱،۴. کروموزوم‌های نخبه را مشخص کن (i).
- ۲،۴. به‌ازای بقیه‌ی کروموزوم‌ها فرایند زیر را انجام بده (j).
- ۱،۲،۴. در صورتی که عملگر تقاطع انتخاب گردد، کروموزوم i و j را با فرزند کروموزوم‌های i و j جایگزین کن.
- ۲،۲،۴. در صورت انتخاب عملگر جهش، از جهش یافته‌ی کروموزوم j استفاده کن.
- ۳،۴. به کمک فرایند موجه‌سازی، جواب حاصله را موجه کن.
- ۴،۴. جمعیت حاصله را برازش و به‌صورت صعودی مرتب کن.
۵. نتایج نهایی را نمایش داده و ذخیره کن.

اپراتور تقاطع

فرایند زیر برای شرح اپراتور تقاطع کروموزوم‌ها ذکر شده است و در الگوریتم به شکل زیر پیاده‌سازی می‌گردد.

نقطه‌ی شکست کروموزوم با توجه به اندازه‌ی هر کروموزوم و نرخ محل شکست (RB) که بین ۰ تا ۱ به شکل یک عدد تصادفی تولید می‌گردد، با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌گردد:

$$\text{Break-point} = \text{round} (RB \times K)$$

که در این رابطه K تعداد ژن‌های موجود در کروموزوم (اندازه‌ی کروموزوم) است. کروموزوم‌های والد از محل شکست محاسبه شده در رابطه‌ی بالا شکسته و کروموزوم‌های فرزند ایجاد می‌گردد. نیمه‌ی اول فرزند اول از اولین والد و نیمه‌ی دوم آن از والد دوم گرفته می‌شود. دومین فرزند از ژن‌ها باقیمانده‌ی والدین به وجود می‌آید. ژن‌های تکراری در کروموزوم‌های فرزندان شناسایی و با یکدیگر جابه‌جا می‌شوند. به طور مثال والد‌های تصویر شماره‌ی ۱ با تعداد ۱۵ ژن را در نظر بگیرید و به طور فرض عدد ۰/۶ به عنوان نرخ شکست انتخاب شده است.

$$\text{Break-point} = \text{round} (0.6 \times 15) = 9$$

کروموزوم‌های والدین همان‌طور که در تصویر ۲ نشان داده شده‌اند، از ژن نهم شکسته می‌شوند.

کروموزوم‌های اولیه‌ی فرزندان در نتیجه‌ی پیاده‌سازی عملگر تقاطع تولید می‌گردند و ژن‌های تکراری در کروموزوم‌های فوق، شناسایی می‌گردند. برای موجه‌سازی فرزندان، ژن‌های تکرارهای در کروموزوم‌های فرزندان با یکدیگر جابه‌جا شده و در نهایت کروموزوم‌های موجه در نتیجه‌ی تقاطع حاصل می‌شوند که این روند در تصویر ۳ نشان داده شده است.

اپراتور جهش

فرایند زیر برای شرح اپراتور جهش کروموزوم‌ها ذکر شده است و در الگوریتم به این شکل پیاده‌سازی می‌گردد.

در ابتدا تعداد جابه‌جایی ژن‌ها طبق رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌گردد.

Parent 1	۶	۳	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Parent 2	۷	۱	۱۵	۱۳	۲	۱۴	۶	۱۰	۱۲	۱۱	۴	۸	۳	۹	۵

تصویر ۲: کروموزوم‌های والدین و نقطه‌ی شکست آن‌ها

Child 1	۶	۳	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۱۱	۴	۸	۳	۹	۵
Child 2	۷	۱	۱۵	۱۳	۲	۱۴	۶	۱۰	۱۲	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Child 1	۶	۳	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۱۱	۴	۸	۳	۹	۵
Child 2	۷	۱	۱۵	۱۳	۲	۱۴	۶	۱۰	۱۲	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Child 1	۶	۱۳	۲	۷	۱۴	۱۰	۱۲	۱۵	۱	۱۱	۴	۸	۳	۹	۵
Child 2	۷	۱	۱۵	۳	۱۱	۱۴	۶	۸	۵	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲

تصویر ۳: روند حاصل شدن کروموزوم موجه طی عمل تقاطع

رابطه ی ۳:

$$\text{Swap-number} = \text{ceil}(\text{RM} \times K) = 5$$

که در آن K اندازه ی کروموزوم و RM نرخ جهش است. برای مثال کروموزوم اولیه را در تصویر ۴ در نظر بگیرید. فرض کنید نرخ جهش تعیین شده برابر با عدد ۰/۳ باشد. با توجه به رابطه ی ۳ داریم:

$$\text{Swap-number} = \text{ceil}(0.3 \times 15) = 5$$

در نهایت اپراتور جهش به صورت زیر پیاده سازی می گردد که در تصویر ۴ جواب نهایی پس از ۵ تغییر قابل مشاهده است.

تولید مسائل تصادفی و حل

طبق مدل طرح شده، تعدادی مسئله در مقیاس های مختلف، با داده های فرضی و به طور تصادفی تولید شده و با روش های گوناگون حل می شوند. نتایج به دست آمده در این قسمت، در ارزیابی روش های حل مؤثر خواهند بود. این مسائل با نرم افزار GAMS و الگوریتم های ژنتیک و رقابت استعماری، حل شده و زمان حل و تابع هدف در بخش بحث و نتایج ارائه شده است. همچنین ظرفیت مراکز اسکان، ظرفیت بیمارستان ها، هزینه ی ثابت ایجاد یا تجهیز یک مرکز اسکان، هزینه ی انتقال از هر بلوک ساختمانی به مراکز اسکان و بیمارستان ها نیز به صورت تصادفی به دست آمده و در حل مدل مورد استفاده قرار گرفته است.

نتایج محاسباتی

همان طور که مشاهده می شود، مسائل تصادفی تولید شده، زمان حل و تابع هدف آن ها در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به حل مسائل و بررسی نتایج، می توان مسائل را به سه دسته مسائل کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم بندی نمود که نتایج آن در جداول ۲، ۳ و ۴ قرار داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، در مسائل با مقیاس کوچک تر، اختلاف کمتری بین روش های حل در پیدا کردن جواب نهایی است. مقایسه ی زمان حل نشان

می دهد که الگوریتم های فراابتکاری به ویژه در مسائل بزرگ تر در زمان کمتری به جواب نهایی می رسند. همچنین در مقایسه ی بین الگوریتم های فراابتکاری استفاده شده، نتیجه به این صورت است که با توجه به مینیمم سازی تابع هدف، جواب نهایی در الگوریتم رقابت استعماری مقدار بهینه تری نسبت به الگوریتم ژنتیک را به خود اختصاص داده است، اما زمان همگرایی در الگوریتم ژنتیک کمتر است. این مقادیر حاصل ۱۰۰۰ تکرار الگوریتم ها و همچنین متوسط ۱۰ بار اجرا است. شرط توقف الگوریتم برابر با حداکثر زمان محاسباتی اجازه داده شده، در نظر گرفته می شود. بنابراین می توان گفت به طور متوسط، الگوریتم رقابت استعماری نسبت به الگوریتم ژنتیک دارای میانگین جواب نهایی بهتری است، در صورتی که الگوریتم ژنتیک سرعت همگرایی بالاتری دارد و در زمان کمتری به جواب می رسد. می توان این طور تحلیل کرد که زمانی که به دنبال حل مسئله در زمان کوتاه تر هستیم، استفاده از الگوریتم ژنتیک منطقی تر به نظر می رسد و زمانی که دقیق تر بودن جواب نهایی در اولویت است، استفاده از الگوریتم رقابت استعماری پیشنهاد می شود.

مطالعه ی موردی

همان طور که پیش تر بیان شد، مطالعه ی موردی در این پژوهش منطقه ی ۳ شهر تهران است. برای طرح مرحله ی اول این مسئله که مکان یابی مراکز اسکان موقت منطقه است، در ابتدا نیاز داریم شرایط منطقه را شناسایی کرده و داده های مناسب را جمع آوری کنیم. اولین گام در حل مسئله ی مکان یابی، داشتن نقشه ی منطقه و اطلاعاتی در رابطه با داده های مورد نیاز است. در این مطالعه داده های مورد نیاز برای مکان یابی اولیه، عبارت اند از: تراکم مراکز خدماتی موجود (بیمارستان ها و پمپ بنزین)، موقعیت گسلی ها، موقعیت راه های اصلی، موقعیت نقاط تقاضا (بلوک های جمعیتی مبدأ)، که معمولاً به طور غیریکنواخت در منطقه پراکنده

Initial Chromosome	۶	۳	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Initial Chromosome	۶	۳	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Swap #1	۶	۲	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۳	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Swap #2	۶	۲	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۳	۱	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Swap #3	۶	۲	۱۱	۷	۱۴	۸	۱۰	۱۵	۳	۱	۴	۱۳	۹	۵	۱۲
Swap #4	۶	۲	۱۱	۷	۱۴	۸	۱۰	۱۵	۳	۱	۱۳	۴	۹	۵	۱۲
Mutated Chromosome#5	۶	۱۲	۱۱	۷	۱۴	۸	۱۰	۱۵	۳	۱	۱۳	۴	۹	۵	۲

تصویر ۴: کروموزوم اولیه و نتیجه ی پیاده سازی اپراتور جهش

جدول ۱: تولید مسائل تصادفی

درصد افراد منتقل شده به مراکز درمانی	درصد افراد منتقل شده به مراکز اسکان	کل جمعیت منطقه	تعداد بیمارستان‌ها	تعداد مراکز اسکان	تعداد بلوک‌ها (مبدأ)	
A	B	P	k	j	i	اندیس
۰,۴	۰,۶	۱۰۰	۲	۴	۵	مسئله‌ی ۱
۰,۲	۰,۸	۱۵۰	۳	۴	۷	مسئله‌ی ۲
۰,۲	۰,۸	۲۰۰	۳	۵	۱۰	مسئله‌ی ۳
۰,۴	۰,۶	۲۵۰	۴	۵	۱۵	مسئله‌ی ۴
۰,۳	۰,۷	۳۰۰	۴	۶	۲۰	مسئله‌ی ۵
۰,۳	۰,۷	۴۰۰	۴	۷	۲۵	مسئله‌ی ۶
۰,۳	۰,۷	۵۰۰	۵	۷	۳۰	مسئله‌ی ۷
۰,۲	۰,۸	۶۰۰	۶	۸	۳۵	مسئله‌ی ۸
۰,۱	۰,۹	۷۰۰	۶	۸	۴۲	مسئله‌ی ۹
۰,۱	۰,۹	۸۰۰	۳	۷	۵۰	مسئله‌ی ۱۰
۰,۳	۰,۷	۱۵۰۰	۵	۸	۷۰	مسئله‌ی ۱۱
۰,۲	۰,۸	۲۰۰۰	۱۰	۹	۸۰	مسئله‌ی ۱۲
۰,۲	۰,۸	۲۸۰۰	۹	۱۰	۱۱۰	مسئله‌ی ۱۳
۰,۲	۰,۸	۳۸۰۰	۸	۱۰	۱۵۰	مسئله‌ی ۱۴
۰,۳	۰,۷	۴۵۰۰	۱۰	۱۰	۲۵۰	مسئله‌ی ۱۵
۰,۴	۰,۶	۵۰۰۰	۱۰	۱۱	۳۰۰	مسئله‌ی ۱۶
۰,۲	۰,۸	۱۰۰۰۰	۱۱	۱۲	۴۰۰	مسئله‌ی ۱۷
۰,۲	۰,۸	۲۰۰۰۰	۱۲	۱۵	۴۵۰	مسئله‌ی ۱۸
۰,۱	۰,۹	۲۵۰۰۰	۱۲	۱۵	۵۰۰	مسئله‌ی ۱۹
۰,۲	۰,۸	۳۵۰۰۰	۱۳	۱۵	۶۰۰	مسئله‌ی ۲۰
۰,۲	۰,۸	۵۰۰۰۰	۱۸	۱۶	۸۰۰	مسئله‌ی ۲۱
۰,۲	۰,۸	۶۰۰۰۰	۱۸	۱۶	۱۰۰۰	مسئله‌ی ۲۲
۰,۱	۰,۹	۸۰۰۰۰	۱۸	۱۶	۱۰۰۰	مسئله‌ی ۲۳
۰,۲	۰,۸	۱۰۰۰۰۰	۱۶	۱۷	۱۱۰۰	مسئله‌ی ۲۴
۰,۱	۰,۹	۱۳۰۰۰۰	۲۲	۱۹	۱۱۷۰	مسئله‌ی ۲۵
۰,۲	۰,۸	۱۴۰۰۰۰	۲۳	۲۰	۱۱۸۰	مسئله‌ی ۲۶
۰,۱	۰,۹	۱۶۰۰۰۰	۲۴	۲۱	۱۲۱۰	مسئله‌ی ۲۷
۰,۲	۰,۸	۱۸۰۰۰۰	۲۷	۲۲	۱۲۲۰	مسئله‌ی ۲۸
۰,۱	۰,۹	۲۱۰۰۰۰	۳۰	۲۳	۱۲۳۰	مسئله‌ی ۲۹
۰,۳	۰,۷	۲۳۰۰۰۰	۳۲	۲۳	۱۲۴۰	مسئله‌ی ۳۰
۰,۲	۰,۸	۲۶۰۰۰۰	۳۳	۲۲	۱۲۶۰	مسئله‌ی ۳۱
۰,۳	۰,۷	۲۶۰۰۰۰	۳۱	۲۴	۱۲۸۰	مسئله‌ی ۳۲
۰,۱	۰,۹	۲۷۰۰۰۰	۳۱	۲۰	۱۳۰۰	مسئله‌ی ۳۳
۰,۲	۰,۸	۲۸۰۰۰۰	۳۲	۲۲	۱۴۰۰	مسئله‌ی ۳۴
۰,۲	۰,۸	۲۹۰۰۰۰	۳۳	۲۵	۱۴۵۰	مسئله‌ی ۳۵
۰,۱	۰,۹	۳۰۰۰۰۰	۳۵	۲۳	۱۵۰۰	مسئله‌ی ۳۶

جدول ۲: نتایج به دست آمده برای مسائل با ابعاد کوچک

GAMS IDE-Cplex			ICA				GA			
شماره مساله	تابع هدف	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان
۱	۱۰۰۰	۲۵۰۹۸	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۱۱۰۰۲	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۱۰۰۴
۲	۱۷۹۲۰	۲۸۰۶۱	۱۷۹۲۰	۱۷۹۲۰	۰	۱۲۰۳۴	۱۷۹۲۰	۱۷۹۲۰	۰	۱۱۰۱۵
۳	۲۰۱۲۰	۳۳۰۴۳	۲۰۱۲۰	۲۰۱۲۰	۰	۱۳۰۱۰	۲۰۱۲۰	۲۰۱۲۰	۰	۱۲۰۷۰
۴	۳۳۴۷۹	۳۵۰۸۶	۳۳۴۷۹	۳۳۴۷۹	۰	۱۷۰۲۴	۳۳۴۷۹	۳۳۴۷۹	۰	۱۵۰۸۸
۵	۴۰۸۱۵	۴۱۰۳۵	۴۰۸۱۵	۴۰۸۱۵	۰	۱۹۰۳۵	۴۰۸۱۵	۴۰۸۱۶٫۶	۰٫۰۰۳	۱۶۰۲۲
۶	۵۸۷۳۳	۶۸۰۶۷	۵۸۷۳۳	۵۸۷۳۴٫۶	۰٫۰۰۲	۲۳۰۳۳	۵۸۷۳۴	۵۸۷۳۵٫۱	۰٫۰۰۲	۲۱۰۳۹
۷	۸۷۲۹۴	۱۰۰۲۱	۸۷۲۹۴	۸۷۳۰۶٫۳	۰٫۰۰۶	۳۱۰۲۲	۸۷۲۹۴	۸۷۳۲۷	۰٫۰۰۳	۲۸۰۳۸
۸	۱۱۱۲۶۳	۲۰۸۰۵۵	۱۱۱۲۶۳٫۴	۱۱۱۲۷۱٫۱	۰٫۰۰۸	۵۸۰۰۴	۱۱۱۲۶۳٫۸	۱۱۱۲۷۶	۰٫۰۱۰	۵۴۰۲۴
۹	۱۲۰۷۹۶	۲۳۸۰۳۳	۱۲۰۷۹۶	۱۲۰۷۹۷٫۷	۰٫۰۰۱	۵۹۰۴۲	۱۲۰۷۹۶	۱۲۰۷۹۸٫۷	۰٫۰۰۱	۵۷۰۱۲
۱۰	۱۳۷۶۶۰	۳۲۱۰۹۶	۱۳۷۶۶۰	۱۳۸۶۸۳٫۳	۵۹۶۰۰	۷۶۰۱۰	۱۳۷۶۶۱	۱۳۹۶۹۵٫۱	۰٫۹۶۸	۷۰۰۶۲
۱۱	۲۳۵۳۲۳	۳۷۰۰۴۲	۲۳۵۳۲۳٫۹	۲۳۵۴۲۱٫۱	۰٫۰۶۲	۸۹۰۱۲	۲۳۵۳۲۴	۲۳۵۴۲۴٫۸	۰٫۰۶۲	۸۵۰۱۲
۱۲	۳۰۴۹۷۰	۴۲۳۰۰۷	۳۰۴۹۷۰٫۶	۳۰۵۰۱۲٫۲	۰٫۰۱۵	۹۰۰۲۱	۳۰۴۹۷۳٫۱	۳۰۵۰۷۴٫۹	۰٫۰۳۱	۸۸۰۸۳

جدول ۳: نتایج به دست آمده برای مسائل با ابعاد متوسط

GAMS IDE-Cplex			ICA				GA			
شماره مساله	تابع هدف	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان
۱۳	۳۷۴۱۰۴	۶۲۱۰۳۶	۳۷۴۱۰۴	۳۸۱۰۰۸٫۹	۲۰۰۱۲	۱۲۵۰۹	۳۷۴۱۰۴٫۲	۳۸۴۱۰۹٫۱	۲۰۸۲۱	۱۲۴۰۲۳
۱۴	۶۷۹۴۵۸	۶۹۰۰۰۶	۶۷۹۴۵۹٫۱	۶۷۹۵۴۳٫۷	۰٫۰۱۰	۱۳۸۰۱	۶۷۹۴۵۹٫۱	۶۷۹۶۹۹٫۱	۰٫۰۲۵	۱۳۱۰۱۱
۱۵	۷۸۳۷۲۵	۸۷۰۰۳۲	۷۸۳۷۲۵	۷۸۳۸۳۱٫۸	۰٫۰۱۳	۱۶۶۰۶	۷۸۳۷۲۵٫۶	۷۸۳۹۴۰٫۳	۰٫۰۱۹	۱۵۶۰۶
۱۶	۸۸۴۲۶۴	۹۱۲۰۵۵	۸۸۴۲۶۴٫۸	۸۸۹۲۷۰٫۱	۰٫۵۵۹	۱۸۶۰۹	۸۸۴۲۶۵	۸۹۴۲۷۱	۱٫۱۴۲	۱۷۳۰۶
۱۷	۱۵۹۶۸۸۱	۱۰۹۰۰۰۵	۱۵۹۶۸۸۲٫۱	۱۶۰۶۹۱۰٫۱	۰٫۵۵۱	۲۲۱۰۹	۱۵۹۶۸۸۳	۱۶۱۱۱۲۰٫۲	۰٫۹۰۶	۲۰۷۰۱
۱۸	۳۰۶۱۶۶۹	۱۲۵۳۰۵۴	۳۰۶۱۶۶۹	۳۰۶۱۹۰۷٫۸	۰٫۰۰۷	۲۶۷۰۲	۳۰۶۱۶۶۹٫۷	۳۰۶۲۲۹۰	۰٫۰۱۹	۲۵۵۰۴
۱۹	۳۷۰۴۳۱۳	۱۵۳۲۰۰۹	۳۷۰۴۳۱۹۰۵	۳۷۲۱۱۸۹۰۵	۰٫۴۶۲	۲۹۱۰۵	۳۷۰۴۳۲۱٫۳	۳۷۳۱۲۱۳۰۵	۰٫۷۹۷	۲۸۴۰۱
۲۰	۵۱۸۰۳۴۵	۱۶۷۱۰۸۳	۵۱۸۰۳۴۸٫۰	۵۲۱۰۷۶۸۰۵	۰٫۶۱۸	۳۰۸۰۲	۵۱۸۰۳۴۹٫۲	۵۲۶۶۵۳۲۰۷	۱٫۵۴۳	۲۹۴۰۳
۲۱	۷۱۵۳۷۰۰	>۱۸۰۰	۷۱۵۳۷۰۴٫۲	۷۲۰۰۲۳۴٫۲	۰٫۶۷۱	۳۲۴۰۷	۷۱۵۳۷۰۹٫۱	۷۲۱۲۱۰۶٫۷	۰٫۸۲۲	۳۱۲۰۱
۲۲	۸۵۵۵۰۶۳	>۱۸۰۰	۸۵۵۵۰۶۴٫۴	۸۵۷۵۱۰۱٫۲	۰٫۲۳۵	۳۷۵۰۷	۸۵۵۵۰۶۸٫۸	۸۸۰۰۱۰۶٫۸	۲٫۴۸۰	۳۳۳۰۱
۲۳	۱۱۴۸۷۵۹۳	>۱۸۰۰	۱۱۴۸۷۴۹۹٫۱	۱۱۴۸۷۵۹۰۰۸	۰٫۰۰۰۷	۴۱۶۰۱	۱۱۴۸۷۵۰۱٫۳	۱۱۴۸۷۵۹۴٫۸	۰٫۰۰۰۸	۳۹۶۰۸
۲۴	۱۴۲۰۸۷۸۵	>۱۸۰۰	۱۳۳۰۸۷۷۱٫۳	۱۳۳۰۸۷۷۱٫۳	۵۰۲۵۹	۴۳۶۰۸	۱۳۸۰۸۷۸۳٫۱	۱۴۲۰۰۱۹۰۹	۶۰۰۴۵	۴۲۰۰۱

یک نقشه‌ی مجزاست. معیارها عبارت‌اند از: دسترسی به راه‌های اصلی، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از پمپ‌بنزین، فاصله از گسل و شیب منطقه.

مراحل انجام کار در گام اول

مراحل کار در این قسمت پژوهش، به منظور مکان‌یابی مراکز اسکان موقت در شرایط بحران به شرح زیر است:

- تهیه‌ی اطلاعات مکانی و توصیفی (داده‌های اولیه) مورد نیاز

شده‌اند، همچنین تراکم جمعیت هر بلوک و در نهایت، شیب منطقه.

معیارهای مورد نیاز در مکان‌یابی اولیه

برای انجام مکان‌یابی فاکتورهای زیادی را می‌توان مورد بررسی قرار داد و معیارهای مختلفی را تعریف کرد. دسترسی، امنیت، ملاحظات اقتصادی، فرهنگ و سنت مردم ناحیه، فضای سبز، توپوگرافی و زهکشی زمین و بسیاری عوامل دیگر از جمله فاکتورهای مؤثر در انجام یک مکان‌یابی است [۲۴]. در این پژوهش پنج معیار مکانی برای مکان‌یابی اولیه در نظر گرفته شده است. وارد شدن هرکدام از این معیارها در نرم‌افزار، به صورت

جدول ۴: نتایج به دست آمده برای مسائل با ابعاد بزرگ

GAMS IDE-Cplex			ICA				GA			
شماره مسئله	تابع هدف	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان
۲۵	۱۶۹۳۴۴۳۵	>۱۸۰۰	۱۴۱۲۰۱۲۱،۴	۱۵۳۴۰۲۴۶،۷	۸،۶۴۰	۴۵۲،۳	۱۵۰۲۴۱۱۳،۵	۱۶۶۹۲۱۱۳،۴	۱۱،۱۰۲	۴۳۸،۷
۲۶	۱۸۴۳۴۲۹۹	>۱۸۰۰	۱۶۳۶۷۸۶۲،۹	۱۷۵۰۹۵۲۱،۸	۶،۹۷۷	۴۶۰،۳	۱۷۵۹۸۹۸۱،۳	۱۹۳۳۶۹۸۰،۷	۹،۸۷۵	۴۴۱،۲
۲۷	۲۰۰۵۰۴۵۴	>۱۸۰۰	۱۸۹۴۰۰۱۱،۵	۲۰۱۴۰۸۵۰،۶	۶،۳۰۸	۴۶۱،۶	۱۹۱۸۲۱۲۱،۵	۲۰۹۴۵۶۶۸،۹	۹،۱۹۳	۴۴۲،۵
۲۸	۲۴۴۷۶۹۹۰	>۱۸۰۰	۲۱۰۸۱۱۲۳،۳	۲۳۰۷۶۳۲۳،۰	۹،۴۶۴	۴۸۴،۹	۲۳۱۲۳۸۷۶،۹	۲۶۰۸۳۸۷۶،۹	۱۲،۸۰۰	۴۵۰،۱
۲۹	۲۷۲۵۵۸۹۱	>۱۸۰۰	۲۵۵۴۲۲۱۹،۳	۲۸۰۴۷۱۲۹،۱	۹،۸۰۶	۴۹۰،۱	۲۷۳۹۸۳۴۱،۲	۳۰۹۶۲۹۰۰،۵	۱۱،۸۹۱	۴۵۱،۹
۳۰	۲۸۸۹۸۴۴۱	>۱۸۰۰	۲۵۹۸۷۵۱۱،۴	۲۸۱۰۷۶۵۱،۸	۸،۱۵۸	۵۰۳،۲	۲۷۴۱۱۲۱۰،۸	۳۰۷۹۱۲۱۰،۹	۱۲،۰۶۱	۴۸۰،۱
۳۱	۳۲۶۵۲۰۸۱	>۱۸۰۰	۲۶۷۲۱۹۹۹،۳	۳۰۰۱۷۲۸۶،۱	۱۲،۶۳۱	۵۲۵،۹	۲۷۶۱۱۶۱۱،۴	۳۱۶۷۳۹۳۶،۴	۱۵،۵۸۱	۴۹۰،۴
۳۲	۳۳۵۷۷۸۴۰	>۱۸۰۰	۲۶۸۹۷۷۵۳،۸	۳۰۲۸۷۹۶۱،۱	۱۲،۶۰۴	۵۳۰،۸	۲۷۷۸۹۰۵۱،۱	۳۱۹۵۹۶۹۱،۷	۱۵،۳۶۸	۵۱۵،۹
۳۳	۳۵۷۵۵۳۱۴	>۱۸۰۰	۲۷۲۵۵۲۱۵،۶	۳۱۷۵۵۳۱۴،۹	۱۳،۹۷۷	۵۳۹،۴	۲۷۸۹۹۸۱۲،۷	۳۳۲۵۲۳۴۴،۹	۱۵،۸۷۵	۵۲۳،۶
۳۴	۳۶۸۹۹۵۹۹	>۱۸۰۰	۲۸۰۴۱۶۵۲،۹	۳۱۹۳۰۴۴۰،۷	۱۳،۸۶۷	۵۵۰،۴	۲۹۱۸۷۷۰۹،۳	۳۳۵۶۷۱۴۰،۵	۱۵،۰۰۴	۵۳۳،۱
۳۵	۳۷۲۱۱۳۲۱	>۱۸۰۰	۲۸۶۹۹۱۲۱،۱	۳۲۱۰۷۱۵۳،۳	۱۱،۸۷۵	۵۶۹،۲	۲۹۵۱۱۲۰۹،۲	۳۳۸۰۸۷۲۱،۲	۱۴،۵۶۲	۵۳۸،۱
۳۶	۳۸۹۱۹۸۶۹	>۱۸۰۰	۲۹۰۰۱۳۱۴،۱	۳۴۳۵۱۹۵۴،۸	۱۵،۴۶۴	۵۹۶،۸	۲۹۹۱۹۹۲۹،۱	۳۶۳۲۶۷۱۱،۸	۱۷،۲۱۰	۵۵۰،۵
Average of RPD					۱۰،۸۱	Average of RPD				

جدول ۵: اوزان معیارهای انتخاب شده برای مکان‌یابی اولیه

عملکردی ۰/۶۸			طبیعی ۰/۳۲	
فاصله از راه‌های اصلی ۰/۲۵	فاصله از پمپ بنزین ۰/۲۰	فاصله از مراکز درمانی ۰/۲۳	شیب منطقه ۰/۱۵	فاصله از گسل ۰/۱۷

در این مرحله مکان‌های مناسب برای استقرار مشخص شده است. با استفاده از نقشه‌ی منطقه ۳، کاربری محل‌های منتخب به دست آمده و مکان‌های کاندید معرفی می‌گردند و به عنوان ورودی در گام بعد مورد استفاده قرار می‌گیرند. ابتدا داده‌های منطقه به شکل نقشه وارد نرم‌افزار می‌شود. تمام آنالیزهای انجام شده در این قسمت داخل محدوده‌ی منطقه ۳ تهران انجام می‌شود.

محاسبه‌ی وزن معیارها

همان‌طور که در بخش مراحل انجام کار مطرح گردید پس از مشخص شدن معیارهای مکان‌یابی و تهیه‌ی نقشه‌های مربوطه، باید میزان اهمیت هر یک از معیارها در قالب دادن وزنی مشخص به هر کدام به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی انجام گیرد. بر این اساس در این مرحله از پژوهش برای تعیین اوزان معیارها از تکنیک مقایسه‌ی زوجی و نرم‌افزار Expertchoice بهره گرفته شده است. از آن‌جا که این مدل بر پایه‌ی دانش استوار است و بر اساس نظر متخصصان صورت می‌پذیرد [۲۵]، از نظرات کارشناسان شهری و متخصصان حوزه‌ی مدیریت بحران شهری استفاده شده و به منزله‌ی ورودی مدل، در نرم‌افزار وارد شده و اوزان به شرح جدول ۵ استخراج گردید.

۲. ایجاد لایه‌های مربوط به معیارهای انتخاب شده در نرم‌افزار (با توجه به نقشه‌های مرتبط با هر معیار با تهیه‌ی نقشه‌ها از شهرداری منطقه‌ی ۳) شامل:
 - اطلاعات مربوط به کاربری‌های ناسازگار (مکان پمپ‌بنزین و موقعیت نسبت به گسل)
 - اطلاعات مربوط به کاربری‌های سازگار (مکان مراکز درمانی)
 - اطلاعات مربوط به دسترسی (دسترسی به راه‌های اصلی)
 - اطلاعات مربوط به شیب منطقه.
۳. انتقال لایه‌ها در ArcGIS و طبقه‌بندی بر مبنای ضوابط مرتبط با هر لایه با در نظر گرفتن مطلوب‌ترین فاصله و حریم‌های مرتبط بر اساس ضوابط تعیین شده توسط سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران
۴. تهیه‌ی نقشه‌ی فاکتور و طبقه‌بندی مجدد آن‌ها
۵. محاسبه‌ی وزن معیارها با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی (وزن هر فاکتور نشان‌دهنده‌ی میزان اهمیت و ارزش آن نسبت به دیگر فاکتورها در عملیات میدانی مکان‌یابی است).
۶. تلفیق نقشه‌های فاکتور و تعیین مکان‌های مناسب (هدف تلفیق نقشه‌های فاکتور، تعیین مکان‌های مناسب برای استقرار مکان مناسب جهت ایجاد پایگاه‌های اسکان موقت است).

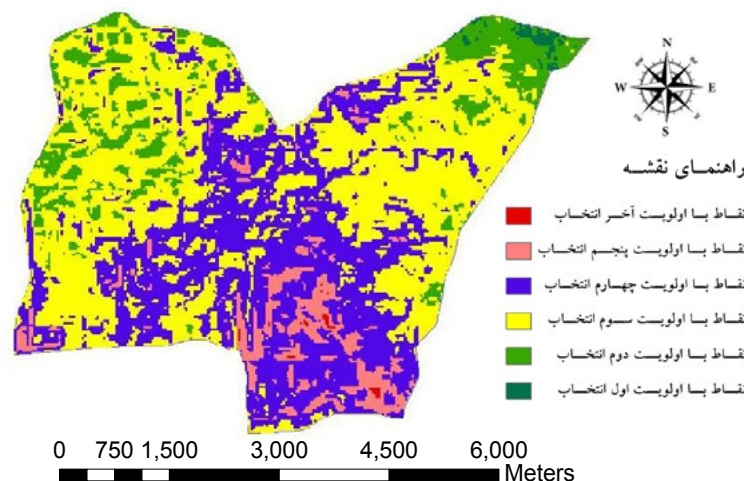
تلفیق نقشه‌ها و تولید نقشه‌ی نهایی

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS و با توجه به وزن‌های استخراج شده در مرحله‌ی قبل، نقشه‌های به‌دست آمده با یکدیگر تلفیق شده و نقشه‌ی نهایی، با ترکیب وزن معیارها در نرم‌افزار تولید می‌شود. همانطور که در تصویر زیر مشاهده می‌شود، لایه‌های تعریف شده (معیارها) انتخاب و در وزن مربوطه ضرب می‌شوند، تک‌تک لایه‌ها با یکدیگر جمع شده و پس از انجام محاسبه، نقشه‌ی نهایی به دست می‌آید.

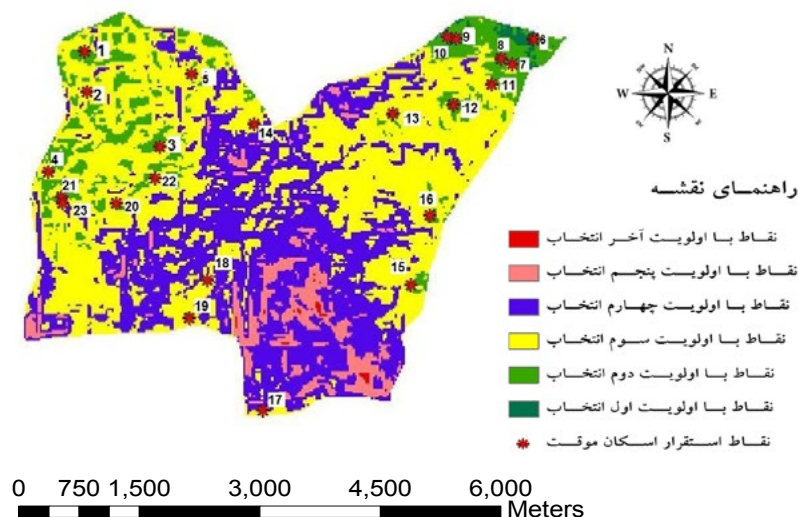
نقشه‌ی نهایی در تصویر ۵ مشاهده می‌شود. در این نقشه، نواحی‌ای که به رنگ سبز هستند، مناسب‌ترین نقاط برای استقرار مراکز اسکان هستند. پس از آن نواحی با رنگ زرد در اولویت بعدی برای استقرار مراکز هستند. نواحی آبی، صورتی و قرمز به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند. مناطق مناسب برای استقرار اماکن اسکان موقت طبق تصویر ۶، علامت‌گذاری شده است. همچنین مراکز درمانی منطقه‌ی مورد مطالعه نیز، روی نقشه علامت‌گذاری شده که نقشه‌ی مربوط به آن در تصویر ۷ مشاهده می‌شود.

با توجه به اطلاعات به دست آمده از نرم‌افزار ARC GIS، و همچنین داده‌های منطقه‌ی ۳ تهران، داده‌های مسئله‌ی مورد نظر به شرح زیر است. همچنین، تعداد بلوک‌های ساختمانی (مبدأ) طبق داده‌ها، ۱۲۴۰ بلوک برآورد شده است. فواصل بین خیابان‌های فرعی یک بلوک در نظر گرفته می‌شود.

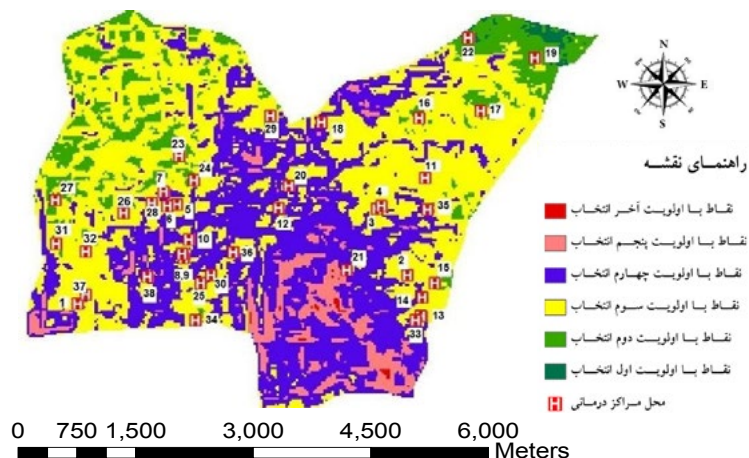
تعداد بلوک‌های ساختمانی: $i=1240$
تعداد مراکز اسکان کاندید: $j=23$
تعداد مراکز درمانی منطقه: $k=38$
کل جمعیت منطقه: $P=237100$
درصد افرادی که باید به مراکز اسکان منتقل شوند: $B=0.9$
درصد افرادی که باید به بیمارستان‌ها منتقل شوند: $A=0.1$
طبق آمار پایگاه‌های مدیریت بحران، پس از وقوع زلزله‌ی اصلی، حدود ۹۰٪ افراد قابلیت انتقال به مراکز اسکان موقت را دارند. و حدود ۱۰٪ باقیمانده دچار جراحات شدید می‌شوند و باید به مراکز درمانی منتقل شوند. همچنین فاصله‌های بین بلوک‌های ساختمانی و مراکز اسکان کاندید و همچنین مراکز درمانی از روش فاصله‌ی اقلیدسی طبق رابطه‌ی ۴ محاسبه شده است:



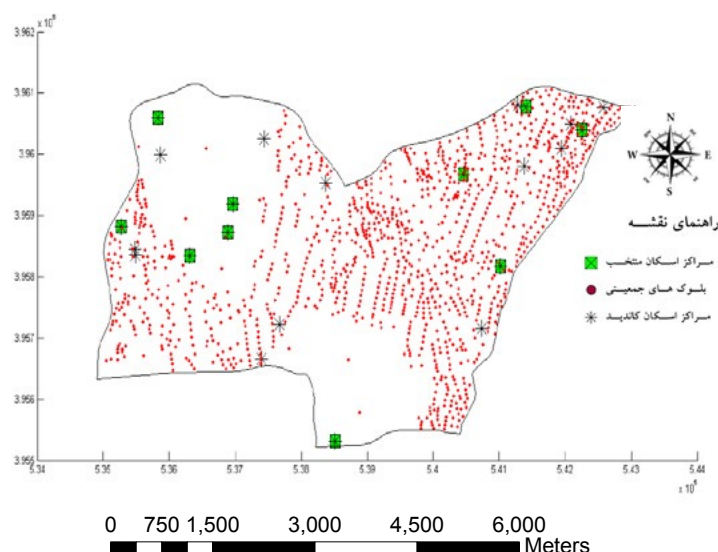
تصویر ۵: نقشه‌ی نهایی



تصویر ۶: مناطق منتخب برای استقرار اماکن اسکان موقت روی نقشه‌ی منطقه



تصویر ۷: مراکز درمانی مشخص شده روی نقشه‌ی منطقه



تصویر ۸: مراکز اسکان منتخب به رنگ سبز

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad \text{رابطه‌ی ۴:}$$

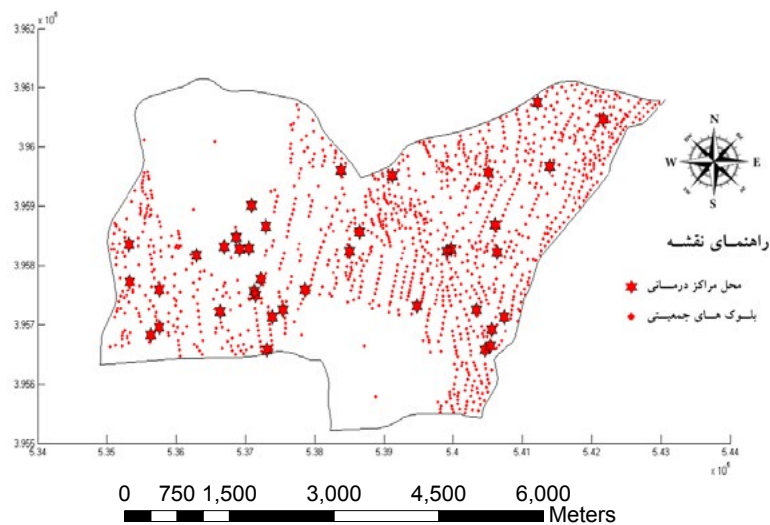
پارامترهای رابطه‌ی ۴، مختصات نقاط مورد نظر روی نقشه هستند که در لایه‌ی مربوطه در نرم‌افزار ARC GIS موجود است. با توجه به اطلاعات موجود، ظرفیت مراکز اسکان و مراکز درمانی در دسترس است. همچنین برای هر فرد به‌طور متوسط بین ۳ تا ۵ متر مربع فضا، برای اسکان اختصاص داده می‌شود. در این پژوهش برای هر فرد ۴ متر مربع فضا در نظر گرفته شده است. این مسئله با الگوریتم رقابت استعماری، حل شده و نتایج به دست آمده در قسمت بعد شرح داده شده است.

تحلیل نتایج

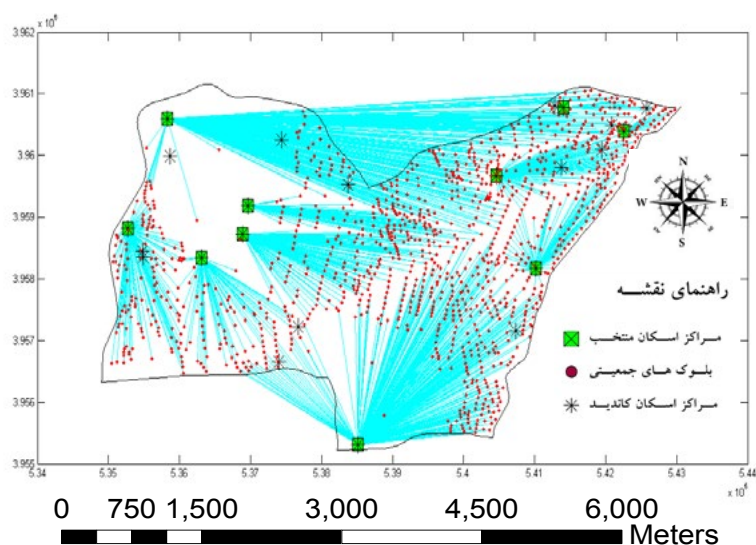
همان‌طور که اشاره شد، مسئله با الگوریتم رقابت استعماری حل شده و مراکز اسکان منتخب، نحوه‌ی تخصیص بلوک‌های ساختمانی به مراکز اسکان و همچنین به مراکز درمانی در تصویرهای زیر نمایش داده شده است. همان‌طور که در تصویر ۸ مشاهده می‌شود، پس از حل مسئله از بین ۲۳ مرکز اسکان کاندید شده، ۱۰ مرکز که به رنگ سبز مشخص شده‌اند برای تخصیص افراد

آسیب‌دیده پس از زلزله انتخاب شده است. تصویر ۹، موقعیت ۳۸ مرکز درمانی منتخب در منطقه‌ی ۳ و بلوک‌های ساختمانی منطقه را در روی نقشه نشان می‌دهد. در تصویر ۱۰، نحوه‌ی تخصیص بلوک‌های ساختمانی به ۱۰ مرکز اسکان منتخب قابل مشاهده است. تخصیص نهایی بلوک‌های ساختمانی به مراکز درمانی نیز در تصویر ۱۱ نشان داده شده است.

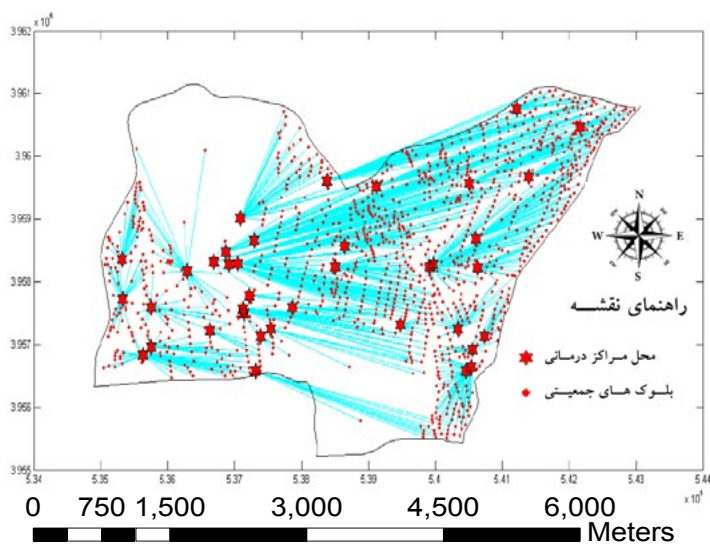
همان‌طور که مشاهده می‌شود، با توجه به کثرت جمعیت در شرق و شمال شرق منطقه‌ی ۳ تهران، نیاز به برپایی مراکز اسکان با ظرفیت پذیرش بالاتر، حس می‌شود. مراکز کاندیدا برای اسکان در قسمت شمال شرقی منطقه همگی دارای ظرفیت پایین برای پذیرش افراد است، و احداث همه‌ی آن‌ها با توجه به حل نهایی الگوریتم، صرفه‌ی اقتصادی ندارد. بنابراین، بلوک‌های باقی مانده‌ی آن منطقه به اجبار مسافت طولانی را برای اسکان طی خواهند نمود، که البته این امر، احتمال خسارات جانی وارده به افراد زلزله‌زده را بالا می‌برد. بنابراین اختصاص فضایی با ظرفیت بالاتر پذیرش افراد، در قسمت شرق و شمال شرقی منطقه، که آمادگی نسبی برای پذیرش افراد پس از وقوع بحران را دارا باشند، توصیه می‌گردد.



تصویر ۹: موقعیت مراکز درمانی و بلوک های ساختمانی منطقه ی ۳



تصویر ۱۰: تخصیص نهایی بلوک های ساختمانی به مراکز اسکان منتخب



تصویر ۱۱: تخصیص نهایی بلوک های ساختمانی به مراکز درمانی

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، مدلی با در نظر گرفتن قید ظرفیت، در شرایط بحران، برای مکان‌یابی و تخصیص افراد به اماکن امن و مراکز درمانی، در ۲۴ ساعت اول پس از وقوع زلزله، طرح شده است. پس از طرح مدل، مسائل تصادفی در اندازه‌های مختلف با داده‌های فرضی، ایجاد شده است. این مسائل با استفاده از نرم‌افزار GAMS و الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری حل شده است. نتایج به دست آمده در این قسمت، نشان می‌دهد، مسائل کوچک‌تر در محیط GAMS و روش‌های فراابتکاری جواب یکسان داده و تابع هدف مسئله به عدد واحدی رسیده است. البته زمان به جواب رسیدن در الگوریتم‌های فراابتکاری کمتر از زمان حل در GAMS است. هر چه مقیاس مسائل ایجاد شده بزرگ‌تر شود، اختلاف بین جواب نهایی تابع هدف و زمان حل، بیشتر می‌شود. جواب نهایی در مسائل با مقیاس بزرگ در الگوریتم‌های فراابتکاری به حالت بهینه نزدیک است. هدف از طرح این مسائل، سنجش اعتبار مدل طرح شده در مقیاس‌های مختلف، و همچنین بررسی نحوه‌ی عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده با توجه به نتایج گرفته شده از حل مدل در نرم‌افزار GAMS است. همچنین در ادامه‌ی این پژوهش، با طرح یک مطالعه‌ی موردی، برای منطقه‌ی ۳ تهران این مسئله در دو گام حل شده است. برای نزدیک‌تر شدن شرایط این مسئله به واقعیت، در گام اول مکان‌های کاندید شده برای اسکان در منطقه‌ی ۳ تهران مشخص شده، و سپس در گام بعد با در نظر گرفتن هدف و محدودیت‌های مدل، بهترین اماکن اسکان و تخصیص بهینه‌ی افراد به اماکن امن و مراکز درمانی منطقه، پس از حل مدل با الگوریتم‌های فراابتکاری، به دست آمده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، زمان همگرایی در الگوریتم ژنتیک پایین‌تر از رقابت استعماری است، اما جواب نهایی در الگوریتم رقابت استعماری به حالت بهینه نزدیک‌تر است.

در قالب پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی می‌توان در این مدل، ترافیک مسیرهای انتقالی را نیز در نظر گرفت و در بخشی از مسئله، مسیریابی نیز گنجانده شود. همچنین می‌توان از الگوریتم‌های دیگری نیز برای حل استفاده کرده و نتایج به دست آمده را تحلیل نمود. همچنین می‌توان ابعاد مطالعه‌ی موردی را بیشتر کرده و با داده‌های چند منطقه از تهران مسئله را حل نمود. در این تحقیق، مسئله‌ی تک هدفه، به وسیله‌ی دو الگوریتم فراابتکاری حل شد. پیشنهاد می‌شود برای تحقیقات آتی، اهداف دیگری تعریف شده و مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص چندهدفه را به وسیله‌ی دو الگوریتم حل نمود و جواب‌های به دست آمده را با هم مقایسه کرد. همچنین با توجه به زمان بهینه‌ی همگرایی در الگوریتم ژنتیک و جواب نهایی بهینه‌ی به دست آمده در الگوریتم رقابت استعماری، می‌توان از الگوریتم ترکیبی برای حل این مسئله استفاده نمود.

پی‌نوشت

1. Weber
2. Sevkli and Guner
3. Toregas

4. The Location Set Covering Problem (LSCP)
5. Maximal Covering Location Problem (MCLP)
6. Bianchi
7. Badri
8. Wang
9. Mestre
10. Boonmee
11. Geographic Information System (GIS)
12. Imperialist Competitive Algorithm (ICA)
13. Country
14. Imperialist
15. Assimilation
16. Revolution
17. Imperialistic Competition
18. Revolution
19. Survival of the fittest

منابع

۱. حسینی، مازیار (۱۳۸۷). مدیریت بحران. موسسه‌ی نشر شهر، ایران.
2. Wassenhove L.N.V. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *The Journal of the Operational Research Society*, 475- 489.
۳. قاسمی، پیمان؛ ابراهیمی، مهدی (۱۳۹۵). توسعه‌ی مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت مکانیابی- تخصیص در مسئله‌ی لجستیک امداد بحران، سومین همایش ملی پژوهش‌های مهندسی صنایع، تهران، گروه پژوهشی بوعلی.
4. Sheu J.B. (2007). Challenges of emergency logistics management, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 655- 659.
5. Boonmee, C., Arimura, M., Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, In Press.
۶. فیلی، حمیدرضا؛ ضمیری آذر، کتابیون؛ باقری روزبهرانی، گلاره (۱۳۸۹). مکان‌یابی مراکز امداد رسانی و نحوه‌ی تخصیص مصدومین به این مراکز در زمان وقوع زلزله، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، ایران.
۷. آقامحمدی، حسین؛ مسگری، محمد سعدی؛ مولایی، دامن؛ کریمی، وحید (۱۳۹۱). توسعه‌ی یک روش ابتکاری برای بهینه‌سازی مسئله مکانیابی و تخصیص در عملیات امداد رسانی به مصدومان زلزله. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، شماره‌ی ۶، ۵۷-۷۶.
8. Lindeskov, C. K. (2002). Ambulance Allocation Using GIS. *Informatik or Matematisk Modellering*, Danmarks Tekniske Universitet.
9. Farahani, R. Z., Hekmatfar, M. (2009). Facility location: concepts, models, algorithms and case studies, Physica-Verlag HD, Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
10. Sevkli, M., Guner, A. (2006). A continuous particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem, *Ant colony optimization and swarm intelligence*, 316-323.

۲۴. تهرانی، ژ؛ درستیان، آ؛ خانی، ر؛ منظمی تهرانی، غ؛ هداوند، ر (۱۳۹۳). اهمیت پایگاه‌های اسکان موقت در مدیریت بحران و مکان‌یابی آن‌ها به منظور کاهش آسیب‌پذیری، دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری، تهران، ایران.

25. Saaty, T.L., (1980). *The Analytical Hierarchy Process, Planning Priority, Resource Allocation*. RWS Publication, USA, p 20-33.

11. Liu, N., Huang, B., Chandramouli, M., (2006). Optimal sitting of fire stations using GIS and ANT algorithm. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 361-369.
12. Caunhye, A. M., Nie. X., Pokharel, S. (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review, *Socio-Economic Planning Sciences*, 4-13.
13. Church, R.L., Gerrard R.A., (2003). The multi-level location set covering model. *Geographical Analysis*, 277-289.
14. Badri, A.M., Mortaghy, A.K., Alsayed, C.A., (1998). A multi-objective model for location fire station. *European Journal of Operational Research*, 243-260.
15. Rahman, S.U., Smith, D.K., (2000). Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations. *European Journal of Operational Research*, 437-452.
16. Wang, Q., Batta, R., Rump, C.M., (2002). Algorithms for a facility location problem with stochastic customer demand and immobile servers. *Annals of operations research*, 17-34.
17. Dekle, J., Lavieri, M. S., Martin, E., Emir-Farinas, H., Francis, R., (2005). A Florida County Locates Disaster Recovery Centers. *Interfaces*, 133-139.
18. Mestre A.M., Oliveira M.D, Brbosa-Povoa A.P., (2014). Location-allocation approaches for hospital network planning under uncertainty. *European journal of operational research*, 791-806.
19. McCormack R., Graham C, (2015). A Simulation model to enable the optimization of ambulance fleet allocation and base station location for increased patient survival. *European journal of operational research*.
20. Li, X., & Yeh, A. G. O. (2005). Integration of genetic algorithms and GIS for optimal location search. *International Journal of Geographical Information Science*, 581-601.
۲۱. آتش‌پز گرگری، اسماعیل (۱۳۸۷). توسعه‌ی الگوریتم بهینه‌سازی اجتماعی و بررسی کارایی آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تهران.
22. Atashpaz-Gargari, E., Lucas, C., (2007). Imperialist competitive algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. *Evolutionary Computation*, 5461-4667
23. Tseng, L.Y. and Yang, S., (1997). Genetic algorithms for clustering, feature selection and Classification, IEEE Int. Conference on Neural Networks, P.1612-1616.

۲۰

شماره پانزدهم
بهار و تابستان
۱۳۹۸
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



ژانله و حل آن به‌وسیله‌ی الگوریتم‌های فراابتکاری
مدل‌سازی مکان‌یابی و تخصیص در شرایط بحران

برآورد تعیینی خطر لرزه‌ای شهر بردسیر در استان کرمان با استفاده از سیستم فازی

محدثه غفاری: دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران
فتانه تقی‌زاده فرهمند*: دانشیار، گروه فیزیک، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران، f.farahmand@qom-iau.ac.ir
طیب جمالی: پژوهشگر و محقق پسادکتری، گروه فیزیک، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

هدف از تحلیل خطر زمین‌لرزه، پیش‌بینی میزان دامنه‌ی جنبش‌های قوی زمین در یک ساختگاه مشخص است و تحلیل خطر لرزه‌ای برای کاهش مخاطرات زمین‌لرزه در نواحی لرزه‌خیز الزامی است. برآورد خطر لرزه‌ای مانند دیگر تحقیقات زلزله‌شناسی با عدم قطعیت‌ها همراه است که از منطق فازی، بنا شده بر اساس عدم قطعیت، می‌توان استفاده کرد. گستره‌ی جغرافیایی مورد مطالعه چارچوب استان کرمان در محدوده‌ی ۲۶/۵ تا ۳۲ درجه‌ی عرض شمالی و ۵۴/۵ تا ۵۹/۵ درجه‌ی طول شرقی است که یکی از مناطق لرزه‌خیز است که از گذشته تا کنون زمین‌لرزه‌های مخربی را تجربه کرده است. در این مطالعه شهر بردسیر به عنوان ساختگاه انتخاب شد. از ۲۷ چشمه‌ی بالقوه‌ی زمین‌لرزه در گستره‌ی مورد مطالعه استفاده شده است. در این پژوهش برآورد خطر لرزه‌ای ابتدا به صورت تعیینی مرسوم صورت گرفت و سپس برآورد خطر لرزه‌ای تعیینی با استفاده از منطق فازی انجام شد. با توجه به نتایج به دست آمده به روش تعیینی مرسوم، تغییرات بیشینه شتاب افقی بین $g/0.07$ تا $g/0.41$ است در حالی که نتایج حاصل از برآورد خطر لرزه‌ای تعیینی با استفاده از منطق فازی نشان دادند که تغییرات بیشینه شتاب افقی بین $g/0.01$ تا $g/0.54$ است. مقایسه‌ی دو روش به کار گرفته شده نشان داد که بیشینه شتاب افقی حاصل از برآورد خطر تعیینی $g/0.54$ است که حاصل از چشمه‌ی شماره‌ی ۱۴ با بزرگای $7/0$ با سازوکار گسلش معکوس در فاصله‌ی $28/5$ کیلومتری از ساختگاه (شهر بردسیر) است. نتایج نشان می‌دهد که در بیشتر مناطق استان سطح نسبی خطر زلزله بیش از $g/0.30$ است.

واژه‌های کلیدی: خطر لرزه‌ای، برآورد تعیینی، سیستم فازی، کرمان

Evaluation of Deterministic seismic hazard in Bardsir city in Kerman province by using fuzzy system

Mohadeseh Ghafari¹, Fataneh Taghizadeh-Farahmand^{2*}, Tayeb Jamali³

Abstract

The Iranian plateau is part of the Alpine-Himalayan orogenic belt. The region in this study includes the area located between 54.5° - 59.5° longitude and 26.5° - 32° latitude. This region is among the seismologically active regions in the Middle-East, and has experienced many destructive earthquakes. Seismic hazard assessment like many other issues in seismology is a complicated problem, which is due to the variety of parameters affecting the occurrence of an earthquake. Uncertainty, which is a result of vagueness and incompleteness of the data, should be considered in a rational way. The fuzzy method in this study makes it possible to allow uncertainties to be considered in this study. In this study, using fuzzy inference system, as the practice is based on uncertainty estimation of seismic hazard for the Bardsir region in Kerman province, is done. Using the results of the seismic hazard assessment to improve building design and construction is an effective way to reduce the seismic risk. Peak ground Acceleration values estimated to be for conventional deterministic method $0.41g$ and $0.54g$ application fuzzy logic system in the deterministic method, respectively.

Keywords: Seismic hazard, Deterministic, Fuzzy System, Kerman

1. MSc. Student of Geophysics, Department of Physics, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran

2. Associate Professor, Department of Physics, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran, f.farahmand@Qom-iau.ac.ir

3. PostDoctoral Associate, School of Physics, Institute for Research in Fundamental Sciences (IPM), Tehran, Iran

مقدمه

بشر در طول زمان با بلایای طبیعی متعددی مواجه بوده است که پدیده‌ی زلزله یکی از زیان‌بارترین آن‌ها است و ماهیتی بسیار پیچیده دارد. یکی از راه‌های مقابله با تکان‌های زمین ناشی از رخداد زمین‌لرزه‌ها مقاوم‌سازی ساختمان‌ها متناسب با نتایج حاصل از برآورد خطر لرزه‌ای در هر منطقه است. تحلیل‌های انجام شده بر زمین‌لرزه‌ها با پارامترهای مختلفی انجام می‌شود که اغلب شناخت کاملی نسبت به آن‌ها وجود ندارد و همراه با عدم قطعیت‌های زیادی هستند. در برآورد خطر لرزه‌ای نیز با عدم قطعیت پارامترهای لرزه‌خیزی مواجه هستیم، لذا ابزار منطق فازی به عنوان تحلیل ریاضیاتی که براساس عدم قطعیت بنا شده می‌تواند بسیاری از مشکلات پیش‌رو را کاهش دهد [۱]. در این مطالعه با استفاده از سیستم‌های فازی روشی را ارائه می‌کنیم به طوری که بتوان پارامترهای لرزه‌خیزی را در برآورد خطر لرزه‌ای با قطعیت بهتری مورد استفاده قرار داد. منطق فازی را می‌توان برای مدل‌سازی عدم قطعیت ناشی از ضعف دانش و ابزار بشری و یا نبود صراحت و فقدان شفافیت مربوط به یک پدیده استفاده نمود. استفاده از منطق فازی در برآورد خطر زمین‌لرزه این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان عدم قطعیت‌ها را در مسئله لحاظ کرد [۲]. روش سیستم فازی در موضوعات مختلف زلزله‌شناسی استفاده می‌شود. از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده از سیستم فازی برای طبقه‌بندی خسارات ناشی از زلزله [۳]، ارائه‌ی روشی برای محاسبه‌ی خطرپذیری فازی زلزله برای ارزیابی شدت در ساختگاه و تلفات شهری [۴]، مدل استنتاج فازی برای برآورد خطر زلزله [۵]، استفاده از منطق فازی روی بزرگای زمین‌لرزه برای تعیین رابطه‌ی بازگشت زمین‌لرزه [۶] و پیش‌بینی خطر زمین‌لرزه [۷] اشاره نمود. همچنین اخیراً مطالعاتی در خصوص ارائه‌ی یک مدل برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی [۸]، بهبود کنترل ارتعاشات لرزه‌ای بناهای کوچک [۹] و طبقه‌بندی خسارات لرزه‌ای در ساختمان‌ها [۱۰] انجام شده است. کشور ایران که بر روی کمربند لرزه‌خیز آلپ - هیمالیا واقع شده است، یکی از مناطق زلزله‌خیز جهان به‌شمار می‌رود که به کرات متحمل خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیر زمین‌لرزه شده است. در چنین شرایطی است که انجام تحقیقات وسیع علمی و پژوهشی بر روی زلزله در نواحی مختلف کشور اهمیت فراوانی می‌یابد. استان کرمان یکی از پهناورترین استان‌های کشور است که خطر زلزله در آن به دلیل وجود گسل‌های متعدد مسبب زمین‌لرزه بالا است و خاطره‌ی تلخ زمین‌لرزه‌ی سال ۱۳۸۲ در شهر بم که موجب نابودی بنای تاریخی عظیم ارگ بم شد (بیش از ۲۵۰۰۰ نفر کشته و حدود ۵۰ هزار نفر مجروح و صدها هزار نفر بی‌خانمان، به نقل از <http://www.iiess.ac.ir>) هنوز در یادها زنده است، لذا برآورد خطر لرزه‌ای در مناطق مختلف این استان به روش‌های متعدد مفید خواهد بود. هدف از این پژوهش ارزیابی تعیین خطر لرزه‌ای در شهر بردسیر با استفاده از سیستم استنتاج فازی است. محاسبات احتمالاتی در این روش وجود نداشته و با توجه به قابل درک بودن آن توسط کاربران مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش با

به‌کارگیری سیستم استنتاج فازی و به کمک نرم‌افزار متلب برآورد خطر لرزه‌ای به صورت تعیینی انجام می‌گیرد. سیستم استنتاج فازی در این مطالعه دارای پارامترهای ورودی بزرگای زمین‌لرزه، فاصله‌ی چشمه از ساختگاه و نوع گسل است و پارامتر خروجی آن بیشینه شتاب افقی زمین (Peak Ground Acceleration, PGA) است. نتیجه‌ی مطالعه‌ی انجام شده تعیین بیشینه شتاب افقی زمین (PGA) ناشی از رخداد حادثه‌ای با بزرگی بیشینه در اثر جنبش گسلی در فاصله‌ای از ساختگاه است.

لرزه‌زمین ساخت منطقه‌ی کرمان

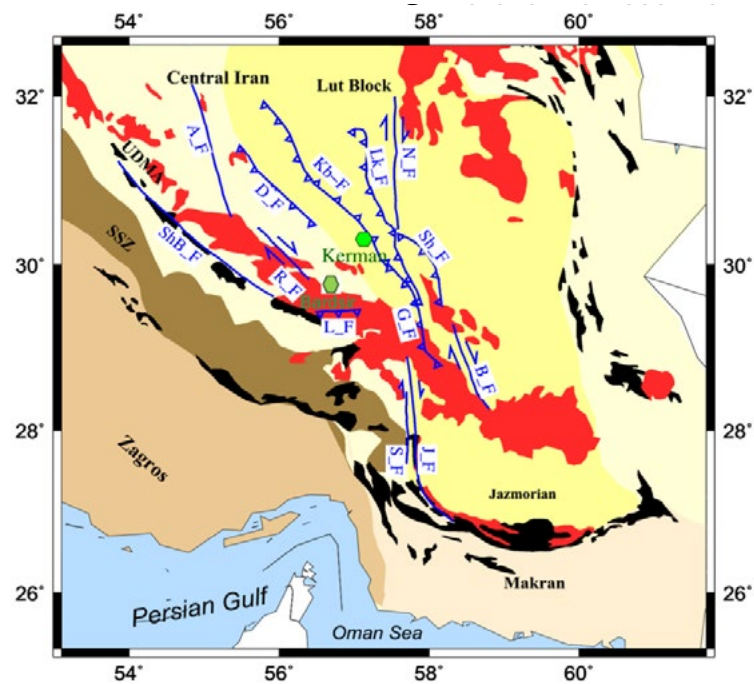
گستره‌ی مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی ۲۶/۵ تا ۳۲ درجه‌ی عرض شمالی و ۵۴/۵ تا ۵۹/۵ درجه طول شرقی قرار گرفته است (تصویر ۱). از دیدگاه تقسیم‌بندی ایالت لرزه‌زمین‌ساختی در ایران [۱۱] بخش اعظم استان کرمان در ایران مرکزی و بخش جنوبی در شمال ایالت مکران و جنوب غرب استان، بخشی از ایالت زاگرس به حساب می‌آید.

گسل‌های متعددی در استان کرمان واقع است که مسبب زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی متعدد بوده‌اند. طبق مطالعات و تقسیم‌بندی‌های آقانیاتی [۱۲]، روندهای ساختاری کنونی این منطقه را گسل‌های آن مشخص می‌نماید. گسل‌های ناحیه‌ی کرمان، بیشتر دارای روندی شمال غربی - جنوب شرقی و تا حدی شمالی - جنوبی است و گسل‌های طولی را تشکیل می‌دهد که در نهایت به سمت غرب خمیدگی دارد. حرکت این گسل‌ها از نوع امتداد لغز راستگرد و معکوس است که در تصویر ۱ نقشه‌ی گسل‌های مهم منطقه نشان داده شده است. استان کرمان عموماً منطقه‌ای لرزه‌خیز است و در طول تاریخ بارها زمین‌لرزه‌های شدید و مخربی را تجربه نموده است.

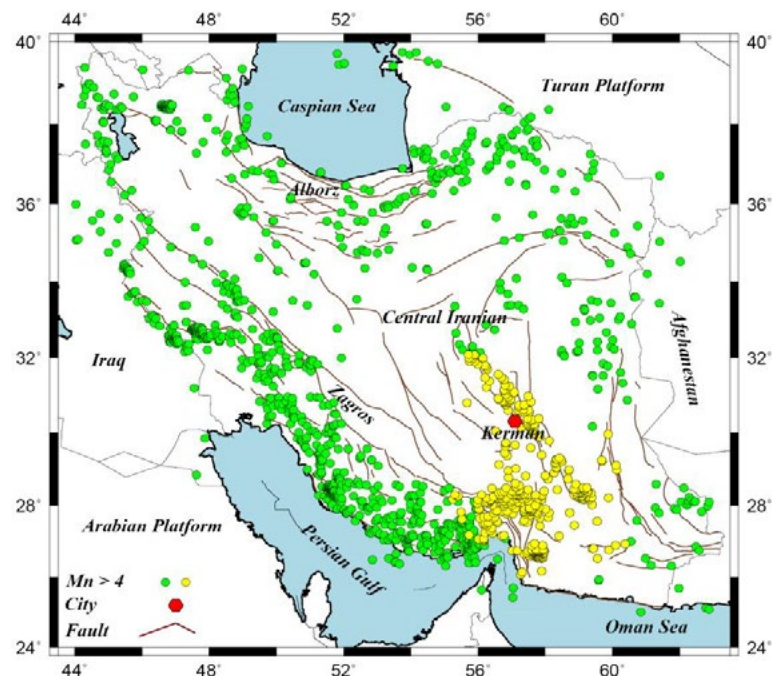
در تصویر ۲ لرزه‌خیزی منطقه‌ی کرمان برای زلزله‌های با بزرگای بیش از ۴ در مقیاس ناتلی توسط دوایر تو پر زرد رنگ در مقایسه با دیگر مناطق ایران که با دوایر تو پر سبز رنگ نشان داده شده است، قابل ملاحظه است. از جمله زلزله‌های مهم استان کرمان می‌توان به زمین‌لرزه‌ی ۲۸ دی ۱۲۴۲ چترود (۱۷/۱/۱۸۶۴ میلادی) با بزرگای $M_s=6$ ، زمین‌لرزه‌ی سال ۱۹۱۱ میلادی در راور با بزرگای $M_s=6/2$ ، زلزله‌ی ۶ مرداد ۱۳۶۰ سیرج با بزرگای ۷/۱ ریشتر و زمین‌لرزه‌ی ۵ دی ۱۳۸۲ بم با بزرگای ۶/۵ ریشتر اشاره نمود [۱۳]. از این‌رو تخمین خطر زلزله در استان کرمان حیاتی است.

در تصویر ۱ گسل جیرفت: J_F، گسل بم: B_F، گسل نایبند: N_F، گسل شهداد: Sh_F، گسل سبزواران: S_F، گسل گوک: G_F، گسل لک‌کوه: Lk_F، گسل کوه‌بنان: Kb_F، گسل داروان: D_F، گسل انار: A_F، گسل رفسنجان: R_F، گسل لاله‌زار: L_F، گسل شهر بابک: ShB_F [۱۴].

در تصویر ۲ نقشه‌ی لرزه‌خیزی در چارچوب استان کرمان در مقایسه با نقاط دیگر در ایران از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ میلادی ثبت شده توسط شبکه‌های لرزه‌نگاری وابسته به مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران نشان داده شده است. لرزه‌خیزی منطقه‌ی کرمان



تصویر ۱: موقعیت جغرافیایی و نقشه‌ی گسل‌های مهم در چارچوب استان کرمان



تصویر ۲: نقشه‌ی لرزه‌خیزی در چارچوب استان کرمان

بحران و شبیه‌سازی آن، نرخ‌های بیمه‌ای و ... است [۱۵]. به عقیده‌ی گرین و هال [۱۶] هدف اصلی ارزیابی خطر لرزه‌ای، برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین (بیشینه‌ی جابه‌جایی زمین، بیشینه‌ی سرعت زمین و بیشینه‌ی شتاب زمین و ...) است. به منظور ارزیابی خطر لرزه‌ای سه روش وجود دارد. روش آماری -تجربی که روشی ساده و اولیه برای برآورد خطر لرزه‌ای در هر منطقه است که بدون استفاده از مدارک زمین‌شناسی و زمین‌ساختی در هر منطقه تنها براساس آمار زمین‌لرزه‌های رخ داده صورت می‌گیرد، روش تعیینی که در آن شتاب حاصل از زمین‌لرزه

با دوایر توپر زرد رنگ و دیگر مناطق ایران با دوایر توپر سبز رنگ نشان داده شده است.

روش مطالعه و داده

-ارزیابی تعیینی خطر لرزه‌ای

برآورد خطر لرزه‌ای یکی از مطالعات پایه‌ای برای پژوهش‌های بعدی در بخش‌های سازه‌ای، ژئوتکنیک، مدیریتی، اقتصادی کلان و ... است. هدف از تحلیل خطر زمین‌لرزه، به دست آوردن معیاری برای طراحی سازه‌ها، برنامه‌ریزی برای مدیریت

ایجاد شده در هر یک از چشمه‌های لرزه‌زا در ساختمان مورد نظر تعیین شده و بزرگ‌ترین آن‌ها به عنوان شتاب طراحی ارائه می‌شود و در نهایت روش احتمالاتی که در آن احتمال وقوع بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌ی قابل رخداد تعیین می‌گردد.

در این پژوهش به منظور ارزیابی خطر لرزه‌ای شهر بردسیر واقع در استان کرمان به‌منزله‌ی ساختمان در نظر گرفته شد و برای تحلیل خطر لرزه‌ای از روش تعینی یا قطعی (Deterministic Seismic Hazard, DSH) استفاده شده است.

مراحل تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی به شرح زیر است:

۱. مشخص نمودن چشمه‌های لرزه‌ای؛
۲. تعیین بیشینه‌ی زمین‌لرزه (M_{max}) و فاصله‌ی ساختمان تا چشمه‌ی لرزه‌ای (R)، برای تمامی چشمه‌ها؛
۳. انتخاب رابطه‌ی کاهندگی مناسب؛
۴. محاسبه‌ی بیشینه شتاب افقی زمین (PGA).

- تعیین چشمه‌های بالقوه‌ی زمین‌لرزه

برای تعیین چشمه‌های بالقوه‌ی لرزه‌ای نیاز به اطلاعات مختلفی مانند اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی و همچنین داده‌های زمین‌لرزه است. چشمه‌های لرزه‌ای را به سه صورت نقطه‌ای، خطی و پهنه‌ای مدل می‌کنند که با توجه به اطلاعات مورد نیاز و قطعیت استفاده از اطلاعات، مدل پهنه‌ای مناسب‌ترین مدل است. تعداد ۲۳۲ چشمه‌ی لرزه‌ای توسط میرزایی و همکاران [۱۱] در ایران تعریف شده است که در مطالعات اخیر موسوی -بفروبی و همکاران [۱۷] به ۲۳۸ چشمه بهبود و توسعه یافته است. در میان ۲۳۸ چشمه تعریف شده برای ایران از ۲۷ چشمه‌ی لرزه‌ای پهنه‌ای واقع در چارچوب منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده شده است که در تصویر ۳ نمایش داده شده‌اند.

- تعیین بیشینه‌ی بزرگ M_{max} و R برای هر چشمه

در تعیین بیشینه‌ی زمین‌لرزه یک چشمه‌ی بالقوه‌ی زمین‌لرزه استنباط پژوهشگر و قضاوت علمی نقش قابل ملاحظه‌ای خواهد

داشت. در شرایطی که چشمه‌ی زمین‌لرزه‌ای دارای تاریخچه‌ی زلزله‌خیزی مستندی باشد، از آن به‌منزله‌ی راهنمایی ارزشمند برای تخمین بیشینه‌ی زمین‌لرزه استفاده می‌شود [۱۶]. بیشینه‌ی زمین‌لرزه برای هر چشمه توسط فرد خبره تعیین می‌شود. مقادیر استفاده شده برای M_{max} مطابق مطالعات موسوی بفروبی و همکاران [۱۷] برای هر چشمه در نظر گرفته شد که در جدول ۱ آورده شده است.

به کمک کدنویسی در متلب (Matlab) کوتاه‌ترین فاصله‌ی هر چشمه تا ساختمان (شهر بردسیر) برحسب کیلومتر محاسبه گردید. مقادیر به دست آمده برحسب کیلومتر در جدول ۱ تنظیم شده است.

تصویر ۳ چشمه‌های بالقوه‌ی زمین‌لرزه در چارچوب استان کرمان را نشان می‌دهد. شماره‌ی هر چشمه و مقدار M_{max} مربوطه روی هر چشمه مشخص است. ستاره‌ی سیاه رنگ نشانگر شهر بردسیر به‌منزله‌ی ساختمان است.

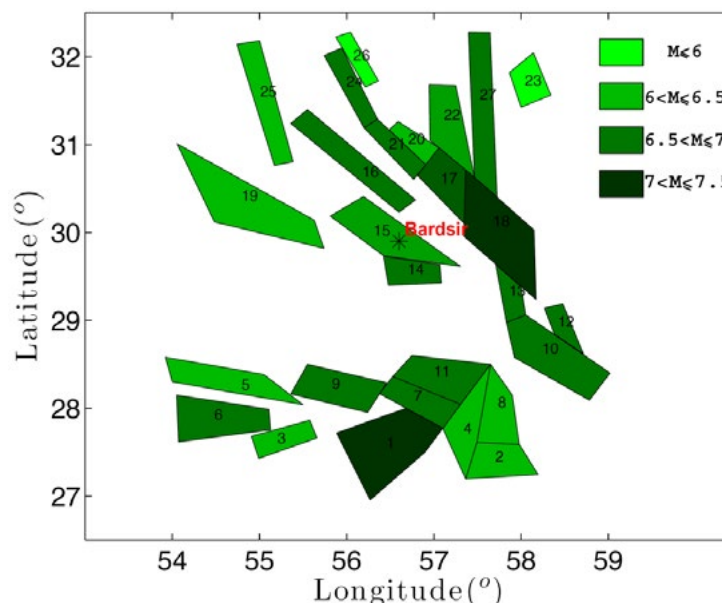
- انتخاب رابطه‌ی کاهندگی

رابطه‌ی کاهندگی تابعی است که خواص زلزله و پارامترهای زلزله مانند بزرگا، فاصله‌ی ساختمان تا چشمه، نوع گسل و ... را به هم مربوط می‌سازد و در هر منطقه با توجه به تکنیک و ساختار پوسته رابطه‌ی کاهندگی خاصی صادق است [۱۶]. انتخاب رابطه‌ی کاهندگی تأثیر بسیار زیادی در نتایج برآورد خطر لرزه‌ای خواهد داشت. در این مطالعه از رابطه‌ی کاهندگی آمبرسیز و همکاران [۱۸] مطابق رابطه‌ی ۱ برای برآورد خطر لرزه‌ای استفاده شد:

رابطه‌ی ۱:

$$\begin{aligned} \log Y = & [a_1 + a_2 M_{Max} + (a_3 + a_4 M_{Max}) \log \sqrt{R^2 + a_5^2} \\ & + a_6 S_s + a_7 S_a + a_8 F_N + a_9 F_T + a_{10} F_O] \end{aligned}$$

این رابطه دارای پارامترهای بیشینه‌ی بزرگی زمین‌لرزه، فاصله، نوع سازوکار گسلش، نوع خاک و ... است. SS معرف خاک



تصویر ۳: چشمه‌های بالقوه‌ی زمین‌لرزه در استان کرمان

نرم است و برای خاک نرم برابر واحد و برای خاک‌های دیگر برابر صفر است و S_a معرف خاک سخت است و برای خاک سخت برابر واحد و برای خاک‌های دیگر برابر صفر است. F_N معرف گسلش نرمال است و مقدار آن برای این نوع گسلش برابر واحد و برای گسلش‌های دیگر برابر صفر است، F_T معرف گسلش معکوس است و مقدار آن برای این نوع گسلش برابر واحد و برای گسلش‌های دیگر برابر صفر است و F_O معرف ترکیبی است و مقدار آن برای این نوع گسلش برابر واحد و برای گسلش‌های دیگر برابر صفر است.

پارامتر نوع گسلش، در رابطه کاهندگی برای مقادیر F_N ، F_T و F_O باتوجه به مطالعات انجام شده روی گسل‌های ایران [۱۴] در نظر گرفته شده‌اند. در این رابطه کاهندگی مقادیر ضرایب a_1 تا a_{10} برابرند با:

$$a_1 = 2.522, a_2 = -0.142, a_3 = -3.184, a_4 = 0.314, a_5 = 7.6, \\ a_6 = 0.137, a_7 = 0.050, a_8 = -0.084, a_9 = 0.062, a_{10} = -0.044$$

- محاسبه‌ی پیشینه‌ی شتاب افقی زمین (PGA)

زمین لرزه با پیشینه‌ی شتاب افقی به عنوان زمین لرزه‌ی مبنای طرح مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار PGA برای هرچشمه با استفاده از رابطه‌ی کاهندگی و مقادیر M_{max} و کوتاه‌ترین فاصله‌ی ساختگاه تا چشمه، R تعیین می‌شود و بیشترین مقدار PGA به منزله‌ی خروجی برآورد خطر معرفی می‌گردد. نتایج به دست آمده برای هر چشمه در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد پیشینه‌ی شتاب افقی در ارزیابی قطعی خطر لرزه‌ای $0.41g$ است که حاصل از چشمه‌ی شماره‌ی ۱۸ با بزرگای $7/5$ در فاصله‌ی $85/9$ کیلومتری از بردسیر است.

- سیستم منطق فازی

توانایی منطق فازی در کار با عدم قطعیت‌ها باعث برتری این تئوری در مدل کردن پدیده‌های طبیعی مانند زمین لرزه شده است. استفاده از روش فازی توسط محققان در مباحث مختلف زلزله‌شناسی متداول است. عدم قطعیت که ناشی از ناکامل بودن داده‌های مرتبط است، لزوم استفاده از روش‌های مناسب را در بررسی خطر زمین لرزه اجتناب‌ناپذیر می‌کند. شکی نیست که هر کدام از گام‌های برآورد خطر زمین لرزه با عدم قطعیت‌هایی روبه‌رو است. به عبارت دیگر، ذات مسئله به گونه‌ای است که نمی‌توان یک عدد را به یک متغیر نسبت داد. استفاده از روش فازی در این مبحث این امکان را فراهم می‌نماید که بتوان این عدم قطعیت‌ها را در مسئله لحاظ نمود [۱۹]. از آنجا که برآورد خطر زمین لرزه، پایه و اساس تمام برنامه‌ریزی‌های مهندسی و اقتصادی است، لذا استفاده از سیستم استنتاج فازی که بتواند با دقت مناسبی برآورد خطر را انجام داده و نتایج قابل اعتمادی ارائه نماید، می‌تواند بسیاری از مشکلات پیش‌روی برنامه‌ریزان اقتصادی، بیمه‌ای و ... را کاهش دهد که مسلماً مدل استنتاج فازی، با سرعت و انعطاف‌پذیری بالا چنین نتیجه‌ای را خواهد داشت [۵].

استفاده از روش فازی توسط محققان در مباحث مختلف زلزله‌شناسی متداول است، از جمله مفاهیم پیش‌بینی خطر

زمین لرزه [۷]، کمی کردن برآورد خطر زمین لرزه متغیر با زمان [۲۰]، همچنین ارائه‌ی روشی برای محاسبه‌ی خطرپذیری فازی زلزله برای ارزیابی شدت در ساختگاه و تلفات شهری [۴]. اخیراً آناکساگورسا و همکاران [۱۰] یک سیستم فازی را برای طبقه‌بندی خسارات ناشی از زمین لرزه ارائه کرده‌اند که سیستم پیشنهاد شده روی یک سازه‌ی بتنی و مستحکم هجده طبقه مورد آزمایش قرار گرفته است. همچنین می‌توان به برآورد ریسک زلزله و بهسازی لرزه‌ای با استفاده از سیستم استنتاج فازی [۱]، اشاره نمود. در این مطالعه روشی برای برآورد ریسک و ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای سازه‌ها، براساس سیستم‌های استنتاج گر فازی ارائه شده است. در مطالعات بوستان و همکاران [۸] یک مدل برآورد خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی ارائه کرده‌اند.

با توجه به کاستی‌هایی که روش تعیینی تحلیل خطر زلزله در ارتباط با مدل‌سازی برخی عدم قطعیت‌ها دارد، به کارگیری روش دیگری برای مدل‌سازی این دسته از عدم قطعیت‌ها لازم به نظر می‌رسد. تئوری منطق فازی یکی از روش‌هایی است که به کمک آن می‌توان این کمبودها را جبران کرد. به طور کلی برای استخراج خروجی در منطق فازی مراحل زیر صورت می‌گیرد:

- تعیین مجموعه قوانین فازی توسط فرد خبره؛
- فازی کردن پارامترهای ورودی به کمک توابع عضویت (در این مطالعه مطابق با گستره‌ی پارامترهای ورودی و خروجی و نظر فرد خبره از تابع عضویت زنگوله‌ای استفاده شد)؛
- تجمیع خروجی‌ها
- نافازی‌سازی توزیع خروجی (از نافازی‌سازی مرکز سطح استفاده شد).

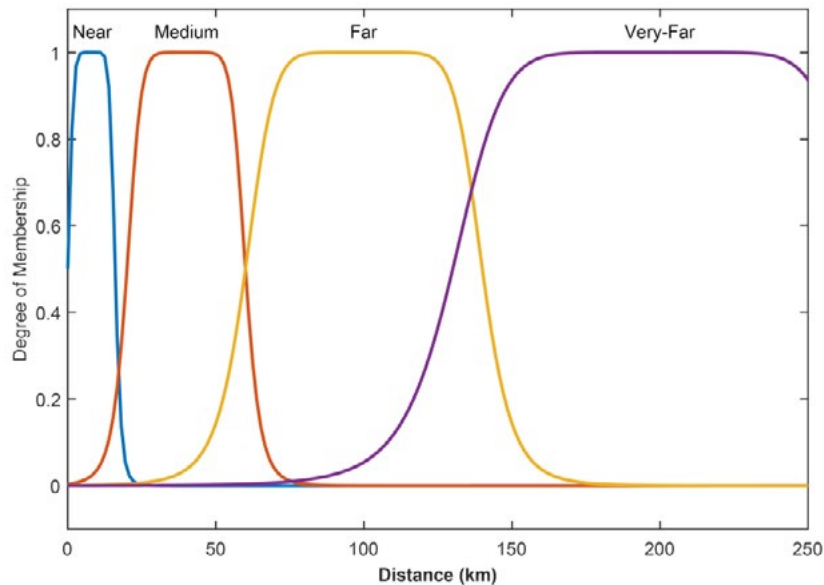
به منظور برآورد خطر زمین لرزه به روش تعیینی با به کارگیری منطق فازی از شش مرحله‌ی زیر استفاده شده است:

۱. تعیین چشمه‌های بالقوه‌ی لرزه‌ای (گسله‌ی Y)؛
۲. برآورد بزرگ‌ترین زمین لرزه‌ی قابل انتظار در چشمه‌ی لرزه‌ای (M_{max}) و فاصله‌ی چشمه تا ساختگاه (R)؛
۳. تعیین متغیرهای زبانی برای موتور استنتاج فازی؛
۴. طراحی توابع عضویت برای ورودی‌ها و خروجی‌ها؛
۵. طراحی قوانین پایگاه قوانین؛
۶. انجام مکانیسم استنتاج فازی در متلب (Matlab) و برآورد خطر زمین لرزه به روش فازی.

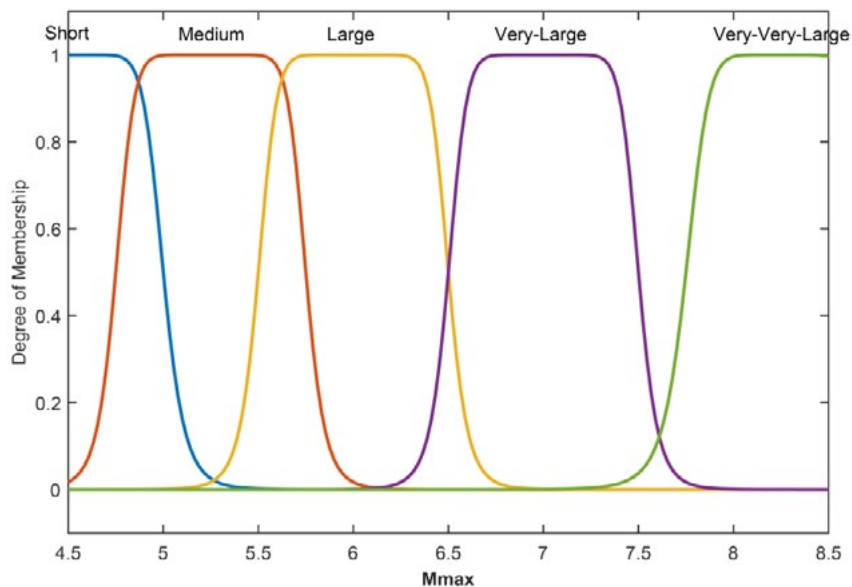
که مرحله‌ی ۱ و ۲ مانند محاسبه‌ی برآورد خطر لرزه‌ای به روش تعیینی مرسوم که در بخش‌های قبل بیان شد، تعیین می‌شود.

- متغیرهای زبانی

در متغیرهای زبانی پارامترهای ورودی و خروجی برای تشکیل موتور استنتاج فازی مشخص می‌شوند. سه پارامتر ورودی شامل پیشینه بزرگ M_{max} ، کوتاه‌ترین فاصله‌ی ساختگاه تا چشمه‌ی R و نوع گسلش، S و پیشینه‌ی شتاب افقی زمین PGA به منزله‌ی پارامتر خروجی استفاده شد.



تصویر ۴: توابع عضویت فاصله‌ی ساختگاه تا چشمه



تصویر ۵: توابع عضویت Mmax

- پارامترهای ورودی

برای پارامتر ورودی، فاصله از ساختگاه (R)، مقادیر بین صفر تا ۲۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شد. از ۴ تابع عضویت زنگوله‌ای با مقادیر نزدیک، متوسط، دور و خیلی دور استفاده شد. در تصویر ۴ نمایی از توابع عضویت فاصله از ساختگاه نشان داده شده است. برای پارامتر ورودی، M_{max} ، مقادیر بین ۴/۵ تا ۸/۵ در نظر گرفته شد. از ۵ تابع عضویت زنگوله‌ای با مقادیر کم، متوسط، بزرگ، خیلی بزرگ و خیلی خیلی بزرگ استفاده شد. در تصویر ۵ نمایی از توابع عضویت M_{max} نشان داده شده است. سه نوع گسلش اصلی (نرمال، معکوس و ترکیبی) وجود دارد. برای پارامتر ورودی نوع گسلش S ، سه مقدار در نظر گرفته شد. از

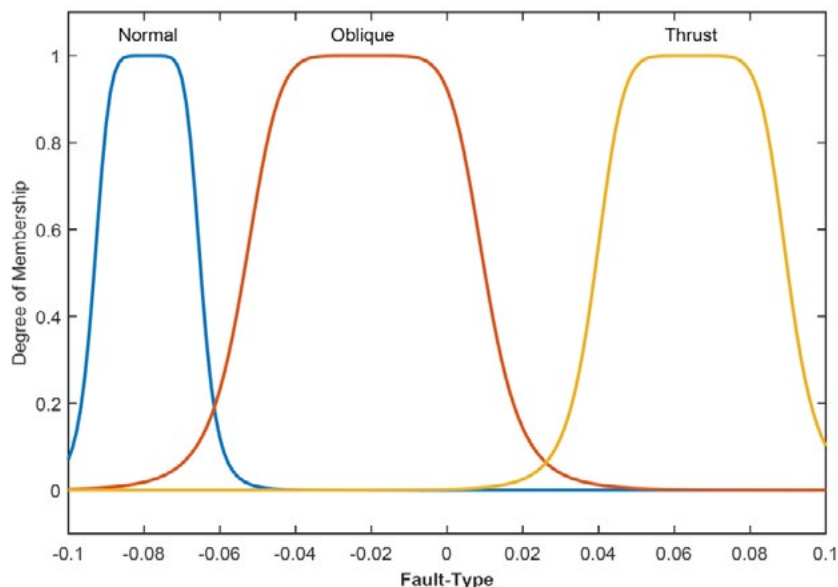
۳ تابع عضویت زنگوله‌ای در گستره‌ی گسلش نرمال، معکوس و ترکیبی استفاده شد (تصویر ۶).

- پارامتر خروجی

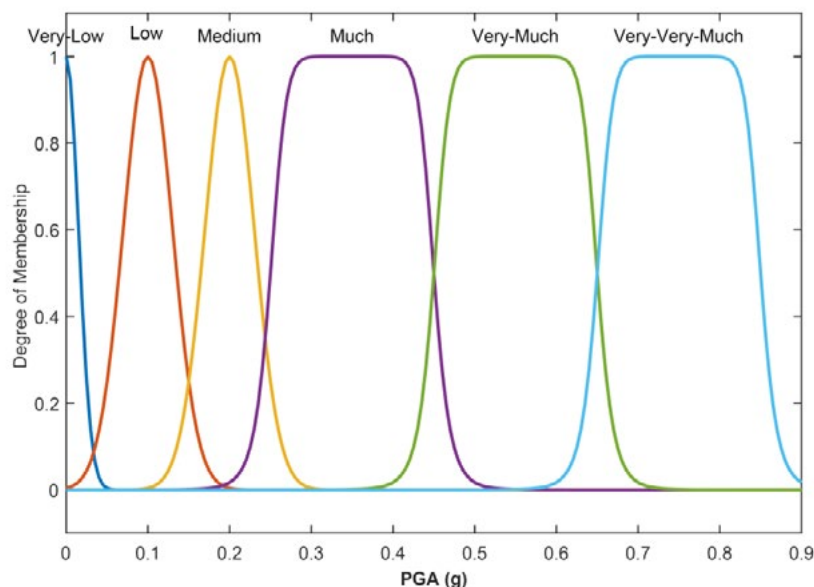
برای تک خروجی سیستم که پارامتر بیشینه شتاب افقی زمین (PGA) است، مقادیر صفر تا $g \times 0.9$ (برابر شتاب گرانش زمین معادل 9.8 m/s^2 است) در نظر گرفته شده است. از ۶ تابع عضویت زنگوله‌ای با مقادیر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد و خیلی خیلی زیاد استفاده شده است. در تصویر ۷ نمایی از توابع عضویت بیشینه شتاب افقی زمین نشان داده شده است.

- طراحی قوانین استنتاج فازی

سیستم‌های استنتاج فازی (Fuzzy Inference Systems, FIS)، سیستم‌های مبتنی بر دانش یا قواعد هستند. هسته‌ی یک



تصویر ۶: توابع عضویت نوع گسلش S



تصویر ۷: توابع عضویت بیشینه شتاب افقی زمین (PGA)

برای ایجاد یک سیستم استنتاج فازی از رابط گرافیکی جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار متلب و از سیستم استنتاج فازی ممدانی [۲۲] استفاده شد. ورودی فرایند غیرفازی سازی، یک مجموعه ی فازی است (حاصل عملیات تجمیع) و خروجی آن، یک عدد است. در این مطالعه از غیرفازی ساز مرکز سطح استفاده شد.

پس از محاسبه ی پارامترهای برآورد خطر به روش تعیینی به سیستم استنتاج فازی متصل گردیدند و با استفاده از سیستم فازی بیشینه شتاب افقی مربوط به هر چشمه به دست آمد. در نهایت از بین بیشترین شتاب به دست آمده برای هر چشمه، بیشینه شتاب بین چشمه ها به عنوان شتاب ساختگاه در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از برآورد خطر تعیینی با استفاده از سیستم استنتاج فازی در جدول ۱ آورده شده است.

سیستم فازی یک پایگاه دانش است که از قواعد اگر - آنگاه فازی تشکیل شده است [۲۱]. مطابق با پارامترهای ورودی و خروجی ۶۰ قانون تعریف شد. برای نمونه، چند مورد از قوانینی که مورد استفاده قرار گرفته است در زیر آورده شده است:

- اگر «فاصله نزدیک» و «بیشینه زمین لرزه کم» باشد آنگاه «شتاب کم» خواهد بود.
- اگر «فاصله متوسط» و «بیشینه زمین لرزه زیاد» باشد آنگاه «شتاب متوسط» خواهد بود.
- اگر «فاصله دور» و «بیشینه زمین لرزه خیلی زیاد» باشد آنگاه «شتاب زیاد» خواهد بود.
- اگر «فاصله خیلی دور» و «بیشینه زمین لرزه خیلی خیلی زیاد» باشد آنگاه «شتاب خیلی خیلی زیاد» خواهد بود.

جدول ۱: شماره‌ی چشمه‌ی لرزه‌ای، مقدار پارامترهای ورودی (M_{max} و R برحسب کیلومتر) و پارامتر خروجی (PGA (g))

Source Number	R (Km)	M_{max}	Fault-type	PGA (g) as DSH	PGA (g) as FIS
1	215.6	7.5	0.062	0.32	0.38
2	250.0	6.5	-0.044	0.11	0.16
3	249.5	6.5	0.062	0.12	0.27
4	199.8	6.5	0.062	0.13	0.27
5	239.6	6.5	0.062	0.13	0.27
6	250.5	7.0	0.062	0.19	0.35
7	175.3	7.0	0.062	0.22	0.35
8	199.8	6.5	-0.044	0.12	0.16
9	182.6	7.0	0.062	0.21	0.35
10	176.3	7.0	-0.044	0.19	0.20
11	150.1	7.0	0.062	0.23	0.35
12	208.3	7.0	-0.044	0.18	0.20
13	130.8	7.0	-0.044	0.21	0.20
14	28.5	7.0	0.062	0.41	0.54
15	21.4	6.7	0.062	0.36	0.53
16	32.4	7.0	0.062	0.38	0.53
17	74.4	7.2	0.062	0.33	0.35
18	85.9	7.5	0.062	0.41	0.38
19	93.1	6.5	-0.084	0.15	0.08
20	99.6	6.5	0.062	0.17	0.30
21	76.9	7.0	0.062	0.28	0.35
22	122.6	6.7	0.062	0.19	0.34
23	228.6	6.0	-0.044	0.07	0.01
24	144.8	7.0	0.062	0.23	0.35
25	162.7	6.5	-0.084	0.12	0.08
26	194.3	6.0	0.062	0.09	0.10
27	125.5	7.0	-0.044	0.22	0.20

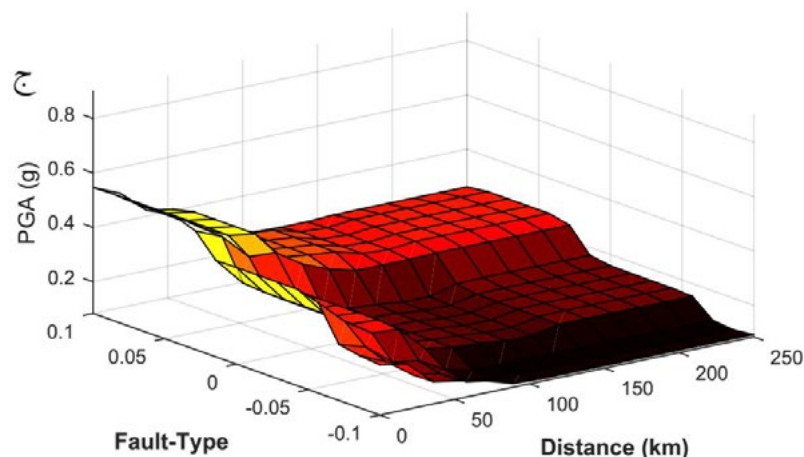
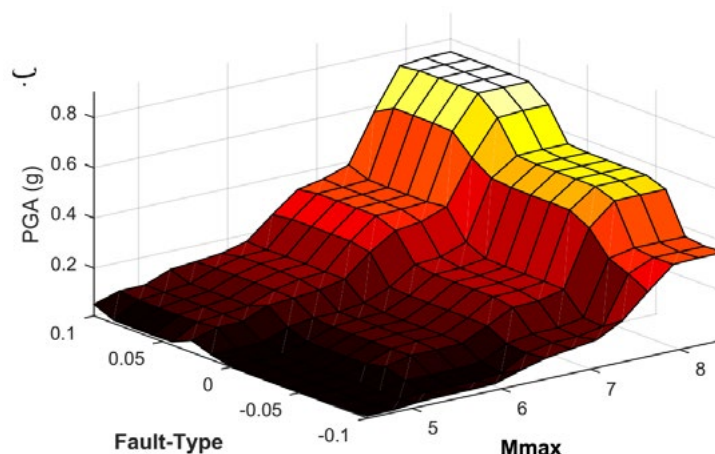
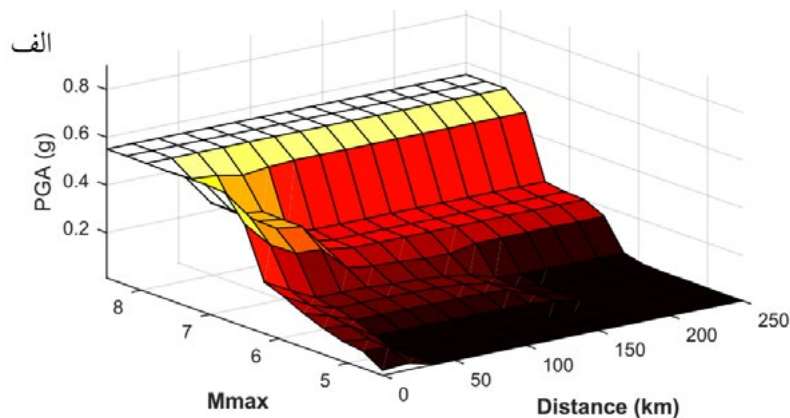
بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از رابطه‌ی کاهندگی آمبرسیز و همکاران [۱۸]، بیشینه‌ی بزرگا و کوتاه‌ترین فاصله‌ی هر چشمه تا ساختگاه بردسیر برآورد تعینی خطر لرزه‌ای در استان کرمان صورت گرفت. همچنین به کمک پارامترهای ورودی (بزرگا و فاصله‌ی ساختگاه تا هر چشمه و نوع گسلش) و پارامتر خروجی (بیشینه شتاب افقی)، به کمک استنتاج فازی ممدانی [۲۲]، برآورد تعینی خطر لرزه‌ای صورت گرفت.

رفتار پارامترهای ورودی و پارامتر خروجی نسبت به یکدیگر در نمودار سه بعدی تصویر ۸ نشان داده شده است. در تصویر ۸،

الف و ب و ج محورهای افقی نمایش بزرگا و فاصله‌ی ساختگاه از چشمه و نوع گسل است و در تمام نمودارها محور قائم بیشینه‌ی شتاب افقی زمین (پارامتر خروجی) است. تغییرات پارامترها نسبت به هم با آنچه قابل انتظار است هم‌خوانی دارد. محورهای افقی بیانگر الف. M_{max} و فاصله‌ی چشمه تا ساختگاه: ب. M_{max} و نوع گسلش و ج. نوع گسلش و فاصله‌ی چشمه تا ساختگاه هستند. در تمامی اشکال محور قائم نمایش PGA است.

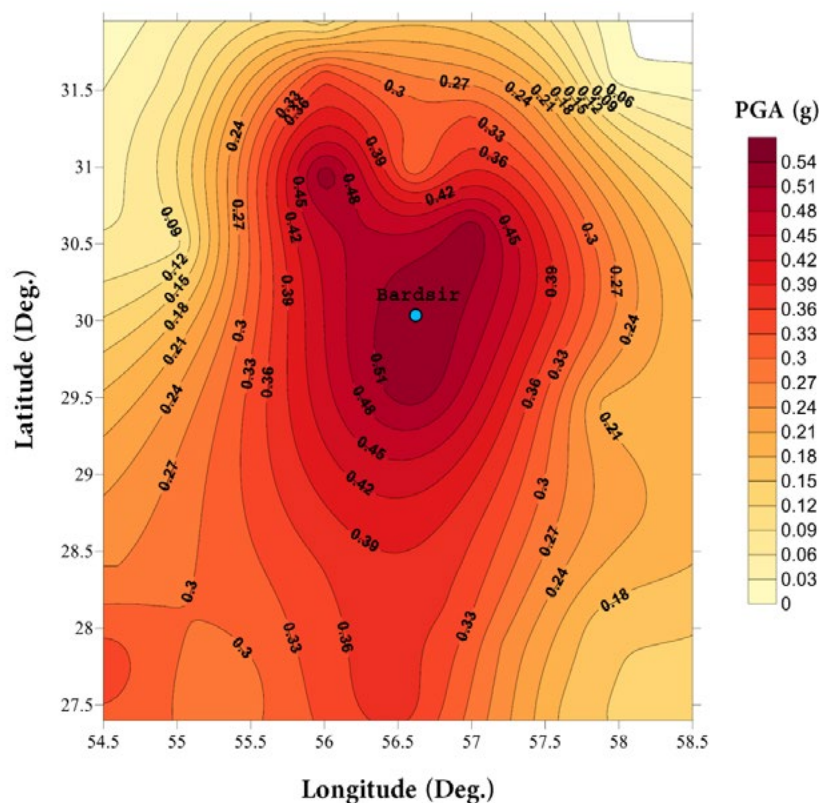
مطابق با نتایج به دست آمده از برآورد تعینی خطر لرزه‌ای در شهر بردسیر به کمک منطق فازی، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر



تصویر ۸: سطوح سه بعدی سیستم ورودی خروجی سیستم های فازی

است. همچنین مطابق تصویر ۹ بخش های زیادی از منطقه ای مورد مطالعه در خطر بالای $0.30g$ قرار دارند. مطابق با نقشه ی پهنه بندی خطر لرزه ای در ایران، محدوده ی مورد مطالعه در منطقه ی خطر لرزه ای بالا و نسبتاً بالا واقع شده است [۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶]، نتایج به دست آمده در این مطالعه هم خوانی خوبی با نقشه ی خطر لرزه ای در ایران را نشان می دهد. همچنین زارع [۲۷] نقشه ی پهنه بندی خطر لرزه ای در ایران را بر پایه ی چشمه های جدید لرزه ای، توپوگرافی، داده های شدت مغناطیسی و کاتالوگ زمین لرزه ها ارائه نمود که نتایج مطالعه ی

زمین لرزه به روش تعیینی با استفاده از منطق فازی ترسیم گردید (تصویر ۹). در این تصویر میزان خطر در شهر بردسیر به صورت پربندهای هم شتاب نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد تغییرات بیشینه شتاب افقی زمین در شهر بردسیر حاصل از فعالیت چشمه های بالقوه ی زمین لرزه در چارچوب منطقه ی مورد مطالعه در بازه ی $0.01g$ تا $0.54g$ قرار دارد که بیشینه شتاب افقی در ارزیابی تعیینی خطر لرزه ای $0.54g$ است که حاصل از چشمه ی شماره ی ۱۴ با بزرگای $7/0$ و سازوکار گسلش معکوس در فاصله ی $28/5$ کیلومتری از ساختگاه بردسیر



تصویر ۹: نقشه پربندهای هم‌شتاب در شهر بردسیر براساس راهکار برآورد خطر لرزه‌ای به روش تعینی با استفاده از منطق فازی (دایره‌ی آبی رنگ شهر بردسیر است.)

جنش نیرومند زمین در شهر کرمان و مناطق اطراف را تهیه کردند و نشان دادند که خطر گسیختگی دامنه‌ای ناشی از زمین‌لرزه در محدوده‌ی شهر کرمان کم و بیش منتفی است، اما خطر ایجاد روان‌گرایی در محدوده‌ی کوچکی از مرکز شهر مطرح است. در عین حال، به علت بالا بودن ستبرای رسوبات سست جوان در زیر شهر که با افزایش دوره‌ی تناوب چیره امواج میکروتروموری تأیید می‌شود و نیز به علت ریزدانه و سست بودن این رسوبات، خطر تشدید جنبش زمین (به‌ویژه در محدود ای از جنوب و مرکز تا باختر شهر) مطرح است که در اثر آن شدت زمین‌لرزه تا به $X+MMI$ هم خواهد رسید.

قدرتی امیری و همکاران [۳۰] مطالعه‌ای تحت عنوان تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه‌ی طیف خطر یکسان برای مناطق مختلف شهر کرمان انجام داده‌اند. نتیجه‌ی مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که PGA با احتمال رویداد ۱۰٪ در ۵۰ سال در شهر کرمان $0.27g$ تا $0.285g$ متغیر است. همچنین نشان دادند که PGA با احتمال رویداد ۲٪ در ۵۰ سال در شهر کرمان از $0.51g$ تا $0.57g$ متغیر است. مطالعات انجام شده در توافق خوبی با مطالعه‌ی حاضر است که نشان می‌دهد استان کرمان در پهنه‌ی خطر لرزه‌ای نسبتاً بالا و بالا واقع است.

در روش تعینی چشمه‌ها به‌صورت مجزا در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین زمانی که بیشینه‌ی شتاب یک چشمه به‌عنوان شتاب ساختمانی در نظر گرفته شد دیگر شتاب سایر چشمه‌ها در برآورد خطر در نظر گرفته نمی‌شوند. سیستم فازی پیشنهادی با توجه به اینکه عدم قطعیت‌ها را برای پارامترها در نظر می‌گیرد،

وی نشان می‌دهد بیشینه شتاب افقی در چارچوب استان کرمان بیش از $0.3g$ تا حدود $0.53g$ است. مطالعه‌ی انجام شده در این پژوهش نتایج ارائه شده توسط وی را تأیید می‌کند.

در مطالعات اخیر [۱۷] پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در ایران و برآورد مقادیر بیشینه شتاب برای مراکز استان‌ها صورت گرفته است. آن‌ها بیشینه شتاب در استان کرمان را بین $0.4-0.6g$ تخمین زده‌اند که مطالعه‌ی حاضر نتایج آن‌ها را تأیید می‌کند.

مطالعه‌های موردی متعدد از برآورد خطر لرزه‌ای نیز در شهر کرمان با روش‌های مختلف صورت گرفته است. در ۱۳۸۵، ریزپهنه‌بندی درجه‌ی ۲ و ارزیابی اثرات زلزله بر شهر کرمان با استفاده از GIS ارائه گردید [۲۸] و پژوهشگران نشان دادند که میزان خطر در بخش‌های مرکزی، باختری و همچنین بخش‌هایی از جنوب شهر به شدت افزایش می‌یابد که سازه‌های موجود در این بخش‌ها در اثر زلزله‌ی احتمالی به شدت ویران خواهند شد. مرکز مطالعات مدیریت بحران شهرداری کرمان در ۱۳۸۷ با استفاده از نرم‌افزار کارمانیا خطر و به کمک اطلاعات مربوط به ضخامت رسوبات، امواج میکروتروموری، جنس خاک و عمق آب زیرزمینی را برای ارزیابی و مدیریت خطر زلزله نقشه‌ی خطر زلزله‌ی شهر کرمان تهیه کرده‌اند. نتیجه‌ی مطالعات نشان می‌دهد میزان خطر لرزه‌ای در بخش‌های مرکزی، غربی و جنوب به شدت افزایش می‌یابد.

حسن‌زاده و همکاران [۲۹] تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای شهر کرمان را با تأکید بر کاربرد GIS در ریزپهنه‌بندی مقدماتی درجه‌ی ۲ انجام دادند. آن‌ها از تلفیق نقشه‌های دوره چیره میکروترومور و نوع رسوبات در سیستم GIS نقشه‌ی ریزپهنه‌بندی میزان تشدید

10. Anaxagoras N.N., Douglas J., Sarma S.K., Smit P.M. (2005). Equations for estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration, *Earthquake Engineering*, 1-53.
11. Mirzaei N., Gao M., and Chen Y. T. (1998). Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces, *J. Earthq. Pred. Res.*, 7, 465-495.
۱۲. آقاباتی س. ع. (۱۳۸۳). *زمین شناسی ایران*. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ایران.
۱۳. زارع م.؛ جوان دولویی غ. (۱۳۸۳). گزارش فوری و مقدماتی زمین لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ شرق - جنوب شرق زرد کرمان (حتکن-داهوئی)، پژوهشکده زلزله شناسی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
۱۴. حسامی خ.؛ جمالی، ف.؛ طبسی، ه. (۱۳۸۲). نقشه ی گسل های فعال ایران، پژوهشگاه بین المللی زلزله و مهندسی زلزله، گروه لرزه زمین ساخت، پژوهشکده زلزله شناسی. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
۱۵. وجودی م.؛ زارع م. (۱۳۸۵). مدل استنتاج فازی برای برآورد خطر زلزله، دومین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی، تهران.
16. Green A., Hell J., (1994). In An Overview of Selected Seismic Hazard Analysis Methodologies, Civil Engineering studies, *Structural Research Series*, P:592.
۱۷. موسوی بفرویی ح.؛ میرزائی ن.؛ شعبانی ا.؛ اسکندری قادری م. (۱۳۹۳). پهنه بندی خطر زمین لرزه در ایران و برآورد مقادیر بیشینه شتاب برای مراکز استان ها. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۴۰، ۳۸-۱۵.
18. Ambraseys N. N., Douglas J., Sarma S. K., Smit P. M., 2005, Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration, *Bull. Earthq. Eng.*, 3, 1-53.
۱۹. بوستان ا.؛ میرزائی ن.؛ اسکندری قادری م.، شفیعی ع. (۱۳۹۱). پهنه بندی زمین لرزه ای گستره تهران و نواحی مجاور با استفاده از مجموعه های فازی، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۸ (۲)، ۲۹-۴۴.
20. Deyi F., Ichikawa M. (1989). Quantitative estimation of time-variable earthquake hazard by using fuzzy set theory. *Tectonophysics*, 169, 175-196.
۲۱. تشنه لب م.؛ صفاریورن.؛ افیونی د. (۱۳۹۳). سیستم های فازی و کنترل فازی. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
22. Ross T. (2010). Fuzzy logic with Engineering applications, *University of New Mexico, USA*, 607 p.
23. Building research center housing, (2008). Regulations designed buildings against standard earthquake.
24. Tavakoli B., Ghafory-Ashtiany M. (1999). Seismic hazard assessment of Iran. *J Annali Di Geofisica*, 42,

دقیق تر است و اینکه در سیستم استنتاج فازی محاسبات ریاضی برآورد خطر کمتر شده و سیستم فازی باعث ساده سازی فرایند برآورد خطر می شود.

به علاوه انعطاف پذیری سیستم استنتاج فازی براساس دانش فرد خبره برای حل مسائل پیچیده ای چون برآورد خطر لرزه ای و ساده سازی پردازش تحلیل خطر تعیینی با در نظر گرفتن عدم قطعیت ها، با بهبود قطعیت می تواند به زلزله شناسان کمک کند. لذا نتایج ما از اعتبار خوبی برخوردار است و سیستم فازی طراحی شده با قوانین فرد خبره یک رفتار صحیح برای برآورد خطر زمین لرزه را دارا است.

سپاس گذاری

برخود لازم می دانیم که از آقای دکتر نوربخش میرزایی عضو هیئت علمی مؤسسه ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران و همچنین دکتر موسوی بفرویی برای در اختیار قرار دادن مشخصات چشمه های لرزه ای قدردانی به عمل آوریم.

منابع

۱. قدرتی امیری، غ.؛ اثمیری سعدآباد، س.؛ زارع حسین زاده، ع. (۱۳۹۲). تحلیل ریسک زلزله با استفاده از سیستم استنتاج گر فازی و کاربرد آن در مطالعات به سازی لرزه ای ساختمان های موجود. *مجله علمی-پژوهشی عمران مدرس*، ۱۳ (۳)، ۷۱-۸۴.
۲. بوستان، ا.؛ شفیعی، ع. (۱۳۹۰). برآورد خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی. فازی برای منطقه ی تهران. *فصلنامه ی زمین*، ۶ (۲۰)، ۴۵-۵۲.
3. Lamarre M., Dong W. (1986). Evaluation of seismic hazard with fuzzy algorithm, In: *3rd U.S. national Conference on earthquake engineering*, Charleston, South Carolina, 221-231.
4. Chongfu, H. (1996). Fuzzy risk assessment of urban natural hazards. *Fuzzy Sets and Systems*, 83, 271-282.
۵. وجودی م.؛ زارع م.؛ نورزاد ا. (۱۳۸۵). مدل استنتاج فازی برای تحلیل خطر زلزله، دومین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی، تهران.
6. Chen D., Dong W., Shah H.C. (1988). Earthquake recurrence relationships from fuzzy earthquake magnitudes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 7, 136-142.
7. Frangpol M., Ikejima K., Hong K. (1988). Seismic Hazard Prediction Using A Probabilistic-Fuzzy Approach. *Structural Safety*, 5, 109-117.
8. Boostan E., Tahernia N., Shafiee A. (2015). Fuzzy-probabilistic seismic hazard assessment case study: Tehran region, Iran, *Springer Science+Business Media Dordrecht*, 77, 525-541.
9. Kim Y., Hurlebus S., Langari R. (2010). Model-Based Multi-input, Multi-output Supervisory Semi-active Nonlinear Fuzzy Controller. *J Computer-Aided Civil*

25. Hamzehloo H., Alikhanzadeh A., Rahmani M., Ansari A. (2012). Seismic hazard maps of Iran, *In: Proceedings of the 15th world conference on earthquake engineering*, Lisbon, Portugal.
 26. Moinfar A., Naderzadeh A., Nabavi, M. H. (2012). New Iranian Seismic Hazard Zoning Map for New Edition of Seismic Code and Its Comparison with Neighbor Countries, *15th WCEE, LISBOA*.
 27. Zare M. (2012). Development of Seismic Hazard Zoning Map for Iran, Base Based on New Seismic Source Determination, *15th WCEE, LISBOA*.
۲۸. عباس نژاد ا.؛ حسن زاده ر.؛ (۱۳۸۵). ریزپهنه بندی درجه ۲ و ارزیابی اثرات زلزله بر شهر کرمان با استفاده از GIS، دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۲۸.
۲۹. حسن زاده ر.؛ عباس نژاد ا.؛ علوی ا.؛ شریفی تشتری ا. (۱۳۸۱). تحلیل خطر لرزه ای شهر کرمان با تأکید بر کاربرد GIS در ریزپهنه بندی مقدماتی درجه ی ۲. فصلنامه علوم زمین، ۲۱ (۸۱)، ۲۳-۳۰.
۳۰. قدرتی امیری غ. ر.؛ رضویان امرئی س. ع.؛ طهماسبی بروجنی م. ع. (۱۳۹۴). تحلیل خطر لرزه ای و تهیه طیف خطر یکسان برای مناطق مختلف شهر کرمان. نشریه ی علمی- پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، ۲ (۲)، ۴۳-۵۱.

بررسی تأثیر جابه جایی سطح زمین بر ساختمان های تخریبی در شهر بام با استفاده از تکنیک های فازی شیء گرا و تداخل سنجی راداری

خلیل دیده بان*: دانشجوی کارشناسی ارشد، GIS و سنجش از دور، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی،

khalildidhban@yahoo.com

بختیار فیضی زاده: عضو هیئت علمی، گروه GIS و سنجش از دور، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی

خلیل ولی زاده کامران: عضو هیئت علمی، گروه GIS و سنجش از دور، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی

تاریخ ارسال: ۹۵/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۲۵

چکیده

از مهم ترین مخاطراتی که امروزه و حتی در گذشته جامعه ی بشری را تهدید کرده است، مخاطره ی زلزله و اثرات حاصل از وقوع آن است. با توجه به اهمیت این موضوع، در این تحقیق به بررسی تغییرات سطح زمین پس از وقوع زمین لرزه در منطقه ی بام با استفاده از تصاویر راداری و نوری^۱ پرداخته شده است که با استفاده از تصاویر ماهواره انویست^۲، مربوط به زمان های قبل و بعد از زلزله ی بام، اقدام به برآورد میزان جابه جایی حادث شده در سطح منطقه ی مورد مطالعه گردید. همچنین با استفاده از تصویر پانکروماتیک ماهواره ی IRS هندوستان با دقت مکانی پنج متر و انجام تکنیک فیوژن^۳ از نوع ادغام رزولوشن فیلتر بالا گذر^۴ با استفاده از تصاویر استر^۵ و عکس های هوایی منطقه ی بام مربوط به سال ۱۳۸۳ اقدام به اجرای الگوریتم فازی شیء گرا^۶ برای استخراج خودکار ساخت و سازهای موجود در منطقه ی مورد مطالعه شد. با توجه به تأثیر سازندهای زمین شناسی در تعیین مکان های مناسب برای ساخت و سازها و بررسی میزان اثرپذیری سازندهای تشکیل دهنده ی منطقه ی مورد مطالعه از زلزله ی به وقوع پیوسته در منطقه، از نقشه ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. در مرحله ی تجزیه و تحلیل پژوهش، نتایج حاصل از هر یک از مراحل عملی انجام شده با یکدیگر انطباق داده شدند. به طوری که میزان جابه جایی در اثر زمین لرزه بین ۰٫۱۹- و ۰٫۳۲ در تغییر بوده و نتایج مربوط به استخراج خودکار ساختمان های تخریبی به وسیله ی عملگرهای AND و OR دقتی به ترتیب برابر ۹۳ درصد و ۹۸ درصد نشان دادند، که با انطباق این لایه ها با هم ارتباط بین جابه جایی زمین، واکنش پذیری سازندها از جابه جایی و تخریب ساختمان ها مورد بررسی قرار گرفت.

واژه های کلیدی: تداخل سنجی، رادار، فازی شیء گرا، زلزله ی بام

A study of earth surface displacement influence on damaged buildings in Bam; applying Insar and fuzzy object-oriented techniques

Khalil didehban^{1*}, Bakhtiyar Feizizadeh², Khalil valizadeh Kamran³

Abstract

One of the most important risks that ever has to threaten human society is an earthquake. we studied these ground changes after occurring earthquake in Bam by using optic and radar images. In this research, we estimated amount of movement occurred in preceding area by using these Envisat satellite Remote Sensing images before and after earthquake in Bam. Also by using Indian IRS panchromatic image with 5-meter local accuracy and doing fusion techniques like HPF with Aster images and aerial photos of Bam in 2004 with Fuzzy object-based algorithm technique automatically studied building determination in this area. According to the effects of geological formations, in terms of finding appropriate places for building and construction as well as evaluate the effects of regional formations in the study area, which earthquake was occurred, 1:100,000 geological maps are used. In step analysis of research, the results from every step adapted with each other so that amount of movement through earthquake had changed between -0.19 to 0.32 and results from automatic determination of ruined buildings by And & Or operators had accuracy about 93% and 98% respectively. Correlation between ground movement and damage of buildings was evaluated by adapting these levels with each other. This correlation demonstrates linear correlation between results. Awareness of correlation between construction and building reactivity to the earthquake movements can improve urban managing and planning and decrease damages to the minimum.

Key words: Interferometry, Radar, Fuzzy object-oriented, Bam earthquake

1. Khalildidhban, MSA student The department Of Gis & Remote sensing, University Of Tabriz, Faculty of Geogrphy and Planning, Email: khalildidhban@yahoo.com

2. Dr. Bakhtiar Feizizadeh, Proffesor - Associate The Department Of GIS & Remote Sensing, university Of Tabriz, Faculty of Geography and Planning

3. Dr. Khalil valizadeh kamran, Proffesor - Associate The Department Of GIS & Remote Sensing, university Of Tabriz, Faculty of Geography and Planning

است [۵]. در رابطه با تحقیق حاضر، تحقیقات مشابهی در داخل و خارج کشور انجام گرفته است.

در تحقیقی با عنوان استفاده از روش تداخل سنجی راداری در مطالعه‌ی زمین‌لرزه‌ی بم و زمین‌لرزه‌ی ازمیت ترکیه از به‌کارگیری سه تصویر راداری برای تولید اینترفروگرامتری استفاده کردند. در نهایت با شمارش تعداد فرینچ‌های تصویر اینترفرومتری، بزرگای زلزله و همچنین جابه‌جایی حادث شده در مناطق مورد مطالعه را برآورد کردند [۶].

در بررسی کاربرد رادار در پیش‌نشاندگی زلزله با استفاده از تکنیک اینترفرومتری در تحلیل زلزله‌ی بم از سه تصویر رادار انویست و نرم‌افزار دوریس^۸ در محیط لینوکس برای پردازش استفاده نموده‌اند که میزان جابه‌جایی و بزرگی زمین‌لرزه را با شمارش فرینچ‌های حاصل از اینترفروگرام به‌دست آوردند [۷].

برخی محققان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به بررسی گسل و شکستگی‌های ناشی از زمین‌لرزه‌ی بم اقدام نموده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، شکستگی‌های کششی ایجاد شده در محدوده به سمت شرق مشخص شده است [۸].

در تحقیقی برای بررسی تغییرات سطح پوسته‌ی زمین حاصل از پدیده‌ی زمین‌لرزه در دو منطقه‌ی بم و فیروزآباد کجور از تصاویر سنجش از دوری استفاده کردند. به‌طوری‌که برای منطقه‌ی فیروزآباد از تصاویر ماهواره‌ی IRS و سنجنده‌ی پانکروماتیک و Liss III و برای منطقه‌ی بم از تصاویر راداری انویست استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق مؤید کشف گسل پنهان در هر دو منطقه و برآورد میزان جابه‌جایی سطح زمین در منطقه‌ی بم است [۹].

در تحقیقی با عنوان کاربرد تکنیک تداخل سنجی راداری در آشکارسازی تغییرات جابه‌جایی سطحی در حوزه‌ی مخاطرات زمین‌ساختی با استفاده از تصاویر راداری میزان تغییرات حاصل از جابه‌جایی و بزرگی زلزله‌ی بم را برآورد کردند [۱۰].

در تحقیقی برای بررسی جابه‌جایی‌های پیش‌لرزه گسل اهر-ورزقان با استفاده از سری زمانی ۲۰ تصویر راداری بین سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۰ تداخل سنجی راداری را به روش پراکنشگرهای پایدار اجرا کردند. که نتایج اخذ شده نشان داد بیشترین نرخ جابه‌جایی در محدوده‌ی مورد مطالعه حدود ۹ میلی‌متر بر سال است [۱۱].

در تحقیقی تحت عنوان استخراج شیء‌گرایی ساختمان‌ها از تصویر ماهواره‌ای VHR و آشکارسازی تخریب لرزه‌ای آن‌ها، برمینای آنالیز بافتی و استفاده از شبکه‌ی عصبی اقدام به استخراج ساختمان‌ها و برآورد میزان آسیب لرزه‌ای آن‌ها پرداختند. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا، تکنیک شیء‌گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه عملیات طبقه‌بندی تصاویر انجام گرفت. سپس با مقایسه‌ی نقشه‌ی پارس‌های ساختمانی، ارزیابی صحت نقشه‌ی استخراج ساختمان‌ها صورت گرفت [۱۲].

در تحقیقی برای نقشه‌برداری از جابه‌جایی ایجاد شده بر اثر زلزله‌ی لندرز با تکنیک تداخل سنجی راداری از تصاویر راداری ERS-1 استفاده کردند که با کمک تکنیک تداخل سنجی راداری

مخاطرات طبیعی امروزه به یک مسئله‌ی دارای اهمیت روزافزون در تمام دنیا مبدل گشته است. تکرار وقوع مخاطرات در مناطقی که جمعیت بزرگ انسانی را در خود جای داده است، به‌ویژه مناطق شهری در سال‌های اخیر افزایش یافته است. زلزله که به‌منزله‌ی یکی از ناملایمات اساسی طبیعی عصر حاضر شناخته شده است، همواره در مدت بسیار کوتاهی اتفاق می‌افتد و فجایع بزرگی را رقم می‌زند [۱]. با توجه به اینکه در این نوع مخاطرات امکان تخمین، هشدار قبلی و امکان تخلیه وجود ندارد، در صورت ناکافی بودن تدابیر حفاظتی و پیشگیری جامعه در مقابل این چنین مخاطراتی، میزان تلفات و خسارات جانی و مالی افزایش می‌یابد [۲]. پایداری و ایمنی در مقابل پدیده‌های طبیعی همیشه فکر بشر را به خود مشغول کرده است. در واقع آنچه که زلزله را به‌منزله‌ی تهدید مطرح می‌کند، نداشتن آمادگی بشر در مقابله با آن است. زلزله همیشه به‌منزله‌ی پدیده‌ای تکرارپذیر در طول تاریخ وجود داشته و در آینده نیز وجود خواهد داشت. وقوع چنین حادثه‌ای در بیشتر موارد تأثیرات ویران‌کننده‌ای بر سکونتگاه‌های انسانی برجای گذاشته و تلفات سنگینی بر ساکنان آن‌ها تحمیل کرده است. هر چند در دهه‌های گذشته با پیشرفت دانش بشری دانشمندان به چگونگی پیدایش این پدیده به صورت علمی پی برده‌اند و نحوه‌ی وقوع و پیامدهای ناشی از آن را مورد بررسی قرار داده‌اند، اما هنوز هم قادر به جلوگیری از بروز این پدیده و مقاومت در برابر این رخداد طبیعی نیستند و در بسیاری از موارد دانش لازم به‌منظور پیش‌بینی دقیق و علمی لحظه‌ی وقوع و قدرت این وقایع را ندارند [۳]. خطر وقوع زمین‌لرزه در ایران هم کاملاً شناخته شده است و تنها راه کاهش خطرات، اجرای برنامه‌های کاهش خطرات زلزله و ایمن‌سازی کشور در برابر زلزله است. در دو دهه‌ی گذشته، شاهد افزایش استفاده از داده‌های سنجش از دوری برای درک پدیده‌های اساسی مخاطرات طبیعی شده‌ایم. به‌گونه‌ای که سیستم‌های سنجش از دور ماهواره‌ای با پیش تغییرات حادث شده در مناطق مختلف سطح زمین، اطلاعات فضایی مداوم را در رابطه با این تغییرات مانند (زلزله، حرکت گسل‌ها، رانش زمین و...) در اختیار دانشمندان علوم زمین قرار می‌دهند [۴]. به‌طوری‌که تکنیک تداخل سنجی راداری به‌منزله‌ی تکنیک بهتر و کاربردی سنجش از دور در سال‌های اخیر به سرعت توسعه یافته است. سیستم‌های دهانه ترکیبی راداری^۶ فضایی، سطح زمین را برای سال‌ها مشاهده کرده‌اند و داده‌های مشاهدات زمینی چندزمانه به دست آورده‌اند. بسیاری از مطالعات سنجش از دوری انجام گرفته، برای توسعه‌ی فناوری‌هایی بوده‌اند که به خوبی از اطلاعات به دست آمده‌ی سیستم‌های دهانه ترکیبی راداری استفاده کنند. این اطلاعات شامل استخراج طبقه‌بندی شیء‌گرا، شناسایی شکستگی و گسل، تداخل سنجی و شناسایی تغییرات سطح زمین با استفاده از تصاویر و غیره است. به‌طوری‌که کلیه‌ی این اطلاعات از طریق شناسایی تغییرات تصویر براساس تجزیه و تحلیل نسبی چندین تصویر به دست آمده در زمان‌های متفاوت

حاصل از داده‌های راداری و اطلاعات توپوگرافی قبل و بعد از زلزله توانستند حرکات حاصل از زلزله‌ی ۱۹۹۲ کالیفرنیا را بررسی و اندازه‌گیری کنند. نتایج حاصل از کار آن‌ها با اطلاعات حاصل از مطالعات میدانی مطابقت داشت. همچنین تداخل‌سنجی راداری با دقت حدود ۳ سانتی متر بهتر از تکنیک‌های دیگر تصویربرداری فضایی نتایج را ارائه کرد [۱۳].

در یک کار تحقیقی با عنوان کاربرد داده‌های راداری برای پایش جابه‌جایی سطح زمین در اثر زمین‌لرزه هیوگوکنان‌بو، از تصاویر راداری ERS در محدوده‌ی باند L استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده‌ی جابه‌جایی سطح در حدود ۰٫۶ متری در امتداد مسیر خط رؤیت راداری در اطراف شهر کوب و جابه‌جایی حدود ۱٫۱ متری هم در جزیره‌ی آواجی بود [۱۴].

در تحقیقی دیگر به منظور استخراج ساختمان‌ها، از تصاویر ماهواره‌ای Quickbird در قبل و بعد از زلزله‌ی ۱۳۸۲ بم استفاده کردند پس از هم مرجع کردن و تلفیق باند پانکروماتیک و باند چند طیفی تصویر برای به دست آوردن تصویر با جزئیات طیفی مناسب و قدرت تفکیک مکانی بیشتر تصویر را به چهار کلاس شامل ساختمان، زمین باير، پوشش گیاهی و خیابان طبقه‌بندی کردند. که قطعه‌بندی تصویر با استفاده از تحلیل ریخت‌شناسی و سپس الگوریتم Watershed انجام شد. در نهایت با به دست آوردن نسبت مساحت ساختمان‌ها در قبل و بعد از زلزله، میزان تخریب ساختمان‌ها با توجه به درجات تخریب (EMS-98) در دو سطح تخریب برای زلزله‌ی شهر بم به دست آمد. دقت این روش ۸۰ درصد گزارش شده است [۱۵].

برای بررسی تغییر شکل زلزله‌ای، زلزله‌ی ۱۴ آوریل ۲۰۱۰ یوشو (Mw 6.9) از تصاویر راداری ENVISAT ASAR, ALOS PALSAR, استفاده کردند. که با تجزیه و تحلیل اینترفروگرام متوجه جابه‌جایی سطح زمین با نرخ ۵۴ سانتی‌متری که معادل لغزش چپ گرد ۱۸۰ سانتی‌متری است شدند [۱۶].

جمع‌بندی پیشینه‌ی تحقیق نشان می‌دهد که تکنیک‌های سنجش از دوری (تداخل‌سنجی و شی‌اگرا) در ارزیابی تغییرات اهمیت دارند، چون این تکنیک‌ها با فراهم آوردن داده‌هایی از پدیده‌های سطح زمین در قبل و بعد از حوادث زلزله از نقش‌آفرینی مناسبی برخوردار هستند. در تمام تحقیقات ذکر شده داده‌های سنجش از دوری با هدف تجزیه و تحلیل و تعیین انطباق بین داده‌های به دست آمده با تکنیک‌های مختلف سنجش از دوری مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. تحقیق حاضر با بهره‌گیری از نتایج تحقیقات مشابه، ارزیابی کارایی تکنیک‌های فاز شی‌اگرا و تداخل‌سنجی راداری را مد نظر قرار داده است که توانایی خوبی در مدیریت مخاطرات دارند.

علاوه بر موارد ذکر شده برای بررسی وضعیت تغییرات سطح زمین در زمان وقوع زلزله، تکنیک‌های سنجش از دوری مناسب‌تر تحت عنوان تکنیک‌های تداخل‌سنجی و فاز شی‌اگرا ارائه شده است. استفاده از تکنیک‌های جدید در شناسایی سازندهای زمین‌شناسی مقاوم در برابر زلزله برای بررسی‌های علوم زمین نیز اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. به‌طور کلی داده‌های سنجش از

دوری و سیستم اطلاعات جغرافیایی^{۱۰} ابزار مناسبی برای مدیریت مخاطرات در سه زمان قبل، عین و بعد از وقوع مخاطره به حساب می‌آید که در نهایت منجر به مدیریت راحت‌تر مخاطراتی مانند زلزله خواهد شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

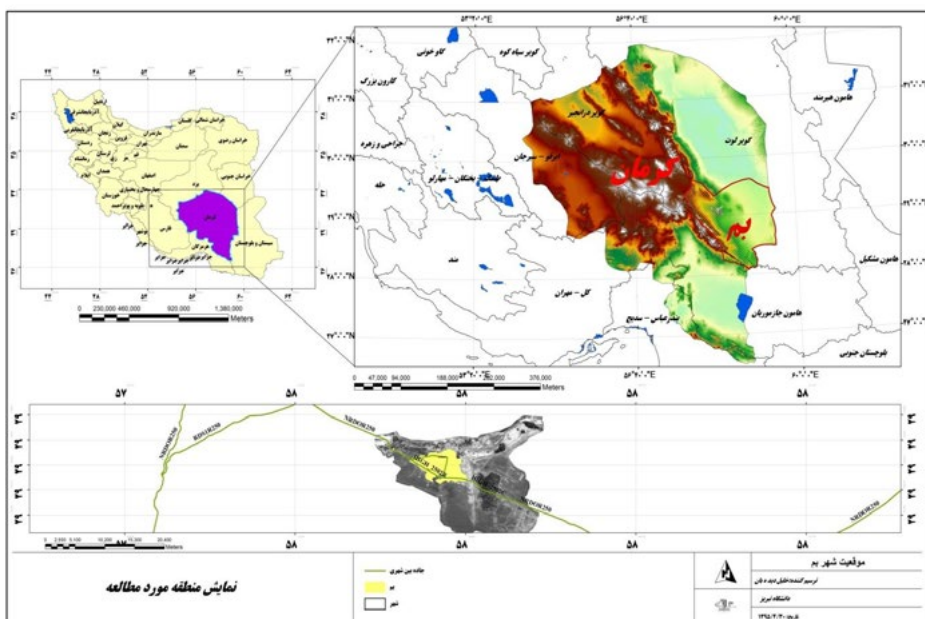
منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق شهر بم است که در جنوب شرق ایران در استان کرمان قرار گرفته است. بم یکی از شهرهای مهم در استان کرمان و دومین شهر بزرگ استان به لحاظ مساحت است. که در محدوده‌ی عرض جغرافیایی ۲۹ تا ۲۹ و ۱۵ دقیقه‌ی عرض شمالی و در محدوده‌ی ۵۸ و ۱۰ دقیقه تا ۵۸ و ۳۵ دقیقه‌ی طول شرقی قرار دارد. همچنین ارتفاع مرکز شهر از سطح دریا ۱۰۶۷ متر است. در بهمن ماه سال ۱۳۸۲ زلزله‌ای به بزرگای ۶٫۵ ریشتر در این منطقه رخ داد که منجر به مرگ ۳۰۰۰ نفر و تخریب تقریباً ۸۵ درصد ساختمان‌های این شهرستان شد [۱۷]. در اثر این زمین‌لرزه به ارگ قدیمی و باستانی بم با قدمت حدود ۲۰۰۰ سال بزرگ‌ترین بنای خشتی جهان آسیب‌های جدی وارد آمد. با توجه به خسارات وارده، این زمین‌لرزه یکی از مخرب‌ترین زمین‌لرزه‌های تاریخ ایران است [۱۸]. بم از لحاظ زمین‌شناسی دارای قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه است. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در تصویر ۱ ارائه شده است.

روش تحقیق

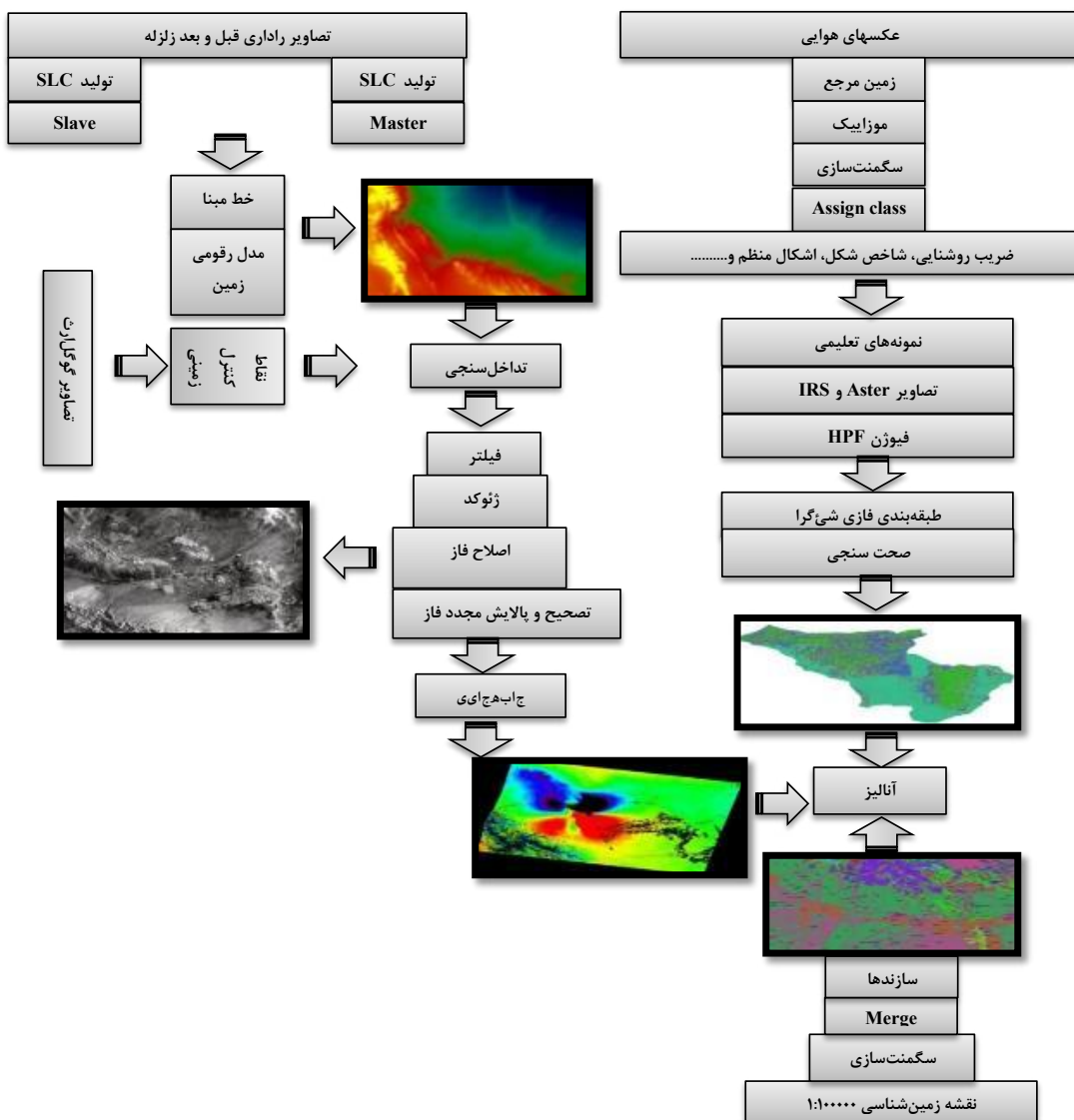
با توجه به اینکه انتقال انرژی زلزله به ساخت و سازهای موجود در منطقه‌ی شهری از طریق سازندهای زمین‌شناسی از مباحث مهمی محسوب می‌شود و در تحقیقات کمتر مورد توجه واقع شده‌اند. در این تحقیق به منظور دستیابی به تغییرات حادث شده در سطح زمین و اثرات آن بر سازندهای زمین‌شناسی در ارتباط با تخریب ساخت و سازهای شهر بم ابتدا به برآورد میزان جابه‌جایی سطح زمین با تداخل‌سنجی تصاویر راداری قبل و بعد زلزله پرداخته شده و سپس با استفاده از تکنیک فاز شی‌اگرا اقدام به استخراج ساختمان‌های آسیب‌دیده‌ی شهر بم از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای شد. در نهایت آنالیزهای لازم برای بررسی واکنش‌های سازندها و اثرپذیری ساختمان‌ها از زلزله انجام شد. بدین ترتیب در بخش‌های زیر به تفصیل به شرح هریک از این مراحل پرداخته می‌شود. مراحل عملی تحقیق در تصویر ۲ ارائه گردیده است.

تبدیل تصاویر راداری به فرمت (SLC)^{۱۱}

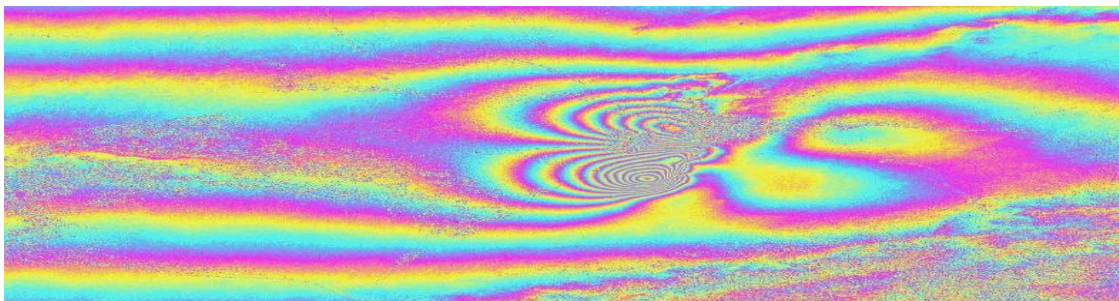
یکی از کاربردهای مهم تصاویر راداری برآورد جابه‌جایی سطح زمین است. برای برآورد میزان جابه‌جایی سطح زمین ابتدا داده‌های خام باید تبدیل به فرمت SLC شوند، یعنی در داده‌های خام یک سری اعداد مختلط وجود دارد که باید به فاز تبدیل شوند.



تصویر ۱: نمایش منطقه مورد مطالعه (۱۹)



تصویر ۲: فلوچارت (روند ناما) تحقیق [۱۹]



تصویر ۳: اینترفرومتری

تولید خط مبنا^{۱۲}

خط مبنا به میزان جدایی بین دو خط آنتن تعریف می‌شود. به عبارتی بهتر فاصله‌ی بین تصاویر اخذ شده تحت عنوان خط مبنا شناخته می‌شود و بسته به اینکه این فاصله در زمان و مکان باشد، خط مبنای مکانی و زمانی تعریف می‌شوند. اگر آنتن‌ها به صورت همزمان و در موقعیت مکانی متفاوت اقدام به اخذ زوج تصویر نمایند، بردار موقعیت ماهواره‌ها معرف خط مبنای مکانی است. اما اگر هدف مطالعه تغییرات ارتفاعی منطقه باشد و تصاویر اخذ شده از یک منظر و در زمان‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند، خط مبنای زمانی نامیده می‌شود [۲۰]. اطلاعات حاصله در این زمینه می‌تواند معیار مؤثر در داده‌های مورد استفاده و ارزیابی کیفیت اینترفرومتری باشد. به‌طوری‌که تغییرات ارتفاع با کاهش طول خط مبنا افزایش می‌یابد. بدین ترتیب که کاهش طول خط مبنا نویز سیستم را کم می‌کند. در نتیجه دقت‌های بالاتری از اختلاف ارتفاع به دست می‌آید. اگر طول خط مبنا از حد بحرانی بیشتر گردد، قابل استفاده نخواهد بود.

تولید تداخل سنجی^{۱۳}

زمانی می‌توان تداخل سنجی تصاویر راداری را ایجاد کرد که دو تصویر از یک منطقه در زمان‌های متفاوت در دسترس داشته باشیم. به‌طوری‌که هر زوج تصویر راداری قادر به تولید یک تداخل نماس. بنابراین با در دست داشتن n تصویر از منطقه می‌توان $n(n-1)/2$ تداخل سنجی تصاویر راداری بر پایه‌ی اندازه‌گیری یکی از ویژگی‌های امواج الکترومغناطیسی به نام فاز استوار است که موج ارسالی به صورت تابع $\sin x$ و موج بازتابی تابع برابر $\sin x + \pi/2$ است. ترکیب موج‌های بازتابی و ارسالی برابر $\pi/2$ خواهند بود که آن را تفاوت فاز می‌نامند. بنابراین تلفیق دو موج تداخل سنجی راداری یک تصویر اینترفرومتری را تولید می‌کند. البته اینکه کدام تداخل نماها می‌توانند دقت مورد نظر را تأمین کنند توسط پارامتری به نام همدوسی^{۱۴} تعیین می‌شود. در واقع همدوسی پارامتری مختلط است که مقدار دامنه‌ی آن معرف کیفیت تداخل نما براساس میزان همبستگی پیکسل‌های متناظر دو تصویر و مقدار فاز آن همان اختلاف فاز دو تصویر یا فاز تداخل نماس. محاسبه‌ی این پارامتر مطابق رابطه‌ی ۱ است [۲۱]. در تصویر ۳ این تداخل نما ارائه گردیده است.

رابطه‌ی ۱:

$$\gamma = \frac{E \{s_1 \cdot s_2^*\}}{\sqrt{E \{|s_1|^2\} \cdot E \{|s_2|^2\}}} = |\gamma| e^{i\phi}$$

که در آن E اپراتور امید ریاضی، s_1 و s_2 مقادیر مختلط پیکسل‌های متناظر، γ همدوسی بین دو پیکسل، $|s|^2$ دامنه‌ی همدوسی، ϕ فاز تداخل نما، * اپراتور مزدوج مختلط است. تصویر حاصله از یکسری پیکسل‌های رنگی تشکیل شده است که فرینچ نامیده می‌شود. هر فرینچ معادل نصف طول موج است. بنابراین هر پیکسل جابه‌جا شده معادل نصف طول موج خواهد بود که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی دور شدن یا نزدیک شدن به سنجنده باشد. به‌طوری‌که از این طریق می‌توان فرونشست یا بالآمدگی در محدوده‌ی مورد مطالعه را مشاهده کرد.

اعمال فیلتر

با توجه به نویزهای موجود در روی تصاویر، از فیلتر انطباقی^{۱۵} برای حذف نویزها استفاده شد. این فیلتر از انحراف معیار پیکسل‌های موج در یک کرنل برای محاسبه‌ی مقدار مرکز آن استفاده می‌کنند. این فیلتر ماهیت داده را عوض نمی‌کند و به دلیل اینکه فازها را تغییر می‌دهد، تنها زمانی از آن استفاده می‌شود، که جابه‌جایی در سطح زمین وجود داشته باشد. این فیلتر باعث شارپ شدن تصویر و نمایش جزئیات بیشتر در تصویر می‌شود. به‌طور کلی فیلتر تطبیقی مقدار نرم‌شدگی که به تصویر اعمال می‌کند، مطابق با موقعیتش در تصویر تغییر می‌نماید [۲۰].

اصلاح و پالایش مجدد فاز^{۱۶}

یکی از مهم‌ترین فرایندهای محاسبه‌ی جابه‌جایی، مرحله‌ی اصلاح و پالایش مجدد فاز است. از آنجا که در یک سیستم رادیانسی^{۱۷}، فاز یک اینترفروگرام می‌تواند فقط به اندازه‌ی $\pi/2$ تغییر کند ولی در بعضی مواقع ممکن است تغییرات بیش از این ممکن باشد. فرایند اصلاح فاز باعث خواهد شد تا مقادیر واقعی پالس مجدداً محاسبه شده و ابهام $\pi/2$ اصلاح شود [۲۲].

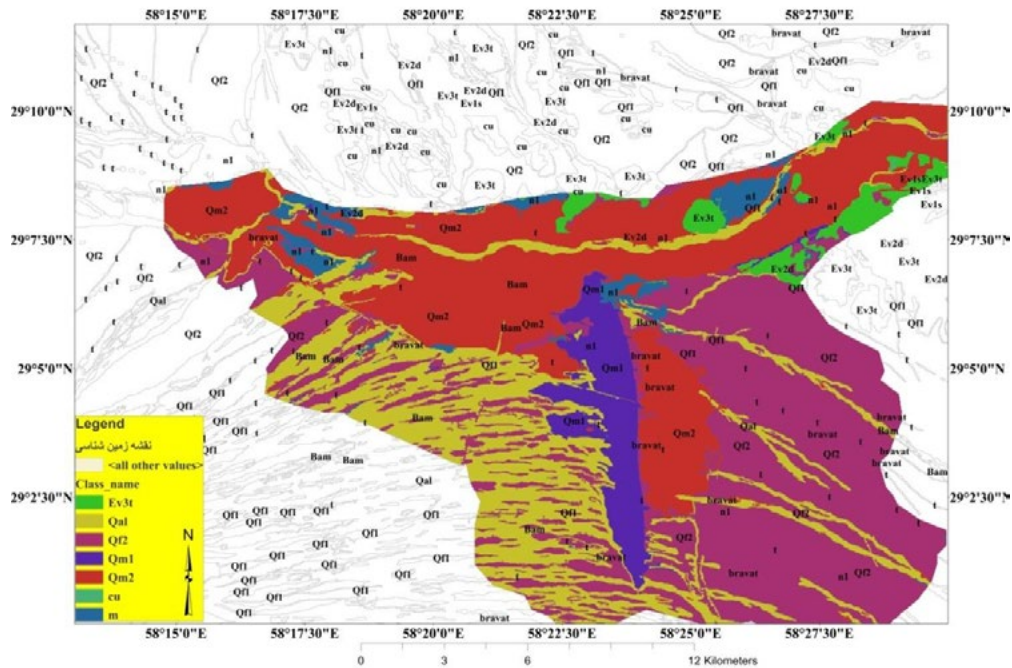
با توجه به دخالت عوامل مؤثر در فاز تداخل نما اصلاح هر یک از این عوامل به صورت رابطه‌ی ۲ است [۲۰].

رابطه‌ی ۲:

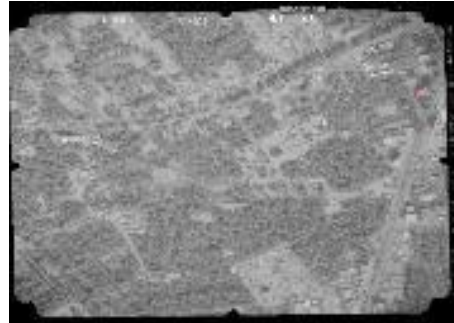
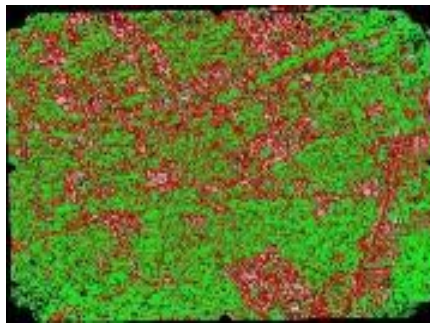
$$\phi_{\text{int}} = w (\phi_{\text{topo}} + \phi_{\text{def}} + \phi_{\text{FE}} + \phi_{\text{noise}} + \phi_{\text{atm}} + \phi_{\text{orb}})$$

در این رابطه ϕ_{topo} فاز توپوگرافی، ϕ_{FE} فاز ناشی از تغییرات زاویه‌ی دید سنجنده، ϕ_{noise} فاز ایجاد شده در اثر نویز، ϕ_{atm} فاز آتمسفر، ϕ_{orb} فاز خطای مداری و ϕ_{int} فاز تداخل نما هستند.

در نهایت برای تصحیح فاز اصلاح شده به مقادیر ارتفاعی و محاسبه‌ی میزان جابه‌جایی سطح زمین حتماً بهتر است مرحله‌ی پالایش مجدداً اجرا گردد. اجرای این مرحله باعث می‌شود تا



تصویر ۵: سازند زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه



تصویر ۷: سگمنت‌سازی عکس هوایی

تصویر ۶: عکس هوایی منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول ۱: پارامترهای سگمنت‌سازی

مقیاس سگمنت	ضریب شکل	ضریب فشردگی
۷۰	۰٫۱	۰٫۹

معیارهای استخراج ساختمان‌های تخریبی ضریب روشنایی^{۲۰}

ضریب روشنایی تصویری یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در شناسایی نسبت تخریب است. معمولاً ضریب روشنایی مناطق پس از وقوع زلزله به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که ساختمان‌های سالم به دلیل ایجاد سایه، تیره‌تر می‌شوند. به عبارتی ضریب روشنایی پایینی دارند و ساختمان‌های تخریب شده در اثر زلزله سایه را از دست داده و در نتیجه باعث افزایش روشنایی در تصویر خواهد شد. که در این تحقیق از این شاخص به عنوان راهی برای محاسبه‌ی اطلاعات طیفی لایه‌های تصویر استفاده شد. به‌طوری‌که حداقل آستانه ۱۴۲ و حداکثر آستانه ۱۹۲ برای

استخراج ساختمان‌ها تعیین شد [۲۵]. محاسبه‌ی این معیار در رابطه‌ی ۳ ارائه گردیده است.

رابطه‌ی ۳:

$$\bar{C}(V) = \frac{1}{W^B} \sum_{k=1}^K W_k^B \bar{C}_k(V)$$

که در این رابطه W_k^B وزن ضریب روشنایی لایه‌ی تصویر، K تعداد لایه‌های تصویر، $\bar{C}_k(V)$ میانگین شدت لایه تصویر، W^B مجموعه وزن‌های ضریب روشنایی لایه‌های تصویر است.

نسبت طول به عرض^{۲۱}

یکی دیگر از معیارها برای شناسایی مناطق آسیب‌دیده معیار نسبت طول به عرض اشیای تصویر است. به‌ویژه برای استخراج راه‌های ارتباطی که تحت تأثیر زمین‌لرزه دچار آسیب‌دیدگی شده‌اند و همچنین قطع شدن مسیر راه‌ها در اثر تخریب ساختمان‌ها می‌تواند در شناسایی تخریب ساختمان‌ها کمک قابل توجهی کند. دامنه‌ی ارزش عوارض در این معیار [۰ و بی‌نهایت] است. حداقل آستانه ۱٫۱۷ و حداکثر آستانه ۱٫۸۸ تعیین شد. برای محاسبه‌ی

این معیار دو پارامتر طول و عرض اشیای تصویر مورد استفاده است که در رابطه‌ی ۴ ارائه گردیده است [۲۵].

$$\frac{Length}{Width}$$

رابطه‌ی ۴:

ضریب فشردگی^{۲۲}

این معیار جمع و جوری اشیای تصویر را توصیف می‌کند. به‌طوری‌که اشیای تصویری که جمع و جورتر هستند مرزشان کوچک‌تر نمایش داده می‌شود. فشردگی اشیای تصویر محصول طول و عرض، تقسیم بر تعداد پیکسل است. در اثر زلزله ساختمان‌ها جمع و جوری خود را از دست داده و باعث می‌شود میزان ضریب فشردگی این پارامتر تغییر کند. حداقل آستانه ۱،۹۵ و حداکثر آستانه ۳،۲۵ برای شناسایی ساختمان‌های تخریب شده تعیین شد. دامنه‌ی ارزش عوارض بین صفر و بی‌نهایت است که حالت ایدئال آن برابر یک است. در رابطه‌ی ۵ محاسبه‌ی این معیار ارائه گردیده است [۲۵].

$$\frac{2\lambda_1 2\lambda_2 2\lambda_3}{V_v}$$

رابطه‌ی ۵:

در این رابطه $2\lambda_1 2\lambda_2 2\lambda_3$ مقدار ویژه‌ی اشیای تصویر و V_v حجم شیء تصویر هستند.

اشکال منظم هندسی^{۲۳}

این معیار ویژگی منظم اشکال و اشیای تصویر را بیان می‌کند. در این معیار عدد صفر نشان‌دهنده‌ی بی‌نظمی و عدد یک اشکال منظم است. با توجه به اینکه در اشکال منظم نسبت طول و عرض اشیای تصویر برابر است در اثر زلزله این اشکال منظم نظمشان به هم خورده و می‌تواند معیار مناسبی برای تشخیص ساختمان‌های تخریب شده در کنار سایر معیارها باشد. حداقل آستانه ۰،۷۰ و حداکثر آستانه ۰،۸۲۵ برای استخراج ساختمان‌ها تعیین شد. برای تعیین آستانه‌ی این معیار از رابطه‌ی ۶ استفاده شده است [۲۵].

$$\frac{\{ \#(X, Y) \in P_v : p_v(X, Y) \leq 1 \}}{\#P_v}$$

رابطه‌ی ۶:

در این رابطه $p_v(X, Y)$ فاصله‌ی بیضوی در یک پیکسل است.

شاخص شکل^{۲۴}

این شاخص صافی مرز اشیای تصویر را بیان می‌کند. به‌طوری‌که اشیایی که نرم‌ترین و صاف‌ترین مرز را داشته باشند، پایین‌ترین شاخص شکل را خواهند داشت. محاسبه‌ی این شاخص از تقسیم طول مرز اشیای تصویر، بر چهار برابر ریشه‌ی دوم مساحت آن انجام می‌شود. و دامنه‌ی ارزش این شاخص بین عدد یک تا بی‌نهایت است. حداقل آستانه ۲،۵۸ و حداکثر آستانه ۴،۶ تعیین شد. حد ایدئال این شاخص برابر یک است. محاسبه‌ی این معیار در رابطه‌ی ۷ ارائه گردیده است [۲۵].

$$\frac{b_v}{4\sqrt{\#p_v}}$$

رابطه‌ی ۷:

در این رابطه b_v طول مرز اشیای تصویر و $4\sqrt{\#p_v}$ مرز مربع با مساحت آن است.

شاخص ماتریس سطح خاکستری رخداده^{۲۵}

این شاخص از زیر معیارهای بافت به حساب می‌آید. که یک نوع ماتریس از ترکیب‌های مختلفی که در سطح خاکستری پیکسل‌ها در یک تصویر اتفاق می‌افتد، است. محاسبه‌ی ماتریس سطح خاکستری وابسته به چهار جهت ۰ درجه، ۴۵ درجه، ۹۰ درجه و ۱۳۵ درجه است. علاوه بر این، برای تک‌تک پیکسل‌های اشیای تصویر براساس سطح خاکستری لایه‌ی انتخاب شده محاسبه می‌شود. اگر توزیع ماتریس سطح خاکستری یکسان باشد ارزش آنتروپی بالا خواهد بود و اگر عناصر نزدیک به عدد صفر یا یک باشد ارزش آنتروپی کم است. حداقل آستانه ۶،۲۹ و حداکثر آستانه ۷،۷۸ تعیین شد [۲۵]. محاسبه‌ی آستانه‌ی این معیار در رابطه‌ی ۸ ارائه گردید.

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (-\ln P_{i,j})$$

رابطه‌ی ۸:

در این رابطه i تعداد ردیف، j تعداد ستون، $P_{i,j}$ مقدار نرمال در پیکسل، N تعداد سطرها یا ستون‌ها هستند. درنهایت با اعمال معیارها، استخراج ساختمان‌های تخریب شده از عکس‌های هوایی انجام گرفت. نمونه‌ای از شناسایی ساختمان‌های تخریبی در تصویر ۸ ارائه گردیده است.

فازی‌سازی

فازی‌سازی، گذر از یک سیستم شکننده به سیستم فازی را بیان می‌کند. در این بخش تابع و درجه‌ی عضویت مشخص شده، برای هر کدام از سطوح درجه عضویتی بین صفر و یک تعیین می‌شود. توابع عضویت فازی که بیشترین تکرار را دارند، به صورت یکنواخت، مثلثی، دوزنقه‌ای زنگوله‌ای شکل هستند که هر کدام از این توابع درجه‌ی عضویت متفاوتی را تولید می‌کنند [۲۴].

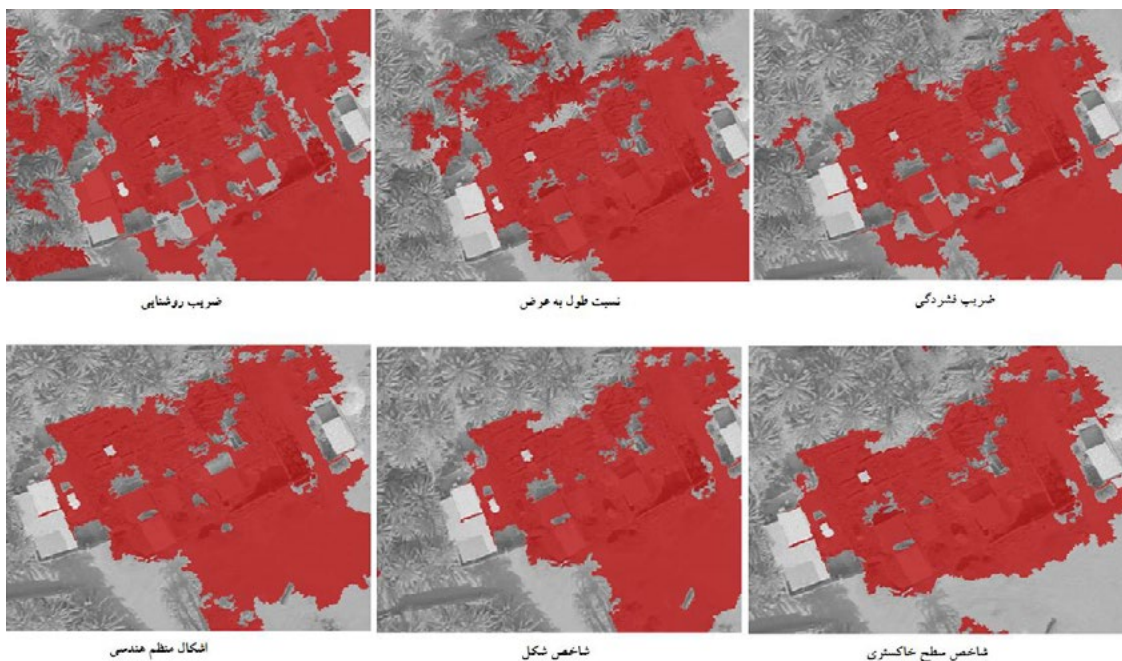
معرفی عملگرها

عملگر And: به مفهوم حداقل ارزش از تمام قواعد تعریف شده‌ی ارزش بازگشتی است.

عملگر Or: نشان‌گر حداکثر ارزش است که به مفهوم حداکثر ارزش از تمام قواعد تعریف شده‌ی ارزش بازگشتی است. قوانین فازی اعمال طبقه‌بندی فازی را ممکن می‌سازد که مرکب از ارزش بازگشتی مجزا برای هر کدام از کلاس‌ها بوده و درجه عضویت کلاس‌ها را نشان می‌دهد. بزرگ‌ترین ارزش بازگشتی بیشترین درجه عضویت را نشان می‌دهد. در این تحقیق از هر دو عملگر برای شناسایی ساختمان‌های تخریب شده استفاده شد و برای تمام پارامترهای مورد استفاده، عملگر And و Or معرفی شدند [۲۴].

الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

نرم‌افزار اکوگنیشن به منظور کاربرد روش فازی نوعی از طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه را ارائه می‌دهد که از این طریق تابع عضویت چندبعدی به‌طور خودکار تولید می‌شود. اصول نزدیک‌ترین همسایه عبارت است از ارائه‌ی مجموعه‌ای از شیء‌های نمونه برای هر کدام از کلاس‌ها و الگوریتمی که عملیات جستجو برای شیء‌های مشخص را در فضای عوارض سطوح برای هر کدام از شیء‌های تصویری انجام دهد [۲۴].



تصویر ۸: نمونه‌ای از شناسایی ساختمان تخریبی با استفاده از معیارهای شیء‌گرا

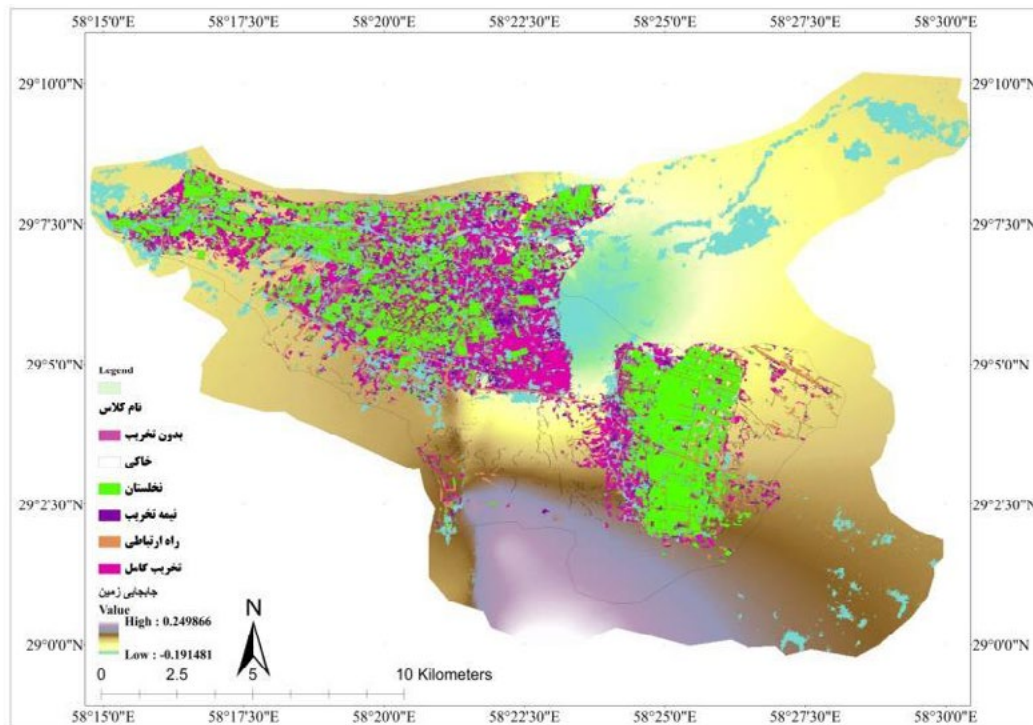
بحث و نتایج

در راستای بررسی چنین وضعیتی در منطقه، از تکنیک‌های سنجش از دور استفاده شد. برای بررسی وضعیت واکنش سازندها به امواج زمین‌لرزه و میزان جابه‌جایی آن‌ها از تکنیک تداخل‌سنجی راداری استفاده شد. با توجه به اینکه سنجنده‌های راداری امکان محاسبه‌ی تأخیر زمانی ارسال و دریافت امواج راداری را فراهم می‌کنند، ابزار مناسبی برای برآورد جابه‌جایی سطح زمین هستند. همچنین برای استخراج ساختمان‌های تخریبی بر روی سازندها از تکنیک فازی شیء‌گرا استفاده گردید. با توجه به اینکه عکس‌های هوایی، منطقه‌ی مورد مطالعه را به صورت کامل پوشش ندادند، برای استخراج سایر ساختمان‌های تخریب شده از تصاویر فیوژن IRS و استر استفاده شد. از طرفی به دلیل قدرت تفکیک متوسط تصویر IRS به نسبت عکس‌های هوایی، از ساختمان‌های تخریبی استخراج شده از عکس‌های هوایی به منزله‌ی نمونه‌های تعلیمی در تصاویر IRS استفاده شد. همچنین برای بالا بردن دقت طبقه‌بندی، الگوریتم فازی شیء‌گرا و دو اپراتور And و Or مورد استفاده واقع شدند. به طوری که به کارگیری مدل‌های فازی زمینه‌ای را ایجاد می‌کند تا بتوان دقت طبقه‌بندی را بالا برده و اختلاط کلاس‌ها را به دست آوردن درجه‌ی عضویت به حداقل رسانید. برای هر کدام از معیارهای مورد استفاده در مرحله‌ی قبلی درجه‌ی عضویت تعیین کرده و برحسب میزان درجه‌ی عضویتی که دریافت کرده‌اند اقدام به شناسایی کلاس‌های تعیین شده می‌کنند. به طوری که طبقه‌بندی شیء‌گرا براساس منطق فازی متناسب با شرایطی است که مفسر برای هر کلاس تعیین می‌کند. این شرط به وسیله‌ی توابعی که برای هر کلاس تعریف می‌شود بیان می‌گردد، که می‌تواند به صورت تابع عضویت، نزدیک‌ترین همسایه و یا شبیه‌سازی کلاس‌ها باشد. در فرایند طبقه‌بندی فازی، با تعیین

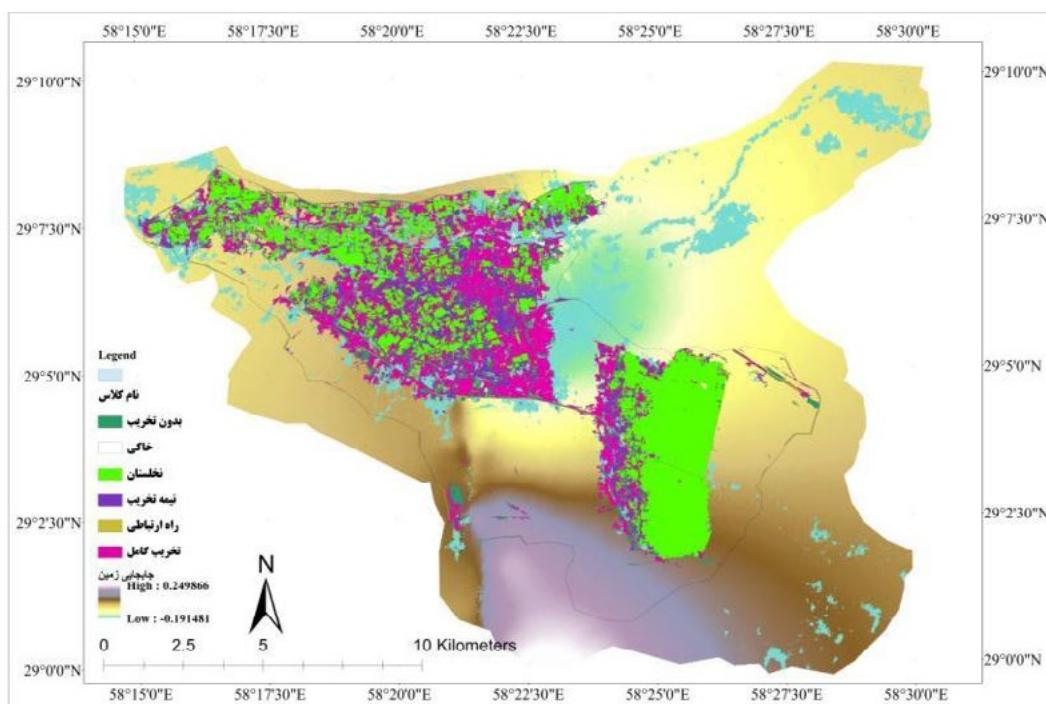
ویژگی‌های مربوط به اطلاعات طیفی و ویژگی هندسی کلاس‌ها در طی فرایند پردازش تصویر، می‌توان از عملگرهای منطق فازی از جمله And و Or استفاده کرد [۲۶].

در نهایت با انطباق نقشه‌ی ساختمان‌های تخریبی و جابه‌جایی سطح زمین، میزان جابه‌جایی حاصل شده از زلزله و تخریب ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفت که ساختمان‌های تخریب شده با حداکثر میزان جابه‌جایی انطباق داشته است (تصویر ۹ و ۱۰ و جدول ۲). همچنین ساخت و سازهای بیم بر روی سازندهای با مقاومت کم احداث شده‌اند. در تصاویر ۱۱ و ۱۲ میزان اثرپذیری سازندها از جابه‌جایی سطح زمین ارائه گردیده است.

امروزه نقش سازندها در تشدید و تداوم و یا کاهش امواج زمین‌لرزه به اثبات رسیده است. به طور کلی برای تخمین آثار ناشی از تغییر سازندهای مختلف زمین‌شناسی بر شدت زلزله می‌توان از زمین‌شناسی سطحی استفاده کرد. این عامل در پهنه‌بندی خطرات زلزله به منزله‌ی یک فاکتور مهم مورد نظر است. پس از زمین‌لرزه‌ی ۱۹۸۶ مکزیک به نقش سازندهای زمین‌شناسی بیشتر توجه شده است. رسوبات نرم عموماً بیشتر از سنگ‌های سخت، دامنه‌ی ارتعاشات را زیاد می‌کند. مواد تشکیل‌دهنده‌ی زمین همچون سنگ بستر، ماسه، ریگ، سیلت و گل و لای در مقابل امواج زلزله واکنش‌های متفاوتی دارند؛ برای مثال میزان لرزش در رسوبات جدا ممکن است بسیار شدیدتر از سنگ بستر باشد. با استناد به نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی بیم ملاحظه می‌شود که شهرهای بیم و بروت هر دو روی مخروطه افکنه‌های سیلتی و ماسه سنگ‌های آریلی بنا شده‌اند؛ یعنی رسوبات سیلتی که نقش زیادی در تشدید امواج دارند و این موضوعی است که کمتر به آن اشاره می‌شود. دامنه‌ی وسیع تخریب ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه‌ای با بزرگای گشتاوری ۶٫۶ تعجب همگان را برانگیخته و این موضوع را



تصویر ۹: انطباق ساختمان‌های تخریب شده با نتیجه اپراتور AND و جابه‌جایی سطح زمین



تصویر ۱۰: انطباق ساختمان‌های تخریب شده با نتیجه اپراتور OR و جابه‌جایی سطح زمین

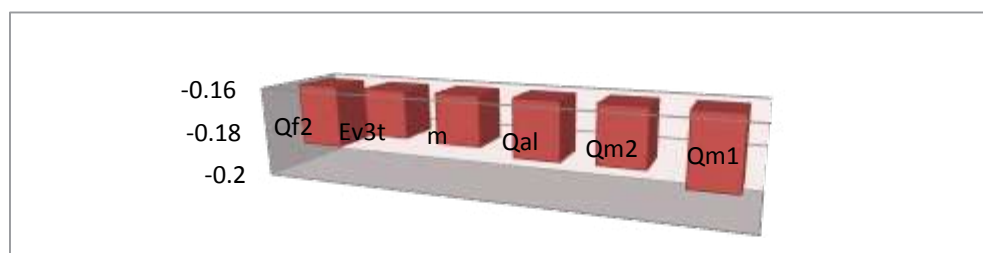
نتیجه‌گیری

در این تحقیق میزان جابه‌جایی در اثر زمین‌لرزه و همچنین تأثیرپذیری سازه‌های تشکیل‌دهنده منطقه‌ی بم مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصله میزان جابه‌جایی در سطح منطقه را نشان داد که بیشترین میزان تأثیرپذیری مربوط به سازه‌های تشکیل‌دهنده منطقه‌ی شهری بود.

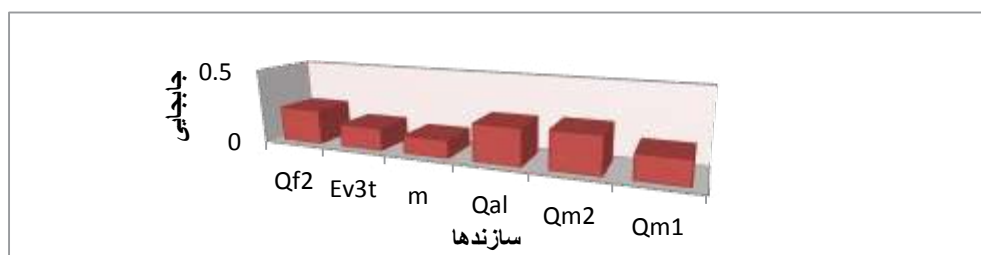
بیشتر به ضعف ساخت و سازها نسبت داده‌اند؛ در حالی‌که با توجه به پی سنگ شهرهای بم و بروج، می‌توان وسعت خرابی‌ها و خسارات به‌وجود آمده را ناشی از تشدید امواج در رسوبات منفصل منطقه دانست که شدت امواج را به مرحله‌ی تخریب کامل رسانده است. این موضوع قبل از هر چیز نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر است و در تجدید بنای بم باید آن را مدنظر قرار داد [۲۳].

جدول ۲: نتیجه‌ی اپراتورهای AND و OR

ضریب کاپا	صحت کلی طبقه‌بندی	بالآمدگی (متر)	فرونشینی (متر)	مساحت (مترمربع)	عوارض	اپراتور
۹۲٪	۰٫۹۳	۰٫۱۳۲۹۳۱	-۰٫۱۸۴۷۷۰	۲۰۷۰۲۵۶۰	تخریب کامل	AND
		۰٫۱۲۱۵۱۶	-۰٫۰۹۵۳۱۷	۵۲۲۹۴۱۶	نیمه تخریب	
		۰٫۱۲۸۴۲۳	-۰٫۰۱۲۸۴۶	۲۳۹۴۱۴۱	تخریب کم	
		۰٫۱۴۳۱۰۲	-۰٫۱۸۵۰۵۲	۷۴۳۹۴۱۳	راه‌های ارتباطی	
		۰٫۱۲۴۱۸۷	-۰٫۱۷۱۷۴۹	۲۹۹۱۹۸۷۱	نخلستان	
		۰٫۱۶۹۰۵۶	-۰٫۱۹۱۴۸۱	۷۳۶۵۵۷۴۲	خاکی	
۹۶٪	۰٫۹۸	۰٫۱۵۹۵۳۷	-۰٫۱۸۸۱۱۳	۲۰۵۷۰۷۸۶	تخریب کامل	OR
		۰٫۰۹۰۷۷۳	-۰٫۰۹۸۰۴۳	۸۴۶۶۷۵۴	نیمه تخریب	
		۰٫۱۴۹۸۱۹	-۰٫۰۱۳۳۹۱	۲۷۰۸۹۱۰	تخریب کم	
		۰٫۰۷۶۵۶۸	-۰٫۱۸۵۴۵۵	۱۰۰۲۸۶۹	راه‌های ارتباطی	
		۰٫۰۸۸۰۷۹	-۰٫۱۶۷۵۲۷	۳۰۱۱۲۰۳۵	نخلستان	
		۰٫۱۷۰۱۱۸	-۰٫۱۹۱۴۸۱	۷۶۵۱۹۰۰۴	خاکی	



تصویر ۱۱: نمودار واکنش سازندها به جابه‌جایی (فرونشینی)



تصویر ۱۲: نمودار واکنش سازندها به جابه‌جایی (بالآمدگی)

الگوریتم فازی شیء‌گرا به صورت ابزار مهم برای کاربران علوم زمین درآمده است. استفاده از این تکنیک‌ها مدیریت و برنامه‌ریزی را برای کنترل مخاطرات محیطی راحت‌تر کرده و راه‌حل‌های مناسبی را برای مدیریت و شناسایی مناطق حساس به مخاطره در اختیار متخصصان علوم زمین قرار می‌دهد.

پی‌نوشت

1. Optic
2. Envisat
3. Fusion
4. High Pass Filter Resolution Merge
5. Aster
6. Fuzzy object-based algorithm
7. Synthetic aperture radar

همچنین تکنیک فازی شیء‌گرا از تکنیک‌های جدید برای شناسایی و استخراج ساختمان‌های تخریب شده به صورت خودکار در اثر وقوع مخاطراتی مانند زلزله به حساب می‌آید. که در این تحقیق، دو عملگر And و Or برای استخراج ساختمان‌های تخریب شده اعمال شد. با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین میزان دقت در استخراج ساختمان‌های تخریب شده‌ی شهر بم مربوط به عملگر Or و سپس عملگر And است. همچنین ساختمان‌های تخریبی به صورت کامل، بر روی سازندهایی واقع شده‌اند که دارای بیشترین میزان تأثیرپذیری از جابه‌جایی سطح زمین در اثر زلزله بودند که نشان‌دهنده‌ی ارتباط بین جابه‌جایی سطح و تأثیرپذیری سازندها با میزان تخریب وارده به ساختمان‌ها است. در طول چند دهه‌ی اخیر به‌کارگیری تکنیک‌های نوین سنجش از دوری، مانند تکنیک‌های سنجش از دوری راداری و

8. Doris
9. Sta MPS
10. Geography Information System
11. Single look
12. Base Line
13. Interferometry
14. Coherency
15. Adoptive
16. Phase unwrapping and Refinement - Reflating
17. Radians
18. Ecognition
19. Multi Resolution Segmentation
20. Brightness
21. Length and Width
22. Compactness
23. Rectangular
24. Index Shape
25. GLC Entropy

منابع

۱. سعادت فر، احسان؛ دهقانی، مریم؛ اسماعیلی، علی؛ زمانی قره چمنی، بهزاد (۱۳۹۳). بررسی جابه‌جایی پیش لرز گسل اهر- ورزقان با استفاده از سری زمانی تداخل سنجی راداری. *مجله علمی پژوهشی رادار*، سال ۲، شماره ۲، ۱۱-۲۰.
۱۲. منصوری، بابک؛ مصطفی‌زاده، مونا (۱۳۹۴). استخراج شی‌گرایی ساختمان‌ها از تصاویر ماهواره‌ای VHR و آشکارسازی تخریب لرزه‌ای آن‌ها بر مبنای آنالیز بافتی و استفاده از شبکه‌ی عصبی. *علوم و مهندسی زلزله*، سال دوم، شماره ۱ اول، ۵۵-۶۵.
13. Massonet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K. and Rabaute, T., (1993). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, 364, pp. 138-142.
14. Ohkura, H., (1998). Application OF SAR Data To Monitoring Earth Surface Chenges And Displacement, *Elsevier Science*, pp. 485-492.
15. Stasolla, M., Gamba, P., Dell'Acqua, F., & Rathje, E. (2006). Matching spectral with spatial analysis to improve building damage recognition in VHR images. Cambridge, UK, Magdalene College.
16. Qiang, Sh., Xuejun, Q., Qi, W., jingfa, Zh., Kai, T., Shaomin, Y., (2011). Co-seismic deformation of the 2010 Mw6. 9 Yushu earthquake from InSAR images, *Geodesy and Geodynamics*, 16-20.
۱۷. واجدیان، ساناز؛ خالصیان، مینا؛ سراجیان، محمد رضا (۱۳۸۸). تحلیل و ارزیابی تخریب ناشی از زلزله با استفاده از تکنولوژی تصویربرداری راداری با درجه‌ی مصنوعی (SAR). *ژئوماتیک* ۱۳۸۸.
18. Fu, B., Ninomiya, Y., Lei. X., Toda., Sh., Awata. Y . (2003). mapping active fault associated with the MW 6.6 Bam (SE Iran) earthquake with Aster 3D images. *remote sensing of environment*, vol. 92, PP: 153-157.
۱۹. دیده‌بان، خلیل (۱۳۹۵). کاربرد تکنیک‌های تداخل سنجی راداری و فازی شی‌گرا در بررسی تغییرات سطح زمین پس از وقوع زمین‌لرزه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، تبریز.
۲۰. مقصودی، یاسر؛ مهدوی، ساحل (۱۳۹۴). مبانی سنجش از دور راداری. چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف تهران، تهران.
21. Hanssen, R.F., 2001. Radar interferometry: data interpretation and error analysis. *Springer*
۲۲. پناهی، حسین (۱۳۹۵). راهنمای کاربردی ENVI۴٫۸ با گذری بر ArcGIS ۱۰٫۱. انتشارات دانشگاه آزاد یزد، یزد.
۲۳. علوی پناه، سیدکاظم؛ قربانی، محمد صدیق (۱۳۸۶). نقش سنجش از دور و بررسی‌های میدانی در تجزیه و تحلیل‌های مورفوتکتونیکی: مطالعه‌ی موردی زلزله بم. *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۱، ۶۰-۲۹.
۲۴. رسولی، علی اکبر (۱۳۸۷). مبانی سنجش از دور کاربردی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.
25. (Reference Book, ecognition)
۲. اوزی، رمضان؛ ظاهری، محمد (۱۳۹۰). *جغرافیای مخاطرات*. چاپ اول، تبریز، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.
۳. شیعه، اسماعیل؛ حبیبی، کیومرث؛ ترابی، کمال (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی ۶ شهرداری تهران - GIS و (IHWP) مراتبی معکوس. *چهارمین کنگره‌ی جغرافیادانان جهان اسلام*، ۱-۱۲.
4. Tralli, D. M., Blom, R. G., Zlotnicki, V., Donnellan, A., Evans, D. I. (2005). Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 59, 185- 198.
5. Gong, M., Li, H., Wang, Q., Liu, J., Su, L. (2016). A multiobjective fuzzy clustering method for change detection in SAR images. *Applied Soft Computing*, 767-777.
۶. رهنمون فر، مریم؛ سراجیان، محمد؛ توکلی، احد؛ رحمتی، محمد (۱۳۸۴). استفاده از روش تداخل سنجی راداری در مطالعه زلزله‌بم و زلزله‌ی ازمیت ترکیه. *همایش ژئوماتیک* ۱۳۸۴، دوره‌ی ۲۴.
۷. حیدری، رامک (۱۳۸۴). کاربرد رادار در پیش‌نشانگر زلزله با استفاده از تکنیک اینترفرومتری در تحلیل زلزله‌ی بم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران.
۸. معماریان، حسین؛ زارع، مهدی؛ میبدیان، مجید (۱۳۸۸). گسل‌ها و شکستگی‌های ناشی از زمین‌لرزه‌ی بم. *نشریه‌ی زمین*، شماره ۳، دوره ۴، ۸۲-۶۷.
۹. شریفی کیا، محمد (۱۳۸۹). تحلیل تغییرات سطح پوسته‌ی زمین حاصل از پدیده زلزله به کمک تکنیک‌های سنجش از دوری. *چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیادانان جهان اسلام*.
۱۰. درویشی، مهدی؛ احمدی توانا، غلامرضا (۱۳۹۲). کاربرد تکنیک تداخل سنجی (Dinsar) در آشکارسازی تغییرات جابه‌جایی سطحی در حوزه

مدل بهینه‌سازی امکانی استوار برای شبکه‌ی توزیع اقلام امدادی تحت عدم قطعیت

فاطمه صبوحی: دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
آرمین جبارزاده*: استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، arminj@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل در فاز پاسخ به بحران، تأمین تقاضای اقلام امدادی مورد نیاز مناطق آسیب‌دیده است که به علت نامشخص بودن میزان تقاضا، مشکلات بسیاری در این زمینه ایجاد می‌کند. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار برای مسئله‌ی مسیریابی و زمان‌بندی برای شبکه‌ی توزیع اقلام امدادی تحت عدم قطعیت تقاضا، ارائه می‌شود. در فرایند توزیع اقلام امدادی، امکان خدمت‌دهی به هر منطقه‌ی حادثه‌دیده توسط چندین وسیله‌ی امدادی و محدودیت پنجره‌ی زمانی در نظر گرفته شده است. هدف مدل پیشنهادی، کمینه‌سازی کل زمان رسیدن وسایل امدادی به مناطق حادثه دیده بیان شده است. برای نمایش کاربردپذیری مدل ارائه شده، منطقه‌ی چهار شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته و مدل بر روی آن اجرا گردیده است. سرانجام برای بررسی پایداری جواب‌های مدل بهینه‌سازی استوار، نتایج حاصل از حل این مدل با مدل قطعی شبیه‌سازی شده تحت نمونه مسائل مختلف مقایسه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار، اقلام امدادی، پنجره‌ی زمانی، مسیریابی، زمان‌بندی

۴۵

شماره پانزدهم

بهار و تابستان
۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



مجله بهینه‌سازی امکانی استوار برای شبکه‌ی توزیع اقلام امدادی
تحت عدم قطعیت

A robust possibilistic optimization model to relief commodities distribution network under uncertainty

Fatemeh Sabouhi¹, Armin Jabbarzadeh^{2*}

Abstract

One of the most important issues in disaster response phase is to supply the relief items which is needed by affected areas. The uncertainty of this demand causes many problems.

This paper presents a novel robust possibilistic programming model for a routing and scheduling problem in a relief commodities distribution network under demand uncertainty. In relief commodities distribution operations, the possibility of servicing each affected area by multiple vehicles and time window constraint have been considered. The objective of the proposed model is to reduce the total time required by the relief vehicles to reach the affected areas.

The fourth region of Tehran city as a case study is provided to illustrate the performance and applicability of the proposed model. Finally, to assess the robustness of the solutions obtained by the novel robust optimization model, they are compared to those generated by the deterministic mixed-integer linear programming model in a number of realizations under different test problems.

Keywords: Robust possibilistic programming model, Relief Commodities, Time window, Routing, scheduling

¹ -Phd student, Dept. of Industrial Engineering, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran.

² -Assistant Professor, School of Industrial Engineering, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran. Email: arminj@iust.ac.ir

مقدمه

یکی از مهم ترین دغدغه های تصمیم گیران حوزه ی مدیریت بحران، پاسخ سریع به نیازهای امدادی در مناطق آسیب دیده ی مختلف است، که برای این امر باید امداد رسانی از طریق مسیرهای کارا و در کوتاه ترین زمان ممکن انجام گیرد. یکی از راهکارهای مناسب در این زمینه، ارائه ی مدل ریاضی جامع و کاربردی و نزدیک به شرایط دنیای واقعی است که در صورت تغییر برخی پارامترها نیز بتواند عملکرد مناسبی داشته باشد.

تصمیمات مسیریابی و زمان بندی^۱ همزمان در عملیات توزیع اقلام امدادی^۲ در فاز پاسخ^۳ به بحران به منزله ی حوزه ی جدیدی در تحقیقات شناخته شده است و مطالعه ی پیشینه ی پژوهش نشان می دهد که کمتر به بررسی همزمان این تصمیمات با در نظر گرفتن عدم قطعیت^۴ پرداخته شده است. در ادامه مطالعات انجام شده در این زمینه بیان شده اند.

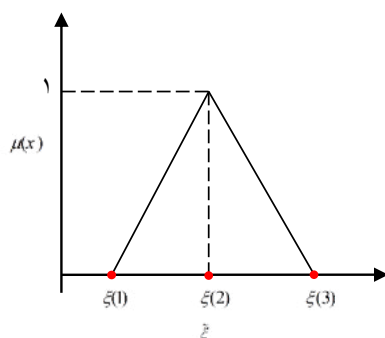
نولز و همکاران یک مدل چند هدفه ی مسیریابی برای توزیع اقلام امدادی به مناطق حادثه دیده معرفی کردند [۱]. آبدلگاود و آبدلهای یک مدل مسیریابی و زمان بندی برای انتقال افراد سالم از مناطق حادثه دیده به پناهگاه ها ارائه دادند و مسئله را با در نظر گرفتن محدودیت های پنجره ی زمانی^۵ و با امکان خدمت دهی به هر نقطه ی حادثه دیده توسط چندین وسیله^۶ در نظر گرفته اند [۲]. بیش یک مدل مسیریابی برای انتقال افراد سالم از مناطق حادثه دیده به پناهگاه ها ارائه داد و در مسئله ی خود امکان خدمت دهی به هر نقطه ی حادثه دیده توسط چندین وسیله را در نظر گرفت [۳]. حامدی و همکاران یک مدل مسیریابی و زمان بندی برای توزیع اقلام امدادی از مراکز امداد رسانی به پناهگاه ها ارائه دادند و مسئله را به شکل چند هدفه، با در نظر گرفتن محدودیت های پنجره ی زمانی و با امکان خدمت دهی به هر پناهگاه توسط چندین وسیله در نظر گرفته اند [۴]. وهلگمیوس و همکاران یک مدل مسیریابی و زمان بندی برای توزیع اقلام امدادی از مراکز امداد رسانی به نقاط حادثه دیده با در نظر گرفتن محدودیت های پنجره ی زمانی ارائه دادند [۵]. لی و همکاران یک مدل زمان بندی برای ارائه ی خدمات درمانی در بیمارستان ها با بیان مفهوم مراکز توزیع و تقسیم منابع به دو دسته ی تجدید پذیر و تجدیدناپذیر، ارائه دادند [۶]. لی و همکاران یک مدل زمان بندی برای توزیع اقلام پزشکی به بیمارستان ها با بیان مفهوم مراکز توزیع ارائه دادند و محدودیت ظرفیت را برای مراکز توزیع در نظر گرفتند [۷]. پرامیودیتا و همکاران یک مدل مسیریابی و مکان یابی برای عملیات آواربرداری از نقاط حادثه دیده به انبارها ارائه دادند و مسئله را به شکل پویا معرفی کردند [۸]. ازدومار و همکاران یک مدل مسیریابی و زمان بندی برای عملیات آواربرداری از نقاط حادثه دیده ارائه دادند و مسئله را به شکل چند هدفه، چند دوره ای و پویا معرفی کردند [۹]. راس و گیوتجهر (۲۰۱۴)، یک مدل مسیریابی و مکان یابی برای توزیع اقلام امدادی از مراکز امداد رسانی به نقاط حادثه دیده ارائه دادند [۱۰]. یک مدل مسیریابی و مکان یابی برای توزیع اقلام از مراکز توزیع به مناطق حادثه دیده توسط وانگ و همکاران معرفی شد. آن ها مسئله

را با در نظر گرفتن امکان ارائه ی خدمت به هر نقطه ی حادثه دیده توسط چندین وسیله ارائه دادند [۱۱]. مشرف جواد و لی (۲۰۱۶)، یک مدل مسیریابی، مکان یابی و زمان بندی برای توزیع اقلام از مراکز توزیع به مناطق حادثه دیده ارائه دادند [۱۲]. تمام مقالات قبلی مدلشان را به صورت قطعی در نظر گرفته بودند اما در این حوزه تعداد مقالات کمی وجود دارد که عدم قطعیت را لحاظ کرده باشند که در ادامه آورده شده اند. وکس و همکاران یک مدل مسیریابی برای عملیات امداد و نجات در نقاط حادثه دیده ارائه دادند و مسئله را به شکل غیرقطعی معرفی و برای مقابله با آن از رویکرد فازی استفاده کرده اند. همچنین ناوگان ناهمگن از وسایل امدادی در نظر گرفته اند [۱۳]. گان و همکاران یک مدل مسیریابی و زمان بندی برای توزیع اقلام امدادی از مراکز امداد رسانی به نقاط حادثه دیده با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت و محدودیت پنجره ی زمانی، ارائه دادند و مسئله را به شکل غیر قطعی معرفی و برای مقابله با آن از رویکرد فازی استفاده کرده اند [۱۴]. کنهی و همکاران یک مدل تصادفی دو مرحله ای مسیریابی و مکان یابی برای توزیع اقلام امدادی از انبارها به نقاط حادثه دیده ارائه دادند [۱۵]. رنومو و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل تصادفی سه مرحله ای مسیریابی و مکان یابی برای توزیع اقلام امدادی از مراکز امداد رسانی به نقاط حادثه دیده ارائه دادند [۱۶].

با بررسی مطالعات گذشته، شکاف های موجود در ادبیات مربوط به مسائل مسیریابی و زمان بندی در فاز پاسخ به بحران را می توان به صورت زیر برشمرد:

- برای پاسخ سریع به نیازهای افراد در مناطق حادثه دیده ی مختلف، امداد رسانی باید از طریق مسیرهای کارا و در حداقل زمان ممکن انجام گیرد. تعداد کمی از مقالات به بررسی تصمیمات مسیریابی و زمان بندی به طور همزمان پرداخته اند.
- در زمان وقوع بحران، محدودیت تعداد و ظرفیت منابع امداد رسانی از جمله وسایل امدادی برای توزیع اقلام سبب تأخیر در امر امداد رسانی می شود. یکی از راهکارهای حل این مشکل، در نظر گرفتن امکان ارائه ی خدمت به هر منطقه ی حادثه دیده توسط چندین وسیله است که اکثر مقالات این حوزه این ویژگی مهم را در نظر نگرفته اند.
- توزیع اقلام امدادی میان مناطق حادثه دیده ی مختلف با رعایت عدالت از اهمیت بالایی برخوردار است و از جمله دغدغه های مهم تصمیم گیران حوزه ی مدیریت بحران است. یکی از راهکارها برای رسیدن به این هدف، در نظر گرفتن محدودیت پنجره ی زمانی است که کمتر در مقالات به این ویژگی پرداخته اند.
- شدت وقوع بحران یکی از مهم ترین عوامل تأثیرگذار در شرایط تصمیم گیری توسط برنامه ریزان و تصمیم گیران این حوزه است. میزان تقاضای اقلام امدادی در مناطق حادثه دیده ی مختلف متفاوت است. این پارامتر بر روی تصمیم گیری برنامه ریزان حوزه ی مدیریت بحران برای سیستم توزیع کارای اقلام امدادی تأثیرگذار است. بنابراین غیرقطعی فرض نمودن

شوند. رابطه‌ی ۲، مدل برنامه‌ریزی محدودیت شانس امکانی را نشان می‌دهد.



تصویر ۱: توزیع امکانی پارامترهای عدم قطعیت (ξ)

$$\text{Min } E[Z_1] = E[\tilde{C}]x + E[\tilde{F}]y,$$

s.t

$$By \leq Ay,$$

$$Sy \geq 1,$$

$$Ry \leq 1,$$

$$Kx = 0,$$

$$\text{Nec} \{Hx \leq \tilde{P}y\} \geq \alpha,$$

$$\text{Nec} \{Tx \geq d\} \geq \beta,$$

$$Uy = 0,$$

$$y \in \{0,1\}, x \geq 0.$$

رابطه‌ی ۲:

براساس [۱۹-۲۲]، مدل قطعی معادل رابطه‌ی ۲ در زیر نشان

داده شده است:

$$\text{Min } Z_1 = \left(\frac{C(1) + 2 * C(2) + C(3)}{4} \right) x + \left(\frac{F(1) + 2 * F(2) + F(3)}{4} \right) y,$$

s.t

$$By \leq Ay,$$

$$Sy \geq 1,$$

$$Ry \leq 1,$$

$$Kx = 0,$$

$$Hx \leq \left((1-\alpha)P(2) + \alpha P(1) \right) y,$$

$$Tx \geq (1-\beta)d(3) + \beta d(4),$$

$$Uy = 0,$$

$$y \in \{0,1\}, x \geq 0.$$

رابطه‌ی ۳:

این پارامتر ضروری است. اما اکثر مقالات این حوزه مدلشان را به صورت قطعی فرض نموده‌اند.

هدف اصلی این مقاله، ارائه‌ی یک مدل بهینه‌سازی استوار برای شبکه‌ی توزیع اقلام امدادی است که شامل مسیریابی و زمان‌بندی وسایل امدادی برای توزیع کالاهای ضروری از قبیل پتو، آب، غذا و ... از مرکز توزیع اقلام امدادی به مناطق حادثه‌دیده‌ی مختلف است. در این مدل پیشنهادی، امکان خدمت‌دهی به هر منطقه‌ی آسیب‌دیده توسط چندین وسیله و محدودیت‌های پنجره‌ی زمانی در نظر گرفته شده است. در این مقاله از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار^۲ برای مقابله با عدم قطعیت مربوط به تقاضای مناطق حادثه‌دیده‌ی مختلف برای کالاهای امدادی، استفاده شده است.

در ادامه، مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: ابتدا به بیان رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار پرداخته و سپس مسئله‌ی مورد بررسی تشریح می‌شود. در بخش بعدی، به مدل‌سازی ریاضی شبکه‌ی پیشنهادی می‌پردازیم و انتخاب منطقه‌ی چهار تهران شرح داده می‌شود و سپس نتایج حل گزارش می‌گردد و در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی مطرح می‌گردند.

رویکرد بهینه‌سازی استوار

در این مقاله برای مقابله با عدم قطعیت از رویکرد ارائه شده توسط پیشوایی و همکاران [۱۷] که برنامه‌ریزی امکانی استوار نام دارد، استفاده شده است.

برای آشنایی بیشتر با رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار، ابتدا مدلی ساده همانند رابطه‌ی ۱ معرفی می‌شود.

$$\text{Min } Z = Cx + Fy,$$

s.t

$$By \leq Ay,$$

$$Sy \geq 1,$$

$$Ry \leq 1,$$

$$Kx = 0,$$

$$Hx \leq Py,$$

$$Tx \geq d,$$

$$Uy = 0,$$

$$y \in \{0,1\}, x \geq 0.$$

رابطه‌ی ۱:

حال فرض کنید بردارهای C, F, d و پارامترهای غیر قطعی مسئله باشند. همچنین بردارهای x, y به ترتیب بیانگر متغیرهای باینری و پیوسته است. برای تشکیل مدل برنامه‌ریزی محدودیت شانس امکانی، از عملگر مقدار مورد انتظار برای مدل کردن تابع هدف و معیار الزام برای برخورد با محدودیت‌های شانس که شامل پارامترهای غیر قطعی هستند، استفاده می‌شود [۱۷، ۱۸]. با توجه به تصویر ۱، پارامترهای غیر قطعی دارای توزیع‌های امکانی مثلثی هستند و محدودیت‌های شامل پارامترهای غیر قطعی، حداقل با درجه ارضای α و β باید برقرار

برای حل رابطه ی ۳، حداقل درجه ی ارضای محدودیت ها $(\alpha, \beta > 0.5)$ باید توسط تصمیم گیرنده تعیین گردد. با افزایش تعداد محدودیت های شانس، تعداد آزمایشات مورد نیاز برای تعیین مقدار مناسب سطوح اطمینان محدودیت ها افزایش می یابد [۱۷]. بنابراین برای حل مشکل مذکور، استفاده از روش برنامه ریزی امکانی استوار مناسب است.

در نهایت، رابطه ی ۴، مدل برنامه ریزی امکانی استوار را نشان می دهد.

$$\text{Min } E[Z_1] + \theta(Z_{\max} - E[Z_1]) + \delta((1-\alpha)P_{(2)} + \alpha P_{(1)} - P_{(1)})y + \theta(d_{(4)} - (1-\beta)d_{(3)} - \beta d_{(4)})$$

s.t

$$By \leq Ay,$$

$$Sy \geq 1,$$

$$Ry \leq 1,$$

$$Kx = 0,$$

$$Hx \leq \left((1-\alpha)P_{(2)} + \alpha P_{(1)} \right) y, \quad \text{رابطه ی ۴:}$$

$$Tx \geq (1-\beta)d_{(3)} + \beta d_{(4)},$$

$$Uy = 0,$$

$$y \in \{0,1\}, x \geq 0, \quad 0.5 < \alpha, \beta \leq 1.$$

در رابطه ی ۴، $Z_{\max}$ به صورت زیر تعریف می گردد:

$$Z_{\max} = C_{(4)}x + F_{(4)}y,$$

در رابطه ی ۴، α و β متغیرهای تصمیم هستند. قسمت اول این رابطه، به حداقل سازی مقدار انتظاری تابع هدف می پردازد. قسمت دوم یعنی $\theta(Z_{\max} - E[Z])$ ، به حداقل سازی اختلاف میان بدترین حالت تابع هدف و حالت انتظاری آن پرداخته می شود. وزن (اهمیت) این عبارت را در مقابل دیگر عبارات تابع هدف نشان می دهد. قسمت سوم، اختلاف بین بدبینانه ترین مقدار پارامتر غیر دقیق و مقدار استفاده شده در محدودیت است. که در آن واحد جریمه برای تخطی احتمالی از هر محدودیت شانس شامل پارامترهای غیر دقیق است.

تشریح مسئله

بهینه سازی نحوه ی توزیع و تخصیص کالاهای امدادی بین مناطق حادثه دیده ی مختلف، یکی از اقدامات بسیار مهم در فاز پاسخ به بحران است. در این مقاله، انتقال اقلام امدادی از مرکز توزیع اقلام به مناطق حادثه دیده، مطابق با تصویر ۲ در نظر گرفته شده است. بدین صورت که هر وسیله ی امدادی مانند کامیون،

تریلی و ... در صورت اعزام، از مرکز توزیع اقلام حرکت خود را آغاز کرده و سپس با در نظر گرفتن ظرفیت وسیله و میزان احتیاجات نقاط حادثه دیده ی مختلف، بهترین مسیر را برای انتقال این کالاها به مناطق آسیب دیده انتخاب می کند و سپس بعد از اتمام عملیات، وسیله دوباره به مکان شروع حرکتش باز می گردد.

با توجه به شبکه ی معرفی شده، مکان مرکز توزیع اقلام امدادی و مناطق حادثه دیده شناخته شده است. تعداد و ظرفیت وسایلی که برای امداد رسانی در نظر گرفته شده اند، محدود هستند. در فرایند توزیع اقلام امدادی، برای این که عملیات به بهترین شکل ممکن انجام گیرد، امکان ارائه ی خدمت به هر منطقه ی حادثه دیده توسط چندین وسیله ی امدادی در نظر گرفته شده است. همچنین عدم قطعیت، یکی از مهم ترین مسائل تصمیم گیران حوزه ی مدیریت بحران است. در شرایط دنیای واقعی به علت عدم قطعیتی که در پارامترهایی از قبیل تقاضا، عرضه، هزینه ها و ... وجود دارد، بررسی مسئله ی مسیریابی و زمان بندی وسایل امدادی تحت شرایط عدم قطعیت از اهمیت بالایی برخوردار است. در بسیاری از بحران ها، تعیین مقدار دقیق اقلام امدادی مورد نیاز مناطق حادثه دیده ی مختلف بسیار دشوار است. بنابراین در این مقاله تقاضای هر منطقه ی حادثه دیده به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده است. برای مقابله با این نوع عدم قطعیت، روش برنامه ریزی امکانی استوار به کار گرفته شده است.

برای برآورد سریع نیازهای اولیه ی مناطق حادثه دیده و برای برقراری عدالت در توزیع خدمات، حداقل کردن کل زمان رسیدن وسایل امدادی به این مناطق با رعایت محدودیت پنجره ی زمانی به منزله ی تابع هدف در نظر گرفته شده است.

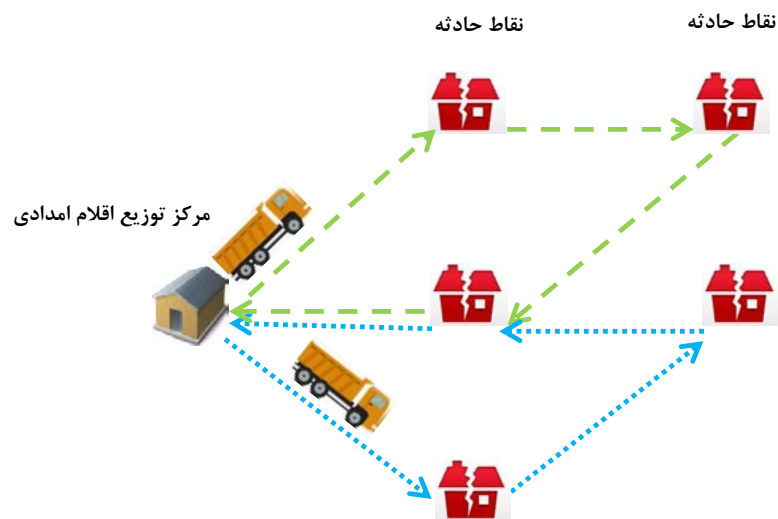
مدل بهینه سازی استوار پیشنهادی

مجموعه ها و اندیس ها

D	مرکز توزیع اقلام امدادی
E	مجموعه ی نقاط حادثه دیده
V	مجموعه ی وسایل امدادی که مشخص می شود با $v \in V$
N	مجموعه ی کل نقاط در فرایند توزیع اقلام (اجتماع دو مجموعه ی D و E) که مشخص می شود با $i, j \in N$

پارامترها و متغیرهای تصمیم

c_{ij}	زمان حمل و نقل از گره ی $i \in N$ به گره ی $j \in N$
$\tilde{d}_i$	تقاضای منطقه ی حادثه دیده ی $i \in E$ برای اقلام امدادی
b_i	حداکثر زمان رسیدن وسایل امدادی به گره ی $i \in E$
Cap	ظرفیت وسیله ی امدادی



تصویر ۲: عملیات توزیع اقلام امدادی

$$\sum_{i \in E} \sum_{j \in D} X_{vij} = Z_v \quad v \in V \quad \text{رابطه ی ۷:}$$

$$\sum_{i \in D \cup E, i \neq j} X_{vij} = \sum_{i \in E \cup D, i \neq j} X_{vji} \quad \text{رابطه ی ۸:}$$

$$\forall j \in E, \forall v \in V$$

$$\sum_{j \in E \cup D, i \neq j} X_{vji} = Y_{vi} \quad \forall i \in E, \forall v \in V \quad \text{رابطه ی ۹:}$$

$$Cap Y_{vi} \geq Q_{vi} \quad \forall i \in E, \forall v \in V \quad \text{رابطه ی ۱۰:}$$

$$\sum_{v \in V} Q_{vi} \geq \alpha d_{3i} + (1-\alpha)d_{2i} \quad \forall i \in E \quad \text{رابطه ی ۱۱:}$$

$$\sum_{i \in E} Q_{vi} \leq Cap Z_v \quad v \in V \quad \text{رابطه ی ۱۲:}$$

$$\sum_{v \in V} Z_v \leq V \quad \text{رابطه ی ۱۳:}$$

$$T_{vi} = 0 \quad \forall i \in D, \forall v \in V \quad \text{رابطه ی ۱۴:}$$

$$(T_{vi} + Dt_i + c_{ij}) - M_{big} (1 - X_{vij}) \leq T_{vj} \quad \text{رابطه ی ۱۵:}$$

$$\forall j \in E, \forall v \in V, \forall i \in D \cup E, i \neq j$$

$$T_{vi} \leq b_i \quad \forall i \in E, \forall v \in V \quad \text{رابطه ی ۱۶:}$$

$$X_{vij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall v \in V \quad \text{رابطه ی ۱۷:}$$

$$Y_{vi} \in \{0,1\} \quad \forall i \in E, \forall v \in V \quad \text{رابطه ی ۱۸:}$$

$$Z_v \in \{0,1\} \quad v \in V \quad \text{رابطه ی ۱۹:}$$

Dt_i زمان ارائه ی خدمت در گره ی $i \in E$

M_{big} مقدار خیلی بزرگ

w جریمه ی نقض محدودیت

برابر یک است اگر وسیله ی $v \in V$ از گره ی $i \in N$ به

گره ی $j \in N$ حرکت کند، در غیر این صورت برابر صفر

است.

Y_{vi} برابر یک است اگر وسیله ی $v \in V$ به گره ی $i \in E$ تخصیص داده شود، در غیر این صورت برابر صفر است.

Z_v برابر یک است اگر وسیله ی $v \in V$ اعزام شود، در غیر این صورت برابر صفر است.

Q_{vi} تعداد اقلامی که توسط وسیله ی حمل و نقل $v \in V$ در نقطه ی حادثه دیده ی $i \in E$ تخلیه می شوند.

T_{vi} زمان رسیدن وسیله ی $v \in V$ به گره ی $i \in N$

α درجه ی ارضای محدودیت

تابع هدف و محدودیت ها

در این مقاله تقاضای هر منطقه ی آسیب دیده به صورت عددی فازی، با تابع عضویت مثلثی به شکل $d_i = (d_{1i}, d_{2i}, d_{3i})$ تعریف شده و مدل بهینه سازی استوار در ادامه نشان داده شده است.

رابطه ی ۵:

$$\text{Min} \sum_{v \in V} \sum_{i \in E} T_{vi} + w * (d_{3i} - (\alpha d_{3i} + (1-\alpha)d_{2i}))$$

$$\sum_{i \in D} \sum_{j \in E} X_{vij} = Z_v \quad v \in V \quad \text{رابطه ی ۶:}$$



تصویر ۳: نقشه‌ی منطقه‌ی چهار شهر تهران

است. منطقه‌ی چهار برحسب تقسیمات شهرداری تهران شامل ۹ ناحیه است که در تصویر ۳ نشان داده شده است.

بحران‌های مختلفی از قبیل سیل، زلزله و ... در ایران اتفاق می‌افتد و خسارت‌ها و آسیب‌های مختلفی را هر ساله به وجود می‌آورد. مخصوصاً تهران در معرض خطر زلزله است به دلیل این که چندین گسل اصلی از آن می‌گذرد. تعدادی از این گسل‌ها از منطقه‌ی ۴ تهران عبور می‌کند. زمانی که یک گسل فعال می‌شود، درصدی از جمعیت افراد آن منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به همین منظور برای اجرای مدل پیشنهادی روی کیس واقعی، در این مقاله، نواحی ۱، ۶ و ۷ منطقه‌ی چهار تهران مورد مطالعه قرار می‌گیرد و به منزله‌ی مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفته می‌شوند. همچنین، پهنای گسل‌های منطقه‌ی ۴ تهران در تصویر ۴ نشان داده شده است.

با نظرسنجی از خبرگان مدیریت بحران منطقه‌ی چهار، در صورت وقوع بحران، جمعیت سالم و نیازمند کمک‌های امدادی، در جدول ۱ مشخص شده است.

در این مقاله سوله‌ی بحران حکیمیه به منزله‌ی مرکز توزیع اقلام معرفی گردیده است و حداکثر ۵ وسیله‌ی امدادی که ظرفیت هر کدام ۵۰۰ کالا است، در دسترس بوده و زمان ارائه‌ی خدمت ۲۰ دقیقه و پنجره‌ی زمانی ۴۰ دقیقه در نظر گرفته شده است.

نتایج حل و اعتبار سنجی مدل

مسئله‌ی مطرح شده با استفاده از نرم‌افزار GAMS 23.0.2 حل‌کننده‌ی CPLEX بر روی رایانه‌ای با مشخصات Intel Core i7 4702MQ 2.20GHz up to 3.20 GHz and 6GB RAM-DR3 under Win Seven اجرا شد.

در جدول ۲ مسیر حرکت هر وسیله‌ی امدادی، تعداد کالاهایی که در هر نقطه‌ی حادثه دیده تخلیه می‌شوند و زمان رسیدن هر وسیله‌ی امدادی به هر یک از مناطق حادثه که ملاقات می‌کند، نشان داده شده است.

$$Q_{vi} \geq 0 \quad \forall i \in E, \forall v \in V \quad \text{رابطه‌ی ۲۰}$$

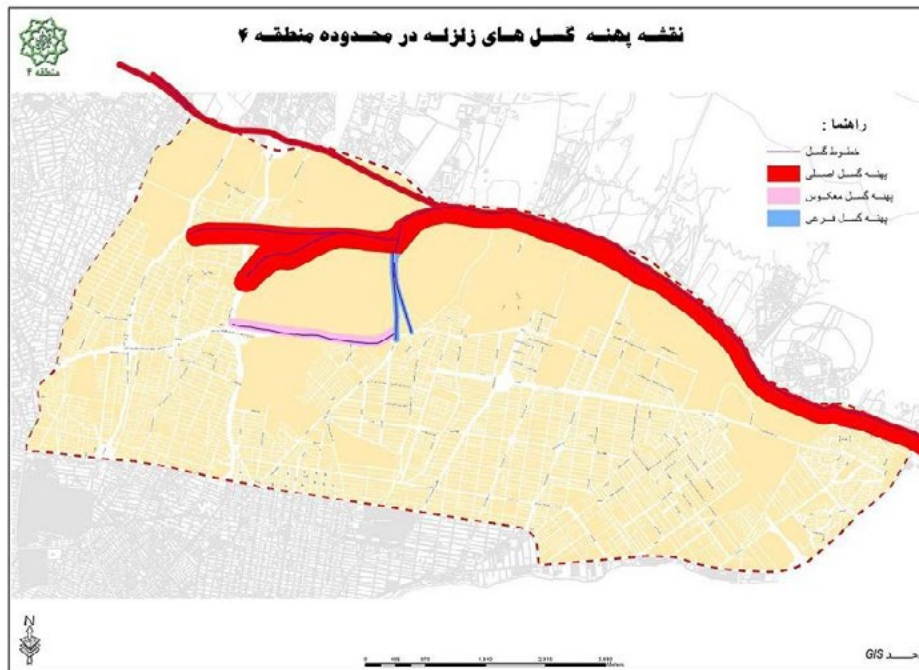
$$T_{vi} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall v \in V \quad \text{رابطه‌ی ۲۱}$$

$$0.5 < \alpha \leq 1. \quad \text{رابطه‌ی ۲۲}$$

تابع هدف ۵ کل زمان رسیدن وسایل امدادی به مناطق آسیب‌دیده را نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۶ بیان‌کننده‌ی این است که در صورت اعزام وسیله‌ی امدادی، آن وسیله از مرکز توزیع اقلامی که در آن مستقر شده به سمت یکی از مناطق حادثه‌دیده شروع به حرکت می‌کند. رابطه‌ی ۷ بیانگر این است که در صورت اعزام وسیله‌ی امدادی، آن وسیله بعد از عملیات توزیع اقلام، مجدداً به مرکز توزیع بر می‌گردد. رابطه‌ی ۸ محدودیت تعادل جریان برای مناطق آسیب‌دیده را نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۹ بیان‌کننده‌ی این است که اگر وسیله‌ای به یک منطقه‌ی حادثه‌دیده اختصاص یابد قبل از آن، فقط مرکز توزیعی که وسیله در آن مستقر شده است یا یک منطقه‌ی حادثه‌دیده‌ی دیگری وجود دارد. رابطه‌ی ۱۰ رابطه‌ی بین دو متغیر Q_{vi} و Y_{vi} را برای هر منطقه‌ی آسیب‌دیده نشان می‌دهند. رابطه‌ی ۱۱ میزان تقاضای هر منطقه‌ی حادثه‌دیده را برای اقلام امدادی نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۱۲ بیان‌کننده‌ی حداکثر ظرفیت هر وسیله‌ی امدادی است. رابطه‌ی ۱۳ حداکثر تعداد وسایل امدادی در دسترس را نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۱۴ بیانگر این است که زمان شروع حرکت هر وسیله‌ی امدادی از مرکز توزیع، صفر در نظر گرفته می‌شود. رابطه‌ی ۱۵ زمان رسیدن هر وسیله‌ی امدادی را به هر منطقه‌ی آسیب‌دیده نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۱۶ بیان‌کننده‌ی رعایت محدودیت پنجره‌ی زمانی برای توزیع عادلانه‌ی اقلام امدادی میان مناطق حادثه‌دیده‌ی مختلف است. روابط ۱۷ تا ۲۲ نشان‌دهنده‌ی نوع متغیرها است.

مطالعه‌ی موردی

شهر تهران، پایتخت ایران شامل ۲۲ منطقه است که منطقه‌ی چهار شهر تهران، یکی از پرجمعیت‌ترین و وسیع‌ترین مناطق تهران



تصویر ۴: نقشه‌ی پهنه گسل‌های منطقه‌ی چهار تهران

جدول ۱: مرکز و جمعیت نیازمند کمک‌های امدادی در نواحی منطقه‌ی چهار شهر تهران

ناحیه	مرکز تقاضا	جمعیت نیازمند کمک‌های امدادی ($\tilde{d}_i$) (d_{1i}, d_{2i}, d_{3i})
۱	خیابان سیف	(۵۵۰ و ۵۷۵ و ۶۰۰)
۶	خیابان ۱۹۲ شرقی	(۶۰۰ و ۶۳۴ و ۶۵۰)
۷	خیابان هنگام	(۷۰۰ و ۷۳۰ و ۱۲۶۰)

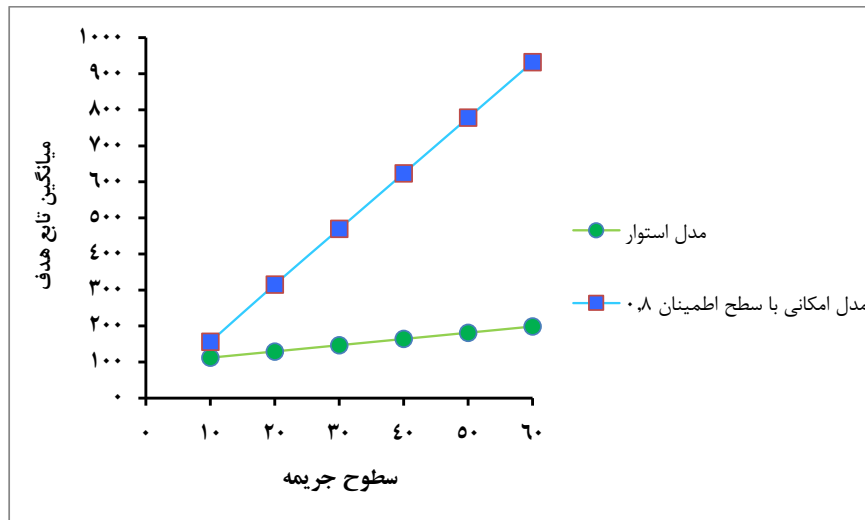
جدول ۵: نتایج حاصل از حل مدل

وسيله	مسیر حرکت هروسیله	تعداد اقلامی که در هر مسیر تخلیه می‌شوند (کالا)	زمان رسیدن به هر گرّه (دقیقه)
۱	سوله‌ی بحران حکیمیه - خیابان ۱۹۲ شرقی - خیابان سیف - سوله‌ی بحران حکیمیه	۰-۴۰۰-۱۰۰۰۰	۰-۳,۹-۳۲-۴۳,۷
۲	سوله‌ی بحران حکیمیه - خیابان سیف - سوله‌ی بحران حکیمیه	۰-۵۰۰-۰	۰-۱۱,۷-۲۳,۲۴
۳	سوله‌ی بحران حکیمیه - خیابان هنگام - سوله‌ی بحران حکیمیه	۰-۵۰۰-۰	۰-۷,۶-۱۵,۲
۴	سوله‌ی بحران حکیمیه - خیابان هنگام - سوله‌ی بحران حکیمیه	۰-۵۰۰-۰	۰-۷,۶-۱۵,۲
۵	سوله‌ی بحران حکیمیه - خیابان ۱۹۲ شرقی - خیابان هنگام - سوله‌ی بحران حکیمیه	۰-۲۵۰-۲۵۰۰۰	۰-۳,۹-۲۷,۷-۳۵,۳

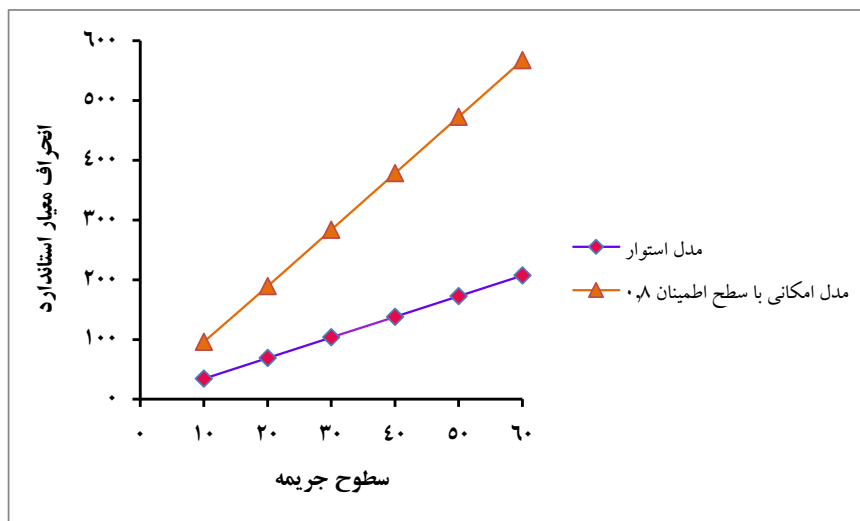
شده تحت هر شبیه‌سازی و مقدار بهینه‌های متغیرها که توسط مدل‌های برنامه‌ریزی امکانی و برنامه‌ریزی امکانی استوار تحت داده‌های اسمی مشخص گردیده‌اند، در مدل شبیه‌سازی قرار داده می‌شوند [۱۸].

در این مقاله، میانگین و انحراف معیار استاندارد مدل برنامه‌ریزی امکانی و مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار تحت ده

به منظور تحلیل عملکرد مدل پیشنهادی برنامه‌ریزی امکانی استوار، ده شبیه‌سازی به طور تصادفی بر روی پارامتر غیر قطعی (تقاضای هر منطقه‌ی آسیب‌دیده)، تحت شش جریمه‌ی مختلف انجام شده است. برای ایجاد هر شبیه‌سازی، برای تقاضای هر منطقه‌ی حادثه‌دیده که دارای تابع امکانی مثلی به صورت $\tilde{d}_i = (d_{1i}, d_{2i}, d_{3i})$ است، یک عدد تصادفی بین بازه‌ی $d_{real} = [d_{1i}, d_{3i}]$ انتخاب می‌شود. سپس پارامترهای تولید



تصویر ۵: میانگین تابع هدف به ازای جریمه های مختلف



تصویر ۶: انحراف معیار استاندارد تابع هدف به ازای جریمه های مختلف

نتیجه گیری

در این مقاله یک مدل برنامه ریزی ریاضی خطی عدد صحیح مختلط برای مسئله ی مسیریابی و زمان بندی همزمان وسایل امدادی برای توزیع کالاهای مورد نیاز مناطق حادثه دیده در فاز پاسخ به بحران ارائه گردید. در این مقاله تقاضای مناطق آسیب دیده به صورت عدد فازی مثلثی در نظر گرفته شد و برای مقابله با شرایط عدم قطعیت، از رویکرد برنامه ریزی امکانی استوار استفاده گردید. از نوآوری های دیگر این مقاله نسبت به مطالعات پیشین، در نظر گرفتن امکان تأمین تقاضای هر منطقه ی حادثه دیده توسط چندین وسیله ی امدادی، محدودیت تعداد، ظرفیت برای ناوگان وسایل و محدودیت های پنجره ی زمانی است. در ادامه به منظور نمایش کاربردپذیری مدل پیشنهادی، مدل بر روی سه ناحیه از منطقه ی چهار شهر تهران اجرا گردید و نتایج حاصل از حل آن گزارش شد و عملکرد مدل برنامه ریزی امکانی استوار نسبت به مدل برنامه ریزی امکانی در شبیه سازی های مختلف سنجیده گردید.

شبیه سازی محاسبه شده و در تصاویر ۵ و ۶ با یکدیگر مقایسه شده اند.

همان طور که در تصویر ۶ دیده می شود، انحراف معیار استاندارد مدل برنامه ریزی امکانی استوار همواره از مدل برنامه ریزی امکانی تحت جریمه های مختلف بهتر است و با افزایش جریمه ها انحراف استاندارد زیاد شده است. ولی همواره برتری و چیرگی مدل استوار حفظ گردیده است.

علاوه بر انحراف استاندارد، همان طور که در تصویر ۵ ملاحظه می شود، میانگین تابع هدف مدل استوار در این مطالعه ی موردی هم همواره از مدل امکانی بهتر است. بنابراین در حالت کلی می توان گفت هر چه قدر ریسک گریزی تصمیم گیرنده بیشتر می شود (مقدار جریمه ها زیاد می گردد)، استفاده از مدل برنامه ریزی امکانی استوار معقول تر است به دلیل این که خروجی های این مدل با ریسک و تجاوزات کمتری نسبت به مدل برنامه ریزی امکانی، تحت جریمه های زیاد مواجه می شود.

the warehouse location-routing problem in disaster relief. *Computers & Operations Research*, 42, 25-39.

11. Wang, H., Du, L., & Ma, S. (2014). Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 69, 160-179.
12. Moshref-Javadi, M., & Lee, S. (2016). The Latency Location-Routing Problem. *European Journal of Operational Research*.
13. Wex, F., Schryen, G., & Neumann, D. (2012). Operational emergency response under informational uncertainty: a fuzzy optimization model for scheduling and allocating rescue units.
14. Gan, X., Wang, Y., Yu, Y., & Niu, B. (2013). An emergency vehicle scheduling problem with time utility based on particle swarm optimization *Intelligent Computing Theories and Technology* (pp. 614-623): Springer.
15. Caunhye, A. M., Zhang, Y., Li, M., & Nie, X. (2015). A location-routing model for prepositioning and distributing emergency supplies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.
16. Rennemo, S. J., Rø, K. F., Hvattum, L. M., & Tirado, G. (2014). A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 62, 116-135.
17. Pishvaei, M. S., Razmi, J., & Torabi, S. A. (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 206, 1-20.
18. Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Pishvaei, M. S. (2014). A robust possibilistic programming approach to multi-period location-allocation of organ transplant centers under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 139-148.
19. Inuiguchi, M., & Ramik, J. (2000). Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 111(1), 3-28.
20. Liu, B., & Iwamura, K. (1998). Chance constrained programming with fuzzy parameters. *Fuzzy Sets and Systems*, 94(2), 227-237.
21. Dubois, D., & Prade, H. (1987). The mean value of a fuzzy number. *Fuzzy Sets and Systems*, 24(3), 279-300.
22. Heilpern, S. (1992). The expected value of a fuzzy number. *Fuzzy Sets and Systems*, 47(1), 81-86.

برای پیشنهادات آتی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱. حل مدل در ابعاد بزرگ با استفاده از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری. ۲. در نظر گرفتن اختلال در تسهیلات و مسیرهای حمل و نقل. ۳. در نظر گرفتن مسئله به شکل چند محصولی و چند دوره‌ای.

پی‌نوشت

1. Routing and scheduling
2. Distribution of relief items
3. Response phase
4. Uncertainty
5. Time window
6. Split delivery
7. Robust possibilistic optimization

منابع

1. Nolz, P. C., Semet, F., & Doerner, K. F. (2011). Risk approaches for delivering disaster relief supplies. *OR spectrum*, 33(3), 543-569.
2. Abdelgawad, H., & Abdulhai, B. (2011). Large-scale evacuation using subway and bus transit: approach and application in city of Toronto. *Journal of Transportation Engineering*, 138(10), 1215-1232.
3. Bish, D. R. (2011). Planning for a bus-based evacuation. *OR spectrum*, 33(3), 629-654.
4. Hamed, M., Haghani, A., & Yang, S. (2012). Reliable transportation of humanitarian supplies in disaster response: model and heuristic. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 1205-1219.
5. Wohlgemuth, S., Oloruntoba, R., & Clausen, U. (2012). Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster relief. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(4), 261-271.
6. Lee, K., Lei, L., Pinedo, M., & Wang, S. (2013). Operations scheduling with multiple resources and transportation considerations. *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 7071-7090.
7. Lee, K., Lei, L., & Dong, H. (2013). A Solvable Case of Emergency Supply Chain Scheduling Problem with Multi-stage Lead Times. *Journal of Supply Chain and Operations Management*, 11(2), 30.
8. Pramudita, A., Taniguchi, E., & Qureshi, A. G. (2014). Location and Routing Problems of Debris Collection Operation after Disasters with Realistic Case Study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 125, 445-458.
9. Özdamar, L., Aksu, D. T., & Ergünes, B. (2014). Coordinating debris cleanup operations in post disaster road networks. *Socio-Economic Planning Sciences*, 48(4), 249-262.
10. Rath, S., & Gutjahr, W. J. (2014). A math-heuristic for

کاربرد روش دلفی و شیوهی دیمتل در شناسایی و ساختاردهی به شاخص‌های تأثیرگذار بر چابکی لجستیک بحران

علی عباسی‌رانی*: دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه کردستان، Abbasiali60@gmail.com

عیسی نخعی کمال‌آبادی: استاد مهندسی صنایع دانشگاه کردستان

سید حسین پاریاب: مدیرعامل مرکز ملی شماره‌گذاری کالا و خدمات ایران

احمد لطفی: کارشناس ارشد تحقیق در عملیات و عضو هیئت علمی دانشگاه افسری امام علی (ع)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

وقوع حوادث غیرمترقبه و فجایع طبیعی و اثرات ناشی از وقوع آن‌ها، جوامع کنونی را ملزم به انجام برنامه‌ریزی‌های لازم برای رویارویی و کاهش اثرات مخرب مربوطه نموده است. اگر چه در حوادث کوچک، انجام این کار به صورت تجربی امکان‌پذیر است و نیاز به ابزار خاصی ندارد اما در حوادث با ابعاد بزرگ‌تر و فجایع طبیعی نظیر سیل، زلزله، حوادث اقتصادی و به‌ویژه جنگ، به دلیل پیچیدگی عوامل درگیر، انجام آن به صورت تجربی امکان‌پذیر نیست و برای اتخاذ تصمیم‌های مختلف، نیاز به ابزارهای تصمیم‌گیری وجود دارد. یکی از ارکان اصلی مدیریت بحران، لجستیک بحران یا لجستیک اضطراری است. در همین راستا هدف اصلی این مقاله ارائه‌ی مدلی برای ساختاردهی و شناسایی تأثیر عوامل مؤثر بر لجستیک اضطراری است تا از این طریق بتوان تصمیمات مناسبی برای فعالیت‌های لجستیک بحران به نحوی اتخاذ نمود تا بهترین استفاده از منابع صورت پذیرفته و بیشترین کارایی برای کاهش اثرات بلافاصله حاصل گردد. در این مقاله برای شناسایی شاخص‌های اصلی تأثیرگذار بر چابکی لجستیک اضطراری از روش دلفی^۱ و برای ساختاردهی به شاخص‌های تأثیرگذار و شناسایی تأثیر و تأثر این شاخص‌ها، از تکنیک دیمتل^۲ استفاده شده است. جامعه‌ی آماری پژوهش کلیه‌ی افراد متخصص در حوزه‌ی لجستیک است که یک نمونه‌ی ۱۰ نفره از آن‌ها استخراج و با استفاده از روش دلفی مشخص گردید که پویایی، سرعت عمل، قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی، آمادگی، یکپارچگی و ارتباط مؤثر میان عناصر درگیر، انعطاف‌پذیری، واکنش‌پذیری و فناوری اطلاعات هشت شاخص اصلی تأثیرگذار بر لجستیک اضطراری هستند. همچنین نتایج تحقیق در خصوص ساختاردهی به عوامل مؤثر بر چابکی لجستیک با استفاده از تکنیک دیمتل نشان داد، که عوامل «فناوری اطلاعات» و «پویایی» تأثیرگذارترین عوامل و «واکنش‌پذیری» و «قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی» دارای کمترین تأثیر و تأثیرپذیرترین متغیرها هستند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت بحران، لجستیک اضطراری، لجستیک اقتصادی، روش دلفی، تکنیک دیمتل

Application of Delphi Method and using Dematel in identification and organizing the effective criteria on logistic agility during Crisis

Ali Abbasi Raei¹, Isa Nakhai Kamalabadi², Seyed hossein paryab³, Ahmad Lotfi⁴

Abstract:

The occurrence of Unexpected events and natural disasters and the effects of their occurrence, communities are required to do the planning necessary to meet current and reduce the adverse effects is relevant. Although in minor events, this is experimentally possible and don't need to special tools, but in the event bigger and natural disasters such as flood, earthquake, ad hoc disaster and especially war, because of the size and complexity of factors involved, do it was not possible in experimental and for decision making is need to decision making tools. The main objective of this paper is to present a model for the structure and identify the impact of factors affecting the emergency logistics so that any appropriate decisions for the activities of logistics crisis in a way adopted to make the best use of resources has been done and the highest efficiency in order to reduce the impact of disasters resulting be. Society and research sample consisted of experts in the field of logistics and analysis using the "Delphi method" and "Dematel technique" was conducted, the results showed, dynamism, speed, capable of sustaining support, preparation, integrity, and effective communication among the elements involved, flexibility, reactivity, and information Technology are 8 main indicators affecting on emergency logistics. The results of the structuring factors affecting supply chain agility showed that the factors "IT" and "dynamism" has the greatest impact on the logistics system crisis and the "reactive" and "The sustainability of support" have the least impact and the richest are variable.

Keywords: crisis management, Emergency logistics, ad hoc logistics, Delphi methods, dematel techniques

1 - Phd Student Of Industrial Engineering ,University Of Kurdistan, Sanandaj, Iran , Email: Abbasiali60@gmail.com

2 - Professor of Industrial Engineering , Faculty of Engineering, University Of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3 - CEO of National Codification Center for Iranian Goods and Services, Tehran, Iran

4 - Master Of Science In Operations Research, Faculty Member In Imam Ali Military University, Tehran, Iran

۵۵

شماره پانزدهم
بهار و تابستان
۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



کاربرد روش دلفی و شیوهی دیمتل در شناسایی و ساختاردهی به شاخص‌های تأثیرگذار بر چابکی لجستیک بحران

مقدمه و مبانی نظری تحقیق

بحران حادثه‌ای است که به طور طبیعی و یا توسط بشر، به صورت ناگهانی اتفاق می‌افتد و سختی و مشقت را به جامعه تحمیل می‌نماید که برطرف کردن آن نیازمند اقدامات اساسی و فوق‌العاده است [۱]. اکثر سازمان‌ها مانند مجمع جهانی راه^۳ و آژانس مدیریت بحران فدرال ایالت متحده^۴ و همچنین اکثر محققان، بحران‌ها را به دو گروه کلی بحران‌های انسان‌ساز^۵ و بحران‌های طبیعی^۶ تقسیم نموده‌اند. جدول ۱ دسته‌بندی کلی بحران‌ها را بر حسب نوع ایجاد و نوع وقوع با ذکر مثال‌هایی برای هر دسته نشان می‌دهد.

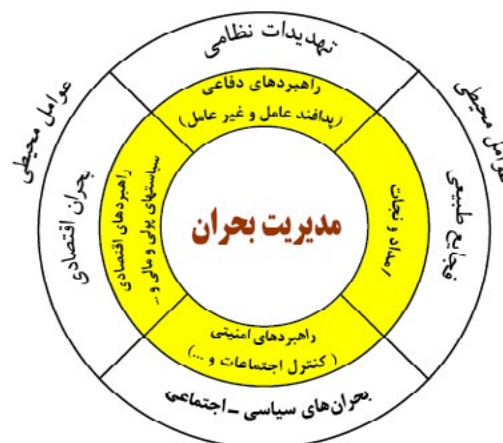
جدول ۱: دسته‌بندی انواع بحران

انسان‌ساز	طبیعی
بحران‌های سیاسی، پناهندگی	قحطی، خشکسالی (هجوم تدریجی)
حملات تروریستی، جنگ	زلزله، طوفان و سیل (هجوم غیر منتظره)

سیستم مدیریت بحران و لجستیک اضطراری

مدیریت بحران در واقع عبارت از به‌کارگیری راهبردهایی برای ایجاد آمادگی و فراهم نمودن زمینه و تدارکات لازم سازمانی برای رویارویی با بحران و به حداقل رساندن آثار تخریبی آن است. به عبارت دیگر، مدیریت بحران، علمی، کاربردی است که به وسیله‌ی مشاهده‌ی سیستماتیک بحران‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها در جستجوی یافتن ابزارهایی است که به وسیله‌ی آن‌ها بتوان از بروز بحران پیش‌گیری نموده و یا در صورت بروز آن نسبت به کاهش اثرات آن آمادگی لازم، امدادسانی سریع و بهبود اوضاع اقدام نمود [۲].

تصویر ۱ طرح کلی از محیط مدیریت بحران شامل «عوامل محیطی» (فجایع طبیعی، تهدیدهای نظامی، بحران‌های سیاسی و اجتماعی و ...) و راهبردهای رویارویی با هر کدام را نمایش می‌دهد.



تصویر ۱: محیط مدیریت بحران

از تعاریف فوق می‌توان نتیجه گرفت که سیستم مدیریت بحران را می‌توان به چهار زیر سیستم یا فعالیت اصلی زیر تقسیم‌بندی کرد:

الف. فرماندهی و مدیریت

ب. عملیات

ج. اطلاعات

د. لجستیک (آمداد و پشتیبانی)

اگر سیستم مدیریت بحران را به اعضای یک پیکر تشبیه نماییم، «مدیریت و فرماندهی» قوای فکری و تصمیم‌گیری این بدن، «عملیات» بازوان و سرانگشتان این پیکر، «اطلاعات» حس‌های پنج‌گانه و «لجستیک» حکم قلب این بدن را پیدا خواهد کرد.

با توجه به موضوع مقاله از تشریح سه مورد نخست صرف نظر کرده و تنها به معرفی زیرسیستم لجستیک می‌پردازیم [۲].

در بین زیرسیستم‌های مدیریت بحران، زیرسیستم لجستیک به منزله‌ی یکی از ارکان اصلی در سازمان‌های عملیاتی، نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای در پیشبرد مأموریت‌های محوله بر عهده دارد. در این مقاله از این زیرسیستم با عنوان «لجستیک اضطراری» یا «لجستیک بحران» یاد کرده و به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

«فعالیت‌های لجستیکی که به منظور برآورده کردن نیازهای

ضروری افراد آسیب‌دیده در هنگام یک بحران (طبیعی و

ساختگی)، کاهش دامنه بحران و بازسازی حادثه صورت

می‌گیرد، را لجستیک اضطراری می‌گویند».

در واقع هدف لجستیک اضطراری پاسخ به نیازهای افراد آسیب‌دیده و جلوگیری از گسترش دامنه‌ی بحران است. مدیریت لجستیک اضطراری یک موضوع قابل توجه در سراسر جهان است که برای فجایع طبیعی و ساختگی (به طور مثال، زمین لرزه، سونامی، طوفان، جنگ و ...) مطرح شده است. لجستیک اضطراری یک عامل کلیدی است که سعی در کاهش تأثیرات این فجایع و عواقب بعدی آن دارد. لجستیک اضطراری دارای چندین مسئله‌ی چالش‌برانگیز از جمله عدم قطعیت زیاد و پیچیدگی است، که نمی‌توان آن‌ها را به سادگی سایر مسائل لجستیکی بررسی کرد.

تفاوت لجستیک اضطراری با لجستیک تجاری

بر خلاف لجستیک تجاری، فعالیت‌های لجستیک اضطراری در شرایط عدم اطمینان و پیچیده صورت گرفته و باید در کمترین زمان ممکن تدارک دیده شوند. به طور کلی وجوه تمایز لجستیک اضطراری از لجستیک تجاری را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد [۳]:

- صحت در اطلاعات مرتبط با تقاضا
- به هنگام بودن توزیع ذخایر امداد به سختی قابل کنترل است.
- مدیریت منابع (به علت غیرقطعی بودن محیط لجستیک اضطراری) یک چالش است.
- عدم قطعیت زیاد (مسیرهای غیرقابل استفاده، مباحث ایمنی، تغییر در ظرفیت تسهیلات، عدم قطعیت تقاضا).

- ارتباطات و هماهنگی پیچیده (آسیب به خطوط ارتباطی، درگیر شدن بسیاری از اشخاص ثالث، دولت و شهروندان، عدم دسترسی به اطلاعات فوری و دقیق تقاضا)
- دشوار بودن تحویل به موقع و کارآمد
- وارد عمل شدن سازمان‌های مختلف

بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق

طبق بررسی‌های به عمل آمده، کشور ایران در ردیف ۱۰ کشور اول حادثه‌خیز جهان است. از بین ۴۰ نوع حادثه‌ی شناخته شده در سطح جهان متأسفانه ۳۱ نوع آن در ایران احتمال وقوع دارد و مشخصاً سه حادثه‌ی زلزله، سیل و خشکسالی بیشتر از سایر بلایا برای کشور ما خسارت بار بوده است. بر اساس اظهار نظر پژوهشکده‌ی مهندسی زلزله نزدیک به ۸۳ درصد جمعیت کشور ایران در مناطق با خطر نسبی زمین‌لرزه شدید و خیلی شدید قرار دارند و ۵۰ درصد در معرض خطر سیل قرار دارند [۴].

مدیریت بحران در هنگام بروز حوادث همواره با مشکلات جدی روبرو بوده است. پشتیبانی و لجستیک بحران (لجستیک اضطراری) نیز به منزله‌ی یکی از ارکان اصلی مدیریت بحران از این قاعده مستثنی نیست. لجستیک نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای در پشتیبانی مدیریت بحران بر عهده دارد که در صورت اختلال در ایفای این نقش، کل فرایند مدیریت بحران با مشکل روبه‌رو شده و دچار اختلال خواهد شد [۴]. لجستیک بحران یا لجستیک اضطراری شامل کلیه‌ی فرایندهای برآورد، تأمین، حمل و نقل، نگهداری و توزیع کالاها، تجهیزات، خدمات و تمامی نیازمندی‌های آسیب‌دیدگان و تیم‌های امدادی است که باید در کمترین زمان ممکن (زمان مناسب) و در مکان‌های تعیین‌شده (مکان مناسب) به میزان مورد نیاز (مقدار مناسب) به افراد و تیم‌های مورد نظر (افراد مشخص) و با روش علمی و دقیق و دارای کمترین مشکلات برای نیازمندان (روش مناسب) به دست آن‌ها برسد. بنابراین چنانچه لجستیک اضطراری از یک سیستم منسجم و علمی برخوردار باشد می‌توان تا حدود زیادی به موفقیت در مدیریت بحران امیدوار بود.

ضمن اینکه، بررسی سیر تاریخی لجستیک بحران نشان می‌دهد که هنگام وقوع یک بحران، خطاهای ثبت شده‌ای در هنگام امدادرسانی به آسیب‌دیدگان وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۵]:

- توزیع نامناسب مواد غذایی و بعضاً دور از شأن مردم آسیب‌دیده
- نادیده گرفتن منزلت انسان‌های آسیب‌دیده و عدم شناخت صحیح از نیازهای آنان
- ضعف مدیریت در کمک‌رسانی برای جمع‌آوری و نگهداری و توزیع عادلانه کمک‌های مردمی، ملی و جهانی
- انتخاب محل اسکان موقت بدون رعایت ضوابط انتخاب محل اردوگاه
- قبول مسئولیت‌های خارج از توان سازماندهی توسط بعضی از سازمان‌ها و ارگان‌ها

- دادن وعده‌های بدون پشتوانه به آسیب‌دیدگان و ایجاد توقع در آنان که نهایتاً نارضایتی و عدم همکاری و مشارکت آسیب‌دیدگان را به دنبال داشته است.
- عدم اطمینان مردم از تحویل هدایای خود به ستادهای مسئول به طوری که بیشتر آنان مایل هستند خود رأساً اقدام به توزیع و تحویل اجناس نمایند.
- ارسال منابع بدون ارزیابی صحیح از نیازها

وجود یک سیستم لجستیک چابک، توانا، پویا و پاسخگو در هنگام بحران به میزان زیادی می‌تواند از تلفات بحران جلوگیری نماید. سیستم لجستیک به منزله‌ی ستون فقرات تمامی عملیات‌های امدادی و کمک‌رسانی باید قابلیت پاسخ‌گویی به شرایط متغیر را داشته باشد و به صورت یکپارچه و منعطف عمل نماید. ایجاد چنین سیستمی نیازمند شناسایی شاخص‌های تأثیرگذار بر روی آن و ساختاردهی به آن‌هاست. چرا که شناسایی شاخص‌های اساسی تأثیرگذار بر لجستیک بحران و تحلیل تأثیر و تأثر این شاخص‌ها بر روی همدیگر می‌تواند دست‌اندرکاران مدیریت بحران را در دستیابی به اهداف خود یاری نموده تا خسارت‌های جانی و مالی ناشی از بحران را به حداقل برسانند. از این رو در این مقاله شناسایی و ساختاردهی به شاخص‌های تأثیرگذار بر چابکی لجستیک اضطراری در دستور کار قرار گرفته است.

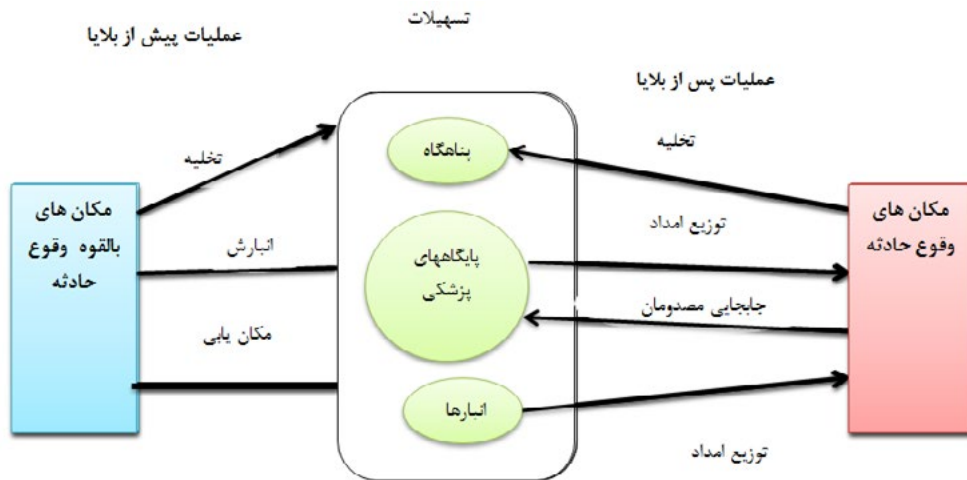
در خصوص نوآوری این پژوهش قابل ذکر است که، علیرغم اینکه موضوع لجستیک بحران یکی از زیرشاخه‌های مهم مدیریت بحران محسوب می‌شود. تاکنون در کشور آن طور که باید و شاید به آن پرداخته نشده است. در این مقاله برای نخستین بار ضمن تشریح اهمیت لجستیک بحران، شاخص‌های تأثیرگذار بر روی آن تبیین و برای نخستین بار تأثیر و تأثر این شاخص‌ها بر روی هم با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندگانه مشخص گردید.

مرور پیشینه

موضوع لجستیک اضطراری تاکنون از جنبه‌های مختلف مخصوصاً مدل‌های بهینه‌سازی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. اما تاکنون پژوهشی به این شیوه در حوزه‌ی لجستیک اضطراری انجام نشده است. لذا در بررسی پیشینه‌ی تحقیق به طور مختصر به مرور مدل‌های بهینه‌سازی ارائه شده در حوزه‌ی لجستیک اضطراری پرداخته می‌شود.

مدل‌های بهینه‌سازی ابزاری قدرتمند برای غلبه بر مشکلات لجستیک اضطراری محسوب می‌شوند. عملیات مربوط به بلایا را می‌توان قبل و یا بعد از وقوع حوادث مورد بررسی قرار داد. اطلاع‌رسانی برای تخلیه در کوتاه‌ترین زمان، مکان‌یابی تسهیلات و انبارش^۷ به منزله‌ی عملیات اصلی قبل از وقوع بلایا مطرح هستند. در حالی که توزیع امداد (توزیع اقلام بین آسیب‌دیدگان) و انتقال مصدومان به مثابه‌ی عملیات بعد از وقوع بلایا طبقه‌بندی می‌گردند (تصویر ۲).

طبق این عملیات، تحقیقات ارائه شده در مقالات در سه بخش مکان‌یابی تسهیلات، توزیع امداد و انتقال مصدومان و سایر



تصویر ۲: چارچوب مهم ترین فعالیت ها و جریانات لجستیک اضطراری

شده از سوی آنان، به معیار مورد نظر انجام شد. در ادامه به محاسبه ی ارزش ارزیابی از عدد فازی مثلثی هر معیار پرداخته شد که از سوی خبرگان به آن معیار داده شده است. در این مطالعه از روش میانگین هندسی [۳۹]، برای یافتن نظر خبرگان نسبت به یک معیار استفاده شده است. فرض بر این است که ارزش ارزیابی معیار j از نگاه خبره ی شماره ی i از میان n خبره (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) می باشد. که مقدار $j = 1, 2, \dots, m$ و مقدار $i = 1, 2, \dots, n$ است. بدین ترتیب ارزش فازی معیار j از رابطه ی شماره ی ۱ محاسبه می شود که برابر $W_j = (a_j, b_j, c_j)$ است.

$$a_j = \min \{a_{ij}\}$$

$$b_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad \text{رابطه ی ۱:}$$

$$c_j = \max \{c_{ij}\}$$

برای دیفازی سازی از رابطه ی ۲ استفاده می کنیم.

$$s_j = \frac{a_j + 4b_j + c_j}{6}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه ی ۲:}$$

در انتها برای استخراج معیارهای مورد نظر، حدی را برای قبول یا عدم قبول آن معیار در نظر می گیریم. در این مطالعه با توجه به قانون ۸۰-۲۰، مرز قابل قبول بودن معیار در حدود ۸ است. اگر مقدار دیفازی شده ی عدد فازی مثلثی با توجه به نظر خبرگان نزدیک به ۰.۸ یا بیشتر باشد، به منزله ی معیار قابل قبول پذیرش شده و در غیر این صورت مورد قبول واقع نمی شود.

شیوه ی آزمایش و ارزیابی تصمیم گیری دیمتل^۸

تکنیک دیمتل از انواع روش های تصمیم گیری بر اساس مقایسه های زوجی است که با بهره مندی از قضاوت خبرگان در استخراج عوامل یک سیستم و ساختاردهی نظام مند به آن ها با به کارگیری اصول نظریه گراف ها، ساختاری سلسله مراتبی از عوامل موجود در سیستم همراه با روابط تأثیر و تأثر متقابل ارائه می دهد، به گونه ای که شدت اثر روابط مذکور را به صورت امتیاز عددی معین می کند.

عملیات ارائه شده اند که در هر بخش پژوهش های مختلفی انجام شده است.

در خصوص شاخصه های لجستیک اضطراری نیز، در برخی از پژوهش ها به آن ها اشاره شده است. با توجه به اینکه در زمان بحران شرایط به میزان زیادی تغییر کرده و نوع بحران نیز می تواند نیازمندی های خاصی را ایجاد کند که پیش از این وجود نداشته اند، مدیریت بحران باید از لجستیکی برخوردار باشد که بتواند درخواست ها و نیازمندی های آسیب دیدگان و گروه های امدادی را در کوتاه ترین زمان ممکن تأمین نماید. برای عملی شدن این امر، سیستم لجستیک بحران باید چابک، پویا و فعال باشد. شاخص های مختلفی توسط نویسندگان مختلف برای یک سیستم لجستیک بحران کارآمد ارائه شده است که در جدول ۲ خلاصه شده اند.

روش تحقیق و ابزارها

این پژوهش با مطرح کردن این سؤال اصلی شروع می شود که شاخص های اساسی مؤثر بر لجستیک اضطراری کدام هستند و مدل روابط میان آن ها چگونه است؟ از سوی دیگر، این پژوهش از دیدگاه روش از نوع توصیفی پیمایشی است؛ چرا که شامل مجموعه روش هایی است که هدف آن ها توصیف شرایط با پدیده های مورد بررسی است. در این پژوهش با استفاده از روش های تصمیم گیری و نیاز به بهره گیری از خبرگان، ده نفر از خبرگان به منزله ی نمونه انتخاب شدند. با توجه به موضوع پژوهش، پرسش نامه ای در اختیار تمام خبرگان گذاشته شد و با استفاده از روش دلفی فازی، شاخص های اساسی مؤثر بر لجستیک اضطراری استخراج و در گام بعد، شاخص ها از طریق پرسش نامه در اختیار جامعه ی خبرگان قرار داده شد تا داده های لازم با استفاده از روش دیمتل فازی مدل سازی شوند.

روش دلفی سازی

در ابتدا جمع آوری نظرات گروه تصمیم گیرنده و تخصیص عدد فازی مثلثی از دیدگاه خبرگان با توجه به واژه ی زبانی انتخاب

جدول ۲: شاخص‌های تأثیرگذار بر لجستیک اضطراری

شاخص	نویسنده
پویایی	Dessouky et al. (2006) [6], Horner and Downs (2010) [7], Iakovou et al. (2009) [8], Wilhelm and srinivasa(2010) [9]
یکپارچگی	Jia et al. (2007) [10], McCall (2012) [11], Sherali et al. (2005) [12], Yi & Kumar (2007) [13]
آمادگی	Balcik and Beamon (2011) [14], Yi & Özdamar (2007) [15]
قابلیت استمرار	Duran et al.(2013) [16], Psaraftis et al.(2005) [17]
سرعت عمل	Song et al. (2009) [18]
واکنش پذیری	Fiedrich et al. (2000) [19]
فناوری اطلاعات	Dessouky et al. (2006) [6], Barbarosoglu et al (2002) [20]
اعتماد متقابل	Viswanath and Peeta (2003) [21], Barbarosoglu et al. (2002) [20]
ارتباط مؤثر میان عناصر درگیر	Kongsomsaksakul et al. (2005) [22], Srinivasa & Wilhelm(2012) [23]
هماهنگی	Rawls and Turnquist (2010) [24], Sheu (2007) [25]
گردش و انتقال صحیح اطلاعات	Belardo et al.(2012) [26]
توزیع بهینه	Mete and Zabinsky (2010) [27], Knott (2012) [28]
حمل و نقل مؤثر	Ray (2013) [29]
انعطاف پذیری	Chang et al.(2010) [30], Charnes et al. (2012) [31]
وضوح (شفافیت)	Sheu et al.(2010) [25]
نواوری	Ray (2013) [29]
استفاده از همه منابع	McCall (2012) [11], Özdamar et al. (2002) [32]
رضایت‌مندی آسیب‌دیدگان	Mete and Zabinsky (2010) [27]
زمان پاسخ‌گویی به مشتری	Psaraftis et al. (2005) [17]
تحويل به موقع	Rawls and Turnquist(2010) [24]
کارایی تأمین‌کنندگان	Wilhelm and Srinivasa (2010) [23]
تلفیق جریان مواد و اطلاعات	Jiuh-biing & Cheng Pana (2015) [33]
منبع‌یابی و ارتباط با تأمین‌کنندگان	Brown and assiliou (2011) [34]
آموزش افراد	Charnes et al. (2012) [30] Haghani and Oh (2001) [35]
سیستم اطلاعاتی مناسب برای گردش اطلاعات	Sheu (2007) [25], Tzeng et al.(2007) [36], Yan and Shih (2009) [37] Yuan and Wang (2009) [38]

رابطه‌ی ۳:

$$M = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & a_{12} & . & . & . & a_{1n} \\ c_2 & a_{21} & 0 & . & . & . & a_{2n} \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ c_n & a_{n1} & a_{n2} & . & . & . & 0 \end{bmatrix}$$

گفتنی است اخذ نظر خبرگان از طریق متغیرهای کیفی اخذ می‌شود که مطابق جدول ۳ کمی‌سازی می‌شود.

۳. ماتریس‌های حاصل از گام قبل بررسی و وجود یا عدم وجود رابطه‌ی نهایی بین دو عامل را توسط رأی اکثریت کارشناسان (در ماتریس‌های پذیرفته شده که مطابقت بیشتری با هم دارند) تصمیم‌گیری شده و ماتریس ارتباط مستقیم (میانگین) M را تشکیل می‌دهیم. بدین صورت که اگر نیمی از کارشناسان شدت اثر عامل A بر B را صفر تشخیص داده بودند، بی اثر بودن A بر B تأیید

پایه‌ی روش دیمتل بر این اساس بنا نهاده شده است که یک سیستم شامل مجموعه‌ای از معیارها $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ است و مقایسه‌ی زوجی روابط میان آن‌ها به وسیله‌ی معادلات ریاضی مدل می‌شود. گام‌های این روش به شرح ذیل است [۴۰]:

۱. به کمک یکی از روش‌های ایده‌آفرینی و تفکر گروهی در خبرگان، مانند طوفان مغزی، فکرنویسی، دلفی یا کنفرانس، فهرستی از عوامل موجود و مؤثر در مسئله‌ی مورد بررسی را از نظر گروه کارشناسان سازمان استخراج گردیده و در رئوس یک دیاگرام (گراف جهت‌دار) قرار می‌گیرد.
۲. با استفاده از نظر کارشناسان، روابط حاکم بین رئوس مشخص شده و ماتریس $n \times n$ مقایسات زوجی میان عوامل را که نشانگر میزان تأثیر بین آن‌هاست، طبق نظر هر کارشناس تشکیل می‌شود (که در آن a_{ij} درجه نفوذ معیار c_i بر c_j است).

جدول ۳: تعیین مقادیر عددی ترجیحات

مقدار عددی	ترجیحات یا قضاوت شفاهی
۰	بدون اثرگذاری (کاملاً اثرپذیر)
۱	بسیار کم اثرگذار
۲	اثرگذاری کم
۳	اثرگذاری زیاد
۴	بسیار اثرگذار

روش می‌توان از روابط جزئی صرف نظر کرده و شبکه‌ی روابط قابل اعتنا را ترسیم نمود. تنها روابطی که مقادیر آن‌ها در ماتریس T از مقدار آستانه بزرگ‌تر باشد در NRM نمایش داده خواهد شد و تمامی مقادیر ماتریس T که کوچک‌تر از آستانه باشد صفر شده یعنی آن رابطه‌ی علی در نظر گرفته نمی‌شود.

تئوری و محاسبات

در این پژوهش برای شناسایی شاخص‌های اساسی تأثیرگذار بر لجستیک اضطراری، از میان شاخص‌های مختلف موجود که در جدول ۳ خلاصه شده‌اند، با استفاده از روش دلفی فازی تعداد ۸ شاخص به منزله‌ی شاخص‌های اصلی تأثیرگذار بر لجستیک اضطراری تعیین شدند (مقدار دلفازی شده‌ی عدد فازی مثلی این ۸ شاخص با توجه به نظر خبرگان بزرگ‌تر یا مساوی ۰.۸ بوده است). این شاخص‌ها به همراه توضیح مختصر آن‌ها عبارتند از:

C1: پویایی

یکی از مشخصه‌های اصلی لجستیک بحران، پویایی آن است. ویلم ردmond (۲۰۰۴) در کتابش به نام «مدیریت استراتژیک لجستیک در نیروهای مسلح مدرن» به این مشخصه سیستم لجستیکی اشاره کرده و می‌گوید:

«نمی‌توان سیستم لجستیک را به عنوان یک ماهیت ایستا در نظر گرفت. کارکردها، فعالیت‌ها و وظایف آن در چرخه‌ی پویایی کار می‌کنند که توقفی بر آن قابل تصویر نیست. مهم‌ترین عامل موفقیت سیستم‌های برتر لجستیکی این است که هرگز تکاملشان توقف ندارد و در هر زمان پیشرفت و بهبود در همه‌ی سطوح را ادامه می‌دهند».

C2: انعطاف‌پذیری

توانایی عکس‌العمل سریع و مناسب در مقابل شرایط جدید، حوادث پیش‌بینی نشده و استفاده‌ی به موقع از موفقیت‌های به‌دست آمده را قابلیت انعطاف گویند. ثبات رویه و روش‌های یکنواخت، معمولاً عملیات لجستیکی را مؤثرتر می‌نماید ولی در عین حال لجستیک باید در مقابل نیازمندی‌ها و وضعیت‌های غیرمنتظره، نیز قابلیت اجرای مأموریت را داشته باشد.

C3: یکپارچگی و ارتباط مؤثر میان عناصر درگیر

لجستیک کارکرد چند فعالیتی است که باید برای دستیابی به بهترین نتایج، یکپارچه شود. یکپارچگی سیستم لجستیک به معنی در کنار هم قرار دادن هر چیز نیست، زیرا مکان انبارها، ایستگاه‌های ترابری و سایر فعالیت‌های لجستیکی دور از یکدیگر هستند، پس منظور از یکپارچگی، هماهنگی و پیوستگی اطلاعاتی

شده و درایه‌ی متناظر در ماتریس M مقدار صفر می‌گیرد. در غیر این صورت با توجه به توافق جمعی کارشناسان یا با استفاده از میانگین ساده‌ی نظرات، امتیاز مربوطه را تعیین و در درایه متناظرش قرار داده می‌شود. ۴. با استفاده از رابطه‌ی ۴ ماتریس M را نرمال‌سازی می‌کنیم.

$$\alpha = \frac{1}{\max_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \alpha_{ij}}$$

$$N = \alpha * M$$

۵. در این گام ماتریس شدت نسبی موجود از روابط مستقیم و غیرمستقیم (T) با توجه به رابطه‌ی ۵، تشکیل می‌شود.

$$T = N \times (1 - N)^{-1}$$

۶. نمودار علت و معلول را به شرح ذیل رسم می‌کنیم:

R: جمع عناصر هر سطر برای هر عامل نشانگر میزان تأثیرگذاری آن عامل بر سایر عامل‌های سیستم است. (میزان تأثیرگذاری متغیرها)

J: جمع عناصر ستون برای هر عامل نشانگر میزان تأثیرپذیری آن عامل از سایر عامل‌های سیستم است. (میزان تأثیرپذیری متغیرها)

R+J: بردار افقی (R+J) میزان تأثیر و تأثر عامل مورد نظر در سیستم است. به عبارت دیگر هر چه مقدار R+J بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد.

R-J: بردار عمودی قدرت تأثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. به طور کلی اگر R-J مثبت باشد، متغیر یک متغیر علی محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول محسوب می‌شود.

یک دستگاه مختصات دکارتی ترسیم می‌شود. در این دستگاه محور طولی مقادیر R+J و محور عرضی براساس R-J است. موقعیت هر عامل با نقطه‌ای به مختصات (R+J, R-J) در دستگاه معین می‌شود. به این ترتیب یک نمودار گرافیکی نیز به دست خواهد آمد.

۷. سلسله مراتب یا ساختار معیارها را مشخص می‌کنیم. در این گام با مرتب کردن عوامل براساس مقادیر R-J, R+J حاصله از ماتریس S می‌توان یک ساختار و رتبه‌بندی ممکن از عوامل به دست آورد.

۸. نقشه‌ی روابط شبکه‌ی از طریق محاسبه‌ی آستانه روابط را ترسیم می‌کنیم.

برای ترسیم نقشه روابط شبکه^۹ (NRM) باید ارزش آستانه‌ی روابط از طریق میانگین مقادیر ماتریس T محاسبه شود. با این

و مدیریتی اجزای لجستیک با یکدیگر است. کلید دستیابی به یکپارچگی لجستیک، فناوری اطلاعات است.

C4: آمادگی

یکی از فرایندهای مدیریت جامع بحران آمادگی است، بدین معنی که سازمان‌های اصلی که باید هنگام بحران وارد عمل شوند، از قبل شناسایی شده و وظایف و مسئولیت‌های آن‌ها کاملاً مشخص و تعریف شده باشد [۴۱]. به عبارت دیگر آمادگی در برابر بحران شامل فعالیت‌هایی است که برای ایجاد مکانیزمی برای واکنش سریع و قاعده‌مند به منظور محدودسازی مخاطرات طبیعی و اثرات آن‌ها انجام می‌گیرند. آمادگی سیستم لجستیک در بحران، تأکید بر قابلیت اجرای مأموریت‌ها و وظایف آمادگاری (لجستیک) در زمان‌های غیرمنتظره و پیش‌بینی نشده دارد. ابعاد آمادگی در لجستیک بحران به شرح زیر است:

الف. تأمین اقلام لازم و ذخیره‌سازی آن‌ها

ب. اطلاع از موجودی و وضعیت اقلام در اختیار لجستیک

سازمان‌های مسئول در بحران

ج. آماده به کار و کیفی بودن کالاها و تجهیزات در اختیار

لجستیک سازمان‌های مسئول

C5: قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی

لازمه‌ی موفقیت در کمک‌رسانی، برآورد دقیق و تأمین نیازمندی‌ها و آمادگاری به موقع از آسیب‌دیدگان است. تداوم پشتیبانی در سطح استراتژیک با بسیج نیروها و امکانات، تخصیص منابع به بحران و تأمین نیازمندی‌ها از نظر کمی و کیفی به‌طور مداوم و در سطح تاکتیکی با دریافت و توزیع صحیح و به موقع نیازمندی‌ها فراهم می‌گردد. فعالیت‌های آمادگی زمانی مؤثر و مفید واقع می‌گردند که مستمر و مداوم باشند و واحدهای آمادگاری باید قابلیت پشتیبانی مستمر را در حین و بعد از وقوع حادثه و بحران داشته باشند.

C6: سرعت عمل

سرعت عمل لجستیک یکی از عوامل مؤثر در افزایش کارایی و توان واحدهای امداد و نجات از یک طرف و کاهش هزینه‌های آمادگی در مقیاس وسیع از طرف دیگر است. به هر میزان که فاصله‌ی زمانی از احساس نیاز به کالا و خدمات لجستیک، تا برآورده شدن نیازمندی به کالا یا خدمات کاهش یابد، اطمینان سیستم مدیریت بحران از کارایی لجستیک افزایش می‌یابد.

سرعت عمل لجستیک در واقع میزان انجام فعالیت‌های لجستیکی در بازه‌ی زمانی مشخص است. برای مثال، سیستم ترابری در هر روز چند بار می‌تواند تجهیزات و کالاها را از سطح کشور به محل حادثه و بحران جابه‌جا نماید. سرعت جریان لجستیک امروزه جزء تعیین‌کننده‌ترین عوامل موفقیت لجستیکی در سطح عملیاتی تاکتیکی و حتی استراتژیک به حساب می‌آید.

C7: واکنش‌پذیری

سیستم لجستیک باید به طور دقیق در مقابل خواسته‌ها و تقاضای آمادگی بحران از خود واکنش نشان دهد.

واکنش‌پذیری اغلب ملاکی برای سنجش لجستیک کارآمد است. به بیان ساده‌تر، واکنش‌پذیری توانایی فراهم‌سازی

پشتیبانی صحیح، در زمان و مکان صحیح است و از طریق واکنش‌پذیری است که نسبت به سیستم لجستیک اعتماد به وجود می‌آید.

C8: فناوری اطلاعات

فناوری‌هایی مانند مبادله‌ی الکترونیکی داده‌ها (EDI)^{۱۰}، سیستم‌های ردیابی، سیستم‌های شناسایی و ضبط خودکار داده‌ها (AIDC) و فناوری شناسایی توسط امواج رادیویی (RFID)^{۱۱} ابزارهای مناسب و مفیدی برای یکپارچگی لجستیک هستند. این فناوری‌های ارتباطی دست‌اندرکاران لجستیک بحران را از موقعیت و وضعیت آمادها و تجهیزات در هر زمان آگاه می‌نمایند. پس از تعیین شاخص‌های اصلی با استفاده از روش دلفی فازی، وارد سایر مراحل روش دیمتل شدیم و در گام نخست، با تشکیل ماتریس M اقدام به رتبه‌بندی و مدل‌سازی شاخص‌ها نمودیم که نتیجه در جدول ۴ آمده است.

با استفاده از رابطه‌ی ۶ ماتریس M را نرمال‌سازی می‌کنیم. رابطه‌ی ۶:

$$\alpha = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}}$$

$$N = \alpha * M$$

ماتریس شدت نسبی موجود از روابط مستقیم و غیرمستقیم (T) با توجه به رابطه‌ی ۷، در جدول ۵ آمده است.

$$T = N \times (1 - N)^{-1}$$

رابطه‌ی ۷:

با محاسبه‌ی مقادیر R (جمع عناصر هر سطر ماتریس T) و J (جمع عناصر هر ستون ماتریس T) و مقادیر R+J و R-J ترتیب نفوذ شاخص‌ها بر یکدیگر را مشخص نمودیم که نتایج در جدول ۶ آمده است.

جدول فوق نشان می‌دهد، شاخص C8 (فناوری اطلاعات)، بیشترین تأثیرگذاری را بر روی سایر شاخص‌های هشت‌گانه مؤثر بر لجستیک بحران را دارد و پس از آن شاخص‌های پویایی (C1) و آمادگی (C4) و ... قرار دارند.

طبق گام ششم تکنیک دیمتل یک دستگاه مختصات دکارتی ترسیم می‌شود. در این دستگاه محور طولی مقادیر R+J و محور عرضی براساس R-J است. موقعیت هر عامل با نقطه‌ای به مختصات (R+J, R-J) در دستگاه معین می‌شود. به این ترتیب یک نمودار گرافیکی نیز به دست خواهد آمد. در تصویر ۳ نمودار دیاگرام تأثیر و تأثر شاخص‌های مؤثر بر لجستیک اضطراری نشان داده شده است.

همان‌طور که در تصویر ۳ مشخص است، شاخص‌های C1 (پویایی)، C8 (فناوری اطلاعات) و C4 (آمادگی)، که مقادیر R-J آن‌ها مثبت به دست آمد، در بالای نمودار قرار گرفته که نشان‌دهنده‌ی تأثیرگذاری آن‌ها بر سایر شاخص‌های تأثیرگذار بر لجستیک بحران است. به عبارت دیگر این شاخص‌ها نفوذکننده‌ی قوی بر سایر شاخص‌ها هستند. در بخش بعدی نتایج حاصل به طور مفصل تشریح می‌گردند.

جدول ۴: ماتریس روابط مستقیم (ماتریس M)

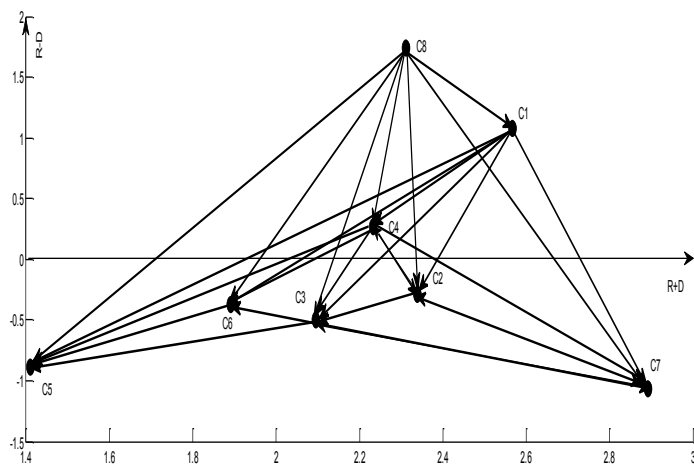
شاخص	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	۰	۳,۵۲,۶۷	۲,۶۷	۳,۵	۱	۳,۱۷	۳,۵	۱,۳۴
C2	۱,۸۴	۰	۲	۱,۸۴	۰,۸۴	۰,۱۷	۳	۰,۳۴
C3	۰,۳۴	۱,۳۴	۰	۰,۶۷	۲	۰,۶۷	۳,۶۷	۰,۱۷
C4	۱	۲,۳۴	۱,۵	۰	۲,۱۷	۳	۳,۳۴	۰,۳۴
C5	۰,۱۷	۰,۳۴	۰,۳۴	۰,۱۷	۰	۰,۳۴	۰,۸۴	۰,۳۴
C6	۰,۱۷	۱	۱	۱,۱۷	۲,۱۷	۰	۲,۸۴	۰,۱۷
C7	۱,۱۷	۲	۲,۳۴	۰,۵	۱,۳۴	۲,۱۷	۰	۰,۱۷
C8	۳,۱۷	۳,۳۴	۳,۵	۳	۱,۸۴	۲	۳,۶۷	۰

جدول ۵: ماتریس روابط مستقیم و غیرمستقیم (ماتریس T)

شاخص	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	R
C1	۰,۰۸	۰,۳	۰,۲۲۶	۰,۲۶	۰,۱۸	۰,۲۷	۰,۳۸	۰,۰۹	۱,۷۸۶
C2	۰,۱۲	۰,۰۸	۰,۱۷	۰,۱۴	۰,۱۱	۰,۰۹	۰,۲۶	۰,۰۳	۱
C3	۰,۰۵	۰,۱۲	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۱۴	۰,۰۰۸	۰,۲۵	۰,۰۲	۰,۷۱۸
C4	۰,۰۹	۰,۱۹	۰,۱۶	۰,۰۶	۰,۱۸	۰,۲۱	۰,۳	۰,۰۳	۱,۲۲
C5	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۰۳	۰,۰۷	۰,۰۲	۰,۲۳۳
C6	۰,۰۴	۰,۱	۰,۱	۰,۰۹	۰,۱۵	۰,۰۵	۰,۲	۰,۰۲	۰,۷۵
C7	۰,۰۹	۰,۱۵	۰,۱۷	۰,۰۷	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۱۱	۰,۰۲	۰,۸۸
C8	۰,۲۳	۰,۳۱	۰,۳۲	۰,۲۵	۰,۲۲	۰,۲۳	۰,۴۱	۰,۰۴	۲,۰۱
J	۰,۷۲	۱,۲۹	۱,۲۴۶	۰,۹۶	۱,۱۲	۱,۰۱۱	۱,۹۸	۰,۲۷	۸,۵۹۷

جدول ۶: ترتیب نفوذ شاخص‌ها بر یکدیگر

تأثیرگذاری	R-J	R+J	R	J	شاخص
۲	۱,۰۶۶	۲,۵۰۶	۱,۷۸۶	۰,۷۲	C1
۵	-۰,۲۹	۲,۲۹	۱	۱,۲۹	C2
۶	-۰,۵۲۸	۱,۹۶۴	۰,۷۱۸	۱,۲۴۶	C3
۳	۰,۲۶	۲,۱۸	۱,۲۲	۰,۹۶	C4
۷	-۰,۸۸۷	۱,۳۵۳	۰,۲۳۳	۱,۱۲	C5
۴	-۰,۲۶۱	۱,۷۶۱	۰,۷۵	۱,۰۱۱	C6
۸	-۱,۱	۲,۸۶	۰,۸۸	۱,۹۸	C7
۱	۱,۷۴	۲,۲۸	۲,۰۱	۰,۲۷	C8



تصویر ۳: نمودار دیاگرام شاخص‌های تأثیرگذار بر لجستیک اضطراری

بحث و نتایج

در جدول ۶ هر چه مقدار R-J یک شاخص مثبت تر باشد، آن شاخص یک نفوذکننده قوی و هرچه منفی تر باشد، یک نفوذپذیر قوی است. از این رو C1 و C8، یعنی فناوری اطلاعات (۱,۷۴) و پویایی (۱,۰۶۶) دارای بیشترین تأثیرگذاری و C5 و C7 یعنی واکنش پذیری (۱,۱-) و قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی (۰,۸۸۷-) دارای کمترین تأثیر و تأثیرپذیرترین متغیرها هستند. به عبارت دیگر، پویایی و فناوری اطلاعات نفوذکننده قوی هستند.

همچنین بر اساس مرحله ۸ تکنیک دیمتل، ارزش آستانه‌ای برابر با میانگین کل اعداد حاصل از جدول ماتریس روابط مستقیم و غیرمستقیم (ماتریس T) است. بنابراین ارزش آستانه‌ای در این مطالعه برابر با مقدار ۰,۱۳۴ است. به بیان دیگر در ماتریس T (جدول شماره ۴) هر کدام از درایه‌ها که بیشتر از ۰,۱۳۴ باشد، به معنای تأثیرگذاری آن معیار بر معیار دیگر است. بر این اساس، تأثیرگذاری معیارها را به شکل زیر می‌توان دست بندی و تحلیل کرد:

- C1 بر C2، C3، C4، C5، C6، C7 تأثیرگذار است

بدین معنی که شاخص پویایی بر اکثر شاخص‌های مهم لجستیک بحران از جمله انعطاف پذیری، یکپارچگی، آمادگی، قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی، سرعت عمل و واکنش پذیری تأثیرگذار است. این موضوع تحلیل جدول ۶ مبنی بر تأثیرگذاری قوی شاخص پویایی را تأیید می‌کند. این مسئله، اهمیت بسیار زیاد پویایی در لجستیک بحران را مشخص می‌کند. همچنین کمتر بودن ضریب C8 (فناوری اطلاعات) در سطر نخست ماتریس T از مقدار ارزش آستانه‌ای، نشان دهنده‌ی این موضوع است که شاخص پویایی از شاخص فناوری اطلاعات تأثیرپذیر است.

- C2 بر C3، C4 و C7 تأثیرگذار است

بدین معنی که شاخص انعطاف پذیری سیستم لجستیک بحران، بر آمادگی، یکپارچگی و واکنش پذیری سیستم لجستیک بحران تأثیرگذار است و از شاخص‌های پویایی، قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی، سرعت عمل و فناوری اطلاعات تأثیرپذیر است.

- C3 بر C5 و C7 تأثیرگذار است

بدین معنی که شاخص یکپارچگی و ارتباط مؤثر میان عناصر درگیر، بر قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی و واکنش پذیری تأثیرگذار بوده و از شاخص‌های پویایی، انعطاف پذیری، آمادگی، سرعت عمل، و فناوری اطلاعات تأثیر می‌پذیرد.

- C4 بر C6، C5، C3، C2 و C7 تأثیرگذار است

بدین معنی که شاخص آمادگی، بر انعطاف پذیری، یکپارچگی، قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی، سرعت عمل و واکنش پذیری تأثیرگذار بوده و تنها از شاخص‌های پویایی و فناوری اطلاعات تأثیر می‌پذیرد.

- C5 بر هیچ کدام تأثیرگذار نیست

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که شاخص C5 یعنی قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی، بر هیچ کدام از شاخص‌های دیگر تأثیر نیست. بلکه از همه ۷ شاخص دیگر تأثیر می‌پذیرد.

- C6 بر C5 و C7 تأثیرگذار است

بدین معنی که شاخص سرعت عمل، بر قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی و واکنش پذیری تأثیرگذار بوده و از شاخص‌های پویایی، انعطاف پذیری، یکپارچگی، آمادگی، و فناوری اطلاعات تأثیر می‌پذیرد.

- C7 بر C3، C2 و C6 تأثیرگذار است

بدین معنی که شاخص واکنش پذیری، بر شاخص‌های انعطاف پذیری، یکپارچگی و سرعت عمل تأثیرگذار بوده و از شاخص‌های پویایی، آمادگی، قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی و فناوری اطلاعات تأثیر می‌پذیرد.

- C8 بر C6، C5، C4، C3، C2، C1 و C7 تأثیرگذار است

طبق نتایج این پژوهش شاخص فناوری اطلاعات (C8) تأثیرگذارترین شاخص لجستیک بحران است که بر روی سایر شاخص‌های مهم دیگر نیز تأثیر دارد. این موضوع با توجه به روند رو به رشد ICT در صنعت لجستیک و زنجیره‌ی تأمین و پیدایش انقلاب صنعتی چهارم و لجستیک دیجیتال کاملاً قابل قبول بوده و نشان دهنده‌ی درستی نتایج تحقیق است. نتایج تحقیق نشان داد که شاخص فناوری اطلاعات بر روی همه‌ی ۷ شاخص دیگر تأثیرگذار بوده و از هیچ کدام از این شاخص‌ها تأثیر نمی‌پذیرد.

تحلیل نتایج حاصل از پژوهش اهمیت توجه به دو مقوله‌ی پویایی لجستیک و فناوری اطلاعات را نشان می‌دهد. یعنی لجستیک بحران باید بتواند خود را با تغییرات محیطی وفق داده و با فناوری‌هایی که روز به روز در حوزه‌ی سیستم‌های اطلاعاتی بروز پیدا می‌کنند، همراه شود. تا بتواند در هنگام بروز یک بحران اثرات آن را حداقل کرده و از گسترش دامنه‌ی آن بکاهد.

نمونه‌ی موردی

همان طور که در مقدمه بیان شد، دامنه‌ی لجستیک اضطراری شامل لجستیک بحران‌های انسان ساز مانند جنگ، حملات تروریستی و ... و لجستیک حوادث طبیعی مانند، سیل، زلزله، آتش سوزی و ... است. در این قسمت لجستیک جنگ به منزله‌ی یک نمونه‌ی موردی مهم از لجستیک اضطراری، با توجه به نتایج پژوهش مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. چرا که لجستیک جنگ به سبب اعمال تاکتیک‌های مختلف نظامی با عدم قطعیت زیاد همراه است. لجستیک جنگ با سابقه‌ترین حوزه‌ی لجستیک است، به عبارت دیگر قدمت لجستیک احتمالاً به اندازه‌ی قدمت خود جنگ است و همان طور که می‌دانیم لجستیک از حوزه‌ی نظامی وارد سایر حوزه‌ها از جمله حوزه‌ی تجاری گردید.

لجستیک نقش اساسی در هر عملیات نظامی ایفا می‌کند. سیستم لجستیک باید کالا و خدمات مورد نیاز نیروهای نظامی را به میزان مناسب، با کیفیت مناسب، در زمان و مکان مناسب و با حداقل هزینه‌ی ممکن فراهم نماید. فرایند لجستیک در سیستم‌های نظامی شامل تأمین^{۱۱}، توزیع^{۱۲}، حفظ و نگهداری^{۱۳} و استقرار^{۱۴} است [۴۲].

این نمونه‌ی موردی را بر اساس مدل ارائه شده در این مقاله به صورت زیر می‌توان تجزیه و تحلیل کرد. در واقع باید تحلیل کنیم که طبق نتایج حاصل از مدل پژوهش، شاخص‌های تأثیرگذار بر لجستیک جنگ کدامند؟ چگونه فناوری اطلاعات و پویایی می‌توانند تأثیرگذارترین شاخص‌ها در لجستیک جنگ باشند؟ و چگونه واکنش‌پذیری و قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی می‌توانند تأثیرپذیرترین شاخص‌ها در لجستیک جنگ باشند؟

- طبق نتایج پژوهش، فناوری اطلاعات، پویایی، واکنش‌پذیری، آمادگی، انعطاف‌پذیری، یکپارچگی و قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی، هشت شاخص تأثیرگذار بر لجستیک جنگ هستند.
 - استفاده از فناوری اطلاعات در لجستیک جنگ یعنی استفاده از سامانه‌های توزیع هوشمند در لجستیک جنگ و انجام امور لجستیکی مانند پردازش سفارش‌ها، کنترل انبار و موجودی کالا، اندازه‌گیری عملکرد، نظارت بر حمل‌ونقل کالا و ذخیره‌سازی کالا با استفاده از بستر فناوری اطلاعات. طبیعی است که در صورت تحقق چنین امری، تمامی شاخص‌های تأثیرگذار بر لجستیک اضطراری بهبود یافته و همگی از این بستر مهم تأثیر پذیرند.
 - پیچیدگی محیط لجستیک نظامی و تغییرات روزافزون در نوع فناوری‌های نظامی، ضرورت پویایی لجستیک جنگ را نمایان می‌سازد. پویایی در لجستیک جنگ، یعنی همگام بودن با آخرین تکنولوژی‌های ارائه شده در حوزه‌ی لجستیک نظامی. از این رو یک سیستم لجستیکی پویا، واکنش‌پذیر، آماده به کار، انعطاف‌پذیر، یکپارچه، مستمر و دارای سرعت عمل خواهد بود.
 - قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی هر چند خود یک شاخص تأثیرگذار بر لجستیک جنگ است، اما شاخصی تأثیرگذار بر سایر شاخص‌های مهم لجستیک جنگ نیست بلکه بیشتر تأثیرپذیر است.
 - واکنش‌پذیری نیز به منزله‌ی یکی از شاخص‌های مهم بر لجستیک جنگ، می‌تواند بر سرعت عمل و یکپارچگی لجستیک تأثیر بگذارد و از شاخص‌های پویایی، فناوری اطلاعات، استمرار پشتیبانی و آمادگی تأثیر می‌پذیرد.
- سایر شاخص‌ها را نیز می‌توان به همین صورت و مطابق بند ۴ پژوهش تجزیه و تحلیل کرد.

نتیجه‌گیری

بحران شرایطی است که در اثر حوادث و رخدادها و عملکردهای طبیعی و یا غیرطبیعی که به طور ناگهانی روی می‌دهد و زندگی بشر را مختل و خسارت‌های زیادی را تحمیل می‌کند، به وجود می‌آید. مقابله با بحران نیازمند بسیج امکانات و انجام اقدامات اساسی و فوق‌العاده نسبت به حالت عادی و به صورت فوری است. چرا که در هنگام بحران ثانیه‌ها حکم، ساعت‌ها را دارند. یکی از اساسی‌ترین ارکان مدیریت بحران، لجستیک بحران

است. سیستم لجستیک باید با ایجاد آمادگی و برنامه‌ریزی لازم، تجهیزات و کالاهای با سرعت و کیفیت مناسب در زمان و مکان مورد نیاز تحویل آسیب‌دیدگان و گروه‌های امدادی نماید. تحقق این هدف امکان‌پذیر نخواهد بود مگر با ایجاد سیستم لجستیکی کارآمد و با ویژگی‌های سازگار با شرایط بحران. کارآمدی سیستم لجستیک در گرو آمادگی و چابکی آن خواهد بود.

با توجه به ضرورت چابکی لجستیک بحران، این پژوهش به بررسی شاخص‌های اساسی مؤثر بر چابکی لجستیک اضطراری پرداخته است. در این پژوهش با مطالعه‌ی ادبیات و با استفاده از روش دلفی فازی، ابتدا از بین شاخص‌های مختلف، تعداد ۸ شاخص مؤثر بر لجستیک بحران استخراج گردیدند. که این ۸ شاخص عبارتند از: پویایی، سرعت عمل، قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی، آمادگی، یکپارچگی و ارتباط مؤثر میان عناصر درگیر، انعطاف‌پذیری، واکنش‌پذیری و فناوری اطلاعات.

نتایج تحقیق در خصوص ساختاردهی به ۸ شاخص مذکور بر چابکی لجستیک نشان داد، که شاخص «فناوری اطلاعات» و «پویایی» دارای بیشترین تأثیرگذاری بر سیستم لجستیک بحران هستند. یعنی در صورت پویا بودن یک سیستم لجستیک و استفاده از فناوری‌های اطلاعاتی به روز، می‌توان امیدوار بود که سایر شاخص‌های مؤثر بر چابکی لجستیک بحران به خوبی عمل کرده و در نتیجه، اثرات بحران به میزان قابل توجهی کاهش یابد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که شاخص «واکنش‌پذیری» و «قابلیت تداوم و استمرار پشتیبانی» دارای کمترین تأثیر و تأثیرپذیرترین شاخص‌ها هستند. یعنی این دو شاخص در بین هشت شاخص اصلی، تأثیر کمتری بر روی چابکی لجستیک بحران دارد و بیشتر تأثیرپذیر هستند. همچنین در این مطالعه با محاسبه‌ی ارزش آستانه‌ای، تأثیرگذاری هر شاخص بر شاخص دیگر مشخص گردید.

در خصوص محدودیت‌های این پژوهش باید گفت که هدف اولیه‌ی پژوهشگر بررسی لجستیک اضطراری واحدهای نظامی (لجستیک بحران جنگ) بوده است، اما با توجه به اینکه امکان نظرخواهی از خبرگان این حوزه یعنی فرماندهان عالی‌رتبه‌ای که زمان جنگ تحمیلی شرکت داشتند فراهم نبود، موضوع لجستیک بحران به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفت. در خصوص پیشنهادهای آتی، پیشنهاد می‌شود پژوهشگران در آینده بر روی موارد زیر پژوهش نمایند.

۱. مدل‌های بهینه‌سازی لجستیک بحران
۲. مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات، قبل و بعد از وقوع بحران
۳. چگونگی توزیع کمک‌های امدادی و انتقال مصدومان در زمان بحران
۴. مدل‌های تخلیه در کوتاه‌ترین زمان در هنگام بحران

پی‌نوشت

1. Delphi methods
2. dematel techniques
3. World road association

13. Sherali, HD. Carter, TB. Hobeika, AG. (2005). A location-allocation model and algorithm for evacuation planning under hurricane/flood conditions. *Transportation Research Part B: Methodological* 25(6):39-52.
14. Balcik, B. Beamon, BM. (2011). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 11(2): 101-112.
15. Yi, W. Özdamar, L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*, 9(3):77-93.
16. Duran, S. Gutierrez, MA. Keskinocak, PN. (2013). Pre-positioning of emergency items worldwide for CARE international. p.54-73.
17. Psaraftis, HN. Tharakan, GG. Ceder, A. (2005). Optimal response to oil spills: the strategic decision case. *Operations Research*, 34(12):17-23.
18. Song, R. Zhang, L. (2009). Optimum transit operations during the emergency evacuations. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 9(6):54-60.
19. Fiedrich, F. Gehbauer, F. Rickers, U. (2000). Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety Science*, 35(13):41-57.
20. Barbarosoglu, G. Özdamar, L. Çevik, A. (2002). An interactive approach for hierarchical Analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. *European Journal of Operational Research*, 140(12): 33-118.
21. Viswanath, K. Peeta, S. (2003). The multicommodity maximal covering network design problem for planning critical routes for earthquake response. *Transportation Research Record*, 18(6): 1-10.
22. Kongsomsaksakul, S. Yang, C. Chen, A. (2005). Shelter location-allocation model for flood evacuation planning. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6-52.
23. Srinivasa, AV. Wilhelm, WE. (2012). A procedure for optimizing tactical response in oil spill clean up operations. *European Journal of Operational Research*, 102(23):54-74.
24. Rawls, CG. Turnquist, MA. (2010). Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(14): 21-34.
25. Sheu, JB. Chen, YH. (2010). A novel model for quick response to disaster relief distribution. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5(2):54-62.
26. Belardo, S. Harrauld, J. Wallace, WA. Ward, J. A. (2012). partial covering approach to siting response resources for major maritime oil spills. *Management Science*, 30(10): 96-184.
27. Mete, HO. Zabinsky, ZB. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Pro-*
4. Federal emergency management agency
5. Disaster human made
6. Natural disaster
7. stock pre-positioning
8. Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
9. Network Relationship Map
10. Electronic Data Interchange
11. Radio Frequency Identification Technology
12. Acquisition
13. Distribution
14. Sustainment
15. Disposition

منابع

۱. افراسیابی، احمد رضا (۱۳۹۵). بررسی شبکه‌ی لجستیک امداد بلایا در شرایط بحران. سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه کردستان. ۱۵-۱۸.
۲. عیسیایی، حسین (۱۳۹۰). مدل سیستم لجستیک مدیریت بحران. مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی دانشگاه امام حسین (ع).
۳. خیاطیان، آیدا (۱۳۹۲). ارائه‌ی یک مدل بهینه‌سازی در زنجیره‌ی اورژانس (مدل‌سازی یکپارچه مکان‌یابی، ذخیره‌سازی و توزیع کالاهای امداد در لجستیک اضطراری). پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۲۸-۲۰.
۴. مشبکی، اصغر (۱۳۷۷). مدیریت لجستیک. فصلنامه کنترلر. سال دوم، (بهار و تابستان). ۷۹-۹۴.
۵. عیسیایی، حسین (۱۳۸۶). طراحی و تبیین الگوی کنترل استراتژیک سیستم لجستیک. به راهنمایی دکتر غلامحسین نیکوکار، دکترای تخصصی مدیریت گرایش منابع انسانی. دانشگاه امام حسین (ع).
6. Dessouky, M. Ordóñez, F. Jia, H. Shen, Z. (2006). Rapid distribution of medical supplies. Delay management in health care systems. Springer, 38-96.
7. Horner, MW. Downs, JA. (2010). Optimizing hurricane disaster relief goods distribution: model development and application with respect to planning strategies, 44-82.
8. Iakovou, E. Douligeris, C. Korde, A. (2009). Optimal location and capacity of emergency cleanup equipment for oil spill response. *European Journal of Operational Research*, 96(1): 72-80.
9. Wilhelm, WE. Srinivasa, AV. (2010). A strategic area-wide contingency planning model for oil spill clean-up operations with application demonstrated to the Galveston Bay area. *Decision Sciences*, 27(7):67-99.
10. Jia, H. Ordóñez, F. Dessouky, MM. (2007). Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Computers & Industrial Engineering*, 52(2): 57-76.
11. McCall, VM. (2012). Designing and prepositioning humanitarian assistance pack-up kits (HA PUKs) to support pacific fleet emergency relief operations. Master's Thesis, Department of Operations Research, Naval Postgraduate School.
12. Yi, W. Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6):66-72.

duction Economics, 12 (6):76-84.

28. Knott, R. (2012). The logistics of bulk relief supplies. Disasters 11(2): 5-13.
29. Ray, JA. (2013). Multi-period linear programming model for optimally scheduling the distribution of food-aid in WestAfrica. Master's Thesis, Department of Geography, University of Tennessee.
30. Chang, MS. Tseng, YL. Chen, JW. (2010). A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 43(6): 54-73.
31. Charnes, A, Cooper, Haralld, J. Karwan, KR. (2012). A goal interval programming model for resource allocation in a marine environmental protection program. Journal of Environmental Economics and Management, 13(4):62-97.
32. Özdamar, L. Ekinici, E. Küçükyazici, B. (2002). Emergency logistics planning in natural disasters. Annals of Operations Research, 129-217.
33. Jiu-Biing, Sheua. Cheng, Pana. (2015). Relief supply collaboration for emergency logistics responses to large-scale disasters. Transport Science 11(3): 21-33.
34. Brown, GG. Vassiliou, AL. (2011). Optimizing disaster relief: real-time operational and tactical decision support. Naval Research Logistics, 40(8): 1-23.
35. Haghani, A. (2001). Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 30(9):23-50.
36. Tzeng, GH. Cheng, HJ. Huang, TD. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 43(6):73-86.
37. Yan, S. Shih, YL. (2009). Optimal scheduling of emergency roadway repair and subsequent relief distribution. Computers & Operations Research, 36(6):49-65.
38. yuan, Y. Wang, D. (2009). Path selection model and algorithm for emergency logistics management. Computers & Industrial Engineering, 56(13):81-94.
39. Gkonis, KG. Ventikos, NP. Psaraftis, HN. (2007). A decision-making model for oil spill response at the tactical level in International symposium on maritime safety, security and environmental protection, 54-73.

۴۰. آقایی، میلاد؛ آقایی، اصغر (۱۳۹۱). شاخص‌های اساسی مؤثر بر وفاداری مشتریان در صنعت بهداشتی و سلولزی ایران با استفاده از رویکرد دلفی فازی و دیمتل فازی. فصلنامه مدیریت بازرگانی. دوره ۴. شماره ۳، ۲۰-۱۳.
۴۱. آرمون، آرش (۱۳۹۲). مروری بر مفاهیم و ماهیت لجستیک نظامی. دانشگاه علم و صنعت ایران.
۴۲. دودانگه، محمود؛ حمیدی، علی (۱۳۹۱). لجستیک و کارکردهای آن. مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیک.

۶۶

شماره پانزدهم
بهار و تابستان
۱۳۹۸
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



کاربرد روش دلفی و شیوهی دیمتل در شناسایی و سنجش شاخص‌های تأثیرگذار بر چابکی لجستیک بحران

تعیین و اولویت بندی اثرگذارترین شاخص ها در طراحی معماری ساختمان های اداری از منظر پدافند غیرعامل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP)

غلامرضا جلالی فراهانی: دانشیار دانشگاه عالی دفاع ملی

مجتبی عراقی زاده*: پژوهشیار مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، mojt.civil@mut.ac.ir

سید جواد هاشمی فشارکی: هیئت علمی دانشگاه امام حسین علیه السلام

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

ساختمان های اداری از جمله دارایی هایی هستند که فارغ از جزء کاربری آن ها از آنجا که منتسب به دولت ها و حکومت ها هستند و وظیفه ی خطیر اداره ی امور مردم را بر عهده دارند، همواره به اشکال گوناگونی از حمله ی مستقیم هوایی - موشکی گرفته تا انفجارهای تروریستی مجاورتی مورد تهدید بوده اند. به خصوص با شدت گرفتن انواع مختلف تهدیدات اعم از تروریستی و غیرتروریستی علیه مراکز سیاسی - اداری کشورمان این مسئله بیش از پیش خود را نمایان نموده است. از این رو پیاده سازی اقدامات پدافند غیرعامل در مراحل طراحی و ساخت این گونه ساختمان ها امری ضروری است. در این مقاله با در نظر گرفتن تهدید موج انفجار به منزله ی تهدید طرح، تلاش شده است، اصلی ترین شاخص های معماری در طراحی ساختمان های اداری با بهره گیری از نظر جامعه ی خبرگان و روش تحلیل سلسله مراتبی شناسایی و اولویت بندی گردند. پس از گردآوری داده ها به روش کتابخانه ای و مصاحبه با خبرگان و تکمیل پرسشنامه توسط ۲۸ نفر از خبرگان، تحلیل نتایج با استفاده از روش AHP یا تحلیل سلسله مراتبی به انجام رسید. در پایان پس از ارزیابی های صورت گرفته در پژوهش با استفاده از نرم افزار Expert Choice 11، شاخص های نمای خارجی ساختمان، طراحی داخلی و فضای امن به ترتیب حائز بیشترین اولویت های طراحی معماری ساختمان های اداری با رویکرد پدافند غیرعامل شدند. همچنین مهم ترین زیرشاخص های هر یک از شاخص ها نیز اولویت بندی گردیدند. همچنین در مقاله ی حاضر تلاش گردیده است برای هر یک از زیرشاخص هایی که بیشترین اهمیت را داشته اند، تحلیلی کلان ذیل جدول نتایج ارزیابی نگاشته شود.

Determination and prioritization of the most effective criteria in architectural design of office buildings from passive defense point of view by using AHP method

Gholam Reza Jalali Farahani¹, Mojtaba Araghizadeh^{*2}, Sayed Javad Hashemi Fesharaki³

Abstract

Office buildings without regarding to their sub functions are some kinds of assets that because of being related to the governments and states and their important role in governing people affairs, had always been under different kinds of threats from airborne-missile attacks to terrorist near-by blast. Especially by increasing different kinds of attacks, including terrorist and non-terrorist attacks against political-bureaucratic buildings of our country, this issue has exposed more than ever. Hence, implementation of passive defense efforts in design and building steps of these buildings, is an essential issue. In this article, with considering of blast wave as the base threat, efforts have been done to identify and prioritize main architectural criteria in designing office buildings by using experts' opinion and Analytical Hierarchy Process after gathering data with library method and expert interview and filling in the questionnaire by 28 experts, records analyzing were done by AHP method. At last, after the assessments in research by Expert Choice 11 Software, building envelope, interior design and protected space, respectively were chosen as the most important criteria of architectural design of office building with passive defense point of view. So, efforts have been done in this article to write a comprehensive analyze for the most important indicators.

Key Words: Architecture, Office building, Threat, Vulnerability, Blast wave

¹ Associated Professor, Supreme National Defense University

² Faculty of Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology

³ Faculty of Passive Defense, Imam Hossein (A.S) University

هرساله تعداد فراوانی ساختمان اداری در سطوح مختلف در کشور ساخته می‌شود که متأسفانه الزامات پدافند غیرعامل در اکثریت قریب به اتفاق آن‌ها رعایت نمی‌گردد. یکی از مهم‌ترین علل این مسئله آن است که محتوای علمی دقیقی برای انجام این امر وجود ندارد. این در حالی است که فضای پرتنش بین‌المللی هر آن ممکن است پیامدهای سوئی را به کشور مترتب نماید که دیگر در آن زمان امکان به‌کارگیری اصول مهندسی پدافند غیرعامل مانند زمان صلح وجود نخواهد داشت. مؤید این موضوع نیز جنگ‌های اخیر سوریه، عراق و یمن است که طی آن‌ها ساختمان‌های اداری - سیاسی، جزء اهداف اصلی حمله به شهرها هستند که این حملات به اشکال مختلف، از بمباران مستقیم گرفته تا انفجار مجاورتی و حتی اشغال خود را نشان می‌دهد. در واقع این ساختمان‌ها قلب مدیریت شهرها هستند که با از بین رفتن آن‌ها، اداره‌ی شهر با چالش‌هایی مواجه می‌گردد.

لذا باید اندیشید که با چه راهکارهای علمی، فنی و مهندسی می‌توان اثر تهدیدات را بر زیرساخت‌ها و ابنیه کاهش داد. پژوهش حاضر در این راستا به انجام رسیده است و هدف آن این است که اصلی‌ترین شاخص‌های طراحی معماری ساختمان‌های اداری را احصا و رتبه‌بندی نماید. رتبه‌بندی علمی شاخص‌ها آنجا اهمیت می‌یابد که بدانیم نمی‌توان تنها به ارائه‌ی شاخص اکتفا کرد، زیرا محدودیت‌های مالی و گاه قانونی جلوی پیاده‌سازی همه‌ی شاخص‌های پدافند غیرعامل را در طراحی معماری ساختمان‌های اداری می‌گیرد و باید فرایند پیاده‌سازی را از مهم‌ترین شاخص‌ها آغاز نمود.

در واقع با انجام پژوهش حاضر می‌توان مهم‌ترین شاخص‌ها را شناسایی کرد و بر اساس درجه‌ی اهمیت، سطح عملکرد در زمان جنگ، مکان قرارگیری، محدودیت‌های مالی و بسیاری دیگر از معیارها، این شاخص‌ها را در طراحی ساختمان‌های اداری پیاده کرد. اگر چنین رتبه‌بندی‌ای وجود نداشته باشد، مدیران و طراحانی که قصد پیاده‌سازی الزامات پدافند غیرعامل را در طرح خود دارند با سردرگمی مواجه خواهند شد و عمل به این مسئله سلیقه‌ی خواهد شد.

بنا بر آنچه بیان شد، هدف اصلی پژوهش حاضر آن است که پس از شناسایی شاخص‌های اثرگذار در ساختمان‌های اداری از منظر پدافند غیرعامل، بر اساس روش‌های علمی میان آن‌ها رتبه‌بندی برقرار کند و مهم‌ترین آن‌ها را احصا نماید.

پیشینه و ادبیات تحقیق

در ارتباط با حوزه‌ی معماری و پدافند غیرعامل تاکنون کتب، مقالات و پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج کشور نگاشته شده است، لیکن نگاه تخصصی به حوزه‌ی یک کاربری خاص به‌منظور استخراج شاخص‌های اثرگذار در طراحی معماری آن از منظر پدافند غیرعامل کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از جمله پژوهش‌هایی که در ارتباط با معماری و پدافند غیرعامل به انجام رسیده است می‌توان به اثر اصغریان جدی و علی اصغر شهاب در سال

۱۳۹۴ [۱] تحت عنوان بومی‌سازی استانداردهای پناهگاه‌های جمعی و خانوادگی در ایران اشاره کرد که در بخش معماری آن، نیازمندی‌های طراحی یک پناهگاه ارائه گردیده است. همچنین بیطرفان و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۲] طی مقاله‌ای تحت عنوان نقش فضاهای معماری در طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر انفجار، ارتباط میان مهم‌ترین شاخص‌های معماری را با مقوله‌ی کاهش آسیب‌پذیری در برابر موج انفجار با استفاده از روش AHP سنجیده و به این نتیجه رسیده‌اند که از میان شاخص‌های مؤثر بر ارزیابی فضاهای معماری، میزان انسان‌گرا (ارگونومی) بودن فضای ساختمان مهم‌ترین عامل است و سپس جانمایی فضاهای حیاتی و حساس ساختمان در رتبه‌ی بعدی قرار گرفته است. سید باقر حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۳] نیز در مقاله‌ای تحت عنوان نقش فرم‌های پایه‌ی ساختمان در حفاظت در برابر انفجار به بررسی این مقوله‌ی مهم پرداخته و با استفاده از تحلیل نرم‌افزاری به این نتیجه رسیده‌اند که در فرم‌های پایه، سه عامل اصلی تأثیرگذار عبارتند از: کاهش مساحت سطح مقطع فرم پایه با افزایش ارتفاع، مساحت تصویر فرم پایه بر روی صفحه‌ی عمودی و آیرودینامیک بودن پلان فرم پایه. در تکمیل این مطلب، معینی کرکندی در تحقیقی دقیق‌تر در سال ۱۳۹۲ [۴] تحت عنوان شاخص‌های فرم‌های معماری ساختمان‌های مقاوم در برابر موج انفجار، به تحلیل نرم‌افزاری جزئی‌تر ارتباط میان مقوله‌های فرم و موج انفجار پرداخته و به نتایج مشابهی با تحقیق قبل دست یافته است. پوری رحیم و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۵] نیز در تحقیقی به نقش فرم‌های مختلف سقف در کاهش اثر انفجار بر ساختمان با استفاده از تحلیل نرم‌افزاری پرداخته‌اند و انواع بام‌های سازگار و ناسازگار را مشخص نموده‌اند. همچنین، بی‌طرفان و همکاران در پژوهشی دیگر (۲۰۱۲)، [۶] تحت عنوان انتخاب بهترین ترکیب فرم از منظر پدافند غیرعامل با استفاده از روش AHP و AHP معکوس به انتخاب بهترین سازماندهی فضایی در برابر عملکرد موج انفجار رسیده‌اند.

در زمینه‌ی تحقیقات خارجی نیز آقای بور آمل در پژوهشی (۲۰۱۶)، [۷] تحت عنوان طراحی ساختمان مقاوم در برابر تروریسم با روش تحلیل میدانی و نرم‌افزاری به بررسی برخی شاخص‌های اثرگذار نظیر فرم و فاصله‌ی دورایستایی^۲ مبدأ انفجار از برخی ساختمان‌های کشور هندوستان پرداخته است و راهکارهایی را برای کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر اقدامات تروریستی ارائه نموده است. خانم زینب کاساز و همکاران (۲۰۰۸)، [۸] در پژوهش مشابهی تحت عنوان طراحی معماری و سازه‌ای برای ساختمان‌های مقاوم در برابر انفجار به بیان راهکارهایی کلی (در بخش معماری پژوهش) پرداخته‌اند که عبارتند از: طراحی محوطه، پلان ساختمان، فضای امن، تأسیسات و نما. در حوزه‌ی نما آقای فولویو پارسینی و همکاران نیز (۲۰۱۶)، [۹] به بررسی نقش دیوار با مصالح سنگی توف در برابر انفجار پرداخته است.

آنچه در پژوهش‌های ذکر شده در این مقاله و سایر پژوهش‌هایی که از ذکر نام آن‌ها پرهیز شده است آمده، بررسی روابط میان اجزای معماری نظیر فرم خارجی، سازماندهی فضایی،

پلان، نما و غیره با مقوله‌ی تهدید یعنی موج انفجار است، فارغ از آنکه نوع کاربری ساختمان مشخص باشد یا اینکه کدام شاخص از اهمیت بیشتری برای کاهش آسیب‌پذیری ساختمان و ساکنان درون آن برخوردار است. در پژوهش حاضر ضمن شناخت و جمع‌آوری کلیه شاخص‌های پدافندی معماری ابنیه، این شاخص‌ها برای ساختمان‌های اداری تدقیق و رتبه‌بندی خواهند گردید.

شاخص‌های مؤثر ساختمان‌های اداری همساز با پدافند غیرعامل
با مطالعه‌ی اسناد موجود در حوزه‌ی معماری با رویکرد پدافند غیرعامل، از جمله اسنادی که در ابتدای مقاله بدان‌ها اشاره گردید، نویسندگان مقاله شاخص‌های زیر را به‌منزله‌ی اثرگذارترین شاخص‌های حوزه‌ی معماری ساختمان‌های اداری استنتاج نمودند. پس از آن، برای هر شاخص، زیرشاخص‌های بیان‌کننده‌ی وضعیت دقیق شاخص تعریف گردید.

- وضعیت ساختمان نسبت به سطح زمین
- فرم خارجی
- نمای خارجی
- طراحی داخلی
- ورودی و خروجی
- فضای امن
- مدیریت بحران
- جزئیات اجرایی

آنچه هدف مقاله‌ی حاضر است، شناخت اثرگذارترین شاخص‌ها و تعیین مؤثرترین زیرشاخص‌ها است که تشخیص آن نیازمند بهره‌گیری از نظرات و تجربیات افراد خبره در این زمینه بود. لذا جامعه‌ی آماری مورد نظر فراهم گردید.

در ادامه‌ی مقاله‌ی حاضر، پس از بیان روش‌شناسی تحقیق و پیاده‌سازی آن به تحلیل نتایج پرداخته شده و در نهایت، نتیجه‌گیری یافته‌ها انجام خواهد شد.

روش تحقیق

این تحقیق از نوع کاربردی است و روش انجام آن تحلیلی است. روش گردآوری داده‌ها مطالعات کتابخانه‌ای و پرسش‌نامه بوده است. در این تحقیق از تکنیک دلفی که برای رسیدن به اجماع بین جامعه‌ی خبرگان در یک موضوع است استفاده شده است. در این راستا در دو جلسه‌ی رفت و برگشتی، پرسش‌نامه‌ای تدوین گردید و در اختیار جامعه‌ی خبرگان قرار گرفت. سپس برای تحلیل داده‌ها و نتایج از تکنیک‌های تصمیم‌گیری AHP استفاده شده است. همچنین برای تحلیل نتایج در روش AHP، از نرم‌افزار Expert Choice نسخه‌ی ۱۱ استفاده گردید.

روش گردآوری داده‌ها مطالعات کتابخانه‌ای و پرسش‌نامه بوده است که پس از آماده‌سازی پرسش‌نامه، یک آزمون اولیه از آن به عمل آمد به نحوی که ابتدا پرسش‌نامه در میان پنج نفر از پرسش‌شوندگان توزیع شد و پس از آنکه پایایی^۲ آن توسط نرم‌افزار اسپس اس اس^۳ مورد تأیید قرار گرفت، پرسش‌نامه میان افراد نمونه توزیع گردید که در نهایت عدد آلفای کرونباخ آزمون پایایی برابر ۰/۷۸۶ به دست آمد که از آنجا که این عدد بیش از

۰/۷ است، نتایج پرس‌شنامه مورد تأیید قرار می‌گیرد. همچنین با تبدیل نتایج پرس‌شنامه از حالت کیفی طیف لیکرت، به مقایسه‌ی زوجی (AHP)، عدد حداکثر ناسازگاری^۴ پرس‌شنامه‌ها توسط نرم‌افزار Expert choice نسخه‌ی ۱۱ برابر ۰/۱۱ حاصل گردید که با توجه به کمتر از ۰/۵ بودن این عدد، مورد تأیید است.

روش AHP

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ای است که توسط پروفیسور ساعتی در دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی معرفی گردید [۱۰]. این روش به دلیل ویژگی‌های ریاضی مطلوبی که دارد و این موضوع که اطلاعات ورودی به این روش به‌راحتی به‌دست می‌آید، مورد توجه بسیاری از محققان است [۱۱]. هر چند نزدیک به چهار دهه از اولین استفاده از این روش می‌گذرد اما همچنان یکی از روش‌های پرطرفدار پژوهش‌های علمی است. در ادامه می‌توان تعدادی از آخرین مقالاتی را که با استفاده از این روش به انجام رسیده‌اند، مشاهده نمود:

۱. شرکار و همکاران از این روش در تعیین راندمان کاری در پروژه‌های ساخت و ساز استفاده کرده‌اند [۱۲].
۲. کوکانگول و همکاران از روش AHP برای ارائه‌ی تخمینی جدید از ارزیابی ریسک استفاده نموده‌اند [۱۳].
۳. لاماس و همکاران از این روش در تحقیقی پیرامون حوزه‌ی آبی باسک - کانتابریان به‌منزله‌ی منطقه‌ای مناسب برای اجرای سامانه‌ی ذخیره‌ساز انرژی استفاده کرده‌اند [۱۴].
۴. محمدحسین قبادی و همکاران در پژوهشی تحت عنوان مکان‌یابی محل دفن پسماندهای جامد شهری با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و ارائه‌ی ضریب آسیب‌پذیری کارست در منطقه‌ی روانسر در غرب ایران از این روش استفاده نموده‌اند [۱۵].
۵. راکاتوریلو و همکاران کتابی در زمینه‌ی آنالیز تحلیل چند معیاره برای سرمایه‌گذاری‌های مالی با استفاده از روش AHP به رشته‌ی تحریر درآورده‌اند [۱۶].

درخت سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری

هرگاه از AHP به‌منزله‌ی ابزار تصمیم‌گیری استفاده می‌شود، گروه در آغاز باید یک درخت سلسله‌مراتب مناسب که بیان‌کننده‌ی مسئله‌ی تحت مطالعه است فراهم کند. سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری است که با توجه به مسئله‌ی تحت بررسی دارای سطوح متعدد است. اختصاصاً سطح اول هر درخت بیان‌کننده‌ی هدف تصمیم‌گیری است. سطح آخر هر درخت نیز بیان‌کننده‌ی گزینه‌هایی است که با همدیگر مقایسه می‌شوند و برای انتخاب در رقابت با یکدیگر هستند. دیگر سطوح (میانی) نشان‌دهنده‌ی فاکتورهایی است که ملاک مقایسه‌ی گزینه‌ها هستند [۱۷]. به عبارت دیگر این روش از ساختاری چند سطحی و سلسله‌مراتبی از اهداف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها استفاده می‌کند و اطلاعات از مقایسه‌های زوجی به دست می‌آیند [۱۱].

جدول ۱: مقیاس نه تابی شدت اهمیت و توضیحات مربوطه

میزان اهمیت	تعریف
۱	اهمیت برابر
۳	اهمیت نسبتاً بیشتر
۵	اهمیت با شدت بیشتر
۷	اهمیت با شدت خیلی بیشتر
۹	اهمیت فوق العاده بیشتر
۲,۴,۶,۸	مقادیر متوسط

تشکیل مقایسات زوجی

هنگامی که سلسله مراتب تشکیل گردید، گام بعدی آن است که اولویت‌های هر یک از اجزای سطوح تعیین گردند. مجموعه‌ای از ماتریس‌های مقایسه‌ای کلیه‌ی اجزا در یک سطح، به ترتیب از بالاترین اولویت‌ها ساخته می‌شود. مقایسات بر این اساس شکل می‌گیرد که برای نمونه، المان «الف» چه مقدار اهمیت بیشتری نسبت به المان «ب» دارد.

تقدم اهمیت بر اساس جدول ۹ مقیاسی در جدول ۱ نشان داده شده است.

فرایند به دست آوردن وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها نسبت به هر یک از زیرمعیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. در هر دو حالت، قضاوت‌ها بر مبنای مقایسه‌ی دودویی معیارها یا گزینه‌ها و بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی صورت پذیرفته و نتیجه در ماتریس مقایسه‌ی دودویی معیارها یا گزینه‌ها ثبت شده و از طریق نرمالیزه کردن میانگین هندسی ردیف‌های این ماتریس‌ها، ضرایب اهمیت مورد نظر به دست می‌آید. در مقاله‌ی حاضر از نرم افزار Expert Choice نسخه‌ی ۱۱ برای تحلیل ماتریس‌ها استفاده می‌گردد.

جامعه‌ی آماری

برای پژوهش حاضر با توجه به اهمیت موضوع، از نخبگان حوزه‌ی معماری و پدافند غیرعامل که در جدول ۲ به صورت اجمالی تعداد افراد هر حوزه و مدرک تحصیلی آن‌ها ذکر شده است استفاده شده است.

تخصص:

جدول ۲: جامعه‌ی آماری خبرگان

تعداد افراد	سطح تحصیلات	تخصص
-	دکتری	پدافند غیرعامل
۱	کارشناسی ارشد	
۱۱	دانشجوی کارشناسی ارشد	
۲	دکتری	معماری
۶	کارشناسی ارشد	
۱	کارشناسی	
۱	دکتری	برنامه‌ریزی شهری
۱	کارشناسی ارشد	
-	دکتری	
-	کارشناسی ارشد	عمران
۱	کارشناسی	
۴	کارشناسی ارشد	

تمامی افراد با مشخصات زیر دارای سابقه‌ی فعالیت و پژوهش از ۲ تا سی سال در حوزه‌ی پدافند غیرعامل هستند. مجموع: ۲۸ نفر

بررسی وضعیت شاخص‌ها نسبت به یکدیگر

به منظور شناخت جایگاه شاخص‌ها نسبت به یکدیگر، مطابق با روش AHP، شاخص‌ها مورد مقایسه‌ی زوجی قرار گرفتند که نتیجه‌ی این مقایسه‌ی زوجی به شرح جدول زیر حاصل گردید:

I1: وضعیت ساختمان نسبت به سطح زمین

I2: فرم خارجی

I3: نمای خارجی

I4: طراحی داخلی

I5: ورودی و خروجی

I6: فضای امن

I7: مدیریت بحران

I8: جزئیات اجرایی

بررسی نتایج به دست آمده، بیانگر آن است که شاخص نمای خارجی ساختمان، بالاترین امتیاز را داراست و بیشترین اهمیت را دارد. پس از آن نیز طراحی داخلی حائز بیشترین اهمیت است.

جدول ۳: ماتریس دآوری مقایسه‌ی زوجی کلیه‌ی شاخص‌ها، ناسازگاری: ۰/۰۳

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	وزن نهایی
I1		۱/۳	۱/۸	۱/۷	۱/۴	۱/۶	۱/۵	۱/۲	۰/۰۲۳
I2			۱/۶	۱/۵	۱/۲	۱/۴	۱/۳	۲	۰/۰۴۷
I3				۲	۵	۳	۴	۷	۰/۳۳۱
I4					۴	۲	۳	۶	۰/۰۲۳
I5						۱/۳	۱/۲	۳	۰/۰۰۷
I6							۲	۵	۰/۱۵۷
I7								۵	۰/۱۰۹
I8									۰/۰۳۲

۷۰

شماره پانزدهم

بهار و تابستان

۱۳۹۸

دوفصلنامه

علمی و پژوهشی

بهرین

تعیین و اولویت بندی اثرگذارترین شاخص‌ها در طراحی معماری ساختمان‌های اداری از منظر پدافند غیرعامل....

در ادامه به بررسی وضعیت زیرشاخص‌های هر یک از شاخص‌ها پرداخته و زیرشاخص‌های اولویت‌دار شناسایی می‌شوند.

شاخص وضعیت ساختمان نسبت به سطح زمین

این شاخص بیانگر وضعیت قرارگیری ساختمان نسبت به سطح زمین است. به طور کلی سه وضعیت زیر برای قرارگیری ساختمان وجود دارد:

X1: بالاتر از سطح زمین

X2: پایین‌تر از سطح زمین

X3: تراز صفر

سؤال اصلی اینجاست که کدام یک از سه وضعیت بالا عملکرد بهتری برای ساختمان در برابر موج انفجار پدید می‌آورند. هرچند از نظر علمی واضح است که هر چه سطح تماس بدنه‌ی ساختمان با موج انفجار کمتر باشد، عملکرد بهتری حاصل می‌گردد، اما این موضوع برای تدقیق نسبت اختلاف میان سه وضعیت بیان شده، مورد پرسش قرار گرفت که نتایج به شرح جدول ۴ است.

شاخص فرم خارجی

فرم عبارت است از صورت یا شکل خارجی شیء که به وسیله‌ی اشکال و نحوه‌ی ارتباط سطوحی که حدود حجم را تعریف می‌کند معین می‌شود [۱۸]. فرم خارجی ساختمان از جمله شاخص‌های مهم در زمینه‌ی آسیب‌پذیری ساختمان است. زیرا ارتباط مستقیمی میان فرم خارج و اثرپذیری از موج انفجار وجود دارد. در واقع، علاوه بر سازه‌ی ساختمان، این فرم خارجی است که عملکرد کلی را در برابر موج انفجار شکل می‌دهد. در مقاله‌ی حاضر، زیرشاخص‌های فرم خارجی از هفت مورد زیر تشکیل گردیده‌اند:

A1: شکل هندسی

A2: نسبت طول به عرض

A3: نسبت ارتفاع به عرض

A4: جلو و عقب رفتگی در ارتفاع

A5: پیلوت^۲ داشتن

A6: ایوان و فرورفتگی

A7: تقارن در شکل هندسی

هر یک از موارد بالا، سهمی در عملکرد فرم خارجی دارد. لیکن برای روشن‌تر شدن درجه اهمیت و جایگاه هر یک از زیرشاخص‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتیجه مطابق جدول ۵ حاصل گردید. نتایج جدول بیانگر آن است که شکل هندسی ساختمان (مربع، مستطیل، دایره و غیره) که در ترکیب با عنصر ارتفاع، حجم کلی ساختمان را تشکیل می‌دهد، به تنهایی بیش از یک سوم درجه‌ی اهمیت زیرشاخص‌های فرم خارجی ساختمان را دارا است. موضوعی که توجه خاص در تحقیقات عمیق‌تر را به خود می‌طلبد. اما آنچه واضح است آنکه مطابق قواعد فیزیکی، هرچه فرم ساختمان آیرودینامیک‌تر باشد، عملکرد در برابر موج بهتر است و بالعکس.

شاخص نمای خارجی

نمای خارجی ساختمان، شاخصی است که می‌تواند نقش بسیار بسزایی در افزایش یا کاهش تلفات ساکنان درون ساختمان یا افراد پیرامون ساختمان داشته باشد. از این‌رو توجه به جزئیات طراحی و اجرای نمای خارجی بسیار حائز اهمیت است. مواردی که از منظر پدافند غیرعامل باید مورد توجه ویژه قرار گیرند زیرشاخص‌های زیر هستند:

B1: میزان سطح بازشو

B2: جنس شیشه

B3: نحوه‌ی اتصال

B4: جنس مصالح نما

جدول ۴: ماتریس داوری مقایسه‌ی زوجی شاخص وضعیت نسبت به سطح زمین، ناسازگاری: ۰/۱۱

	X1	X2	X3	وزن نهایی
X1		۱/۹	۱/۵	۰/۰۵۸
X2			۵	۰/۷۳۵
X3				۰/۲۰۷

جدول ۵: ماتریس داوری مقایسه‌ی زوجی شاخص فرم خارجی، ناسازگاری: ۰/۰۲

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	وزن نهایی
A1		۴	۲	۳	۵	۶	۷	۰/۳۵۴
A2			۱/۳	۱/۲	۲	۳	۴	۰/۱۰۴
A3				۲	۴	۵	۶	۰/۲۴
A4					۳	۴	۵	۰/۱۵۹
A5						۲	۳	۰/۰۶۸
A6							۲	۰/۰۴۵
A7								۰/۰۳۱

جدول ۶: ماتریس داوری مقایسه‌ی زوجی شاخص نمای خارجی، ناسازگاری: ۰/۰۲

	B1	B2	B3	B4	B5	وزن نهایی
B1		۲	۳	۴	۵	۰/۴۱۹
B2			۲	۳	۴	۰/۲۶۳
B3				۲	۳	۰/۱۶
B4					۲	۰/۰۹۷
B5						۰/۰۶۲

جدول ۷: ماتریس داوری مقایسه‌ی زوجی شاخص طراحی داخلی، ناسازگاری: ۰/۰۲

	C1	C2	C3	C4	C5	وزن نهایی
C1		۱/۳	۱/۴	۲	۱/۲	۰/۰۹۷
C2			۱/۲	۴	۲	۰/۲۶۳
C3				۵	۳	۰/۴۱۹
C4					۱/۲	۰/۰۶۲
C5						۰/۱۶

هرچه بین مبدأ انفجار و محل مورد حفاظت، دو عامل فاصله و مانع افزایش یابند، اثر انفجار بر محل مورد حفاظت کمتر خواهد بود. لذا قرارگیری بخش‌های حساس ساختمان‌های اداری نظیر اتاق مدیران ارشد در میانه‌ی پلان، آسیب‌پذیری آن‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین قرارگیری فضاهایی از ساختمان که در زمان‌های بحرانی باید به فعالیت خود ادامه دهند، در زیر ساختمان، یکی از بهترین راه‌حل‌های ممکن خواهد بود. برای مقایسه و سنجش این دو زیرشاخص با سایر زیرشاخص‌های مؤثر در طراحی داخلی ساختمان‌های اداری، جدول مقایسه‌ای ۷ تشکیل گردید.

نتیجه‌ی جدول ۷ نشان می‌دهد که قرارگیری بخش‌های حساس ساختمان در زیرزمین تقریباً به اندازه‌ی دو برابر بیشتر از قرارگیری در میان پلان طبقات اهمیت دارد و این مسئله، اهمیت جانمایی حساس‌ترین بخش‌های ساختمان‌های اداری را در زیر زمین مشخص می‌نماید.

شاخص ورودی و خروجی

ورودی و خروجی ساختمان، از جمله شاخص‌هایی است که سه هدف اصلی پدافند غیرعامل، یعنی کاهش آسیب‌پذیری، تداوم کارکرد و تسهیل مدیریت بحران را پوشش می‌دهد. لذا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. محل قرارگیری ورودی (ها) در تراز ارتفاعی و همچنین در پلان از منظر ورود موج انفجار به درون ساختمان حائز اهمیت هستند. به علاوه، وجود سرپناهی برای ورودی ساختمان که در صورت فروریزش آوار ساختمان، ورودی دچار انسداد نگردد، زیرشاخص مهم دیگری است که در ذیل تحت عنوان «نوع ورودی» از آن یاد شده است. دسترسی خارجی به ورودی نیز در دو حالت مستقیم و غیرمستقیم تعریف می‌شود که در حالت غیرمستقیم مانعی سخت از جنس مبلمان‌های شهری نظیر گلدان‌های با بدنه‌ی بتنی با فاصله‌ای قابل محاسبه، در مقابل ورودی ساختمان قرار می‌گیرد تا از ورود مستقیم موج انفجار

B5: نوع و جنس پنجره

بازشوهای خارجی بخش‌هایی از ساختمان هستند که سازه را به فضای خارج مرتبط می‌سازند [۲۰]. از آنجا که یکی از راه‌های ورود موج انفجار به درون ساختمان، بازشوهایی نظیر پنجره‌ها هستند، لذا به نظر می‌رسد هرچه مجموع مساحت پنجره‌ها کمتر باشد، آسیب‌های وارده نیز کمتر خواهد بود. با این وجود به منظور تدقیق درجه اهمیت هر یک از زیرشاخص‌های بیان شده، مقایسه‌ی زوجی به صورت زیر انجام پذیرفت:

همان‌گونه که قابل پیش‌بینی بود، میزان مساحت بازشوها با اختلاف قابل توجهی بیشترین اهمیت را نسبت به سایر شاخص‌ها دارد. پس از آن، جنس شیشه است که بیشترین اهمیت را دارا است. از آنجا که شیشه‌های خردشده‌ی متحرک، به خودی خود خطری بیشتر یا به اندازه‌ی موج انفجار دارند، لذا دیدن تمهیداتی برای جلوگیری از پخشایش شیشه در اثر موج انفجار برای ساختمان‌های اداری‌ای که در معرض این تهدید هستند باید دیده شود.

شاخص طراحی داخلی

طراحی داخلی، به خصوص در ساختمان‌های اداری تأثیر چندانی بر حوزه‌ی آسیب‌پذیری ساختمان در برابر موج انفجار ندارد، لیکن در زمینه‌ی تسهیل مدیریت بحران و کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی، حائز اهمیت است. با توجه به دو مورد بیان شده، می‌توان زیرشاخص‌های زیر را تدوین نمود که هم در حوزه‌ی تسهیل مدیریت بحران و هم حفظ جان افراد در زمان حملات هوایی-موشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند:

C1: پلان فضای داخلی

C2: قرارگیری فضای اصلی در میانه‌ی ساختمان

C3: قرارگیری بخش‌های حیاتی در زیرزمین

C4: وجود پاسیو

C5: دسترسی به راهرو و پلکان

جدول ۸: ماتریس داوری مقایسه‌ی زوجی شاخص ورودی و خروجی، ناسازگاری: ۰/۰۲

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	وزن نهایی
D1		۱/۳	۳	۱/۲	۲	۲	۱/۴	۰/۰۹۸
D2			۵	۲	۴	۴	۱/۲	۰/۲۳۷
D3				۱/۴	۱/۲	۱/۲	۱/۶	۰/۰۳۹
D4					۳	۳	۱/۳	۰/۱۵۴
D5						۱	۱/۵	۰/۰۰۶
D6							۱/۵	۰/۰۰۶
D7								۰/۳۵۲

جولوگیری نماید. کلیه‌ی زیرشاخص‌های ورودی و خروجی عبارتند از:

D1: محل قرارگیری ورودی نسبت به پلان

D2: نوع ورودی

D3: جنس در

D4: ابعاد ورودی

D5: پیش‌آمدگی یا عقب رفتگی ورودی

D6: بالاتر یا پایین‌تر بودن ورودی نسبت به سطح

D7: دسترسی خارجی به ورودی

به‌منظور رتبه‌بندی زیرشاخص‌های فوق، ماتریس داوری ۸ تشکیل گردید.

نتایج مقایسه بیانگر اهمیت بالای زیرشاخص دسترسی خارجی به ورودی و نوع ورودی است.

در حالت ورودی مستقیم، موج انفجار به راحتی وارد ساختمان شده و باعث افزایش آسیب‌ها می‌گردد، در صورتی‌که در حالت ورودی غیرمستقیم، موج انفجار در اثر وجود خم در این ورودی کاهش یافته و در نتیجه آسیب‌پذیری به‌شدت کاهش می‌یابد [۲۱]. به عبارت دیگر، وجود مانعی با فاصله در برابر ورودی که جلوی ورود مستقیم موج انفجار به ساختمان اداری را بگیرد و همچنین وجود سازه‌ای که جلوی فروریزش آوار ساختمان در برابر ورودی را بگیرد بیشترین اهمیت را دارا است.

شاخص فضای امن

فضای امن به فضایی اطلاق می‌گردد که در مقابل اثرات بارهای ناشی از انفجار کمتر در معرض خطر قرار گرفته و نسبت به سایر فضاهای ساختمان از ایمنی و مقاومت بیشتری برخوردار باشد. فضای امن حتی‌المقدور باید به‌صورت دو یا چندمنظوره مورد بهره‌برداری قرار گیرد [۲۰]. وجود فضای امن در هر ساختمانی، آسیب‌پذیری افراد را در برابر تهدید موج انفجار در زمان حملات هوایی- موشکی تا حد زیادی کاهش می‌دهد. فضای امن بسته به محل قرارگیری به دو شکل کلی زیرزمینی و درون طبقه‌ای تقسیم می‌شود. با توجه به اینکه موضوع مقاله‌ی حاضر به ساختمان‌های اداری اختصاص دارد، از پرداختن به فضاهای امن پناهگاهی که خارج از مجموعه ساختمان قرار دارد اجتناب می‌گردد. در مورد فضاهای امن درون ساختمانی علاوه بر محل قرارگیری در

ارتفاع، موقعیت قرارگیری در پلان نیز حائز اهمیت است. سایر زیرشاخص‌های مؤثر در مقوله‌ی معماری فضاهای امن به‌همراه زیرشاخص‌های بیان‌شده عبارتند از:

E1: فضای امن زیرزمینی

E2: فضای امن درون طبقه

E3: موقعیت قرارگیری در پلان

E4: ابعاد فضای امن

E5: کاربری زمان صلح

E6: روانشناسی

E7: امکانات داخلی

آنچه به نظر بیش از سایر زیرشاخص‌ها حائز اهمیت است، وجود فضایی امن در زیر زمین است. زیرا اثر انفجار به کمترین حد ممکن به فضا وارد شده و بیشترین پایداری حاصل می‌گردد. لیکن برای مقایسه و رتبه‌بندی سایر زیرشاخص‌ها، ماتریس مقایسه‌ی زوجی ۹ تشکیل گردید.

آنچه از نتایج جدول بالا استنباط می‌شود آن است که پس از زیرزمینی بودن فضای امن که مطابق با پیش‌بینی، بالاترین درجه‌ی اهمیت را داشت، موقعیت قرارگیری در پلان و امکانات داخلی فضای امن با وزن مساوی در یک درجه از اهمیت قرار می‌گیرند. موقعیت قرارگیری، هرچه به مرکز پلان نزدیک‌تر باشد، به دلیل تأمین فاصله‌ی بیشتر از مبدأ انفجار، پایداری بیشتری حاصل می‌گردد. در مورد امکانات داخلی نیز هرچند به طور مستقیم، ارتباطی با امنیت در برابر تهدیدات پدیدار نیست، لیکن برای سلامت افراد و تأمین نیازهای اولیه‌ی افراد در زمان قرارگیری در فضای امن، تأمین بهینه‌ی امکانات بسیار مهم و کلیدی است.

شاخص مدیریت بحران

مدیریت بحران به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌شود که قبل از وقوع، حین وقوع و بعد از وقوع سانحه، برای کاهش هرچه بیشتر آثار و عوارض آن انجام می‌گیرد [۱۹]. منظور از شاخص مدیریت بحران، مجموعه امکاناتی است که فرایند مدیریت بحران را در ساختمان اداری تسهیل می‌نماید. علاوه بر تسهیل مدیریت بحران، کاهش آسیب‌پذیری مجموعه نیز، خروجی پیاده‌سازی زیرشاخص‌های این مدیریت بحران است. این زیرشاخص‌ها عبارتند از:

جدول ۹: ماتریس داوری مقایسه‌ی زوجی شاخص فضای امن، ناسازگاری: ۰/۰۱

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	وزن نهایی
E1		۵	۲	۴	۳	۵	۲	۰/۳۱۶
E2			۱/۴	۱/۲	۱/۳	۱	۱/۴	۰/۰۴۷
E3				۳	۲	۴	۱	۰/۱۹۷
E4					۱/۲	۲	۱/۳	۰/۰۷۵
E5						۳	۱/۲	۰/۱۲۱
E6							۱/۴	۰/۰۴۷
E7								۰/۱۹۷

جدول ۱۰: ماتریس داوری مقایسه‌ی زوجی شاخص مدیریت بحران، ناسازگاری: ۰/۰۲

	F1	F2	F3	F4	F5	وزن نهایی
F1		۳	۲	۵	۴	۰/۴۱۹
F2			۱/۲	۳	۲	۰/۱۶
F3				۴	۳	۰/۲۶۳
F4					۱/۲	۰/۰۶۲
F5						۰/۰۹۷

F1: سامانه‌ی اعلام خبر

F2: ذخیره آب و سوخت

F3: تجهیزات امداد و نجات

F4: اتاق مدیریت بحران

F5: فضای امداد

به منظور سنجش درجه‌ی اهمیت هر یک از زیرشاخص‌های بالا، جدول مقایسه‌ای ۱۰ تشکیل گردید:

نتیجه‌ی جدول مقایسه‌ای ۱۰ بیانگر آن است که وجود سامانه‌ی اعلام خبر، بالاترین تأثیر را در فرایند مدیریت بحران دارا است. به عبارت بهتر، در صورتی که ساختمان اداری، دارای سامانه‌ای سراسری باشد که قبل از بروز حمله، ساکنان ساختمان را مطلع و راهنمایی‌های مناسب را ارائه نماید، مؤثرترین اقدام در حوزه‌ی تسهیل مدیریت بحران و کاهش آسیب‌پذیری انجام شده است.

شاخص جزئیات اجرایی

جزئیات اجرایی ساختمان‌های اداری، شاخصی است که در کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی در زمان بروز انفجار یا حریق بسیار مؤثر است. اگر جزئیات و مصالح داخلی ساختمان، عملکرد نامناسبی از خود نشان دهند، پدیده‌ی دومینوی خطری هم‌افزایی تهدید پدید می‌آید و افراد، علاوه بر دیدن آسیب‌های اولیه ممکن است دچار محبوس‌شدگی در ساختمان شوند. زیرشاخص‌های این شاخص عبارتند از:

G1: نوع سقف

G2: جنس مصالح دیوار

G3: جنس مصالح کف

G4: جنس مصالح سقف

G5: تجهیزات نصبی

منظور از نوع سقف، ساختار سازه‌ای آن یعنی تیرچه بلوک، کامپوزیت، دال بتنی و غیره بودن آن است و جنس مصالح سقف به نحوه‌ی فروریزش قطعات الحاقی (نظیر سقف کاذب) می‌پردازد. در زمینه‌ی جنس مصالح دیوار، بحث عملکرد دیوار (یکپارچه، انعطاف‌پذیر و غیره) در برابر موج انفجار مطرح است و در زمینه‌ی جنس مصالح کف، سهولت حرکت سریع و ایمن در زمان‌های بحرانی حائز اهمیت است. منظور از تجهیزات نصبی، الحاقاتی نظیر تابلو، لوستر، تجهیزات صوتی و تصویری و غیره است. جدول ۱۱ برای مقایسه‌ی میان این موارد تشکیل گردید.

نتیجه‌ی جدول ۱۱ حاکی از آن است که جنس مصالح دیوار، به مقدار قابل توجهی دارای اهمیت بیشتری نسبت به سایر شاخص‌هاست. در واقع، عملکرد دیوار در برابر آثار ناشی از انفجار (عملکرد یکپارچه و انعطاف‌پذیر، ترد و شکننده، مستحکم و مقاوم) نقش بسزایی در تعیین میزان آسیب‌پذیری ساختمان اداری دارد که هر یک در جای خود و به فراخور نیاز باید مورد بررسی تخصصی قرار گیرند. شاخص دوم، تجهیزات نصبی یا الحاقی است که عملکرد آن‌ها در برابر موج انفجار بر آسیب‌پذیری نیروی انسانی نقش حائز اهمیتی دارد.

جدول ۱۱: ماتریس داوری مقایسه‌ی زوجی شاخص جزئیات اجرایی، ناسازگاری: ۰/۰۲

	G1	G2	G3	G4	G5	وزن نهایی
G1		۱/۴	۲	۱/۲	۱/۳	۰/۰۹۷
G2			۵	۳	۲	۰/۴۱۹
G3				۱/۳	۱/۴	۰/۰۶۲
G4					۱/۲	۰/۱۶
G5						۰/۲۶۳

جدول ۱۲: جمع بندی نتایج

اولویت شاخص	نام شاخص	اولویت دارترین زیرشاخص
۱	نمای خارجی	مساحت بازشوها
۲	طراحی داخلی	قرارگیری بخش‌های حیاتی در زیر زمین
۳	فضای امن	زیرزمینی بودن فضای امن
۴	مدیریت بحران	سامانه اعلام خبر
۵	ورودی و خروجی ساختمان	دسترسی خارجی به ورودی ساختمان
۶	فرم خارجی	شکل هندسی ساختمان در ترکیب با ارتفاع
۷	جزئیات اجرایی	جنس مصالح دیوار
۸	وضعیت ساختمان نسبت به سطح زمین	قرارگیری ساختمان در تراز پایین تر از صفر

جمع بندی نتایج

از آنجا که رعایت کلیه‌ی الزامات و ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی و اجرای ساختمان‌های اداری امری پرهزینه و غیرمنطقی به نظر می‌رسد، لذا شناخت اقدامات اولویت‌دار، با توجه به محدودیت‌های منابع ضروری است. در جدول ۱۲ که بر اساس یافته‌های این پژوهش حاصل گردیده است، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های دارای بیشترین اولویت شناسایی گردیده و معرفی شده‌اند:

در واقع آنچه از جدول ۱۲ می‌توان استنباط نمود این است که نمای خارجی ساختمان، بیشترین اثر را در آسیب‌پذیری ساختمان، علی‌الخصوص تلفات انسانی در برابر پیامدهای انفجار پدید می‌آورد و در میان زیرشاخص‌های آن، این مساحت بازشو است که می‌تواند بیشترین نقش را در کاهش آسیب‌پذیری ساختمان ایفا نماید. دومین شاخص اثرگذار نیز طراحی داخلی است و قرارگیری بخش‌های حیاتی ساختمان که تداوم کارکرد آن بدان‌ها وابسته است بالاترین اهمیت را در این شاخص دارد. اما ذکر این نکته ضروری است که این جدول، نوعی راهنما برای مهندسان پدافند غیرعامل حوزه‌ی معماری ساختمان است و بسته به عواملی چون شرایط اقتصادی، محل ساخت، درجه اهمیت کاربری اداری و نیازهای منطقی کارفرما این اولویت‌بندی با قضاوت مهندسی قابل تغییر می‌تواند باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله تلاش گردید مؤثرترین شاخص‌های معماری در طراحی ساختمان‌های اداری از منظر پدافند غیرعامل شناسایی

شده و با روش مقایسه زوجی یا تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اولویت‌بندی شوند. همچنین زیرشاخص‌های هر یک از شاخص‌ها با نظر اساتید حوزه‌ی معماری و پدافند غیرعامل تدوین گردید و با همین روش مورد مقایسه و اولویت‌بندی قرار گرفتند. هدف از این اقدامات این بود که با توجه به محدودیت‌های اقتصادی در طراحی و ساخت ساختمان‌های اداری، بتوان راهنمایی برای مهندسان طراح به وجود آورد که اصلی‌ترین و اساسی‌ترین راهکارها را برای اهداف پدافند غیرعامل ساختمان پیاده کنند. براین اساس نمای خارجی ساختمان اداری، اصلی‌ترین مسئله‌ای است که مهندسان باید در برابر تهدید انفجار مجاورتی که تهدید اصلی این مقاله است برای آن راه‌حلی بیندیشند و پس از آن طراحی داخلی است که بیشترین اثرگذاری را در کاهش آسیب‌پذیری ساختمان دارد.

پی‌نوشت

۱. این مقاله، مستخرج از پایان‌نامه‌ای با عنوان الزامات و ملاحظات طراحی معماری ساختمان‌های اداری از منظر پدافند غیرعامل است که در دانشگاه صنعتی مالک اشتر به انجام رسیده است.

2. Stand-off Distance
3. Reliability
4. SPSS (statistical package for social science)
5. Inconsistency

۶. تمام یا قسمتی از طبقه همکف که به صورت فضای سرپوشیده و باز در زیر تمام یا قسمتی از کف طبقه‌ی اول قرار می‌گیرد [۱۹].

منابع

۱. اصغریان جدی، ا؛ شهاب، ع. (۱۳۹۴). بومی‌سازی استانداردهای پناهگاه

15. Ghobadi, M.H., Taheri, M. & Taheri, K. (2017). Municipal solid waste landfill siting by using analytical hierarchy process (AHP) and a proposed karst vulnerability index in Ravansar County, west of Iran, *Environ Earth Sci*, Issue 2
16. Rakotoarivelo, Baptiste, J. (2017). Multi-Criteria Decision Analysis for Financial Investments Using AHP. s.l. : Springer International Publishing.
۱۷. آذر، ع. (۱۳۷۴). AHP تکنیکی نوین برای تصمیم‌گیری گروهی. نشریه‌ی دانش مدیریت، تهران.
۱۸. فرزادشاد، م. (۱۳۸۶). مبانی نظری معماری در دفاع غیرعامل. مؤسسه انتشاراتی جهان جام جم. تهران.
۱۹. هاشمی فشارکی، ج؛ محمودزاده، ا. (۱۳۹۱). فرهنگ توصیفی دفاع غیرعامل. انتشارات علم‌آفرین، اصفهان.
۲۰. دفتر مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۱). مبحث بیست‌ویکم (پدافند غیرعامل)، تهران.
۲۱. بیطرفان، م؛ فرزادشاد، م. (۱۳۹۲). معماری همساز با دفاع غیرعامل با واکاوی درسبک‌های معماری جهان. انتشارات بوستان حمید، تهران.
- جمعی و خانوادگی در ایران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
2. Bitarafan, M. Hosseini, B. hashemi-fesharaki, J. (2013). The Role of Façade Materials in Blast-Resistant Buildings, *Frontiers of Architectural Research*.
3. Hosseini, B. Hashemi Fesharaki, J. Norouzian Maleki, S. (2012). The Role of Basic Forms Buildings in Explosion Protection. *International Journal of Science and Advanced Technology*
۴. معینی کربکندی، م. (۱۳۹۲). شاخص‌های فرم‌های معماری ساختمان‌های مقاوم در برابر موج انفجار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی آقای دکتر سید باقر حسینی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.
5. Pouri Rahim, A. Bitarafan, M. Lale Arefi, S. (2013). Evaluation of Types of Shapes of Building Roof against Explosion. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 1
6. Bitarafan, M. Hosseini, B. Abazarlou, S. Mahmoudzadeh, A. (2012). Selecting the optimal Composition of Architectural Forms from the Perspective of civil Defense Using AHP and IHWP methods, *Architectural Engineering and Design Management And Technology* (ISSN 2221-8386) Volume 2 No 8
7. . Amol.B, Salunkhe (2016). Terrorist Resistant Building Design. *International Journal of Engineering Science and Computing*.
8. Koccaz1, Z. Fatih, S. Torunbalci, N. (2008). ARCHITECTURAL AND STRUCTURAL DESIGN FOR BLAST RESISTANT BUILDINGS, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
9. Parisi, F. Balestrieri, F. Claudio, D. (2016). Blast resistance of tuff stone masonry walls. *Elsevier Engineering Structures*, Volume 113, Pages 233-244
۱۰. زبردست، ا. (۱۳۸۰). کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریه‌ی هنرهای زیبا، شماره‌ی ۱۰، تهران.
11. . Kousalya, P. (2012.) Analytical Hierarchy Process approach – An applications. I. *Mathematica Aeterna*, Vol. 2. 10, 861 - 878.
12. Sherekar, V. Tatikonda, M. (2016). Impact of Factor Affecting on Labour Productivity in Construction Projects by AHP Method. *International Journal of Engineering Science and Computing*, Volume 6 Issue No. 6
13. Kokangül, A. Polat, U. Dağsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. *Elsevier Safety Science*, Volume 91, p 24-32
14. Llamas, B., Cruz Castañeda, M., Laín, C. (2017). *Environ Earth Sci* 76: 204.

برنامه ریزی بازیابی پیش از وقوع تند باد شبکه های توزیع فشار متوسط با هدف بهبود مدیریت بحران پیش اقدامانه

مسعود صادقی خمایی*: دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران،

sadeghi.m32@gmail.com

محمد صادق سپاسیان: دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

برنامه ریزی بازیابی پیش اقدامانه قبل از بروز طوفان اقدامی مؤثر در کاهش زمان و هزینه های خاموشی شبکه های هوایی توزیع است و در بهبود تاب آوری این بخش از شبکه های برق رسانی تأثیرگذار خواهد بود. این مقاله ارائه دهنده ی چارچوب جدیدی برای تعیین اولویت بازیابی پیش اقدامانه ی خطوط هوایی فشار متوسط است. در این روش، تصمیم گیری پیش اقدامانه ی بازیابی و تعیین اولویت خطوط فشار متوسط برای بازیابی بر مبنای مقایسه مابین این خطوط با معیارهای مختلف فنی، اقتصادی، حیاتی بودن بارها و سهولت دسترسی انجام می شود. در این راستا از منحنی شکست پایه های فشار متوسط و شبیه سازی مونت کارلو برای پیش بینی و تخمین آسیب وارده به شبکه بهره گیری شده و با هدف رفع معضل کمبود اطلاعات دقیق و عدم قطعیت های ناشی از این معضل از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی به منظور تعیین برنامه ی پیش اقدامانه و اولویت گذاری بازیابی استفاده شده است. چنانکه در ادامه ی مقاله در پیاده سازی روش پیشنهادی در یک شبکه ی نمونه ملاحظه می شود، این روش از کارایی و قابلیت مناسبی برای تعیین پیش اقدامانه ی بازیابی شبکه های توزیع مواجه با کمبود اطلاعات، خصوصاً در کشورهای کمتر توسعه یافته که با معضل عدم دسترسی به اطلاعات کافی مواجه هستند برخوردار است.

واژه های کلیدی: مدیریت بحران، بازیابی، منحنی های شکست پذیری، شبیه سازی مونت کارلو، فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، تاب آوری

Pre-storm restoration planning of medium voltage distribution networks for proactive crisis management

Masoud Sadeghi Khomami^{1*}, Mohammad Sadegh Sepasian²

Abstract

Pre-storm proactive recovery planning is an effective tool for reducing the time and cost of electrical outage and resiliency enhancement of medium voltage (MV) distribution networks. This paper presents a new framework for setting proactive medium voltage feeders recovery priorities. In this method, the proactive recovery decision making and MV feeders priority setting are considered based on the comparison between different criteria including technical issue, criticality of loads, economic and accessibility conditions. In this regard, the MV poles fragility curve and Monte Carlo simulation have been employed to predict and estimate the damage of the network. To eliminate the problem of the lack of accurate data and the uncertainties, fuzzy analytical hierarchy process is used to determine proactive recovery prioritization. In the rest of the paper, the proposed approach is applied to a test network. The results demonstrate the suitable performance of this method for determining feeders recovery priorities especially in the less developed countries which have been facing with the lack of access to the adequate data.

Keywords: crisis management, recovery, fragility curves, monte carlo simulation, fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) resilience

¹ Phd student of electrical engineering, faculty of electrical engineering, shahid beheshti university, Tehran, Iran; Email: sadeghi.m32@gmail.com

² Associate professor, faculty of electrical engineering, shahid beheshti university, Tehran, Iran

مقدمه

شبکه‌های توزیع نیروی برق و مشترکان در معرض تهدیدات مختلف طبیعی، از جمله طوفان و تندباد قرار دارند. فاجعه‌های طبیعی که با دوره‌های تناوب متفاوت در محدوده‌های مختلف جغرافیایی به وقوع می‌پیوندند با ایجاد وقفه و خاموشی‌های گاه گسترده تبعات نامطلوب اجتماعی، فنی، اقتصادی و سازمانی را موجب می‌شوند.

به دلیل گرمایش جهانی و با توجه به تغییرات اقلیمی، بلایای طبیعی با شدت و گستره‌ی بیشتری در طول چند دهه‌ی گذشته رخ داده و انتظار می‌رود بر شدت و تعداد و بازه‌ی زمانی وقوع این رخدادها در آینده افزوده شود [۱].

با ملاحظه‌ی موارد یاد شده و با توجه به وابستگی شدید جوامع به زیرساخت‌های حیاتی (از جمله حمل و نقل، فعالیت‌های اقتصادی، نظام سلامت، تصفیه و تأمین آب شرب و خدمات اضطراری) تقویت زیرساخت‌های ملی انرژی و افزایش تاب‌آوری آن به منزله‌ی یک اولویت حائز اهمیت ضرورت یافته است [۲].

امروزه مدیریت بحران و تاب‌آوری مفاهیمی تنگاتنگ و به هم مرتبط تلقی می‌شوند. تاب‌آوری مفهومی نوین در مهندسی برق است و تاکنون تعریف این مفهوم، استانداردسازی نشده است. در مرجع [۳] مرکز تحقیقات انرژی انگلستان تعریف ذیل را از تاب‌آوری ارائه می‌دهد: «تاب‌آوری عبارت از ظرفیت یا قابلیت یک سیستم در تحمل اغتشاشات و توانایی تحویل مستمر انرژی به مشترکان است. یک سیستم انرژی تاب‌آور می‌تواند به سرعت از حالت شوک، بازیابی شده و برای رفع نیازهای تأمین انرژی که به دلیل بروز رخداد‌های ناشی از پیشامد خارجی حادث می‌شود جایگزین ارائه نماید».

در مرجع [۴] انجمن مشورتی زیرساخت‌های ملی NIAC، استحکام، کفایت منابع، بازیابی سریع و سازگاری‌پذیری را از جمله ویژگی‌های اصلی تاب‌آوری معرفی می‌نماید. در تعاریف ذکر شده بازیابی سریع و به عبارت دیگر بازگرداندن مشترکان یا بار از دست‌رفته به منزله‌ی یکی از ویژگی‌های اصلی تاب‌آوری مطرح است. از این تعریف قابل استنباط است که برنامه‌ریزی بازیابی پیش‌اقدامانه در بهبود تاب‌آوری نقش‌آفرین است.

پس از وقوع فاجعه‌ی طبیعی و به تبع آن آسیب به زیرساخت‌های برق‌رسانی و ایجاد وقفه و خاموشی، مهم‌ترین وظیفه‌ی بهره‌برداران سیستم، بازیابی سیستم قدرت در حداقل زمان ممکن با هدف بازیابی بارهای حساس و کاهش خسارات اقتصادی وارد به مشترکان است [۵].

با ملاحظه‌ی سابقه‌ی مقالات مرتبط با موضوع بازیابی بار و سیستم ملاحظه می‌گردد که اغلب مقالات منتشر شده، بازیابی بار و سیستم را از منظر بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان مورد توجه قرار داده‌اند.

بازیابی سیستم‌های قدرت پس از بروز وقفه به‌طور مفصل در مرجع [۶] مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طور کلی فرایند بازیابی به سه مرحله‌ی زمانی آمادگی، بازیابی سیستم و بازیابی بار قابل تفکیک است [۷، ۸]. در مرحله‌ی اول یا آمادگی، ارزیابی

سیستم و شناسایی اجزای مشکل‌ساز و بارهای حساس و همچنین فعالیت‌های پیش‌بینانه با هدف تأمین منابع تجهیزاتی و تعمیراتی جایگزین انجام می‌گردد. در مرحله‌ی دوم، بازگرداندن شبکه‌ی سراسری و منابع تولیدی که از سیستم خارج شده‌اند در دستور کار قرار دارد و در مرحله‌ی سوم بازیابی بارهای حساس و حداقل نمودن بارهای خارج شده از سرویس پیگیری می‌شود. بدیهی است که اقدامات لازم در این مرحله پس از بازیابی شبکه‌ی انتقال و تولید و تثبیت پارامترهای الکتریکی از قبیل فرکانس و ولتاژ شروع می‌گردد و برای انجام بازیابی بار روش‌ها و تکنیک‌های مختلف تحلیلی توسعه داده شده‌اند. مراجع [۹، ۱۰] ارائه‌دهنده‌ی کاربرد سیستم خبره در بازیابی بار سیستم‌های توزیع هستند.

مراجع [۱۱، ۱۲] ارائه‌دهنده‌ی بازیابی بار سیستم‌های توزیع با به‌کارگیری منطق فازی هستند. کاربرد روش‌های ابتکاری در بازیابی بار شبکه‌های توزیع در مراجع [۱۳، ۱۴] مطرح شده و بهره‌گیری از روش برنامه‌ریزی دینامیکی و روش ورود و خروج واحدها در بازیابی سیستم‌های توزیع در مراجع [۱۵، ۱۶] ارائه گردیده است.

در بررسی مقالات ذکر شده ملاحظه می‌گردد که عمدتاً رویکرد بررسی بازیابی بار و سیستم، بر مبنای مطالعات قابلیت اطمینان و بر پایه‌ی بروز خطای موردی تجهیزات بنا شده است، در حالی که خاموشی‌های ناشی از رخداد‌های طبیعی که از نوع حوادث با احتمال وقوع پایین و با شدت اثر تخریب بالا هستند، دارای ویژگی‌های متفاوتی از خاموشی‌های ناشی از بروز عیب در تجهیزات به صورت موردی است.

این نوع حوادث وابستگی زیادی به مشخصات فاجعه‌های طبیعی دارد؛ برای مثال وقوع یک طوفان ممکن است منجر به سقوط و شکستن پایه‌های شبکه‌ی توزیع در نقاط متعددی گردد و موقعیت این خرابی‌ها وابسته به مسیر وقوع طوفان است در حالی که در یک خاموشی عادی معمولاً فقط یک خرابی منجر به بروز وقفه در برق‌رسانی می‌گردد [۵].

برخلاف موضوع بازیابی بار با دیدگاه بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان، شمار مقالاتی که موضوع بازیابی شبکه‌های توزیع را با ایده‌ی بهبود تاب‌آوری این زیرساخت، در برابر تهدیدات طبیعی مورد توجه قرار دهند چندان قابل توجه نیستند. مراجع ذیل از جمله منابعی هستند که از وجوه مختلف به این موضوع پرداخته‌اند.

مرجع [۱۷] اثر متقابل محیط بیوفیزیکی و شبکه‌های زیرساختی برق، در تاب‌آوری شبکه‌های توزیع را مورد بررسی قرار می‌دهد و روش اولویت‌گذاری فعالیت‌های بازیابی و از جمله برنامه‌ریزی عملیات بازیابی، در این محیط را ارائه می‌نماید. مرجع [۱۸] موضوع تخصیص منابع در بازیابی سیستم‌های قدرت را مورد توجه قرار داده و ارائه‌دهنده‌ی مدل‌هایی برای استقرار واحدهای تعمیراتی و بازیابی خطوط انتقال و توزیع تحت یک الگوی اثربخش است. راهبری بهینه‌ی واحدهای تعمیراتی با ملاحظه‌ی پیش‌بینی شرایط جوی نامساعد و ارائه‌ی طرح‌های راهبردی کوتاه‌مدت و بلندمدت برای تخمین تعداد بهینه‌ی

گروه‌های تعمیراتی و جایابی آن‌ها تحت شرایط جوی نرمال و نامساعد از جمله خروجی‌های ارائه شده در مدل‌های مطرح در این مقاله است.

مرجع [۱۹] ارائه‌دهنده‌ی مدلی است که در طول عملیات بازبازی سیستم، محل و تعداد بهینه‌ی اکیپ‌های عملیاتی و انبارهای قطعات رزرو، با هدف حداقل‌سازی هزینه‌های حمل و نقل تعیین می‌گردد. مرجع [۲۰] ارائه‌دهنده‌ی مدل پیش‌اقدامانه‌ی غیرقطعی و دو مرحله‌ای برای بازبازی و تخصیص منابع قبل از وقوع طوفان است.

در مرجع [۲۱] برای شبکه‌های قدرت در معرض تهدید طوفان، برنامه‌ی دینامیک غیرقطعی برای مدل‌سازی یک استراتژی پویای مدیریت دارایی‌ها ارائه شده است. مرجع [۲۲] ارائه‌دهنده‌ی مدلی چند مرحله‌ای در حوزه‌ی بازبازی سیستم و با هدف مدیریت بحران و به تبع آن ارتقای تاب‌آوری است. این مقاله شامل مدل‌های پیش‌بینی خاموشی شبکه‌های قدرت در معرض طوفان و تندباد، مدل غیرقطعی پیش‌اقدامانه بسیج و آماده‌سازی اکیپ‌های عملیاتی و تعمیراتی پیش از بروز طوفان و مدل قطعی بازبازی سیستم پس از بروز طوفان برای مدیریت منابع اعم از اکیپ‌های عملیاتی و منابع تجهیزاتی است.

مرجع [۲۳] ارائه‌دهنده‌ی روشی آماری بر پایه‌ی برازش داده‌ها و بهره‌گیری از بانک اطلاعات بسیار بزرگ مربوط به طوفان‌های گذشته است که اقدام به پیش‌بینی زمان بازبازی شبکه‌های برق‌رسانی می‌نماید. مدل ارائه شده ابزار مناسبی برای بهبود اطلاع‌رسانی به مشتریان از زمان مورد نیاز برای بازبازی شبکه‌ی آسیب‌دیده بعد از وقوع طوفان است.

با بررسی و مرور روش‌های به‌کار گرفته شده در مقالات ذکر شده‌ی فوق ملاحظه می‌شود که بسیاری از این روش‌ها وابستگی زیادی به داده‌های دقیق و وسیع، توپولوژی و ساختار شبکه و بانک اطلاعاتی GIS، اطلاعات دقیق بیوفیزیکی و محیط پیرامونی زیرساخت‌ها، مدل‌های دقیق ارزیابی خسارات مرتبط با وقوع یک تهدید و مدل تأمین و تخصیص منابع تعمیراتی و تجهیزاتی دارد و اولویت‌گذاری فرایند بازبازی بار و سیستم در این مدل‌ها از بار محاسباتی بالایی برخوردار است.

گفتنی است که نیازمندی‌ها و امکانات گفته شده در بسیاری از کشورهای کمتر توسعه یافته که به شدت در معرض تهدیدات طبیعی قرار دارند وجود ندارد و اجرای این روش‌ها را با چالش‌های جدی مواجه می‌نماید.

بنابراین، مقاله‌ی حاضر برای رفع معضل فوق با ترکیب روش‌های مبتنی بر تحلیل فرایند سلسله‌مراتبی فازی FAHP^۱ و شبیه‌سازی مونت‌کارلو و منحنی‌های شکست‌پذیری، ارائه‌دهنده‌ی روشی جدید برای برنامه‌ریزی پیش‌اقدامانه قبل از وقوع طوفان برای بازبازی بار شبکه‌های توزیع با هدف مدیریت بحران پیش‌اقدامانه و به تبع آن بهبود تاب‌آوری است.

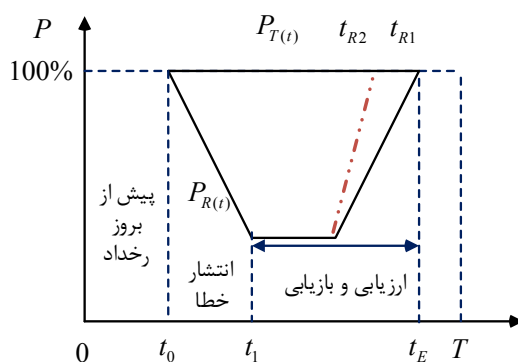
این مقاله در شش بخش سازماندهی شده و در بخش اول مقدمه و پیش‌درآمدی بر مطالعات انجام شده در حوزه‌ی بازبازی، مدیریت بحران و تاب‌آوری ارائه گردید. در بخش دوم نقش و

جایگاه عملیات بازبازی و مدیریت بحران پیش‌اقدامانه در بهبود تاب‌آوری مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم مدل مدیریتی و فنی بازبازی شبکه‌های توزیع ارائه شده و در بخش چهارم مقاله، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی تشریح و روش محاسبات، مقایسه‌ها و وزن‌گذاری ارائه می‌گردد. نمونه‌ی عملی و مطالعه‌ی موردی در بخش پنجم ارائه شده و در نهایت نتایج حاصل شده در بخش ششم مقاله جمع‌بندی شده‌اند.

بررسی نقش عملیات بازبازی و مدیریت بحران پیش‌اقدامانه در بهبود تاب‌آوری

در حوزه‌ی مدیریت بحران، بررسی تاب‌آوری شبکه‌های توزیع در مواجهه با رخدادهای مخرب از جمله طوفان و تند باد در سه مرحله، مشابه تصویر ۱ صورت می‌پذیرد.

- مرحله‌ی پیش از بروز رخداد ($0 \leq t \leq t_0$)
 - مرحله‌ی انتشار و توسعه خطا ($t_0 \leq t \leq t_1$)
 - مرحله‌ی ارزیابی آسیب وارده و بازبازی ($t_1 \leq t \leq t_E$)
- گفتنی است که این مراحل سه‌گانه مشخصه‌های مقاومت، جذب و ظرفیت بازبازی را که از اجزای اصلی تاب‌آوری یک سیستم است تبیین می‌نمایند [۲۴].



تصویر ۱: بررسی اثر عملیات بازبازی و مدیریت بحران بهینه یک زیر ساخت در معرض تهدید در بهبود تاب‌آوری سیستم

چنانکه در تصویر ۱ ملاحظه می‌شود، نمودار عملکرد هدف با عنوان $P_{T(t)}$ معرفی شده است که در طول بازه‌ی زمانی T و علی‌رغم تغییر زمان به صورت ثابت و بدون تغییر باقی می‌ماند. دومین نمودار، عملکرد واقعی $P_{R(t)}$ نامیده می‌شود و این نمودار تغییرات عملکرد و کارایی سیستم در معرض تهدید از جمله تهدیدات طبیعی را در طول زمان ثبت می‌نماید. در این میان تلاش سیستم برای بازبازی و تاب‌آوری مطابق رابطه‌ی ۱ از طریق محاسبه‌ی نسبت بین نواحی $P_{R(t)}$ و $P_{T(t)}$ در طول بازه‌ی زمانی T به دست می‌آید [۲۴].

$$\text{رابطه‌ی ۱: } R(T) = \frac{\int_0^T P_R(t) dt}{\int_0^T P_T(t) dt}$$

با سنجش منحنی‌های $P_{R(t)}$ و $P_{T(t)}$ با معیارهای متفاوتی مثل مقدار جریان یا توان، درصد بارهای حیاتی در دسترس، درصد مشترکین تحت سرویس، درصد بارهای تجاری تحت سرویس به ترتیب ابعاد فنی، سازمانی، اجتماعی و اقتصادی، تاب آوری مورد توجه قرار گرفته و مطالعات قیاسی و تطبیقی بر پایه‌ی این معیارها قابل انجام است.

هدف از اولویت‌گذاری بهینه و برنامه‌ریزی پیش‌اقدامانه بازیابی و مدیریت بحران پیش‌اقدامانه، تسریع و کاهش زمان عملیات بازیابی و بازگشت سریع‌تر سیستم به سطح کارایی پیش از بروز رخداد مخرب است. چنانکه در تصویر ۱ ملاحظه می‌شود در شرایط اجرای عملیات بازیابی مناسب، بازگشت کارایی عملکرد سیستم با سرعت مناسب‌تری انجام گرفته و زمان بازیابی از مقدار t_{R1} به مقدار t_{R2} با سرعت و شیب تندتری انجام گرفته که در نتیجه منجر به کاهش سطح انتقال زیر منحنی و بهبود تاب‌آوری سیستم می‌گردد. لذا ایده‌ی اصلی مقاله‌ی حاضر ارائه‌ی روشی برای تنظیم برنامه‌ی اولویت‌گذاری پیش‌اقدامانه با هدف بازیابی و بازگشت سیستم به سطح عملکرد کارایی پیش از بروز بحران با سرعت بیشتر و به‌منزله‌ی یک نتیجه‌ی جانبی بهبود تاب‌آوری سیستم و کاهش خسارات ناشی از بروز خاموشی‌های گسترده است.

توسعه‌ی مدل مدیریتی و فنی بازیابی شبکه‌ی توزیع

این مقاله بر پایه‌ی درس‌آموزی از رخداد‌های مخرب و فاجعه‌های طبیعی سنوات گذشته در چند منطقه‌ی جغرافیایی مختلف و بررسی اثرات آن‌ها بر شبکه‌های توزیع اقدام به استخراج مدل مدیریتی و فنی جدیدی برای بازیابی شبکه‌ی توزیع و مدیریت پیش‌اقدامانه‌ی بحران نموده است.

خطوط و زیرساخت‌های انتقال و توزیع نیروی برق تأمین‌کننده‌ی انرژی مورد نیاز بارهای حساس و حیاتی، صنعتی، تجاری و مسکونی بوده و اگر این زیرساخت‌ها در معرض طوفان و تندباد قرار گیرند و در صورت گستردگی ناحیه‌ی تحت تأثیر می‌توان انتظار تخریب و خاموشی قابل توجه در محدوده‌ی جغرافیایی وسیع را داشت.

با مروری بر مراجع [۲۵ تا ۲۹] ملاحظه می‌شود که آمادگی پیش‌اقدامانه برای بازیابی سیستم توزیع و مدیریت بحران کارآمد در این شرایط، ارتباط معنی‌داری با نحوه‌ی برنامه‌ریزی پیش‌اقدامانه‌ی بازیابی و کیفیت اولویت‌گذاری فعالیت‌های تعمیراتی در بخش توزیع دارد.

به‌طوری‌که در صورت وقوع یک فاجعه‌ی طبیعی و علی‌رغم بازیابی سریع بخش‌های تولید و انتقال (به دلیل استانداردهای بالاتر) سیستم برق‌رسانی به دلیل وقوع آسیب گسترده به شبکه‌ی توزیع قادر به تأمین انرژی مشترکان نیست.

بازیابی بار در شرایط نرمال و در وضعیت بروز فاجعه‌های طبیعی تفاوت قابل توجهی با هم دارند. در شرایط نرمال با توجه به گردش کار معمول شرکت‌های توزیع مدیریت اتفاقات و خاموشی‌ها به‌طور متمرکز انجام شده و اطلاعات مورد نیاز توسط تماس

مشترکان در اختیار واحد مدیریت خاموشی‌ها و دیسپاچینگ‌ها قرار می‌گیرد، اما در شرایط بروز فاجعه‌های طبیعی حجم خسارات بسیار گسترده‌تر از وضعیت نرمال است و به دلیل قطعی و وقفه در سایر زیرساخت‌ها از جمله زیرساخت‌های مخابراتی، ارتباط مشترکان با مرکز مدیریت اتفاقات قطع می‌شود و در این شرایط به دلیل عدم اشراف بر وضعیت و نبود دسترسی به اطلاعات خسارات وارده، مدیریت فاجعه به‌صورت متمرکز با چالش‌های قابل توجهی روبه‌رو خواهد شد، به‌طوری‌که در مدل متمرکز مدیریت فاجعه، ارزیابی وضعیت و تنظیم برنامه اقدام و واکنش اضطراری اثربخش، بسیار وقت‌گیر است و به این دلیل تأثیر نامطلوبی بر تاب‌آوری سیستم خواهد داشت [۲۹].

با ملاحظه‌ی اجمالی موارد فوق، آموزه‌های ذیل در مدیریت بحران فاجعه‌های طبیعی قابل استحصال است:

- مدیریت بحران و هدایت عملیات بازیابی لازم است به صورت غیر متمرکز انجام شده تا بتواند پاسخ‌گوی حجم خسارات وارده در بحران و تعداد مشترکان تحت تأثیر باشد.
- طرح عملیات بازیابی لازم است به‌صورت پیش‌اقدامانه و مبتنی بر پیش‌بینی خسارات وارده پیش از بروز فاجعه باشد و ارزیابی وضعیت و اشراف بر موقعیت در صورتی‌که از حداقل اتکا به تماس‌های مشترکان برخوردار باشد اثر بخش‌تر است.
- لازم است به‌صورت پیش‌دستانه، دستورالعمل و الگوی بسیار جامع و دقیقی برای اجرای عملیات بازیابی تهیه شود، به‌طوری‌که متدولوژی عملیات بازیابی بارهای حساس و معیارهای اولویت‌گذاری بازیابی انواع بارهای مسکونی، تجاری و صنعتی مشخص باشد.
- لازم است برنامه‌ی واکنش اضطراری پیش‌اقدامانه قبل از بروز فاجعه تهیه شود و برنامه‌ی اولویت‌های بازیابی تدوین شود.

در ساختار معمول مدیریتی شرکت‌های توزیع، فضای اجرایی و عملیاتی شرکت به چندین امور عملیاتی که زیر نظر حوزه‌ی ستادی فعالیت می‌کنند تقسیم می‌شود (مطابق تصویر ۲) و هر یک از امور عملیاتی به‌وسیله‌ی تعداد مشخصی از اکپ‌های عملیاتی و تعمیراتی که از توانایی اجرای عملیات بازیابی برخوردارند تجهیز شده‌اند.

در این ساختار حوزه‌ی ستادی متولی برنامه‌ریزی کلان، تدوین الگوها و دستورالعمل‌ها و اجرای نظارت عالی بر عملکرد امور عملیاتی است و امور عملیاتی تحت نظارت حوزه‌ی ستادی مجری دستورالعمل‌ها و الگوهای آمادگی پیش از بروز بحران و تدوین برنامه‌ی اولویت‌گذاری پیش‌اقدامانه و واکنش اضطراری است.

در تصویر ۳ طرح کلی شرح وظایف حوزه‌ی ستادی و امور عملیاتی برای تهیه‌ی برنامه‌ی اولویت‌گذاری پیش‌اقدامانه‌ی بازیابی خطوط هوایی فشارمتوسط ارائه شده است.



تصویر ۲: تفکیک حوزه‌ی عملیاتی بهره‌برداری یک شرکت توزیع به چندین امور عملیاتی

وظایف حوزه‌ی ستادی

۱. تفویض اختیار به امورهای عملیاتی با هدف اعمال مدیریت غیرمتمرکز برای برنامه‌ریزی و اجرای عملیات بازیابی
۲. پیش‌بینی خسارات وارده قبل از وقوع بحران به صورت کلی و با هدف اشراف مدیریتی بر وضعیت
۳. تهیه‌ی الگوها و دستورالعمل‌های تدوین طرح عملیاتی بازیابی و نظارت بر تهیه‌ی پیش‌اقدامانه طرح‌های بازیابی در امور عملیاتی و انجام نظارت عالیه بر استقرار مناسب دستورالعمل‌ها در امور اجرایی
۴. تنظیم معیارهای اولویت‌گذاری بازیابی خطوط هوایی فشارمتوسط

آمادگی پیش از بروز بحران و تدوین برنامه اولویت‌گذاری پیش‌اقدامانه

۱. پیش‌بینی خسارات وارده به هر یک از خطوط هوایی فشارمتوسط در معرض تهدید
۲. تهیه‌ی طرح غیرقطعی و پیش‌اقدامانه‌ی عملیات بازیابی و واکنش اضطراری بر پایه‌ی معیارهای اولویت‌گذاری بازیابی خطوط هوایی فشارمتوسط توزیع
۳. تدوین فهرست اولویت‌بندی شده غیرقطعی و پیش‌اقدامانه‌ی بازیابی خطوط هوایی فشارمتوسط واقع در حوزه‌ی عملیاتی امور
۴. اجرای عملیات بازیابی و واکنش اضطراری به صورت منطقه‌ای و در حوزه‌ی عملیاتی هر یک از امور پس از وقوع بحران و قطعی‌سازی و اصلاح طرح غیرقطعی بر مبنای وضعیت واقعی

وظایف امور عملیاتی

تصویر ۳: شرح وظایف حوزه‌ی ستادی و امور عملیاتی برای تهیه‌ی برنامه‌ی اولویت‌گذاری پیش‌اقدامانه بازیابی خطوط هوایی فشارمتوسط



تصویر ۴: فرایند عمومی تصمیم‌گیری برای تهیه‌ی برنامه‌ی پیش اقدامانه‌ی بازیابی و مدیریت

بحران خطوط فشارممتوسط در معرض تهدید

سادگی فراهم می‌آورد و یکی از مشخصات با اهمیت این روش محاسبه‌ی میزان سازگاری تصمیمات است [۳۰]. علی‌رغم مزایای ذکر شده‌ی فوق به دلیل سروکار داشتن روش تحلیل سلسله‌مراتبی با اعداد دقیق در قضاوت‌های خبرگان این روش نمی‌تواند به درستی بیانگر نحوه‌ی تفکر انسانی باشد. با این حال، به دلیل وجود عدم قطعیت‌ها و نادقیق بودن مقایسه‌های زوجی با اعداد دقیق، به کارگیری اعداد فازی به منزله‌ی یک راهکار برای رفع چالش ذکر شده‌ی فوق مورد توجه قرار گرفته است [۳۱، ۳۲].

چانگ در سال ۱۹۹۲ روشی ساده را برای بسط فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به فضای فازی ارائه نمود که بر پایه‌ی میانگین حسابی نظرات خبرگان و روش نرمالایزه کردن ساعتی و با به کارگیری اعداد مثلثی فازی توسعه داده شده است. در رویکرد منطق فازی، برای هر مقایسه‌ی زوجی، نقطه‌ی تقاطع پیدا شده و سپس مقدار عضویت نقطه با وزن آن برابر می‌شود [۳۲].

در این مقاله در رابطه با مقادیر کیفی و توصیفی از عبارت‌های کلامی به جای اعداد قطعی برای تعیین وزن شاخص‌ها و همچنین رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده است. در جدول ۱ متغیرهای زبانی برای بیان اولویت معیارها نسبت به یکدیگر ارائه گردیده است. در این مقاله برای پیشگیری از ابهام ناشی از عدم قطعیت در تصمیم‌گیری در همه‌ی مراحل از اعداد فازی مثلثی ارائه شده در جدول ۲ برای نشان دادن نتیجه‌ی مقایسات زوجی در AHP استفاده می‌شود.

یک عدد فازی مثلثی به صورت $\mu = (l, m, u)$ نشان داده می‌شود که دارای تابع عضویت مطابق رابطه‌ی ۱ است. تابع

با ملاحظه‌ی شرح وظایف حوزه‌ی ستادی و امور عملیاتی مطابق تصویر ۴ فرایند عمومی تصمیم‌گیری برای تهیه‌ی برنامه‌ی پیش اقدامانه‌ی بازیابی خطوط هوایی فشارممتوسط در معرض تهدیدات مختلف طبیعی ارائه شده و در این مقاله طوفان و تند باد به منزله‌ی تهدید در نظر گرفته شده است. از ویژگی‌های این روش، قابلیت به کارگیری آن در شبکه‌های توزیعی است که فاقد سابقه‌ی ثبت اطلاعات دقیق و یا داده‌های کامل و جامع شبکه است. فرایند مدل ارائه شده شامل چهار مرحله برای تهیه‌ی فهرست اولویت‌گذاری بازیابی خطوط هوایی فشار متوسط است، این مراحل عبارت‌اند از: تهیه و گردآوری اطلاعات ورودی، برآورد آسیب وارده و واکنش سیستم، تعیین اهداف و معیارها و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی. در ادامه مدل پیشنهاد شده در یک شبکه تست نمونه پیاده‌سازی می‌شود.

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

چنان‌که در تصویر ۴ ملاحظه می‌شود فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی جزء با اهمیتی در تهیه‌ی برنامه‌ی پیش اقدامانه‌ی بازیابی خطوط فشارممتوسط در معرض تهدیدات مختلف از جمله تهدید باد و طوفان محسوب می‌شود.

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از بهترین و کامل‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و مقایسه‌ی زوجی یکی از ویژگی‌های با اهمیت آن است که امکان قضاوت خبرگان و محاسبات را به

عضویت انتخاب شده برای اعداد فازی در تصویر ۵ نشان داده شده است [۳۳، ۳۴].

جدول ۱: متغیرهای کلامی پایه برای انجام مقایسه‌های دو به دو توصیف اهمیت معیارها

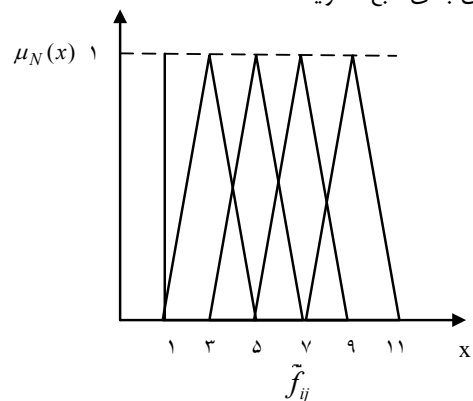
امتیاز	متغیرهای کلامی
۱	ترجیح برابر
۳	ترجیح کم
۵	ترجیح زیاد
۷	ترجیح خیلی زیاد
۹	ترجیح کاملاً زیاد
۲ و ۴ و ۶ و ۸	ترجیحات بینابینی

جدول ۲: طیف اعداد فازی و متغیرهای کلامی متناظر

عدد فازی	متغیر زبانی	مقیاس عدد فازی
۱	ترجیح برابر	(۱، ۱، ۱)
۳	ترجیح کم	(۱، ۳، ۵)
۵	ترجیح زیاد	(۳، ۵، ۷)
۷	ترجیح خیلی زیاد	(۵، ۷، ۹)
۹	ترجیح کاملاً زیاد	(۷، ۹، ۱۱)

$$\tilde{\mu}_{N(x)} = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} \in l < x < m \\ \frac{u-x}{u-m} \in m < x < u \\ 0, otherwise \end{cases} \quad \text{رابطه ی ۲:}$$

رابطه ی ۲ بیانگر تابع عضویت است و در بازه ی اعداد ۰ تا ۱ قرار دارد و u, m, l به ترتیب متناظر دامنه ی پایین، دامنه ی میانه و دامنه ی بالای تابع عضویت هستند.



تصویر ۵: طیف اعداد فازی به کارگرفته شده در این مقاله

مراحل اجرای تحلیل سلسله مراتبی فازی

گام های اجرای تحلیل گسترش یافته ی چانگ در هشت گام به قرار ذیل است [۳۲]:

در گام اول پس از ترسیم درخت سلسله مراتبی، ساختار سلسله مراتبی تصمیم بر پایه ی لایه های هدف، معیار و گزینه ترسیم می شود.

در گام دوم ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از اعداد فازی مثلثی $\tilde{f}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ و با بهره گیری از چندین تصمیم گیرنده تشکیل می شود.

در گام سوم میانگین حسابی نظرات قضاوت کنندگان به صورت ماتریس ارائه شده در جدول ۳ و با به کارگیری رابطه ی ۲ محاسبه می شود.

جدول ۳: ماتریس میانگین حسابی نظرات قضاوت کنندگان

معیار ۴	معیار ۳	معیار ۲	معیار ۱
$\tilde{a}_{14}$	$\tilde{a}_{13}$	$\tilde{a}_{12}$	1
$\tilde{a}_{24}$	$\tilde{a}_{23}$	1	$\tilde{a}_{21}$
$\tilde{a}_{34}$	1	$\tilde{a}_{32}$	$\tilde{a}_{31}$
1	$\tilde{a}_{43}$	$\tilde{a}_{42}$	$\tilde{a}_{41}$

$$\text{رابطه ی ۳:} \quad \tilde{a}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{p_{ij}} a_{ijk}}{p_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

در رابطه ی ۳ بیانگر میانگین حسابی نظرات قضاوت کنندگان در درایه به سطر i ام و ستون j ام، تعداد افراد نظردهنده در مورد اولویت گزینه ی i نسبت به j عبارت از نظر قضاوت کننده k ام در مورد اولویت گزینه ی i نسبت به j است.

در گام چهارم مجموع عناصر سطر مطابق رابطه ی ۴ محاسبه می شود:

$$\text{رابطه ی ۴:} \quad \tilde{s}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

در رابطه ی ۴ بیانگر مجموع عناصر سطر i ام است. در گام پنجم مجموع سطرها مطابق رابطه ی ۵ نرمالیزه می گردد.

$$\text{رابطه ی ۵:} \quad \tilde{M}_i = \tilde{s}_i \otimes \left[\sum_{j=1}^n \tilde{s}_j \right]^{-1} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

در رابطه ی ۵ بیانگر مقدار نرمالیزه ی مجموع عناصر سطر i ام است.

در گام ششم درجه ی احتمال بزرگ تر بودن هر μ_i نسبت به سایر μ_i ها محاسبه و $d'(Ai)$ نامیده می شود. درجه ی احتمال بزرگ تر بودن عدد مثلثی فازی $\mu_{M_2} = (l_2, m_2, u_2)$ نسبت به μ_{M_1} که عدد مثلثی فازی دیگری است، به وسیله ی رابطه ی ۶ محاسبه می شود.

$$\text{رابطه ی ۶:} \quad V(M_2 > M_1) = \mu_{M_2}(d_2) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

در رابطه ی ۶، d بیانگر مختصات بالاترین نقطه در منطقه ی اشتراک و برخورد دو تابع عضویت μ_{M_1} و μ_{M_2} است.

گام هفتم به دست آوردن وزن‌های نرمالیزه از طریق نرمالیزه کردن بردار وزن‌ها است که از رابطه‌ی ۷ به دست می‌آید:

$$w = \left[\frac{d'(A_1)}{\sum_{j=1}^n d'(A_j)}, \frac{d'(A_2)}{\sum_{j=1}^n d'(A_j)}, \dots, \frac{d'(A_n)}{\sum_{j=1}^n d'(A_j)} \right] \quad \text{رابطه‌ی ۷:}$$

وزن‌های به دست آمده‌ی فوق، وزن قطعی (غیر فازی) هستند و با تکرار این فرایند، اوزان تمامی ماتریس‌ها به دست می‌آید.

گام هشتم ترکیب اوزان است که از ترکیب وزن‌های گزینه و معیارها، وزن نهایی از رابطه‌ی ۸ به دست می‌آید.

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad \forall i \quad \text{رابطه‌ی ۸:}$$

در رابطه‌ی ۸، w_i وزن معیارها و r_{ij} وزن گزینه‌ها است.

روش بررسی سازگاری گوگوس و بوچر

در این روش از هر ماتریس فازی مشتق و سپس سازگاری هر ماتریس بر اساس روش ساعتی محاسبه می‌شود. مراحل محاسبه‌ی نرخ سازگاری ماتریس‌های فازی مقایسات زوجی به قرار زیر است:

در مرحله‌ی اول ماتریس مثلثی فازی به دو ماتریس تقسیم می‌شود. ماتریس اول مطابق رابطه‌ی ۹ از اعداد میانی قضاوت‌های مثلثی تشکیل می‌شود.

رابطه‌ی ۹: $A^m = [a_{ijm}]$
و ماتریس دوم مطابق رابطه‌ی ۱۰ شامل میانگین هندسی حدود بالا و پایین اعداد مثلثی می‌شود.

$$A^g = \sqrt{a_{ijm} \cdot a_{ijl}} \quad \text{رابطه‌ی ۱۰:}$$

در مرحله‌ی دوم بردار وزن هر ماتریس با استفاده از روش ساعتی محاسبه می‌شود. در مرحله‌ی سوم بزرگ‌ترین مقدار ویژه برای هر ماتریس محاسبه می‌شود. در مرحله‌ی چهارم شاخص سازگاری با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$CI^m = \frac{(\lambda_{\max}^m - n)}{(n - 1)} \quad \text{رابطه‌ی ۱۱:}$$

$$CI^g = \frac{(\lambda_{\max}^g - n)}{(n - 1)} \quad \text{رابطه‌ی ۱۲:}$$

در مرحله‌ی پنجم لازم است برای محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری CR ، شاخص CI بر مقدار شاخص تصادفی RI تقسیم شود. در صورتی که مقدار حاصل کمتر از ۰/۱ باشد، ماتریس سازگار است.

برای به دست آوردن مقادیر شاخص‌های تصادفی RI ، ۱۰۰ ماتریس را با اعداد تصادفی و با شرط متقابل بودن ماتریس‌ها تشکیل داده و مقادیر ناسازگاری و میانگین آن‌ها را محاسبه نمود. از آنجا که مقادیر عددی مقایسات فازی همواره عدد صحیح

نیستند لازم است شاخص‌های تصادفی RI برای ماتریس‌های مقایسات، زوجی فازی مطابق روابط ۱۳ و ۱۴ تولید شوند.

$$CR^m = \frac{CI^m}{RI^m} \quad \text{رابطه‌ی ۱۳:}$$

$$CR^g = \frac{CI^g}{RI^g} \quad \text{رابطه‌ی ۱۴:}$$

در صورتی که هر دوی این شاخص‌ها کمتر از ۰/۱ به دست آیند، ماتریس فازی سازگار است. در صورتی که هر دو شاخص بیشتر از ۰/۱ به دست آیند، از تصمیم‌گیرنده تقاضا می‌شود تا در اولویت‌های ارائه شده تجدید نظر نماید و در صورتی که تنها CR^m (بیشتر از ۰/۱) بود، تصمیم‌گیرنده تجدید نظر در مقادیر میانی (حدود) قضاوت‌های فازی را انجام می‌دهد [۳۵].

بیان یک نمونه‌ی عملی

به منظور تبیین روش ارائه شده در این مقاله یک مثال عملی و مطالعه‌ی موردی بر پایه‌ی مدل ارائه شده در تصویر ۴ که در یک شبکه‌ی تست نمونه اجرا شده است در ادامه طرح می‌شود.

اطلاعات شبکه‌ی مورد مطالعه

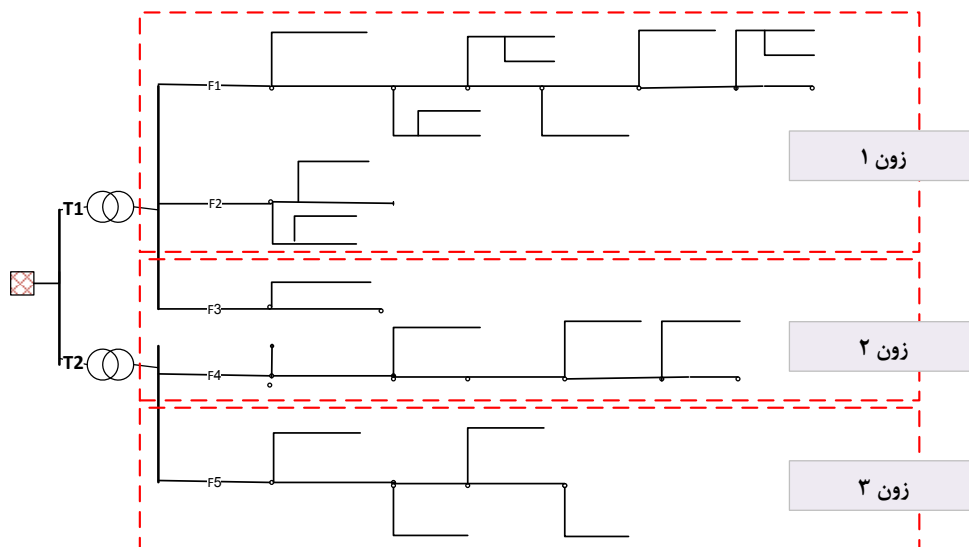
چنانکه در روش پیشنهاد شده در این مقاله ذکر شد مجموعه شبکه‌های توزیع یک شرکت توزیع به حوزه‌ی عملیاتی امور اجرایی مختلف تقسیم می‌شود و هر امور اجرایی متولی مدیریت و بازبایی بخش کوچکی از کل شبکه‌ی توزیع هر شرکت است که شامل حداکثر چند خط فشار متوسط است. شبکه‌ی تست تصویر ۶ مربوط به یکی از امور عملیاتی شرکت توزیع نیروی برق استان مازندران است.

این شبکه شامل پنج خط فشار متوسط هوایی بوده و به لحاظ محیط پیرامونی، نوع بار و شرایط اقتصادی بارهای متصل، به سه زون به شرح ذیل تقسیم می‌شود:

- زون ۱: عبارت از خطوط ۱ و ۲ داخل محدوده‌ی شهری و خط ۲ به لحاظ اقتصادی حائز اهمیت است.
- زون ۲: عبارت از خطوط ۳ و ۴ حومه‌ی شهر که در منطقه‌ی جنگلی و با مسیر دسترسی دشوار قرار گرفته‌اند.
- زون ۳: عبارت از خط ۵ که بارهای بحرانی و مراکز حیاتی مثل بیمارستان و تصفیه‌خانه‌ی آب روی آن قرار دارند. با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات و وضعیت دقیق بارها و مشترکان و تعداد پایه‌ها، تعداد ترانسفورماتورهای منصوبه روی هر یک از خطوط و طول خطوط، مطابق جدول ۴ به منزله‌ی حداقل اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله در نظر گرفته شده است.

جدول ۴: اطلاعات و مشخصات فنی خطوط فشار متوسط

شماره فیدر	تعداد ترانسفورماتور	طول خط (کیلومتر)
F1	۱۰۰	۲۸
F2	۴۳	۲۳/۵
F3	۶۸	۸/۵
F4	۵۷	۷
F5	۳۲	۵/۲۵



تصویر ۶: ساختار شبکه‌ی نمونه‌ی مورد مطالعه

با ملاحظه‌ی اطلاعات یاد شده و با هدف در نظر گرفتن شرایط سخت و با احتمال پایین، ضریب افزایشده معادل ۵۰٪ بیش از آنچه تاکنون اتفاق افتاده است به سرعت ۴۰ متر بر ثانیه اعمال شده و پایداری و مقاومت سیستم توزیع در برابر تهدید تندباد معادل ۶۰ متر بر ثانیه بررسی و تخمین زده می‌شود.

مدل آسیب‌پذیری اجزای شبکه (پایه‌های فشار متوسط)

استخراج منحنی‌های شکست و آسیب‌پذیری در این مقاله از طریق روش برازش داده‌های تجربی و اطلاعات تاریخی انجام گرفته است. برازش به مفهوم پیش‌بینی و بیان تغییرات یک متغیر بر اساس تغییرات متغیر دیگر است.

رابطه‌ی ۱۵ بیانگر رابطه‌ی شکست‌پذیری پایه‌های شبکه‌ی فشار متوسط در معرض تهدید طوفان بر اساس تحقیقات قبلی موجود و دانسته فرض می‌شود.

رابطه‌ی ۱۵:

$$P_{pole} = \min(1.2 * 10^{-3} * e^{0.047 * x_i}, 1)$$

که در آن P_{pole} احتمال تجمع‌ی شکست پایه خط فشار متوسط در شبکه‌های هوایی و x_i سرعت وزش تند باد است و از رابطه‌ی ۱۵ با به‌کارگیری شبیه‌سازی مونت‌کارلو در برآورد آسیب وارده و واکنش سیستم بهره‌گیری می‌شود [۳۷].

برآورد آسیب وارده و واکنش سیستم

ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌ی فشار متوسط با بهره‌گیری از تابع شکست‌پذیری رابطه‌ی ۱۵ و شبیه‌سازی مونت کارلو و با فرض محدود بودن محدوده‌ی جغرافیایی مورد مطالعه (که با توجه به این فرض شرایط جوی و شدت تهدید ذکر شده در بخش‌های قبل در کل فضای بررسی یکسان در نظر گرفته می‌شود) انجام شده است. در نتیجه، تخمینی از آسیب وارده به شبکه‌ی توزیع و پایه‌های فشار متوسط و زمان تقریبی (اکیپ/ساعت) مورد نیاز برای رفع عیب و تعمیر کامل هر خط فشار متوسط با فرض زمان

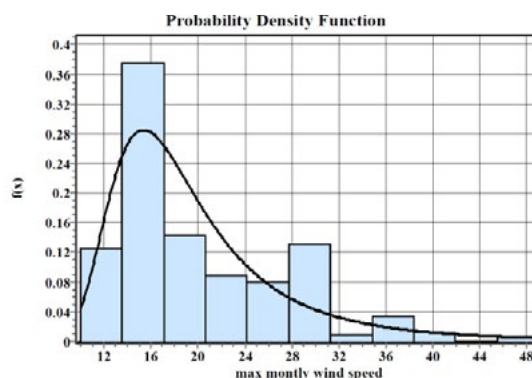
برای تخمین تعداد پایه‌های موجود با احتساب طول هراسپن به میزان ۵۰ متر، تخمینی دقیق از تعداد پایه‌های واقع روی هر یک از خطوط حاصل می‌شود.

برای ساده‌سازی فضای حل مسئله، قدرت ترانسفورماتورها و میزان بار منصوبه روی آن‌ها مشابه فرض شده است.

مشخصات تهدید

با ملاحظه‌ی نشریه‌ی شماره‌ی ۴۵۶ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی که گستره‌ی توزیع سرعت‌های باد را در مناطق مختلف کشور به سه دسته تفکیک نموده است، ملاحظه می‌گردد که اقلیم مازندران در طبقه‌بندی مناطق بادخیز که حداکثر سرعت باد بیش از ۴۰ متر بر ثانیه در آن می‌وزد قرار دارد که بیانگر شرایط بادخیزی و مواجهه‌ی شبکه‌های برق با تهدید تندباد و طوفان است [۳۶].

برای ارزیابی دقیق‌تر تهدید تندباد در این مقاله حداکثر سرعت باد (بادهای با زمان وزش بیش از سه ثانیه) به‌طور ساعت به ساعت استخراج و حداکثر سرعت باد ماهیانه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی استان مازندران در طول چند دهه جمع‌آوری شده [۳۷] و مطابق تصویر ۷ منحنی توزیع چگالی احتمال به دست آمد.



تصویر ۷: منحنی توزیع چگالی احتمال حداکثر سرعت باد ماهیانه در بازه‌ی حدود چهار دهه (ایستگاه قراخیل - قائمشهر)

تعمیر متوسط هر پایه به میزان سه ساعت، مطابق جدول ۵ به دست آمده است.

جدول ۵: اطلاعات و مشخصات فنی خطوط فشارمتوسط

شماره خط	پیش بینی تعداد پایه‌های معیوب	پیش بینی زمان مورد نیاز برای تعمیر کامل خط
F1	۱۱/۲۸	۳۳/۸۴
F2	۹/۴۶	۲۸/۳۸
F3	۳/۴۶	۱۰/۳۸
F4	۲/۸۱	۸/۴۳
F5	۲/۱	۶/۳

هدف گذاری و شناسایی معیارها

تعیین اولویت بازایی خطوط فشارمتوسط خارج از سرویس با هدف بهبود تاب آوری در برنامه ریزی پیش اقدامانه ی بازایی شبکه های هوایی توزیع نیروی برق، مورد پیگیری قرار می گیرد. در فرایند تحلیل سلسله مراتبی که در این مقاله تعیین و تنظیم اولویت بازایی خطوط فشارمتوسط را به عهده دارد، معیارهای مختلف کمی و کیفی برای وزن گذاری و محاسبه ی وزن هر یک از گزینه ها به منظور تعیین اولویت به کار می رود.

برخی از معیارها به دلیل محاسبه پذیر بودن از نوع معیارهای کمی و برخی دیگر به دلیل توصیفی و کیفی بودن به عنوان معیارهای کیفی مطرح هستند. در این مقاله معیار فنی، حیاتی بودن زیرساخت ها، معیار اقتصادی، دشواری دسترسی به بخش های آسیب دیده و مشجر بودن به منزله ی معیارهای انتخاب اولویت های بازایی به کار گرفته شده اند که هر یک از معیارهای ذکر شده به شرح ذیل توصیف می گردند:

- معیار ۱ (فنی): بازایی حداکثر تعداد تجهیزات از دست رفته در کمترین زمان ممکن در بهبود تاب آوری یک شاخص با اهمیت فنی است. در این مقاله رابطه ی ۱۶ با عنوان شاخص بازایی برای اولویت گذاری فنی بازایی خطوط پیشنهاد شده و ترانسفورماتورها به منزله ی تجهیز با اهمیت برای تصمیم گیری در اولویت گذاری بازایی در نظر گرفته شده است.

گفتنی است که انتخاب ترانسفورماتور به منزله ی تجهیز با اهمیت به طور غیر مستقیم تخمینی از مشتریان تحت تأثیر نیز ارائه می دهد که این موضوع در شرایط عدم دسترسی به اطلاعات دقیق شبکه و تعداد مشترکان متصل، بسیار کارآمد خواهد بود. همچنین رابطه ی ۱۶ وظیفه ی تخمین در قضاوت ارجحیت هر یک از گزینه ها در فرایند تحلیل سلسله مراتبی را به عهده دارد.

رابطه ی ۱۶:

$$fr_{index} = \frac{t_n}{r_i}$$

که در آن fr_{index} بیانگر شاخص بازایی خط، t_n بیانگر تعداد ترانسفورماتورهای از دست رفته در هر خط و r_i زمان بازایی (اکیپ / ساعت) در هر خط است.

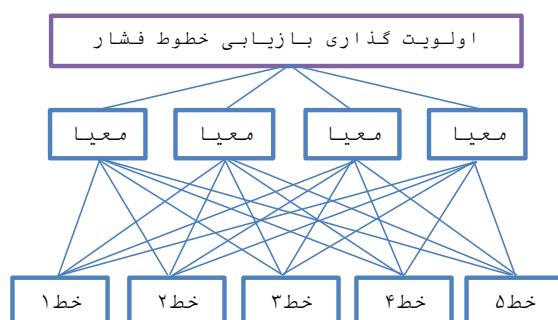
- معیار ۲ (حیاتی بودن زیرساخت ها): تأسیسات زیر ساختی و حیاتی برای ایمنی جامعه و سلامتی و رفاه (بیمارستان ها، کارخانجات آب شرب، سرویس های تسهیلات عمومی و ...) به منزله ی اولویت های بازایی برای دریافت انرژی در نظر گرفته می شوند، به این دلیل خطوطی که این گونه بارها روی آن قرار دارد از اولویت بالاتری برخوردارند و در قضاوت خبرگان مربوطه به فرایند تحلیل سلسله مراتبی، درجه ی ارجحیت بالاتری به آن تخصیص می یابد.

- معیار ۳ (اقتصادی): با فرض عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و عدم امکان محاسبه ی کمی ارجحیت بازایی خطوط، با عنایت به این معیار، تعیین اولویت به صورت کیفی و بر پایه ی قضاوت خبرگان انجام می گیرد.

- معیار ۴ (حمل و نقل و دسترسی): یکی از عوامل تأثیرگذار عملیاتی در فرایند بازایی دشواری دسترسی به بخش های آسیب دیده در شرایط پس از بروز فاجعه ی طبیعی به دلیل ضعف و آسیب در مسیرهای دسترسی و سقوط اشجار و انسداد راه ها است، به طوری که این موضوع می تواند منجر به افزایش غیر منتظره ی زمان تعمیر و در نتیجه کاهش تاب آوری سیستم شود. با در نظر گرفتن این معیار در فرایند تحلیل سلسله مراتبی و با تخصیص وزن مناسب برای این معیار از طریق قضاوت خبرگان، موضوع حمل و نقل در زمان بحران در اولویت گذاری بازایی خطوط در نظر گرفته می شود.

پیاده سازی تحلیل سلسله مراتبی فازی

در این قسمت در اولین گام و مطابق تصویر ۸ نمودار سلسله مراتبی بر مبنای هدف، معیارها و گزینه ها رسم شده و مطابق روش ارائه شده در بخش ۴ فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیاده سازی می شود.



تصویر ۸: نمودار فرایند تحلیل سلسله مراتبی اجرا شده

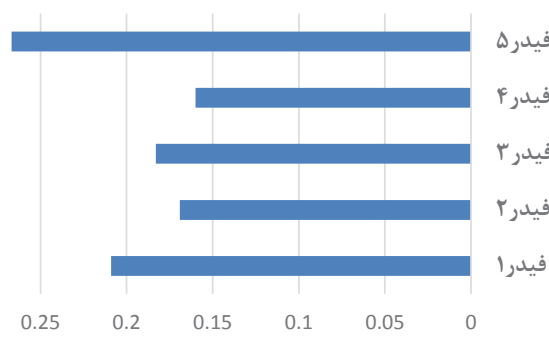
نتایج مقایسه ی دو به دو معیارها و وزن نهایی آن ها در جدول شماره ی ۶ و اوزان نرمالایز شده ی هر یک از گزینه ها در مقایسه با معیارهای مختلف و رتبه ی نهایی گزینه ها در جدول شماره ی ۷ و تصویر شماره ی ۹ ارائه شده است.

جدول ۶: میانگین مقایسات زوجی معیارها نسبت به هدف

وزن نرمال شده نهایی	Si	معیار ۴	معیار ۳	معیار ۲	معیار ۱	هدف
۳۲/۰	(۸۴/۲۷۹,۰/۰۸۸,۰/۰)	(۳۳/۳۳,۵/۳۳,۳/۱)	(۳۳/۳۳,۴/۱,۲)	(۳۳۳,۱/۲,۰/۰)	(۱,۱,۱)	معیار ۱
۴۲/۰	(۳۲/۴۹۲,۱/۱۵۹,۰/۰)	(۶۶/۶۶,۶/۶۶,۴/۲)	(۶۶/۶۶,۵/۶۶,۳/۱)	(۱,۱,۱)	(۱,۳,۵)	معیار ۲
۲۰۱/۰	(۴۷۶/۱۴۷,۰/۰۶,۰/۰)	(۱,۲,۴)	(۱,۱,۱)	(۶/۲۷,۰/۱۷۶,۰/۰)	(۴۲۸۵,۱/۲۳۰۷,۰/۰)	معیار ۳
۰۵۸/۰	(۲۲/۰۸,۰/۰۳۹,۰/۰)	(۱,۱,۱)	(۵,۱/۲۵,۰/۰)	(۳۷/۲۱,۰/۱۵,۰/۰)	(۷۵/۳,۰/۱۸۷۵,۰/۰)	معیار ۴
۱	(۶۴/۱۷۱,۳۹/۹۲,۳۴/۲۸)	مجموع				
		CRg = ۰,۰۹۲		CRm = ۰,۰۴۶		

جدول ۷: اوزان نرمالایز شده‌ی هریک از گزینه‌ها در مقایسه با معیارهای مختلف

رتبه نهایی	وزن قطعی نهایی گزینه‌ها	معیار ۴	معیار ۳	معیار ۲	معیار ۱	هدف
۲	۲۰۹/۰	۳۱۴/۰	۴۵۳/۰	۲۱۵/۰	۲۰۹/۰	خط ۱
۴	۱۶۹/۰	۲۷۵/۰	۱۲۶/۰	۳۰۴/۰	۰	خط ۲
۳	۱۸۳/۰	۰۹۷/۰	۲۸۸/۰	۰۲۴/۰	۳۴۴/۰	خط ۳
۵	۱۶/۰	۰۹۷/۰	۱۲۶/۰	۰۲۴/۰	۳۷۵/۰	خط ۴
۱	۲۷۷/۰	۲۱۷/۰	۰۰۸/۰	۴۳۴/۰	۲۵۲/۰	خط ۵



تصویر ۹: نمودار رتبه‌ی نهایی گزینه‌ها نسبت به هدف

بر اساس نتایج حاصل، قابل مشاهده است که خط ۵ با توجه به حضور بارهای بحرانی از بالاترین اولویت در برنامه‌ی پیش اقدامانه برای بازیابی برخوردار است که این نتیجه از ابتدا قابل پیش‌بینی بود، اما پیش‌بینی و حدس اولویت‌های بعدی به سادگی قابل تشخیص نیست، خصوصاً با افزایش پیچیدگی شبکه، شناسایی اولویت‌ها با دشواری بیشتری مواجه می‌شود. با ملاحظه‌ی روش ارائه شده در این مقاله شناسایی اولویت‌ها با یک متد علمی و قابل اتکا بر مبنای قضاوت‌های دو به دو و با ملاحظه‌ی تأثیر وزن معیارهای مختلف انجام شده است و این روش در حل مسئله‌ی اولویت‌گذاری بازیابی پیش اقدامانه فیدرهای فشار متوسط از عمومیت برخوردار است.

نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی و اولویت‌گذاری پیش اقدامانه‌ی بازیابی خطوط هوایی فشار متوسط از نقش حائز اهمیت در بهبود تاب‌آوری

زیرساخت شبکه‌های فشار متوسط توزیع در مواجهه با تهدید طوفان و تندباد برخوردار است. این مقاله با هدف رفع مشکل عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و با نیت چیره شدن بر عدم قطعیت‌های موجود در مسئله‌ی قضاوت‌های خبرگان، ارائه‌دهنده‌ی مدلی است که بر پایه‌ی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و شبیه‌سازی مونت کارلو است و به دلیل سادگی و عمومیت بیشتر از اعداد فازی با تابع عضویت مثلثی برای ثبت قضاوت‌ها استفاده می‌نماید.

گفتنی است که روش ارائه شده در این مقاله فارغ از نوع تهدید از قابلیت اجرا و پیاده‌سازی در تهیه‌ی برنامه‌ی پیش اقدامانه اولویت‌گذاری بازیابی در مواجهه‌ی شبکه‌های توزیع با سایر تهدیدات برخوردار است و خصوصاً در شرایط بحران و کمبود منابع انسانی و تجهیزاتی روش ارائه شده امکان تخصیص بهینه‌ی منابع برای بازیابی شبکه‌های آسیب‌دیده را فراهم می‌آورد، همچنین به فراخور شرایط، توسعه‌ی اهداف یا تغییر در معیارها امکان‌پذیر و عملی است.

بر پایه‌ی نتایج حاصل از اجرای مدل پیشنهادی قابل استنباط است که در صورت عدم وجود و دسترسی اندک به اطلاعات پایه بر اساس قضاوت خبرگان می‌توان به برنامه‌ریزی پیش اقدامانه و اولویت‌گذاری بازیابی خطوط اقدام نمود و بر اساس توضیحات ارائه شده این برنامه‌ریزی به‌طور مستقیم منجر به بهبود تاب‌آوری شبکه‌های توزیع منجر خواهد شد، هر چند که با عنایت به محدودیت داده‌ها امکان ارزیابی دقیق شاخص‌های مرتبط به صورت محاسباتی فراهم نیست ولی معیارهای مورد استفاده در ساختار سلسله‌مراتبی بر پایه‌ی قضاوت خبرگان هدف بهبود تاب‌آوری را در اولویت‌گذاری و برنامه‌ریزی پیش اقدامانه‌ی بازیابی محقق می‌نمایند.

heuristic algorithms to service restoration in distribution systems. *IEEE Trans. Power Del.* 17(1), 173–181.

15. Perez-Guerrero, R. E. Heydt, G. T. Jack, N. J. Keel, B. K. Castelhan, A.R. (2008). Optimal restoration of distribution systems using dynamic programming. *IEEE Trans. Power Del.* 3(23), 1589–1596.
16. Perez-Guerrero, R. E. Heydt, (2008). Viewing the distribution restoration problem as the dual of the unit commitment problem. *IEEE Trans. Power Syst.* 2(23), 807–808.
17. Maliszewski, P. J. Perrings, C. (2012). Factors in the resilience of electrical power distribution infrastructures. *Appl. Geogr.* 32(2), 668–679.
18. Yao, M. J. Min, K. J. (1998). Repair-unit location models for power failures. *IEEE Trans. Eng. Manage.* 45(1), 57–65.
19. Wang, S. Sarker, B. R. Mann, L. Triantaphyllou, E. (2004). Resource planning and a depot location model for electric power restoration. *Eur. J. Oper. Res.*, 155(1), 22–43.
20. Arab, A. Khodaei, A. Khator, S. K. Ding, K. Emesih, V. A. Han, Z. (2015). Stochastic pre-hurricane restoration planning for electric power systems infrastructure. *IEEE Trans. Smart Grid*, 6(2), 1046–1054.
21. Arab, A. Tekin, E. Khodaei, A. Khator, S. K. Han, Z. (2014). Dynamic maintenance scheduling for power systems incorporating hurricane effects. In *Proc. IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun.*, 85–90.
22. Arab, A. Khodaei, A. Han, Z. Khator, S. (2015). Proactive Recovery of Electric Power Assets for Resilience Enhancement. *IEEE Access*, 3, 99–109.
23. Liu, H. Davidson, R.A. Apanasovich, T.v. (2007). Statistical Forecasting of Electric Power Restoration Times in Hurricanes and Ice Storms. *IEEE Trans. Power Systems*, 22(4), 2270–2279.
24. Akwasi, F. Dueñas-Osorio, L. (2015). Efficient Resilience Assessment Framework for Electric Power Systems Affected by Hurricane Events. *Journal of structural Engineering*, pp.1–10.
25. Moore, H. E. Bate, F. L. Layman, M. V. Parenton, V. J. (1963) *Before the Wind. A Study to the Response to Hurricane arla*. Washington, DC, USA: National Academy of Science-National Research Council.
26. Winkler, J. Duenas-Osorio, L. Stein, R. Subramanian, D. (2010). Performance assessment of topologically diverse power systems subjected to hurricane events. *Rel. Eng. Syst. Safety*, 95(4), 323–336.
27. Berg, R. (2009). *Tropical Cyclone Rep. AL092008* Nat. Miami, FL, USA, Hurricane Center, Ocean. Atmos. Admin. Nat. Weather Service.
28. Etkin, D. (1999). Risk transference and related trends: Driving forces towards more mega-disasters. *Global Environ. Change B, Environ. Hazards*, 1(2), 69–75.
29. Rudnick, H. Mocarquer, S. Andrade, E. Vuchetich, E. Miquel, P. (2011). Disaster management, restoring

1. Fuzzy analytical hierarchy process

منابع

1. Pachauri, R.K. Meyer, L.A. (2014). Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva.
2. Panteli, M. Mancarella, P. (2015). Modeling and Evaluating the Resilience of Critical Electrical Power Infrastructure to Extreme Weather Events. *IEEE SYSTEMS JOURNAL*, 99, 1–10.
3. Chaudry, M. (2011). Building a Resilient UK Energy System. *UK Energy Research Center (UKERC)*, London, U.K.
4. Berkely, A. (2010). *A Framework for Establishing Critical Infrastructure Resilience Goals*, Washington, DC, USA National Infrastructure Advisory Council (NIAC).
5. Wang, Yezho. Chen, Chen. Wng, Jianhuai. Baldick, Ross (2016). Research on Resilience of Power Systems Under Natural Disasters-A Review. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, 2(31), 1604–1613.
6. Lindemeyer, D. Dommel, H. W. Adibi, M. M. (2001). Power system restoration—A bibliographical survey. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 23 (3), 227–219.
7. Fink, L. H. Liou, K. L. Liu, C. C. (1995). From generic restoration actions to specific restoration strategies. *IEEE Trans. Power Syst.* 10 (2), 745–751.
8. Adibi, M. M. Fink, L. H. (2006). Overcoming restoration challenges associated with major power system disturbances. *IEEE Power Energy Mag.* 4(5), 68–77.
9. Liu, C. C. Lee, S. J. Venkata, S. S. (1988). An expert system operational aid for restoration and loss reduction of distribution systems. *IEEE Trans. Power Syst.* 3(2), 619–626.
10. Chen, C. S. Lin C. H. Tsai, H. Y. (2002). A rule-based expert system with colored Petri net models for distribution system service restoration. *IEEE Trans. Power Syst.* 17(4), 1073–1080.
11. Lim, S. I. Lee, S. J. Choi, M. S. Lim, D. J. Ha, B. N. (2006). Service restoration methodology for multiple fault case in distribution systems. *IEEE Trans. Power Syst.* 21(4), 1638–1644.
12. Lee, S. J. Lim, S. I. Ahn, B. S. (1998). Service restoration of primary distribution systems based on fuzzy evaluation of multi-criteria. *IEEE Trans. Power Syst.* 13(3), 1156–1163.
13. Morelato, A. L. Monticelli, A. (1989). Heuristic search approach to distribution system restoration. *IEEE Trans. Power Del.* 4(4), 2235–2241.
14. Toune, S. Fudo, H. Genji, T. Fukuyama, Y. And Nakanishi, Y. (2002). Comparative study of modern



شماره پانزدهم
بهار و تابستان
۱۳۹۸
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



برنامه‌ریزی بازاریابی پیش از وقوع تند باد شبکه‌های توزیع فشار متوسط با هدف بهبود مدیریت بحران پیش اقدامات

electricity supply after the 2010 Chilean earthquake. *IEEE Power and Energy Magazine*, 9(2), 37 – 45.

30. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
31. Kubler, S. Robert, J. Derigent, W. Voisin, A. Traon, Y.(2016). A state-of the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. *Elsevier Expert Systems with Applications journal*, 65, 398–422.
32. Chang, D.-Y. (1992). Extent Analysis and Synthetic Decision, *Optimization Techniques and Applications*, 1, 352.
33. Mechefske, C. K. Wang, Z.(2001) . Using fuzzy linguistics to select optimum maintenance and condition monitoring strategies. *Mechanic. Syst. Signal Process*, 15(6), 1129–1140.
1. Zimmermann, H. J. (1987). *Fuzzy Sets, Decision Making and Expert Systems*. Norwell, MA: Kluwer.
34. Kahraman C. (2008). *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments*, Springer.
۳۵. مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط توزیع و انتقال طبقه‌بندی شرایط اقلیمی و محیطی، (۱۳۸۷). معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، نشریه‌ی شماره ۴۶۵.
36. <http://www.chbmet.ir/iranarchive.asp>

شناسایی محله‌های آسیب‌پذیر شهری از نظر اتفاقات شبکه‌ی آب

مطالعه‌ی موردی: شهر اردبیل

علیرضا محمدی*: دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران، a.mohammadi@uma.ac.ir
الهه پیشگر: دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.
سپیده نوری: دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
حجت ارژنگی: کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

زیرساخت آب شربان حیاتی یک شهر است و آسیب به آن، می‌تواند منجر به بحران شود. بر اساس گزارش‌های ثبت شده، از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ به طور میانگین سالانه ده‌ها هزار مورد اتفاق در زیرساخت شبکه‌ی آب شهر اردبیل رخ داده است. از آنجایی که زیرساخت‌های آب، مکان مبنا هستند، بنابراین، شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیر شهر به منظور پیشگیری از بحران در مواقع مخاطرات احتمالی ضروری است. چنین شناختی مستلزم استفاده از روش‌های مناسب تحلیل فضایی است. لذا از فنون GIS همچون تراکم Kernel و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای شناسایی محله‌های آسیب‌پذیر شهر استفاده شده است. قلمرو جغرافیایی این پژوهش، ۴۴ محله‌ی شهر اردبیل است. داده‌های این پژوهش، شامل ۱۱۲۲۲ مورد اتفاق است که تا پایان سال ۱۳۹۵ ثبت شده‌اند. در پژوهش حاضر، از هشت معیار کلیدی شامل تعداد اتفاقات ثبت شده، تراکم جمعیت و ساختمان، فعالیت ساختمانی، کیفیت شبکه‌ی معابر، کیفیت کالبدی بافت‌های شهری، عمر و فشار در شبکه‌ی آب استفاده شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهند که ۱۳/۶ درصد از محله‌ها در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری شدید، ۲۲/۷ درصد در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری زیاد، ۲۵ درصد در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری متوسط و ۳۸/۷ درصد باقی در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری کم و خیلی کم قرار دارند. نتیجه این‌که، محله‌های شماره‌ی ۲، ۴، ۵، ۱۹، ۲۸، ۳۹ وضعیت بحرانی دارند و شدیداً در معرض خطر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب شهری قرار گرفته‌اند و وقوع مخاطراتی مانند زلزله می‌تواند شهر را با آسیب‌های جدی مواجه کند. واژه‌های کلیدی: شبکه‌ی توزیع آب، اتفاقات، آسیب‌پذیری، مدیریت بحران، GIS، شهر اردبیل

Identifying Vulnerable Neighborhoods in the City in Terms of City Water Network Events Using GIS.

Case Study: Ardabil City

Alireza Mohammadi^{1*}, Elahe Pishgar², Sepideh Noori³, Hojat Arzhangie⁴

Abstract

The water infrastructure is a vital facility of a city and its destruction can lead to crisis. According to the records, from 2011 to 2016 on average, annually, tens of thousands of incidents occurred in Ardabil water network infrastructure. Since water infrastructures are location-based, therefore, identification of vulnerable zones of the city, in order to prevent a crisis in hazardous times is essential. Such knowledge requires the use of appropriate methods of spatial analysis. Therefore, techniques such as Kernel density in GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) are used for the identification of vulnerable neighborhoods. The geographic territory of this study is 44 neighborhoods of the city of Ardabil. 11,222 registered incidents in the water network of the city by the end of 2016 are used in this study. Moreover, 8 key criteria including the number of registered events, population and building density, construction activity, the quality of the road network, the physical quality of urban fabrics, age and the pressure of the city water network are used. The results show that 13.6 percent of the neighborhoods are in the zone with severe risk, 22.7 percent in the high-risk zone, 25 percent are in the zone with moderate risk and 38.7 percent are in the low and very low-risk zones. In conclusion, neighborhoods 2, 4, 5, 19, 28, 39 are in crisis condition and at great risk of events on the city water network and crisis such as earthquakes can damage the city.

Keywords: Water distribution network, Vulnerability, Crisis management, GIS, Ardabil

1 Assistant Prof., Dept. of Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Email: a.mohammadi@uma.ac.ir

2 MSc. in Geography and Urban Planning, University of Tehran, Iran

3 PhD student of Geography and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

4 MSc. in Geography and Urban Planning, Dept. of Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

استفاده‌ی نادرست و اتلاف منابع آب آشامیدنی در شهرها و سوء مدیریت آن در کشورهای در حال توسعه، دورنمای نگران کننده‌ای را متصور ساخته است [۱]. با توجه به ثابت بودن مقدار ذخایر منابع آبی، افزایش جمعیت، رواج فرهنگ مصرف‌گرایی، افزایش سرانه‌ی مصرف آب و بروز بحران‌های شدید آبی در سراسر جهان و به‌ویژه کشورهای در حال توسعه مانند ایران، چالش‌های جدی را به وجود آورده است [۲]. این وضعیت زمانی نگران کننده‌تر و بحرانی‌تر به نظر می‌رسد که ذخایر آب‌های آشامیدنی جهان رو به کاهش است و در عین حال میزان سرانه‌ی استاندارد مصرف آب شهری، رو به افزایش است. تنگناهای فرهنگی، اجتماعی، فناورانه و سوء مدیریت و اتلاف منابع آب در شهرها، از مسائل تهدید کننده به شمار می‌روند [۳].

وقوع حوادث و ناکارآمدی زیرساخت‌های شبکه‌ی آب شهری، تهدید جدی برای پایداری تأمین منابع آب شهرها در بلندمدت است [۴]. مدیریت زیرساخت‌های شهری و پایش کیفیت این زیرساخت‌ها و رفع مشکلات احتمالی آن‌ها، از اولویت‌های راهبردی هر شهری است [۵]. از این رو شناسایی عوامل تأثیرگذار بر افزایش آسیب ناشی از این پدیده‌ها در شهرها از اهمیت بالایی برخوردار است [۶]. در ایران، به دلیل کمبود منابع تأمین آب، هدر رفتن آب از طریق زیرساخت‌های نامناسب، به مراتب تهدید جدیدتری است و می‌تواند به بحران آب شهری تبدیل شود [۷]. محدودیت منابع آبی، محدودیت زیرساخت‌های آب‌رسانی، محدودیت منابع و تسهیلات تصفیه و پالایش آب، ازدیاد متقاضی، فرسودگی زیرساخت‌ها، کمبود منابع مالی، فقدان مدیریت یکپارچه‌ی شهری و فرهنگ نامناسب بهره‌برداری از آب آشامیدنی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات مربوط به تأمین آب شهری است. به‌طور میانگین در طول شبانه‌روز در شهرهای ایران ۲۰۰ لیتر آب توسط هر شهروند مصرف می‌شود. از این مقدار حدود ۳۰ درصد هدر می‌رود که از مهم‌ترین دلایل آن، نامناسب بودن زیرساخت‌های شبکه‌ی آب‌رسانی و وقوع حوادث در شبکه‌ی آب شهری است [۸]. با توجه به مسائل مطرح شده، مدیریت زیرساخت‌های آب و به‌ویژه در شهرهای کشورهای در حال توسعه، اهمیت زیادی دارد [۹].

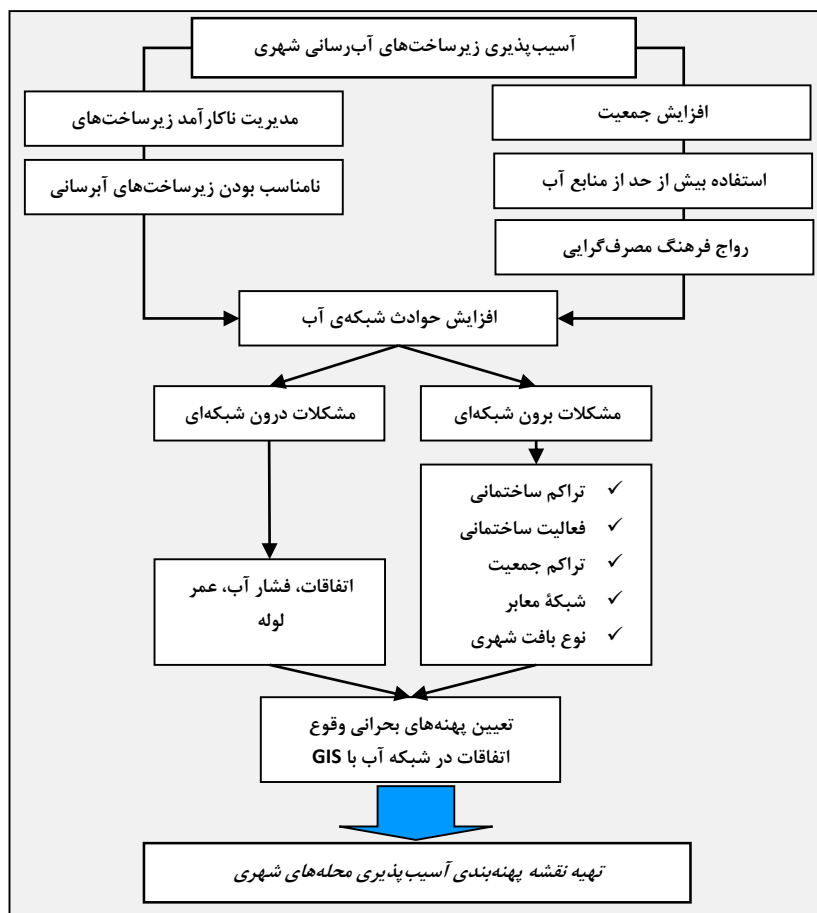
در شهر اردبیل به‌منزله‌ی یکی از شهرهای متوسط ایران از نظر تعداد جمعیت، سالانه هزاران مورد اتفاق در شبکه‌ی آب شهری اتفاق می‌افتد [۱۰]. برای مثال طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴، تعداد ۵۶۲۸۰ مورد اتفاق در شبکه‌ی آب شهری اردبیل گزارش شده است [۱۱]. لذا رعایت نکردن اصول و ضوابط فنی در ایجاد شبکه‌ی آب، نبود شیرهای فشارشکن و شیرهای قطع و وصل متناسب با نیاز شبکه، نوسان در فشار آب، پمپاژ آب از چاه‌ها به صورت مستقیم به شبکه و رعایت نکردن اصول فنی و ایمنی در اتصالات و تجهیزات شبکه‌ی آب از جمله مهم‌ترین مشکلات شبکه‌ی آب شهر اردبیل هستند [۱۰، ۱۲]. بر این اساس شناسایی عوامل و آسیب‌های محتمل در ارتباط با شبکه‌ی آب شهر ضروری است.

ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از بلایای احتمالی از جمله مراحل پیش‌گیری وقوع بحران در شهرهای آسیب‌پذیر است و استفاده از GIS تا حد بسیار زیادی می‌تواند در شناسایی آسیب‌های احتمالی خطرات و بلایای احتمالی کمک کند [۱۳]. در پژوهش‌های مختلف روش‌های مختلفی برای شناخت مشکلات ناشی از حوادث آب و بهبود مدیریت آب در شهرها پیشنهاد شده‌اند [۴، ۱۴، ۱۵، ۱۶].

سازمان ملل متحد، بحران را وقفه‌ی کامل یا نسبی در فعالیت‌های گروه یا جامعه که با آسیب‌های مادی و غیرمادی همراه است، تعریف کرده است. جامعه‌ای که با بحران مواجه می‌شود، قادر به جبران خسارات وارد شده در کوتاه مدت نیست [۱۷]. بر طرف کردن آن نیاز به اقدامات و عملیات اضطراری و فوق‌العاده دارد [۱۸]. برای خروج از وضعیت بحران، وجود مدیریت بحران ضروری است. از این رو، توجه به مدیریت بحران و ایجاد ساختار تشکیلاتی آن ضروری است. این ساختار تشکیلاتی تلاش می‌کند بحران را در چهار مرحله‌ی اصلی مدیریت نماید. این چهار مرحله عبارت‌اند از: ۱. آمادگی پیشگیری؛ ۲. کاهش خطرها و تأثیرها؛ ۳. مواجهه؛ ۴. بازسازی، توسعه و بازتوانی (اجتماعی، اقتصادی و غیره) [۱۹، ۲۰]. آنچه در زمینه‌ی نواحی نابسامان شهری شایان توجه است، مرحله‌ی پیشگیری و انجام اقدام‌هایی قبل از وقوع حادثه شامل ارزیابی خطر، بهبود زیرساخت‌ها، ایجاد تسهیلات خدمات‌رسانی حین و بعد از سانحه و نیز پیش‌بینی منابع لازم برای بازتوانی و توسعه است.

برای پیشگیری از وقوع بحران در زیرساخت‌های پایه‌ای مثل زیرساخت آب، اتخاذ مجموعه فعالیت‌های اجرایی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و سیاسی ضروری است تا در صورت بروز حوادث مثل زلزله، خسارت‌ها به حداقل برسد [۲۱، ۲۲]. تحقق این هدف مستلزم شناخت و برآورد آسیب‌پذیری خطر احتمالی ناشی از وقوع حوادث در محله‌های شهری است [۲۳]. بر اساس نظریه‌ی آسیب‌پذیری شبکه‌ی زیرساخت‌های آب، در صورت وقوع حوادث کلیه‌ی اتصالات مربوط به شبکه‌ی آب از جمله لوله‌ها، پیوندی‌ها، شیرآلات، رگلاتورهای فشار، ایستگاه‌های پمپاژ و کنتورهای سرویس آسیب جدی خواهند دید [۲۴، ۸، ۷]. اگر شبکه‌ی آب دارای خمیدگی‌های مداوم در طول مسیر حرکت (برای مثال: عبور از معابر ارگانیک) باشد، احتمال آسیب‌پذیری آن بالا خواهد بود [۲۵].

علاوه بر عوامل خارجی مثل زلزله، تغییرات جمعیتی، توپوگرافی زمین، درصد شیب، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، نوع شبکه‌ی معابر، نوع بافت‌های شهری، سرما یا گرمای شدید هوا، برف یا باران شدید عوامل درونی مانند جنس، اندازه و عمر تأسیسات و تجهیزات داخلی شبکه‌ی آب می‌توانند بر وقوع آسیب بیشتر در هنگام حوادث منجر شوند و یا خود موجب وقوع حادثه شوند [۲۶]. در کنار عوامل یاد شده، در مقیاس شهری، عوامل دیگری مانند تراکم جمعیت، فعالیت‌های ساختمانی، وقوع حوادثی مانند زلزله و غیره در وارد کردن آسیب‌ها به شبکه‌ی آب نقش به مراتب مهمی دارند و در پژوهش‌های گذشته کمتر به آن‌ها پرداخته شده است [۲۷]. هاتمر، توجه به این عوامل خارجی را در



تصویر ۱: مدل مفهومی پژوهش

استفاده از روش مدیریت پیشگیرانه ارائه می کنند و به استفاده از نرم افزارهای مبتنی بر GIS تأکید می کنند. انیسی و همکاران [۳۴]، به این نتیجه رسیدند که تهیه سامانه مدیریت جامع بحران شریان های حیاتی سبب سپری کردن سریع شرایط بحرانی در کمترین زمان و با کمترین هزینه، کاهش پیچیدگی های ناشی از اندرکنش شریان های حیاتی، تحلیل درست از وضعیت هر شریان پس از وقوع زلزله، اولویت بندی پارامترهای آسیب دیده برحسب عملکرد آن ها، کاهش بی نظمی در اعزام نیرو و تجهیزات امدادی، تقسیم وظایف هماهنگی و ساماندهی نیروها در منطقه بحران زده و کاهش چشمگیر زمان و هزینه های بازسازی خواهد شد. نتایج مطالعات رهگذر و همکاران [۳۵]، نشان می دهد که شاخص های آسیب پذیری لرزه ای خطوط لوله ای فاضلاب شهرکرد در حد متوسط و کم است و در جنوب شهرکرد به خصوص در بافت قدیمی شهر که لوله های آن ترد است، از دیگر نقاط بیشتر است. یافته های رهنما و همکاران [۳۶]، حاکی از آن است که شبکه ای آبرسانی منطقه ی ۱۱ تهران در اثر فعالیت احتمالی گسل شمال تهران آسیب چندانی ندیده و تنها بخش هایی از لوله های غیر منعطف و با قطر کم آسیب خواهند دید.

با توجه به اهمیت استفاده از فناوری های مناسب که در ادبیات پژوهش نیز به آن اشاره شد، در سال های اخیر استفاده از GIS به کمک زیرساخت های شهری آمده است و امکان بررسی، تحلیل و پایش اتفاقات در شبکه های آب و فاضلاب را برای

مدیریت بحران شبکه های زیرساختی مانند آب ضروری می داند و بر این باور است که باید این زیرساخت ها به صورت دائمی تحت نظارت، کنترل و مناسب سازی قرار داشته باشند [۲۸].

در زمینه ی موضوع پژوهش، مطالعاتی در سال های اخیر انجام شده اند که در ادامه به برخی از آن ها اشاره خواهد شد.

نتایج مطالعات جیمینز و همکاران [۲۹] بیانگر این نکته است که توزیع نامتعادل و نابرابر و ناعادلانه ی خدمات شبکه ای آب و فاضلاب شهری مانع شکل گیری شهرنشینی پایدار می شود و می تواند تبعات منفی اجتماعی، سیاسی و اقتصادی برای شهر به همراه داشته باشد و به کاهش کیفیت آب شهری منجر شود. یامبا [۳۰]، در پژوهشی با استفاده از نقشه های جی آی اس، بحرانی ترین نقاط فشار آب و افت فشار آب را مشخص و برای مدیریت آن مدل سازی کرد. ابوراوه و محمود [۳۱]، معتقدند مشکل هدر رفت آب به طور کلی و حل مشکل نشت در شبکه های توزیع به طور خاص با توضیح علل آن و تأثیر آن بر جنبه های مختلف زندگی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان پذیر است. اوسلو و همکاران [۳۲]، خاطر نشان کرده اند که تصمیم گیری صحیح برای بهبود و مدیریت سامانه های زیرساخت تأمین آب، از جمله مزایایی است که از طریق ایجاد سامانه های اطلاعات جغرافیایی (GIS) می توان به آن دست یافت.

آسفی و همکاران [۳۳]، در پژوهش خود، روشی را برای مدیریت آب و کاهش خسارت ها و اتفاقات شبکه ای آب با

نام متغیر	تعریف عملیاتی
اتفاق در شبکه‌ی آب	شامل داده‌های ثبت شده مربوط به وقوع حوادث است که به صورت تعداد وقوع آن از ۱ تا بی نهایت، اندازه‌گیری می‌شود.
تراکم جمعیت	تراکم نفر که در واحد هکتار محاسبه می‌شود.
تراکم ساختمانی	سطح اشغال زمین که بر حسب درصد بیان می‌شود.
فعالیت ساختمانی	مجوزهای ساخت و ساز که بر حسب تعداد اندازه‌گیری می‌شود.
کیفیت خیابان‌ها	کیفیت خیابان که متناسب با هندسه و نوع پوشش معابر که در این پژوهش به ۵ طیف کیفیت مناسب تا کیفیت بد، طبقه‌بندی شده است.
کیفیت بافت شهری	کیفیت کالبدی بافت شهری که بر اساس قدمت و نوع مصالح به کار رفته در آن مشخص می‌شود.
فشار در شبکه آب	مقدار فشار آب بر مترمکعب که به صورت بار یا اتمسفر سنجیده می‌شود.
عمر شبکه آب	زمان سپری شده از آغاز به کار زیرساخت آب و لوله‌ها که به سال سنجیده می‌شود.

متغیرها و داده‌های پژوهش

متغیرهای این پژوهش بر حسب دسترسی به داده‌ها شامل هشت متغیر اصلی هستند. دسته‌ی اول، داده‌های مربوط به متغیرهای داخل شبکه مانند فشار آب، عمر شبکه‌ی آب و اتفاقات در شبکه‌ی آب شهر است. داده‌های خام مربوط به اتفاقات از دفتر تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان اخذ شده‌اند. لیکن این داده‌ها فقط آدرس بوده‌اند و عملیات پیاده‌سازی آن روی نقشه و تشکیل پایگاه داده‌های مکانی در GIS توسط نگارندگان و در طول سه ماه انجام شده است. این داده‌ها شامل ۱۱۲۲۲ مورد حادثه‌ی آب ثبت شده هستند. دسته‌ی دوم داده‌های مربوط به متغیرهای برون شبکه‌ای همانند تراکم جمعیت، ساختمان، فعالیت ساختمانی، کیفیت شبکه‌ی معابر و بافت‌های شهری است که از اسناد طرح جامع شهر اردبیل تهیه شده توسط مهندسان مشاور طرح و کاوش [۱۰]، استخراج شده‌اند. جدول ۱ متغیرهای اصلی استفاده شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

ذکر این نکته ضروری است که انتخاب متغیرها بر اساس تنگنای موجود در دسترسی به داده‌های ثبت شده و قابل دسترس بوده است.

تشکیل پایگاه داده‌های مکانی در GIS

بعد از اخذ داده‌ها، به دلیل ناهمسان بودن مقیاس اندازه‌گیری متغیرها، داده‌های اخذ شده، مجدداً طبقه‌بندی و کدگذاری شدند. در ادامه پایگاه داده‌های طبقه‌بندی شده مربوط به هر کدام از متغیرها، در نرم‌افزار EXCEL تشکیل شد. در گام بعدی با توجه به اینکه مختصات جغرافیایی (X, Y) مربوط به ۱۱۲۲۲ حادثه توسط شرکت آب و فاضلاب ثبت نشده بودند، نقاط مربوط به حوادث با استفاده از آدرس‌ها، بر روی نقشه‌ی بزرگ مقیاس شهری (۱:۵۰۰) پیاده شدند (تصویر ۲). از نقشه‌ی شهری و نقشه‌های Google Maps برای ثبت آدرس‌ها و کدگذاری آدرس‌ها استفاده شد. از جمله مشکلات این گام صحیح نبودن آدرس‌ها، تعداد زیاد نقاط مربوط به حوادث و عدم همخوانی نقشه‌ی شبکه با نقشه‌ی شهری بود. در ادامه آدرس‌ها و کدگذاری حوادث ثبت شده به محیط ArcGIS منتقل شدند. پایگاه اطلاعات شبکه که در EXCEL تشکیل شده بود، به داده‌های مکانی شامل عوارض

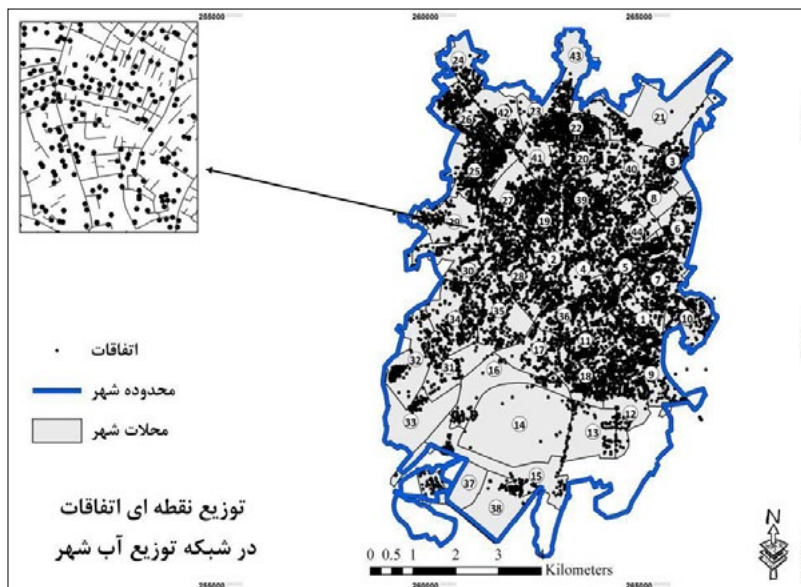
مدیران، برنامه‌ریزان و طراحان شبکه فراهم کرده است [۳۷] و امروز در جوامع پیشرفته‌تر، به طور کارآمدی به بهبود وضعیت زیرساخت‌های آب کمک کرده است [۳۸]. ابزارهای GIS، این امکان را به وجود آورده‌اند که بتوان به هنگام وقوع خطر، آسیب‌های ناشی از آن را کنترل کرد [۳۹]. تحلیل‌های فضایی، به نحو مؤثری در مدیریت زیرساخت‌های مهمی مانند شبکه‌ی آب و پیشگیری از وقوع بحران کاربرد دارد [۴۰، ۴۱].

هدف اصلی این پژوهش، شناسایی محله‌ها و پهنه‌های آسیب‌پذیر شهری از نظر اتفاقات محتمل در شبکه‌ی توزیع آب شهری است. به عبارت روشن هدف اصلی تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری شبکه‌ی آب شهری در مقیاس شهری و بر مبنای تقسیمات محله‌ای است. بر این اساس و با توجه به مسئله و ضرورت پژوهش، در این مطالعه تلاش خواهد شد تا به این دو پرسش کلیدی پاسخ داده شود که کدام محله‌های شهر اردبیل از نظر زیرساخت شبکه‌ی توزیع آب شهری، در صورت وقوع خطرات احتمالی مانند زلزله یا فرسایش زیرساخت‌ها، آسیب‌پذیر هستند؟ کدام محله‌ها در وضعیت بحرانی قرار دارند؟ برای تحقق هدف و پاسخ به پرسش‌های ذکر شده، از GIS استفاده شده است. باقی مقاله شامل روش تحقیق و ابزارها، یافته‌ها و بحث و نتیجه‌گیری است.

روش تحقیق و ابزارها

محدوده‌ی مورد مطالعه

قلمروی جغرافیایی این پژوهش شهر اردبیل است. شهر اردبیل در شمال ایران و در مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 14' 56.7''$ شمالی و $48^{\circ} 17' 55.12''$ شرقی، قرار گرفته است. این شهر تا آغاز ۱۳۹۷ ه. ش. ۵۳۰ هزار نفر جمعیت و ۷ هزار هکتار مساحت داشته است. اولین انشعاب شبکه‌ی آب‌رسانی شهر اردبیل در سال ۱۳۴۶ و از مرکز جغرافیایی شهر شروع شده است. بیش از ۹۹ درصد محلات شهری از آب آشامیدنی برخوردار هستند [۱۰]. در حدود ۳۰ درصد از کل سرانه‌ی آب مصرفی شهر به دلایل مختلف از جمله اتفاقات در شبکه، هدر می‌رود [۱۰، ۱۲]. در حال حاضر بیش از ۹ هزار متر خط توزیع آب در شهر وجود دارد [۱۱].



تصویر ۲: پراکنش اتفاقات دوره‌ی یک ساله در شبکه‌ی آب شهر اردبیل

معیارها بر اساس اعداد ۱ تا ۹ انجام و امتیاز نهایی معیارها مشخص می‌شود. این ابزار عملیات همپوشانی نهایی را نیز انجام می‌دهد. در این پژوهش از این روش برای وزن دهی، استانداردسازی معیارها و انجام عملیات نهایی همپوشانی استفاده شده است. علت انتخاب این روش در مقایسه با سایر روش‌های همپوشانی همانند همپوشانی شاخص وزن دار^۲ (WOI) یا روش فازی، انطباق این روش با مقیاس نه طیفی توماس ساعتی و امکان استفاده مؤثر از آن در محیط GIS و دقت آن در مقایسه با مقیاس مورد استفاده در روش بولین (۰ تا ۱) است.

در این پژوهش سه مرحله برای استخراج نقشه‌ی آسیب پذیری شهر انجام شده است. این سه گام عبارتند از:

گام ۱. استانداردسازی و تعیین وزن معیارها: با توجه به تفاوت در مقیاس اندازه‌گیری متغیرهای پژوهش، استانداردسازی معیارها برای انجام عملیات همپوشانی و اخذ خروجی نهایی و همچنین اعمال وزن‌های مربوط به هر کدام از معیارها ضروری است. برای انجام استانداردسازی و تعیین وزن لایه‌های مربوط به معیارها این اقدامات انجام شده‌اند:

۱. ابتدا نقشه‌ی رستری مربوط به هر کدام از متغیرها تهیه شدند. برای تهیه‌ی رستر از ابزار تبدیل عارضه به رستر^۴ در ArcGIS بهره گرفته شد. ۲. در ادامه به ترتیب لایه‌های مربوط به متغیرهای پژوهش در مقیاس ۹ طیفی توماس ساعتی که در روش AHP نیز کاربرد دارد، استانداردسازی شدند. برای این منظور از روش کلاسه‌بندی مجدد^۵ در ArcGIS استفاده شد. ۳. در گام بعدی عملیات مقایسه‌ی زوجی و تعیین اهمیت معیارها با استفاده از ابزار AHP در ArcGIS انجام شد. به عبارت روشن، عملیات تعیین وزن معیارها انجام شد (تصویر ۳).

گام ۲. همپوشانی و استخراج نقشه‌ی آسیب پذیری شهر: بعد از استانداردسازی معیارها و تعیین اوزان مربوط به هر کدام از معیارها، در این گام عملیات همپوشانی به روش AHP در GIS انجام شد. علت استفاده از این روش برای همپوشانی دقت آن در مقایسه

نقطه‌ای (حوادث) و عوارض سطحی (محله‌بندی) متصل شدند. در گام آخر داده‌های مربوط به متغیرهای اصلی پژوهش در عارضه سطحی (محله‌بندی شهر)، وارد شدند و مبنای تحلیل به روش آمار فضایی در GIS قرار گرفتند.

فنون و ابزارها

روش‌های استفاده شده در این پژوهش در ادامه توضیح داده می‌شوند.

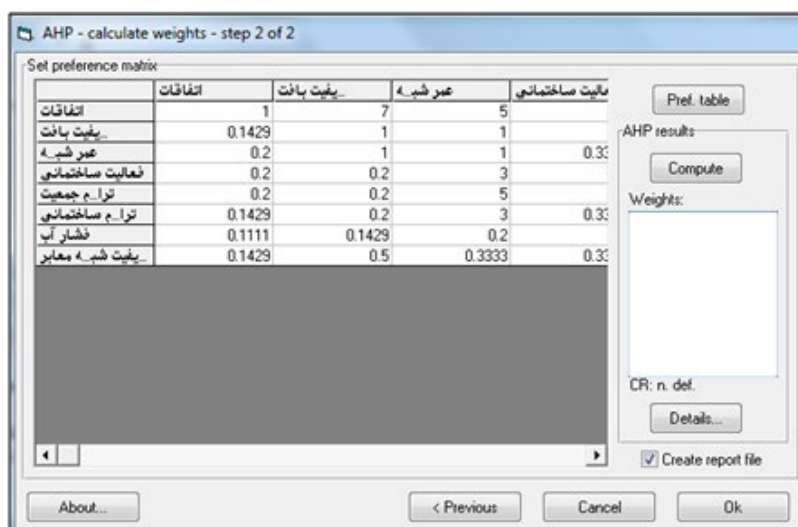
روش تراکم کرنل^۲: این روش از جمله روش‌های تحلیل فضایی و نقشه‌نگاری در GIS است که برای تعیین شدت تراکم عوارض نقطه‌ای به کار می‌رود [۴۲، ۴۳، ۴۴] معادله‌ی ۱ شعاع جستجو در روش کرنل در GIS را نشان می‌دهد.

رابطه‌ی ۱:

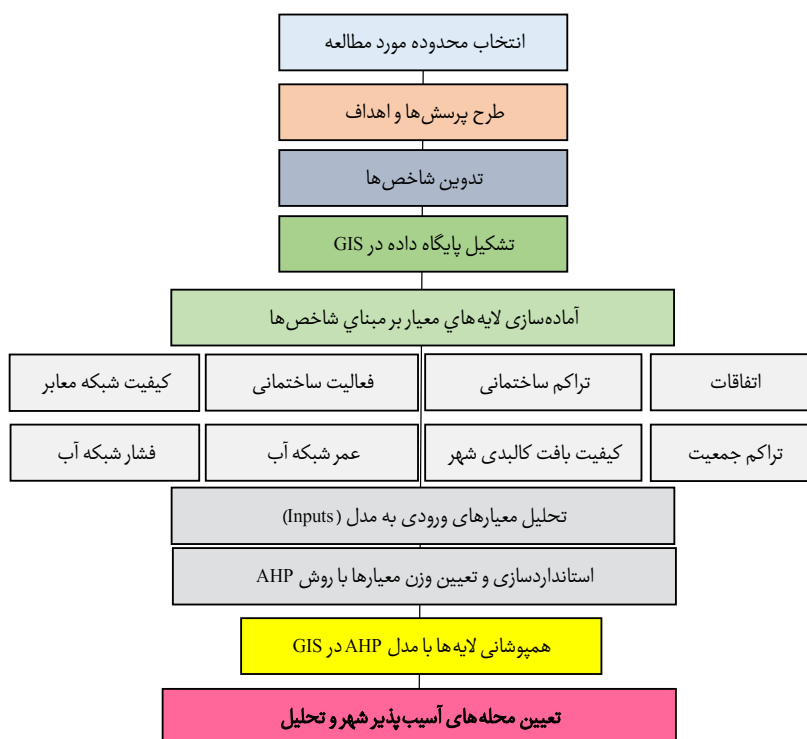
$$Search\ Radius = 0.9 * \min \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(r)} * D_m} \right) * n^{-0.2}$$

SD = فاصله‌ی استاندارد، Dm = فاصله‌ی میانه، n = تعداد نقاط یا جامعه‌ی آماری است [۴۲، ۴۳، ۳۹] در این پژوهش از روش تراکم کرنل، در محیط GIS و در تحلیل‌های فضایی برای تخمین شدت تراکم نقطه‌ای حوادث آب و تراکم جمعیت استفاده شده است.

روش AHP: روش AHP، یا فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، روش ابداع شده توسط توماس ال. ساعتی در سال ۱۹۸۰ است که به منظور وزن دهی و تعیین اهمیت معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش از یک طبقه‌بندی نه طیفی برای تعیین اهمیت معیارها استفاده می‌شود. الگوریتم این روش عبارت است از ساخت درخت تصمیم‌گیری، تعیین اهمیت معیارها و امتیازدهی به معیارها [۴۵ و ۴۶]. در محیط GIS و در نرم‌افزار ArcGIS، فرایند سلسله‌مراتبی تحلیل به وسیله‌ی ابزاری به نام AHP انجام می‌شود. در این روش، ضمن تعریف معیارها، مقایسه‌ی زوجی



تصویر ۳: مقایسه‌ی زوجی و تعیین اهمیت معیارها



تصویر ۴: نمودار روند اجرای پژوهش

بحث و نتایج

فراوانی وقوع اتفاقات

بر اساس داده‌های اخذ شده از شرکت آب و فاضلاب شهری استان اردبیل (۱۳۹۵)، تا پایان نیمه‌ی اول سال ۱۳۹۵ حدود ۱۱۲۲۲ مورد اتفاق در شبکه‌ی آب شهر ثبت شده است. فراوانی اتفاقات نشان می‌دهد که محله‌های شماره‌ی ۵ و ۴۳ دارای بیشترین و کمترین اتفاقات در شبکه‌ی آب هستند (جدول ۱). محله‌های با فراوانی بالا شامل محله‌های ابوطالب، علی‌آباد، رحمانیه، پیرمادر، سیدآباد، اسلام‌آباد، عباسیه، کوی آقا کاظم، سبلان، سعدی، دانش، صفویه، شهرک کوثر، هاشم‌آباد، جمشید

با روش‌های دیگر در محیط GIS و نیز عدم تفاوت بین لایه‌های مربوط به معیارها از نظر نوع عوارض است. در این مرحله عملیات همپوشانی معیارها به روش AHP و با انجام محاسبات در ابزار AHP انجام شد.

گام ۳. تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری محله‌ها: در این گام بر اساس نتایج به دست آمده از گام‌های پیشین، نتایج به دست آمده تحلیل و بحث شده است.

جدول ۲: تعداد و درصد فراوانی اتفاقات در شبکه آب به تفکیک محله های شهر اردبیل [مستخرج از داده های شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل، ۱۳۹۵]

محله	فراوانی	درصد	محله	فراوانی	درصد	محله	فراوانی	درصد	محله	فراوانی	درصد
۱	۳۴۹	۳/۱۱	۱۲	۱۹۲	۱/۷۱	۲۳	۲۲۸	۲/۰۳۲	۳۴	۲۳۱	۲/۰۵۸
۲	۲۰۴	۱/۸۲	۱	۷۸	۰/۷۰	۲۴	۱۰۱	۰/۹۰۰	۳۵	۲۲۱	۱/۹۶۹
۳	۱۴۵	۱/۲۹	۳	۳۶	۰/۳۲	۲۵	۵۱۴	۴/۵۸۰	۳۶	۳۷۸	۳/۳۶۸
۴	۲۱۶	۱/۹۲	۱۴	۳۸۷	۳/۴۵	۲۶	۵۰۴	۴/۴۹۱	۳۷	۱۰۰	۰/۸۹۱
۵	۵۲۸	۴/۷۱	۱۵	۱۰۴	۰/۹۳	۲۷	۳۸۷	۳/۴۴۹	۳۸	۳۴	۰/۳۰۳
۶	۲۳۰	۲/۰۵	۱۶	۱۷۶	۱/۵۷	۲۸	۴۰۲	۳/۵۸۲	۳۹	۳۷۶	۳/۳۵۱
۷	۳۳۷	۳/۰۰	۱۷	۴۳۴	۳/۸۷	۲۹	۱۸۲	۱/۶۶۲	۴۰	۲۳۱	۲/۰۵۸
۸	۲۴۴	۲/۱۷	۱۸	۴۴۴	۳/۹۶	۳۰	۲۹۸	۲/۶۶۵	۴۱	۱۸۹	۱/۶۸۴
۹	۳۸۷	۳/۴۵	۱۹	۳۳۷	۳/۰۰	۳۱	۱۵۰	۱/۳۳۷	۴۲	۱۵۴	۱/۳۷۲
۱۰	۱۹۶	۱/۷۵	۲۰	۱۹۳	۱/۷۲	۳۲	۱۵۷	۱/۳۹۹	۴۳	۶	۰/۰۵۳
۱۱	۳۳۸	۳/۰۱	۲۱	۴۹۹	۴/۴۵	۳۳	۴۶	۰/۴۱۰	۴۴	۱۸۵	۱/۶۴۹

آباد، عباس آباد، سلطان آباد، جعفریه، بعثت، شهرک رجایی و یحیی آباد هستند. اغلب این محلات، دارای تراکم ساختمانی و جمعیتی بالا هستند. تعداد محدودی هم محله های در حال احداث هستند.

به طور نظری تحلیل داده های مربوط به اتفاقات زیرساخت شبکه ی آب، از ارتباط فضایی و تراکم یا پخشایش مکانی آن ها در یک پهنه ی جغرافیایی شروع می شود. تراکم شدید اتفاقات در یک پهنه ی جغرافیایی را می توان کانون ها، پهنه ها یا گستره های بحرانی نامید [۴۷]. از آنجایی که درک الگوی فضایی تراکم بدون استفاده از ابزار مناسب برای محقق دشوار و اغلب غیرممکن است، از روش های مناسب نقشه نگاری و تحلیل فضایی استفاده می شود. فراوانی اتفاقات در شبکه ی آب شهر با استفاده از تقسیم شهر به چند ضلعی های منظم به منظور افزایش دقت فضایی و به صورت یک نقشه ی فراوانی به نمایش درآمده است (تصویر ۵- A). لیکن در کنار فراوانی متغیر تراکم یا فشردگی مکانی برای تبیین شدت بحرانی بودن نواحی مهم تر است، به بحث تراکم پرداخته شده است.

در این پژوهش بر اساس گزارش داده های ثبت شده ۱۱۲۲۲ مورد اتفاق در شبکه ی آب (شامل ترکیدگی، یخ زدگی، شکستگی، افت شدید فشار آب، نشت از کنتور و غیره) استفاده از روش تراکم کرنل که قبلاً معرفی شد، برای تعیین پهنه های بحرانی در متغیر اتفاقات، به صورت تصویر ۵- B نمایش داده شده است. بر اساس نتایج روش به ترتیب محله های شماره ی ۲۲، ۲۵، ۲۶، ۱۹، ۳۹، ۵، ۳۶، ۷، ۱۱، ۹، ۱، ۱۸، ۲۸، ۱۵ و ۳۲ در پهنه ی جغرافیایی با شدت تراکم و نزدیکی اتفاقات قرار دارند. به طور روشن میزان نزدیکی اتفاقات آب و تراکم آن ها در این محله ها زیاد است و از نظر تراکم اتفاقات، می توان این محله ها را جزو محله های آسیب پذیر و بحرانی شهر معرفی نمود.

تراکم جمعیت

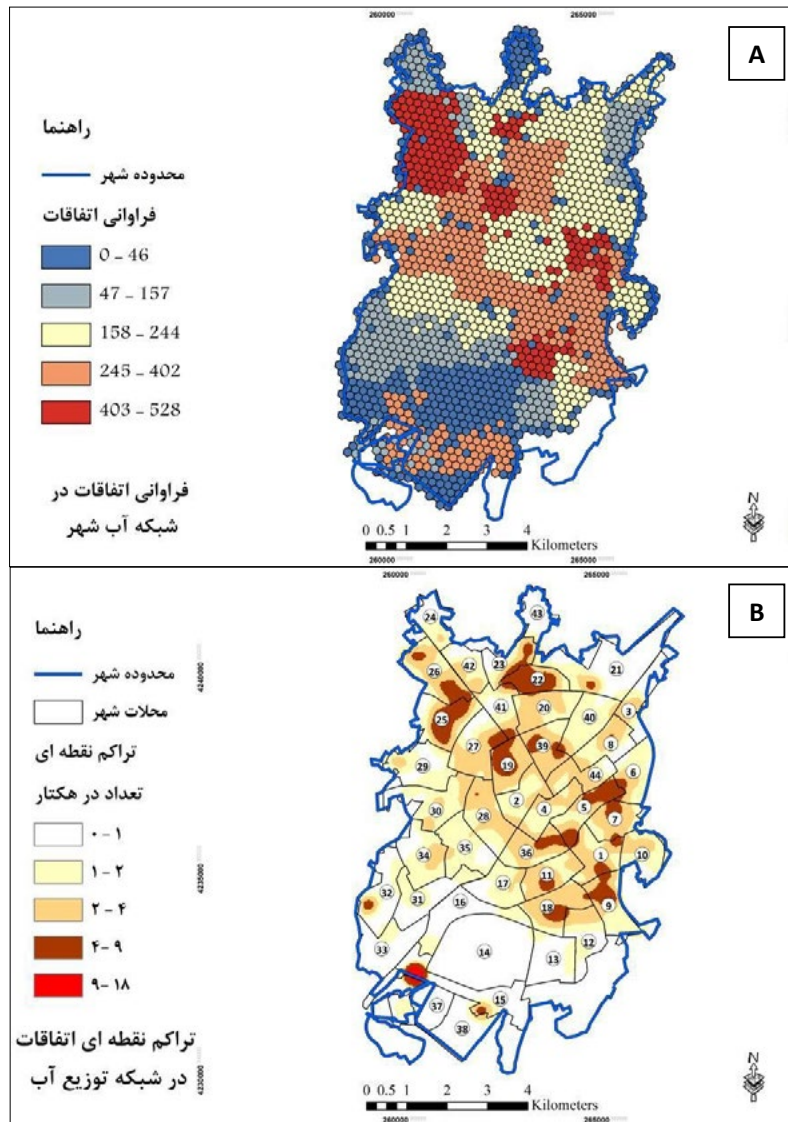
تراکم جمعیت در محله های شهری یکی از متغیرهای تعیین کننده در وقوع اتفاقات در شبکه ی آب شهری است. به طور نظری

با افزایش تراکم جمعیت، استفاده از خدمات و زیرساخت های آب بالا می رود. با افزایش فشار استفاده از خدمات، با استهلاک زیرساخت ها و احتمال وقوع آسیب به شبکه ی آب بر اثر فشار زیاد بر شبکه مواجه خواهیم شد [۸]. تهیه ی نقشه ی تراکم جمعیتی بر اساس داده های جمعیتی سال ۱۳۹۵ در مقیاس حوزه های شهری نشان می دهد که میانگین تراکم جمعیت شهر ۲۹۶ نفر در هکتار است. تراکم در بخش های میانی و بخش های حاشیه ای شهر بالاتر از حد میانگین است. محله های ۵، ۷، ۱۸، ۲۲، ۲۵، ۲۶، ۲۷ جزو محله های متراکم محسوب می شوند (تصویر ۶). به طور نظری، در زمان وقوع مخاطرات محیطی همانند زلزله یا اتفاقات در شبکه ی آب، شدت بحران در این محله به مراتب بیشتر خواهد بود.

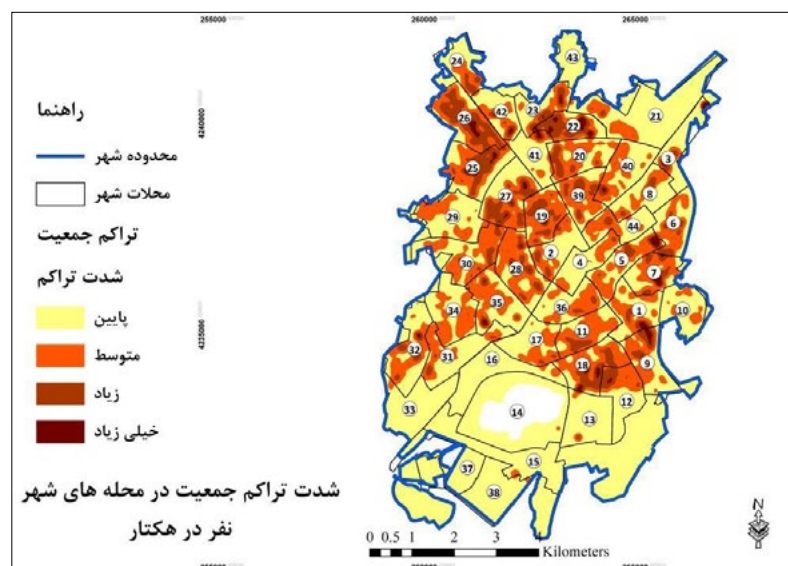
تراکم و فعالیت های ساختمانی

تراکم ساختمانی یکی دیگر از متغیرهای تأثیرگذار بر زیرساخت آب شهری است. به طور نظری با بیشتر شدن تراکم ساختمانی، میزان اتفاقات در شبکه ی آب شهری افزایش می یابد. همچنین تراکم ساختمانی در زمان وقوع مخاطرات محیطی همانند زلزله، می تواند تأثیر زیادی بر بحرانی شدن وضعیت بگذارد. بر اساس داده های مستخرج شده از طرح جامع شهر [۱۰]، شهر اردبیل از نظر تراکم ساختمانی به چهار پهنه ی اصلی شامل پهنه ی کم تراکم (۶۰٪)، متوسط تراکم (۷۰٪)، تراکم بالا (۹۰٪) و کاملاً متراکم (۱۲۰٪) تقسیم شده است (تصویر ۷ الف). تراکم ساختمانی در بخش های میانی شهر بالا است.

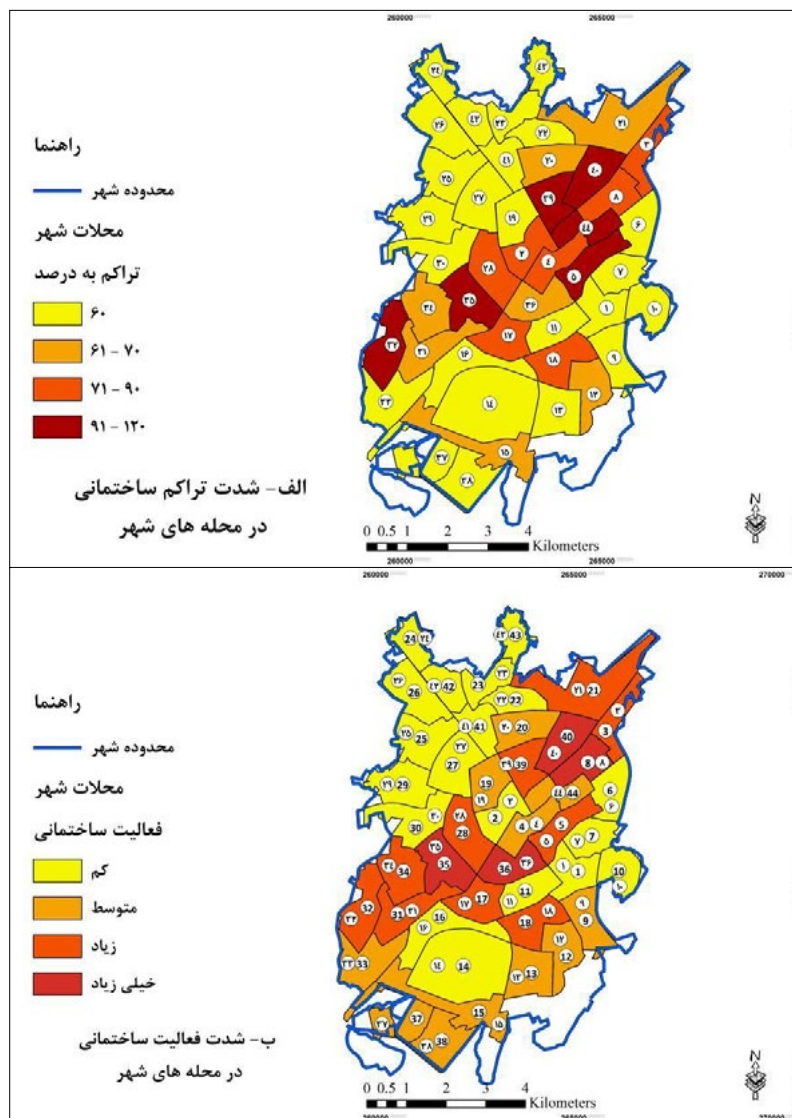
متغیر دیگری که بر وقوع اتفاقات در شبکه ی آب تأثیر فراوان و متعدد دارد، فعالیت ساختمانی است. رفت و آمد ماشین آلات سنگین، حفر کانال و کنده کاری در زمین، عملیات لوله کشی و سایر فعالیت های مرتبط با ساخت و ساز، بر وقوع اتفاقات در شبکه ی آب تأثیر می گذارند. بر اساس داده های مستخرج از مجوزهای ساختمانی صادر شده توسط شهرداری تا سال ۱۳۹۵، به ترتیب مناطق ۳، ۲، ۱، ۴ با سهم ۳۲، ۲۵، ۲۲ و ۲۱ درصد، دارای فعالیت های ساختمانی جدید هستند. بر اساس نقشه ی



تصویر ۵: فراوانی و تراکم اتفاقات در شبکه‌ی آب شهر با استفاده از روش کرنل



تصویر ۶: تراکم جمعیت شهر در هکتار



تصویر ۷: شدت تراکم و میزان فعالیت ساختمانی در شهر

دارد. از این مقدار ۹۵۰ هکتار شامل بافت های قدیمی و فرسوده و روستاهای ادغام شده در شهر است (تصویر ۹) و از کیفیت محیطی پایینی برخوردارند. به طور نظری، وقوع اتفاقات در زیرساخت آب در این بخش از شهرها بالا خواهد بود. به دلیل کیفیت پایین سازه، قدمت زیاد ساختمان ها، کیفیت پایین و پیچ در پیچ بودن شبکه ی معابر به نظر می رسد در کنار اتفاقات در شبکه ی آب، در صورت وقوع خطرات محیطی مانند زلزله، این بخش از شهرها با خطرات بیشتری مواجه خواهند شد.

فشار آب

فشار آب شهر در ساعات پر مصرف، حداکثر ۳ بار و حداقل ۰/۵ بار است. در عین حال میانگین ماهیانه ی فشار در ساعات پر مصرف حداکثر ۲/۵، حداقل ۱ و در ۸۰ درصد از محلات شهر، حدود ۲/۵ بار است [۱۰] (جدول ۳). نوسان فشار آب در شبکه می تواند منجر به وقوع اتفاقات در شبکه ی آب شهری شود. با توجه به همگن بودن فشار آب در شهر، این متغیر تفاوت معنی داری در

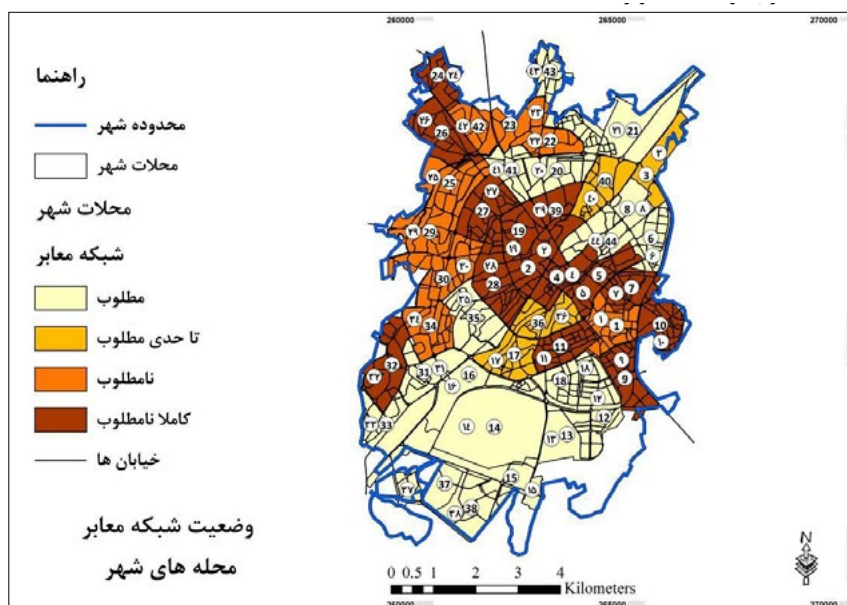
فعالیت های ساختمانی تهیه شده توسط نگارندگان، می توان شهر را از نظر فعالیت های ساختمانی به پنج پهنه شامل خیلی کم، کم، متوسط، بالا و خیلی بالا تقسیم کرد (تصویر ۷ ب).

کیفیت خیابان ها

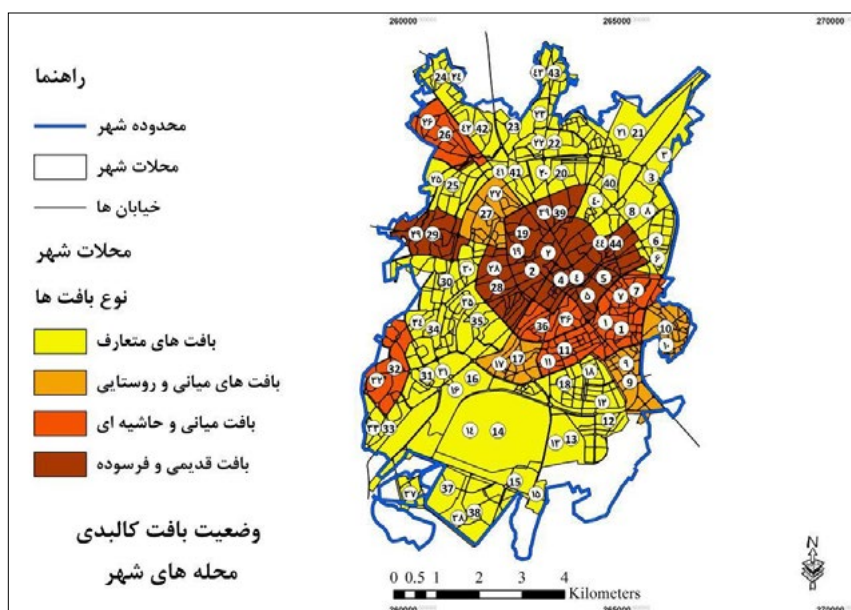
بر اساس داده های مستخرج از نقشه های طرح تفصیلی شهر [۱۰] و مطالعات بافت های فرسوده ی شهر [۴۸]، معابر بافت های مرکزی و قدیمی، بافت های فرسوده، روستاهای ادغام شده در شهر و برخی از محله های در حال احداث، دارای وضعیت نامطلوب هندسی هستند. همچنین به دلیل فشردگی بافت مرکزی شهر و تنوع کاربری زمین، همواره پیاده روها و شبکه ی معابر این بخش از شهر، با عملیات حفاری مواجه اند (تصویر ۸).

کیفیت بافت های شهری

بر اساس اطلاعات استخراج شده از گزارش مطالعات بافت فرسوده ی شهر اردبیل [۴۸]، این شهر حدود ۷ هزار هکتار مساحت



تصویر ۸: وضعیت کیفیت شبکه‌ی معابر شهری



تصویر ۹: نوع و کیفیت بافت‌های شهر به تفکیک محلات

رشد کالبدی شهر، به سمت محله‌های نوین‌یاد، از عمر شبکه کاسته شده و شبکه جوان است. برای مثال محله‌های شماره‌ی ۲، ۴، ۱۹، ۳۹، ۴۴ از جمله محله‌های مرکزی و قدیمی شهر هستند که عمر شبکه نیز در آن‌ها بیشتر است.

بحث و یافته‌ها

معرفی محله‌های آسیب‌پذیر (به تفکیک معیارها)

نتایج تعیین اهمیت و وزن‌های مربوط به هر کدام از معیارهای پژوهش با استفاده از روش AHP که پیش از این در بخش روش پژوهش معرفی شد، نشان داد که به ترتیب معیار اتفاقات با ۰/۳۵، معیار کیفیت بافت با ۰/۱۲، معیار عمر شبکه با ۰/۰۶، معیار فعالیت ساختمانی با ۰/۱۰، معیار تراکم جمعیت با ۰/۱۱، معیار

سطح محله‌های شهری ندارد. از این رو، در زمان تعیین اهمیت معیارها به روش AHP، به این موضوع توجه خواهد شد.

عمر شبکه‌ی آب

فرسودگی در زیرساخت آب و به‌ویژه لوله‌های آب، یکی از عوامل مهم در وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب شهری است. بر اساس داده‌های اخذ شده از شرکت آب و فاضلاب شهری استان اردبیل، در برخی محلات شهر عمر شبکه‌ی آب به حدود ۵۰ سال و در برخی محلات به کمتر از ۵ سال می‌رسد. به‌طور میانگین عمر شبکه‌ی آب شهری اردبیل در حدود ۲۵ سال است (جدول ۴). در عین حال بررسی عمر شبکه در سطح محله‌های شهری نشان می‌دهد که عمر لوله‌ها در بخش‌های مرکزی شهر بیشتر است و همسو با روند

جدول ۳: متوسط فشار آب در سطح محلات شهری [۲]

محله	فشار شبکه بر حسب بار	محله	فشار شبکه بر حسب بار	محله	فشار شبکه بر حسب بار
۱	۱/۵-۲	۱۶	۲/۵-۳	۳۱	۲-۲/۵
۲	۲-۲/۵	۱۷	۲/۵-۳	۳۲	۲-۲/۵
۳	۱/۵-۲	۱۸	۲-۲/۵	۳۳	۲/۵
۴	۲-۲/۵	۱۹	۲-۲/۵	۳۴	۲-۲/۵
۵	۲-۲/۵	۲۰	۲-۲/۵	۳۵	۲-۲/۵
۶	۲-۲/۵	۲۱	۲-۲/۵	۳۶	۲-۲/۵
۷	۲-۲/۵	۲۲	۲-۲/۵	۳۷	۱/۵-۲
۸	۲-۲/۵	۲۳	۲-۲/۵	۳۸	۲-۲/۵
۹	۲-۲/۵	۲۴	۱/۵-۲	۳۹	۱/۵-۲
۱۰	۱/۵-۲	۲۵	۱/۵-۲	۴۰	۲-۲/۵
۱۱	۲-۲/۵	۲۶	۱/۵-۲	۴۱	۲-۲/۵
۱۲	۲-۲/۵	۲۷	۲-۲/۵	۴۲	۱/۵-۲
۱۳	۲-۲/۵	۲۸	۲-۲/۵	۴۳	۲-۲/۵
۱۴	۲-۲/۵	۲۹	۱/۵-۲	۴۴	۲-۲/۵
۱۵	۲-۲/۵	۳۰	۱/۵-۲		

جدول ۴: عمر شبکه‌ی آب شهر اردبیل به تفکیک محلات شهری، ۱۳۹۵ [۱۱]

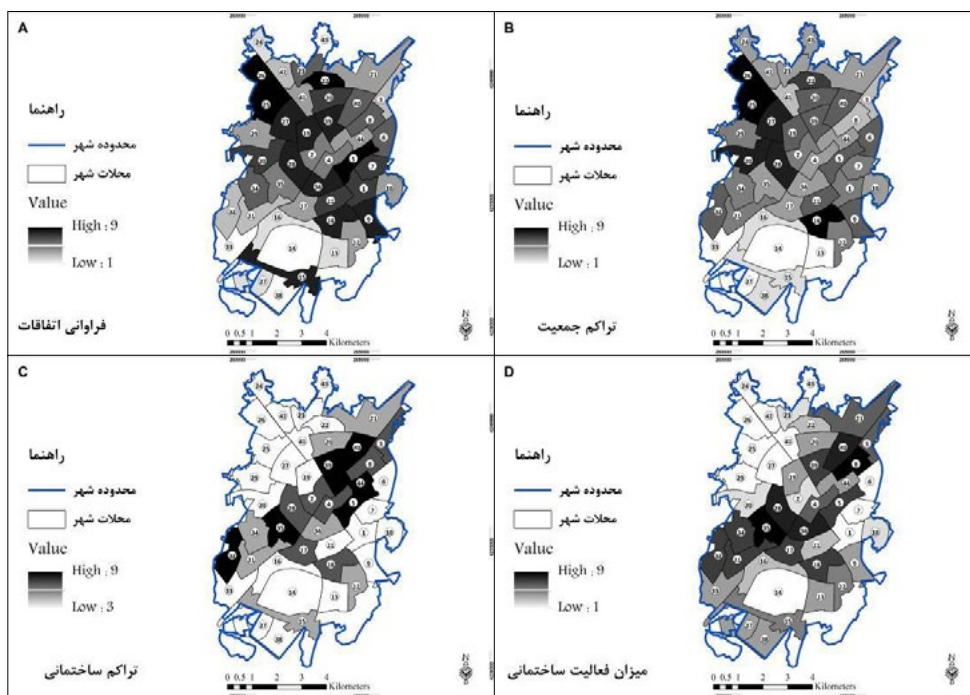
محله	عمر شبکه بر حسب سال	محله	عمر شبکه بر حسب سال	محله	عمر شبکه بر حسب سال
۱	۵-۲۵	۱۶	۵-۲۵	۳۱	۵-۲۰
۲	بیش از ۵۰	۱۷	۳۰-۳۵	۳۲	۵-۲۰
۳	۵-۲۰	۱۸	۵-۲۵	۳۳	۳-۱۰
۴	بیش از ۵۰	۱۹	بیش از ۴۵	۳۴	۵-۲۵
۵	۵-۳۵	۲۰	۵-۲۵	۳۵	۱۰-۳۰
۶	۵-۲۲	۲۱	۵-۱۵	۳۶	۱۰-۳۵
۷	۵-۲۵	۲۲	۵-۲۰	۳۷	۱-۵
۸	۵-۳۰	۲۳	۵-۲۰	۳۸	۳-۲۰
۹	۵-۲۵	۲۴	۵-۱۵	۳۹	۱۰-۴۰
۱۰	۵-۲۵	۲۵	۵-۲۵	۴۰	۵-۲۵
۱۱	۵-۳۰	۲۶	۵-۲۵	۴۱	۵-۲۸
۱۲	۳-۱۵	۲۷	۵-۲۵	۴۲	۵-۲۰
۱۳	۵-۲۰	۲۸	۵-۳۵	۴۳	۵-۲۰
۱۴	۵-۲۰	۲۹	۵-۱۸	۴۴	۱۰-۳۵
۱۵	۵-۲۰	۳۰	۵-۱۸		

محله‌های شماره‌ی ۵، ۲۸ و ۳۶ و پهنه‌ی جنوب شرقی شهر همچون محله‌های شماره‌ی ۹ و ۱۸ در گروه پهنه‌های مستعد وقوع اتفاقات و بحران در شبکه‌ی آب محسوب می‌شوند. از نظر معیار میزان فعالیت ساختمانی، پهنه‌ای متشکل از محور شمال شرق به جنوب غرب از جمله محله‌های شماره‌ی ۸، ۳۵، ۲۸ و ۳۶، مستعد وقوع اتفاقات احتمالی در شهر هستند (تصویر ۱۰).

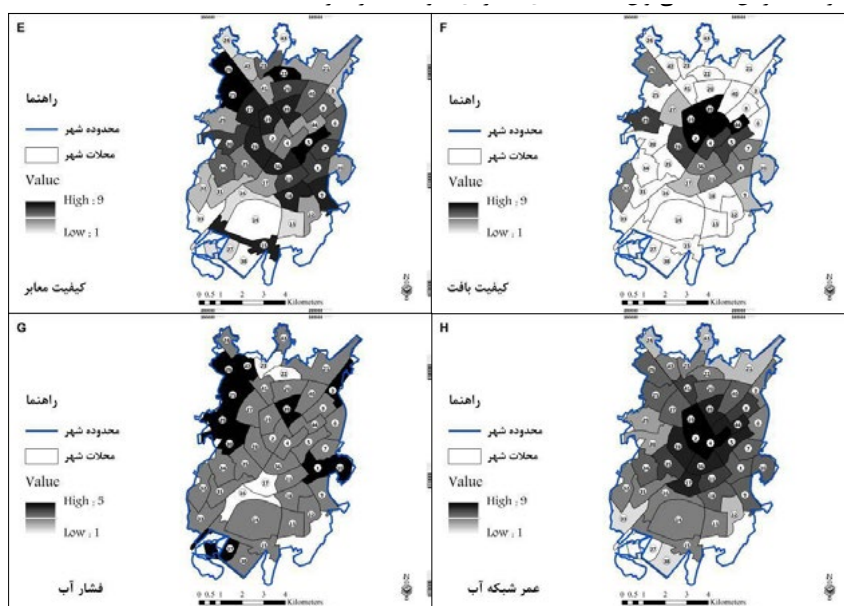
تصویر ۱۱، که حاصل استانداردسازی نقشه‌های معیار به روش AHP است نشان می‌دهد که معیار کیفیت شبکه‌ی معابر، پهنه‌های زیادی از شهر را تحت تأثیر اتفاقات احتمالی در شبکه‌ی آب شهری قرار می‌دهد. به عبارتی به خاطر کیفیت نامناسب معابر، احتمال وقوع اتفاقات در زیرساخت شبکه‌ی آب در اغلب

تراکم ساختمانی با ۰/۰۴۲، معیار فشار آب با ۰/۰۶ و معیار کیفیت شبکه‌ی معابر با ۰/۱۴ امتیاز، در تعیین آسیب‌پذیری محله‌ها اهمیت دارند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که معیار فراوانی یا تکرار اتفاقات در هر کدام از محله‌های شهر، می‌تواند عامل مهمی در تعیین آسیب‌پذیری آن محله‌ها باشد. تراکم جمعیت و فعالیت‌های ساختمانی از دیگر معیارهای مهم در شناسایی و تعیین محله‌های آسیب‌پذیر، محسوب می‌شوند.

نتایج استانداردسازی نقشه‌ها و خروجی نقشه‌های استاندارد موزون مربوط به هر کدام از معیارها (تصویر ۱۰) نیز نشان می‌دهند که از نظر معیار فراوانی اتفاقات پهنه‌ی شمال غربی از جمله محله‌های شماره‌ی ۲۶، ۲۵، ۲۲، پهنه‌ی مرکزی همچون



تصویر ۱۰: نقشه‌های استاندارد موزون مربوط به معیارها



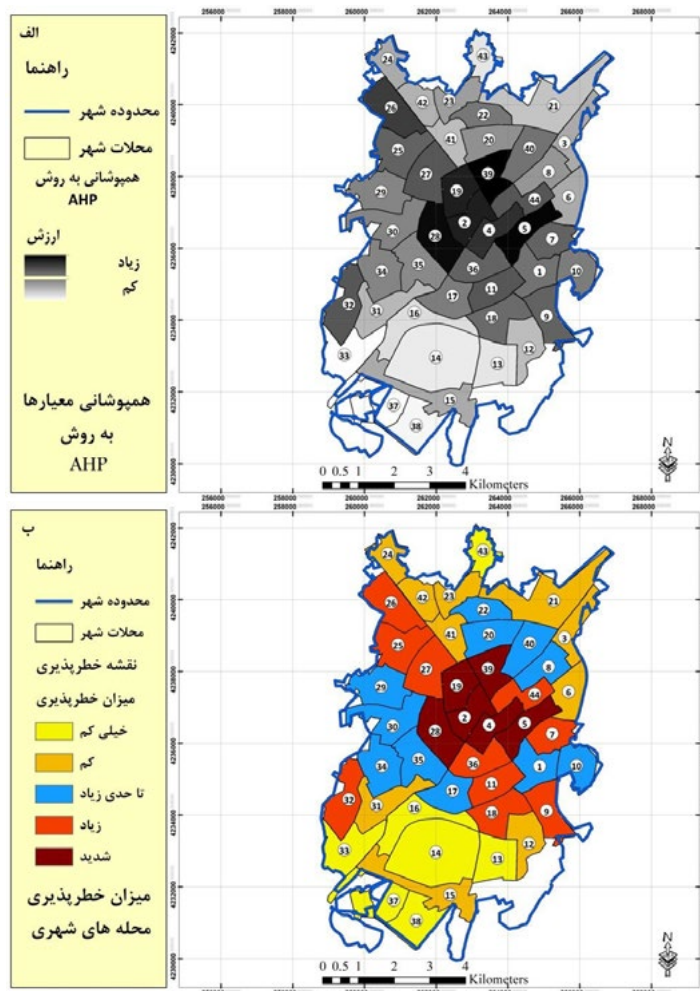
تصویر ۱۱: ادامه‌ی نقشه‌های استاندارد موزون مربوط به معیارها

در آن‌ها احتمال وقوع حوادث بیشتر است. از آن جمله می‌توان به محله‌های شماره‌ی ۲ و ۱۹ اشاره کرد.

معرفی محله‌های آسیب‌پذیر شهر (مجموع یافته‌ها)

از تلفیق کل معیارهای پژوهش و نقشه‌های استاندارد موزون به روش AHP، نقشه‌ی نهایی آسیب‌پذیری محله‌های شهر از نظر اتفاقات احتمالی در شبکه‌ی آب شهری به دست آمد و به صورت دو نقشه با شکل متفاوت به نمایش درآمد (تصویر ۱۲). تصویر ۱۲A نتیجه به دست آمده از روش AHP را در ۹ طیفی را نشان می‌دهد. هر چه به سمت عدد ۹ و رنگ تیره نزدیک می‌شویم،

محله‌های شهر و برای نمونه محله‌های شماره‌ی ۲۲، ۲۵ و ۲۶ وجود دارد. از نظر معیار کیفیت بافت شهری، بخش مرکزی شهری مثل محله‌های شماره‌ی ۲، ۱۹ و ۳۹ بیشتر با وقوع اتفاقات احتمالی در شبکه‌ی آب قرار دارد. اما از نظر معیار نوسان فشار در شبکه‌ی آب، عمدتاً پهنه‌هایی از شهر که تراکم جمعیت و فشردگی بافت در آن‌ها زیاد است، احتمال وقوع اتفاقات نیز بیشتر است. از آن جمله می‌توان به محله‌های شماره‌ی ۱۰، ۲۵ و ۲۶ اشاره کرد. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که از نظر معیار عمر شبکه، تقریباً اغلب محله‌های مرکزی و قدیمی شهر وضعیت نامناسبی دارند و



تصویر ۱۲: الف. همپوشانی به روش AHP و ب. نقشه‌ی آسیب‌پذیری محله‌های شهری

میزان آسیب‌پذیری یا خطرپذیری محله‌های شهری در برابر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب شهری بیشتر می‌شود. در محله‌های واقع در نواحی روشن که به سمت ۱ تمایل دارند، با میزان خطر و آسیب‌پذیری کمتری نسبت به وقوع خطرات احتمالی در شبکه‌ی زیرساخت آب مواجه‌اند.

برای بیان واضح یافته‌های حاصل از اجرای روش فازی، نقشه‌ی به دست آمده در ۵ طیف کیفی طبقه‌بندی شد. در نقشه‌ی نهایی (تصویر ۱۲B) محله‌های شهری بر اساس ارزش‌های ۱ تا ۹، با وضعیت میزان آسیب‌پذیری خیلی کم، کم تا حدی زیاد (یا متوسط)، زیاد و شدید (یا خیلی زیاد) طبقه‌بندی شده‌اند. یافته‌های مهم این پژوهش را بر اساس خروجی نقشه‌ی نهایی می‌توان اینچنین خلاصه کرد: بر اساس خروجی نهایی اجرای مدل AHP در GIS، به ترتیب محله‌های شماره‌ی ۲، ۴، ۵، ۱۹، ۲۸ و ۳۹ که ۱۳/۶ درصد از محله‌ها را تشکیل می‌دهند جزو محله‌های شدیداً آسیب‌پذیر هستند. این محله‌ها اغلب شامل محله‌های قدیمی و فرسوده واقع در مرکز شهر هستند. وضعیت شبکه‌ی معابر در این محله‌ها به دلیل قدیمی بودن، برای زیرساخت آب نامناسب است. همچنین تراکم و فشردگی ساختمانی نیز در این محله‌ها بالا است.

محله‌های شماره‌ی ۷، ۹، ۱۱، ۱۸، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۳۲، ۳۶، ۴۴ که ۲۲/۷ درصد از محله‌ها را تشکیل می‌دهند جزو محله‌های با آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند. این محله‌ها، اغلب شامل محلات میانی و محله‌های مهاجرنشین در شهر هستند. فشردگی ساختمانی و فضایی و تراکم جمعیت در این محله‌ها بالا است. در عین حال وضعیت شبکه‌ی معابر نیز در این محله‌ها کاملاً مناسب نیستند.

محله‌های شماره‌ی ۱، ۸، ۱۰، ۱۷، ۲۰، ۲۲، ۲۹، ۳۰، ۳۴، ۳۵، ۴۰ که ۲۵ درصد از محله‌ها را شامل می‌شوند جزو محله‌هایی هستند که با آسیب‌پذیری تا حدی زیاد (متوسط) مواجه‌اند. این محله‌ها نیز اغلب روستاهای ادغام شده در شهر و محله‌های شکل گرفته در طی یک سده‌ی گذشته‌اند. سایر محله‌های شهر که شامل ۳۸/۷ درصد از محله‌های شهر هستند، جزو محله‌های با آسیب‌پذیری کم و خیلی کم در بخش زیرساخت آب هستند. این محله‌ها، اغلب محله‌های نوین‌د شهر یا محله‌های در حال تکمیل هستند. در مواردی نیز شامل بخش‌های صنعتی شهر می‌شوند. در برخی از این محله‌ها اگر چه ممکن است یک معیار مثل تراکم جمعیت یا ساختمان چشمگیر باشد، لیکن سایر معیارها نقش کمتری در تعیین میزان آسیب‌پذیری دارند.

میزان آسیب‌پذیری یا خطرپذیری محله‌های شهری در برابر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب شهری بیشتر می‌شود. در محله‌های واقع در نواحی روشن که به سمت ۱ تمایل دارند، با میزان خطر و آسیب‌پذیری کمتری نسبت به وقوع خطرات احتمالی در شبکه‌ی زیرساخت آب مواجه‌اند.

برای بیان واضح یافته‌های حاصل از اجرای روش فازی، نقشه‌ی به دست آمده در ۵ طیف کیفی طبقه‌بندی شد. در نقشه‌ی نهایی (تصویر ۱۲B) محله‌های شهری بر اساس ارزش‌های ۱ تا ۹، با وضعیت میزان آسیب‌پذیری خیلی کم، کم تا حدی زیاد (یا متوسط)، زیاد و شدید (یا خیلی زیاد) طبقه‌بندی شده‌اند. یافته‌های مهم این پژوهش را بر اساس خروجی نقشه‌ی نهایی می‌توان اینچنین خلاصه کرد: بر اساس خروجی نهایی اجرای مدل AHP در GIS، به ترتیب محله‌های شماره‌ی ۲، ۴، ۵، ۱۹، ۲۸ و ۳۹ که ۱۳/۶ درصد از محله‌ها را تشکیل می‌دهند جزو محله‌های شدیداً آسیب‌پذیر هستند. این محله‌ها اغلب شامل محله‌های قدیمی و فرسوده واقع در مرکز شهر هستند. وضعیت شبکه‌ی معابر در این محله‌ها به دلیل قدیمی بودن، برای زیرساخت آب نامناسب است. همچنین تراکم و فشردگی ساختمانی نیز در این محله‌ها بالا است.

جدول ۵: راهکارهای مدیریتی پیش‌گیری از وقوع حوادث و بحران در شبکه‌ی آب شهری (بر اساس هدف و یافته‌های پژوهش)

بخش عملیاتی	درمان	پیشگیری
لوله‌های آب	بایش و بازسازی لوله‌ها و اتصالات فرسوده	استفاده از لوله‌ها و اتصالات مناسب با اقلیم و شرایط محیطی
توزیع جمعیت	کاهش تراکم‌های جمعیتی در نواحی فرسوده و متراکم شهری در حد تحمل‌پذیری شبکه زیرساخت‌ها در برنامه‌های شهری	هماهنگ سازی و یکپارچه‌سازی سیاست‌های جمعیتی با برنامه‌ریزی زیرساخت آب شهری
تراکم ساختمانی	تقویت زیرساخت‌های آب در بخش‌های متراکم ساختمانی	تعدیل تراکم ساختمانی و یکپارچه سازی برنامه‌ریزی فضایی شهری با برنامه‌ریزی زیرساخت‌های آب شهری
فعالیت‌های ساختمانی	کنترل و اطلاع‌رسانی از وجود شبکه‌های آب در ساخت و سازهای جدید شهری	هماهنگ سازی فعالیت‌های ساختمانی با اطلاعات مربوط به زیرساخت‌های آب شهری
معاير	بهسازی معابر شهری موجود به‌ویژه در حاشیه‌ی شهرها و بافت‌های فرسوده‌ی شهری	برنامه‌ریزی یکپارچه و هماهنگ شبکه‌ی معابر و زیرساخت‌های آب در توسعه‌های جدید شهری
بافت‌های شهری	بهسازی بافت‌های قدیمی و فرسوده‌ی شهری	نوسازی شبکه‌ی لوله‌ها و زیرساخت‌های قدیمی در بخش‌های قدیمی شهر
عمر شبکه	نوسازی لوله‌های قدیمی یا فاقد کیفیت در شبکه	ایجاد، کنترل و به‌روزرسانی اطلاعات عمر لوله‌ها در شبکه‌ی آب به منظور ایمن‌سازی و نوسازی شبکه در موارد لازم
فشار آب	تنظیم و بهسازی فشار آب در پهنه‌های دارای مسئله	ایجاد سامانه هوشمند کنترل فشار آب متناسب با زمان و مکان جریان آب در شبکه

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف اصلی این پژوهش شناسایی محله‌های آسیب‌پذیر شهر از نظر وقوع حادثه در شبکه‌ی آب شهری بود. نتایج استفاده از روش کرنل نشان دادند که برخی از محله‌ها و پهنه‌های شهر از نظر متغیر اتفاقات، در وضعیت با آسیب‌پذیری بالا قرار دارند. از آن جمله می‌توان به محله‌های پرتراکم جمعیتی شهر اشاره کرد. روش تراکم کرنل به خوبی توانست میزان آسیب‌پذیری محله‌ها را منعکس کند. تحلیل محله‌ها بر اساس معیار تراکم جمعیتی و وضعیت اقتصادی خانوارها نیز نشان داد که برخی از محله‌ها و پهنه‌ها در خطر آسیب‌پذیری بالا قرار دارند. تحلیل متغیر تراکم و فعالیت ساختمانی شهر نیز نشان داد که بخش‌های میانی از نظر تراکم ساختمانی و بخش‌های پیرامونی و محله‌های نوبنیاد شهر از نظر میزان فعالیت‌های ساختمانی و از نظر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب آسیب‌پذیرند. بررسی متغیر شبکه‌ی معابر و بافت شهری نیز به خوبی روشن کرد که محله‌های مرکزی و قدیمی شهر اغلب فرسوده بوده و آسیب‌پذیرند. در نهایت یافته‌های مربوط به متغیر عمر و فشار در شبکه‌ی آب نیز نشان داد که در برخی از محله‌ها که اغلب شروع آب‌رسانی از آن‌ها بوده است، احتمال خطر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب بالا است.

نتیجه‌ی پیاده‌سازی مدل AHP در محیط GIS و انجام همپوشانی، منجر به تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری شهر در شبکه‌ی آب شهری شد. نتایج به دست آمده به روشنی شهر را به ۵ گروه از نظر میزان آسیب‌پذیری طبقه‌بندی کرد. از مهم‌ترین نتایج اجرای این مدل این بود که در حدود ۱۳/۶ درصد از محله‌های شهر در صورت وقوع مخاطراتی مانند زلزله، در معرض خطر و آسیب جدی قرار دارند. در مجموع، در صورت وقوع هرگونه اتفاق مثل زلزله، بیش از ۶۰ درصد از محله‌های شهر در زیرساخت آب شهری، دچار آسیب خواهند شد. بر اساس یافته‌ها و نتایج پژوهش، پیشنهادهای زیر را می‌توان برای مدیریت بحران و برنامه‌ریزی مطلوب فضایی شهر ارائه کرد:

۱. شناسایی عوامل و انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه برای کاهش فراوانی وقوع اتفاقات در زیرساخت شبکه‌ی آب شهری در محله‌های بحرانی که در این پژوهش مشخص شدند.
 ۲. تعادل‌بخشی به نحوه‌ی توزیع جمعیت به منظور استفاده‌ی بهینه از زیرساخت آب شهری.
 ۳. تعادل‌بخشی به تراکم و فعالیت‌های ساختمانی از طریق اجرای صحیح طرح‌های تفصیلی و شهرسازی.
 ۴. مناسب‌سازی معابر شهری به منظور جلوگیری از فشار بر زیرساخت آب شهری.
- بازآفرینی پایدار بافت‌های مرکزی شهرها که اغلب مناطق بحرانی را تشکیل می‌دهند. تعویض و نوسازی زیرساخت شبکه‌ی آب در محله‌هایی که عمر شبکه بیش از ۳۰ سال است.
- در پایان راهکارهای عملیاتی برای پیشگیری از وقوع حادثه و بحران در شبکه‌ی توزیع آب شهری، در جدول ۵ خلاصه شده‌اند. اشاره به این نکته ضروری است که هماهنگ‌سازی برنامه‌ریزی فضایی شهری با برنامه‌ریزی زیرساخت‌های آب شهری ضرورتی مبرم برای پیش‌گیری از وقوع اتفاق در شبکه‌ی آب شهری است. برای این منظور همکاری مستمر نهادهای مربوطه ضروری است. همچنین استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) به مدیران بخش آب کمک می‌کند تا ضمن مدیریت شبکه، از خسارات احتمالی پیش‌گیری کنند.

پی‌نوشت

1. Geographic Information Systems
2. Kernel Density
3. Weighted Overlay Index
4. Convert Feature to Raster
5. Reclassifying

منابع

۱. پاستل، ساندرا (۱۳۷۳). گسترش بی‌آبی. مترجم: محمد تقی زاده مطلق.

۲۰. مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری تهران (۱۳۸۳). مدیریت بحران. اصول راهنمای عملی برای دولت‌های محلی. مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری تهران، تهران.
21. Foster, H. D. (1980). Disaster planning, the preservation of life and property. Spring Verlag. P. 275.
۲۲. پویان، ژیل؛ ناطقی الهی، فریبرز (۱۳۷۸). آسیب‌پذیری ابرشهرها در برابر زمین‌لرزه، مطالعه‌ی موردی: شهر تهران. تهران، سومین همایش بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، جلد چهارم.
23. Fischer, H. W., Scharnberger, C. K., & Geiger, C. J. (1996). Reducing seismic vulnerability in low to moderate risk areas. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 5(4), 5-18.
24. American planning association (APA). (2006). Planning and urban design standards. Hoboken, Newberys.
۲۵. تهنیدی، کامبیز، نوری، مهدی، مشعوف، بیژن، نصیبی، مهدی (۱۳۹۴). ارزیابی، آسیب‌پذیری شبکه‌های انتقال آب با استفاده از روش خوشه‌بندی. دوفصلنامه مدیریت بحران، شماره ۷، ۹۷-۱۰۴.
26. Shohan, S., Ahmad., & Slobodan, P. S. (2013). Spatial and temporal analysis of urban flood risk assessment, *Urban Water Journal*, 10 (1), 26-49.
27. Zhang, T. (2006). The Application of GIS and CARE-W on Water Distribution Networks in Skärholmen Pressure Zone, Stockholm, Sweden. Pipeline Technology 2006 Conference.
28. Hill, C., & Jones, G (1995). Strategic management theory. Houghton Mifflin Company.
29. Jiménez, R., Magrinya, F., Almandoz, J. (2010). The role of urban water distribution networks in the process of sustainable urbanization in developing countries. Case study: Wukro Supply. Wukro Town (Ethiopia). A: International Conference on Sustainable Urbanization. "First Proceedings of the First International Conference on Sustainable Urbanization". Hong Kong: 2010, 1-6.
30. Yamba, H.O. (2011). Improvement of water supply through a GIS-based monitoring and control system for water loss reduction. In: UN-International Conference Zaragoza, Spain. 3-5 October, water in the green economy in practice: toward RIO+ 20.
31. Aburawe, S. M., & Rodzi Mahmood, A. (2014). Water Loss Control and Real-Time Leakage Detection Using GIS Technology. In: UN-International Conference Zaragoza, Spain. 3-5 October, water in the green economy in practice.
32. Uslu, A., Bakan, G., & Sisman, A. (2014). Employing Urban Information Systems for Water Distribution Systems. *Energy and Environmental Engineering*, 2(6), 129-136.
۳۳. آسفی، ح؛ ذالنور، ا؛ نوذری‌پور، ع؛ مرادی، غ (۱۳۹۰). مدیریت فشار شبکه‌های توزیع آب شهری و استفاده صحیح از منابع آب. در: مجموعه مقالات اولین همایش منطقه‌ای مهندسی عمران.
۳۴. انیسی، ف؛ راستی، ت. (۱۳۹۲). طراحی سامانه مدیریت بحران برای خطوط لوله آب و فاضلاب قبل، در هنگام و پس از وقوع زلزله، کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری.
- نشریه‌ی پیام یونسکو، سال ۲۳، شماره ۱۹، ۲۷۶-۲۲.
۲. پرتوی، پروین؛ آله‌اشم، فخرسادات (۱۳۹۵). مدیریت یکپارچه‌ی منابع آبی در برنامه‌ریزی شهری با رویکرد توسعه‌ی پایدار، مطالعه‌ی موردی: تهران، نشریه‌ی مطالعات جغرافیا، عمران و مدیریت شهری، دوره‌ی دوم، شماره‌ی ۲، ۹-۲۴.
۳. بیسواز، آسیت. ک. (۱۳۷۳). بحران در جنوب. نشریه‌ی پیام یونسکو، شماره‌ی ۲۷۶، ۳۵-۳۹.
4. Cardoso, M.A., Almeida, M.C., Santos, S. M., (2016). Sewer asset management planning – implementation of a structured approach in wastewater utilities. *Urban Water Journal*, 13:1, 15-27. <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2015.1076859>
5. Roozbehani, A.; Zahraei, B, tabesh, M. (2012). *Journal of Water and Wastewater*, Issue IV, 14-1
۶. امینی ورکی، سعید؛ مدیری، مهدی؛ شمسانی زفرقندی، فتح‌اله؛ قنبری نسب، علی (۱۳۹۳). شناسایی دیدگاه‌های حاکم بر آسیب‌پذیری شهرها در برابر مخاطرات محیطی و استخراج مؤلفه‌های تأثیرگذار در آن با استفاده از روش کیو. دوفصلنامه مدیریت بحران، شماره ۳، ۵-۱۸.
۷. منزوی، محمدتقی (۱۳۹۲). آب‌رسانی شهری. چاپ هجدهم. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
۸. بهزادفر، مصطفی (۱۳۹۲). آب‌رسانی و فاضلاب شهری. چاپ دوم، تهران، انتشارات شهیدی.
9. Motiee, H., McBean, E., & Motiee, A. (2007). Estimating physical unaccounted for water (UFW) in distribution networks using simulation models and GIS. *Urban Water Journal*, 4 (1), 43-52.
۱۰. مهندس‌ان مشاور طرح و کاوش (۱۳۹۴). طرح جامع و تفصیلی شهرداری. گزارش طرح از: معاونت شهرسازی اداره کل راه و شهرسازی اردبیل.
۱۱. شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل (۱۳۹۵). فایل گزارش ثبت شده حوادث آب شهرداری. آرشیو شده در مرکز تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل، گزارش داخلی.
۱۲. مهندس‌ان مشاور آبران (۱۳۸۸). مطالعات طرح جامع تأمین و انتقال آب شرب شهرهای استان اردبیل. کارفرما: شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل، گزارش داخلی.
۱۳. عبدالحی، مجید (۱۳۹۱). مدیریت بحران در نواحی شهری. چاپ پنجم، انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.
14. Price, R.K., Vojinovic, Z. (2011). Urban hydro-informatics: data, models and decision support for integrated urban water management. London: IWA Publishing. ISBN: 978-18-4339-274-3.
15. Cardoso, M.A. (2012). Urban water infrastructure asset management – A structured approach in four water utilities. *Water Science and Technology*, 66 (12), 2702-2711.
16. Halfawy, M.R. (2008). Integration of municipal infrastructure asset management processes: challenges and solutions. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 22 (3), 216-229.
۱۷. حبیبی، کیومرث (۱۳۸۸). آسیب‌پذیری شهری و GIS. دانشگاه امام حسین (ع)، تهران.
۱۸. حسینی، مازیار (۱۳۸۷). اصول و مبانی مدیریت بحران. انتشارات سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران.
۱۹. بیرودیان، نادر (۱۳۹۲). مدیریت بحران. چاپ سوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۳۵. رهگذر، م؛ زارع، م و هاشمی فشارکی، س. م. (۱۳۹۴). پیشنهاد شبکه‌ی هوشمند ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه جمع‌آوری فاضلاب در بستر GIS (مطالعه‌ی موردی: شهرکرد)، مجله‌ی علمی پژوهشی آب و فاضلاب، شماره‌ی ۶، ۵-۱۵.

۳۶. رهنما، ر؛ راستی، ر؛ حسنی، ن؛ قیاسوند، م (۱۳۹۴). بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه‌ی آب‌رسانی منطقه‌ی ۱۱ تهران جهت مقاوم‌سازی، فصلنامه‌ی دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره‌ی پنجم، شماره‌ی چهارم، زمستان ۱۳۹۴، ۳۰۸-۳۱۴.

37. Chowdhury, M.A.I. Ahmed. M. F and Gaffar, M. A. (2002). Management of Nonrevenue Water Four Cities of Bangladesh, *Journal AWWA*, 94 (8), 64-75.

38. Gerami, R. (1994). Spatial information system (designing, modeling and planning applications).

39. Mitchell, A. (1999). The ESRI guide to GIS analysis. volume 1: geographic patterns and relationships. ESRI, Redlands [CA].

40. Scott, L, Getis. A. (2008). Spatial statistics. In Kemp K (Ed) Encyclopedia of geographic information.

41. UNEP. (1999). Human Development Report of the Islamic Republic of IRAN. Chapter 8:109-121.

42. ESRI. (2010). ESRI Production Mapping: Meeting the Needs of Water and Wastewater Utilities. An ESRI White Paper. www.esri.com.

43. Anselin, L. (1999). Spatial econometrics .methods and model. Dordrecht Kluwer Academic.in: A Companion to Theoretical Econometrics, Edoted by: L. Anselin. Chapter, 14: 310-330.

44. Asgari, A. (2011). Analysis of Spatial Statistics in GIS. Tehran Municipality Publications.

۴۵. زبردست، اسفندیار. (۱۳۸۰). کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. در نشریه‌ی هنرهای زیبا، شماره‌ی ۱۰، ۱۳-۲۱.

۴۶. مشیری، اسماعیل. (۱۳۸۰). مدل تعدیل شده AHP برای نظرسنجی و تصمیم‌گیری‌های گروهی، در: دانش مدیریت، سال ۱۴، شماره ۵۲، ۶۳-۹۲.

۴۷. ابراهیمی، نسرین؛ علیرضایی، ندا؛ خدادادی، احمد؛ بشارت‌نیا، مهدی (۱۳۹۴). مروری بر روش‌های آماری تحلیل داده‌های جرم مبتنی بر مکان. در: توسعه‌ی سازمان پلیس، شماره‌ی ۵۳، ۸۹-۱۱۲.

۴۸. مهندسان مشاور طراحان بافت و معماری (۱۳۹۳). مطالعات بافت فرسوده‌ی شهر اردبیل، جلد ۱. آرشیو کتابخانه وزارت راه و شهرسازی.

۱۰۶

شماره پانزدهم
بهار و تابستان
۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



شبکه‌ی آب
شناسایی محله‌های آسیب‌پذیر شهری از نظر اتصالات

بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن در شرایط بحرانی وقوع سیلاب براساس الگوریتم شبیه‌سازی بازپخت

مطالعه‌ی موردی: سد مخزنی البرز

معصومه خادمی: دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
رامین فضل‌اولی*: دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، raminfazl@yahoo.com
علیرضا عمادی: دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تایخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۶

تایخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

سد مخزنی چندمنظوره‌ی البرز در حوضه‌ی آبریز پاشاکلای بابل در استان مازندران واقع شده است. بهره‌برداری بهینه از حجم آب ذخیره شده در مخزن این سد از موضوعات قابل توجه مدیران و بهره‌برداران است. در تهیه‌ی منحنی فرمان سد البرز، هدف کنترل سیلاب مطرح نگردیده و منحنی فرمان صرفاً از نقطه‌نظر بهره‌برداری مناسب برای تأمین نیازهای شرب و کشاورزی تهیه شد. با توجه به حداکثر سیلاب محتمل سد (۱۴۶۶/۵ متر مکعب بر ثانیه) و حداکثر ظرفیت تخلیه‌کننده‌های تعبیه شده در سد (۱۱۸۳ متر مکعب بر ثانیه) و عدم نصب سرریز جانبی و فیوز پلاگ در محل سد، تهیه‌ی منحنی فرمان سد در شرایط سیلابی از الزامات است. در این پژوهش، به منظور مدیریت و مهار سیلاب‌های ورودی، یک مدل ریاضی شبیه‌سازی-بهینه‌سازی سیلاب تهیه شد که قابلیت انجام روندیابی بهینه‌ی سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف، با هدف کمینه‌سازی خسارت ناشی از سیلاب را دارد. در صورت تجهیز نمودن حوضه‌ی آبریز سد به سیستم هشدار سیلاب به منظور اطلاع از زمان وقوع و حجم سیلاب، می‌توان به مدیریت بهینه‌ی مخزن در شرایط بحرانی وقوع سیلاب و کمینه‌سازی خسارت ناشی از آن پرداخت. نتایج نشان داد که برای به حداقل رساندن خسارت ناشی از سیلاب ۱۰۰۰ ساله و PMF، به ترتیب به ۱۰ و ۳۵ ساعت پیش تخلیه‌ی مخزن نیاز است تا در لحظه‌ی ورود سیلاب، تراز مخزن به ترتیب حدود ۰/۵ و ۴ متر پایین‌تر از تراز نرمال سد قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: کمینه‌سازی خسارت سیلاب، مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی سیلاب، مهار سیلاب

Reservoir Operation Optimization in Critical Conditions of Flood Occurrence Based on Simulated Annealing Algorithm Case Study: Alborz Dam

Masooome Khademi¹, Ramin Fazloulou^{2*}, Alireza Emadi³

Abstract

Alborz multi-purpose reservoir dam is located in the Pashakola Babol basin in Mazandaran province. Optimal operation of the water volume stored in the dam reservoir is significant subject for managers and operators. In the rule curve prepared for Alborz dam, the purpose of flood control is not considered and rule curve was prepared only from the standpoint of properly operation for drinking and agricultural needs. According to the probable maximum flood of dam (1466.5 m³/s) and the outlets maximum capacity embedded in the dam (1183 m³/s) and lake of side spillway and fuse plug at the dam site, preparing the rule curve in flood conditions is necessary. In this study, in order to management and estimation of entering flood, a simulation-optimization mathematical model of flood was prepared which is capable of flood optimal routing for different return periods, with the goal of reducing flood damage. In case of equipping the dam basin to flood warning system in order to information of the flood time and volume, can be paid to reservoir optimal management in critical conditions of flood occurrence and reducing flood damage. The results were showed that for reducing 10000 years flood damage and PMF damage, respectively 10 and 35 hours before emptying of reservoir is needed until on the time of flood entering, the reservoir level is respectively at least 0.5 and 4 meters below the normal level.

Keywords: Flood Control, Flood Simulation-Optimization Model, Minimization of Flood Damage

¹ Ph.D. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

² Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University; Email: raminfazl@yahoo.com

³ Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

۱۰۲

شماره پانزدهم

بهار و تابستان

۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن در شرایط بحرانی وقوع
سیلاب براساس الگوریتم شبیه‌سازی بازپخت

همکاران [۶]، بر مبنای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (CPSO) ، بهره‌برداری مخازن کنترل سیلاب را مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آن را با الگوریتم‌های ژنتیک (GA)، تکامل تفاضلی (DE) و ازدحام ذرات (PSO) مقایسه نمودند. نتایج، کارایی الگوریتم CPSO را نسبت به سایر الگوریتم‌ها نشان داد. این مدل با به حداقل رساندن دبی اوج سیل، موجب کاهش مخاطرات سیلاب خواهد شد. چو و یو [۷]، چارچوب‌های کلی قوانین بهره‌برداری برای کنترل سیلاب مخزن را در طول سه گام ارائه نمودند. در این پژوهش، مدل شبیه‌سازی توسعه یافته با نام الگوریتم بهینه‌سازی محدود با تقریب درجه دوم (BOBYQA) به‌عنوان یک الگوریتم بهینه‌سازی غیرخطی مؤثر برای تعیین پارامترهای بهینه تهیه و با استفاده از سابقه‌ی جریان ۵۹ سیل تاریخی و حداکثر سیلاب محتمل، قوانین رهاسازی از مخزنی در تایوان تخمین زده شد. این قوانین بهینه‌سازی اهداف بهره‌برداری شامل ایمنی سد، کاهش سیلاب و دسترسی کافی ذخیره‌ی آب در پایان دوره‌های بهره‌برداری را برآورد می‌نماید. لو و همکاران [۸]، به‌منظور کنترل سیلاب در مخزن از یک روش بهینه‌سازی چند هدفه ترکیبی به نام (MO-PSO-EDA) که ترکیبی از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم برآورد توزیع (EDA) است، استفاده نمودند. هدف از این پژوهش به حداقل رساندن دو تابع هدف بالاترین تراز آب در بالادست و بیشترین حجم رهاسازی آب در طول دوره‌ی سیلاب است. مطالعات تجربی روی مسئله‌ی کنترل سیلاب مخزن آنکانگ^۱، حاکی از عملکرد صحیح الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه‌ی ترکیبی مذکور است. زرگر و همکاران [۹]، یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی برای حداقل‌سازی خسارت سیلاب پایین‌دست، با استفاده از مانور درجه‌های سرریز سیستم‌های چند مخزنی فاقد سیستم پیش‌بینی سیلاب را پیشنهاد نمودند. هدف اصلی، تعیین میزان دبی خروجی در هر تراز بوده است که با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی بر پایه‌ی اصول الگوریتم ژنتیک اعداد حقیقی تعیین شد. اجرای مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی در سدهای مورد مطالعه سبب کاهش قابل ملاحظه در خسارت سالانه‌ی سیلاب قابل انتظار شده که نشان‌دهنده‌ی عملکرد مناسب مدل بهینه‌سازی است. یوسل و همکاران [۱۰]، به‌منظور مدیریت کوتاه‌مدت بهره‌برداری سیلاب به مقایسه‌ی مدل‌های مختلف مخزن سد چند منظوره پرداختند. آن‌ها از شبیه‌ساز HEC-ResSim و بسته‌ی بهینه‌ساز RTC-Tools برای مسئله‌ی مدیریت سیلاب بزرگ در سدی در ترکیه استفاده نمودند. در پژوهش مذکور هدف از کنترل سیلاب، به حداکثر رساندن میزان تأمین آب در پایان مهار سیلاب و همچنین کاهش خسارت سیلاب در بازه‌ی رودخانه‌ی پایین‌دست بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، هر روش مزایا و معایب خود را دارد. رویکرد مبتنی بر بهینه‌سازی به علت دارا بودن ساختار ریاضی در مقایسه با روش مبتنی بر شبیه‌سازی که پارامترهای آن توسط کاربر تعریف می‌شود و همیشه تضمین راه حل مطلوب نیست، نتایج عینی‌تری را نشان می‌دهد. کای و همکاران [۱۱]، به‌منظور کنترل سیلاب مخزن از الگوریتم تکاملی چند هدفه استفاده نمودند. هدف کنترل سیلاب و

بهره‌برداری بهینه و مناسب از منابع آب خصوصاً در شرایط خشکسالی و سیلابی یکی از وظایف مهم مدیران منابع آب است. مدیریت سیل با هدف کاهش پتانسیل اثرات نامطلوب سیل بر انسان‌ها، محیط‌زیست و اقتصاد یک منطقه صورت می‌گیرد. کنترل سیلاب شامل فرایندهای خاصی است که با فراهم آوردن و بهره‌برداری مناسب و صحیح از سازه‌های طراحی شده، اثرات تخریبی سیل را رفع یا کاهش می‌دهد که این امر با بهره‌برداری صحیح، ذخیره‌سازی، محدودسازی و انحراف جریان سیلاب تا حدی که از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر باشد، انجام می‌شود [۱]. یخکشی [۲]، به‌منظور مدیریت سیلاب در سیستم رودخانه - مخزن سد نرماب، سناریوهایی را برای حجم کنترل سیل در مخزن سد در نظر گرفت و اقدام به روندیابی سیل در مخزن نمود. این محقق پس از بررسی ۲۸ سناریو و پهنه‌بندی سیلاب توسط مدل هیدرولیکی HEC-RAS میزان خسارت ناشی از سیلاب در پایین‌دست محل سد را به ازای تمام سناریوها و دوره‌های بازگشت محاسبه نمود. نتایج نشان داد که سد مخزنی نرماب کارایی بسیار خوبی در کاهش دبی اوج سیلاب و خسارت ناشی از سیلاب بر اراضی منطقه دارد. یزدی [۳]، یک مدل تلفیقی شبیه‌سازی - بهینه‌سازی را برای طراحی بهینه‌ی سیستم‌های ترکیبی کنترل سیلاب با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های سیلاب تدوین نمود. به‌این منظور مدل عددی MIKE11 را به‌عنوان مدل ریاضی هیدرولیک سیلاب برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف سیلاب به‌کار گرفت و برای تعیین طرح‌های بهینه با مدل بهینه‌سازی چند هدفه NSGA-II ترکیب نمود. نتایج نشان داد که مدل تلفیقی به‌خوبی توانسته اندرکنش طرح‌های مختلف را در تسکین و با تشدید خسارت سیلاب تحت شرایط متغیر مکانی و زمانی سیلاب‌ها مدل‌سازی نموده و جانمایی مناسب طرح‌های کنترل سیلاب را به همراه سطح طراحی آن‌ها در سطح حوضه‌ی آبریز ارائه نماید. کابوسی و جلیلی [۴]، به بررسی شاخص‌های کارایی مخازن تأخیری و تأثیر آن‌ها بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب در حوضه‌ی جعفرآباد استان گلستان پرداختند. برای این منظور فرایند بارش - رواناب و روندیابی سیلاب در مخازن را با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که در دوره‌های بازگشت مختلف، مخزن تأخیری بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب خروجی از حوضه تأثیر داشته اما این تأثیر از نظر آماری معنی‌دار نبود. بررسی عملکرد مخازن نشان داد که کارایی مخزن در کنترل سیلاب تنها به حجم مخزن بستگی ندارد بلکه مشخصات ژئومتری مخزن و سرریز نیز بر آن تأثیرگذار است. ملک محمدی و همکاران [۵]، با تهیه‌ی مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری کوتاه مدت با هدف مهار سیلاب و بلند مدت با دو هدف مهار سیلاب و تأمین نیاز به روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)، به بهینه‌سازی بهره‌برداری سدهای سری دز و بختیاری در شرایط سیلابی پرداختند و کارایی مناسب مدل تهیه شده را در کاهش خسارت سیلاب و تأمین نیاز تأیید نمودند. هی و

جدول ۱: مشخصات کلی سد مخزنی البرز

ترازها (متر از سطح دریا)	حداقل تراز آب	تراز نرمال سد	حداکثر تراز آب	تراز تاج سد
	۲۵۴/۰	۳۰۱/۰	۳۰۵/۸	۳۰۷/۰
احجام (میلیون متر مکعب)	حجم مرده	حجم مفید	حجم کل	حجم تنظیمی
	۶/۴۵	۱۳۵/۱۵	۱۴۱/۶۰	۱۹۲/۰۰

جدول ۲: مشخصات سیستم‌های تخلیه‌کننده سیلاب، آبگیرهای آبیاری و نیروگاه و تخلیه‌کننده‌های تحتانی سد مخزنی البرز

موقعیت تخلیه‌کننده سیلاب	موقعیت آبگیرهای آبیاری و نیروگاه	موقعیت تخلیه‌کننده تحتانی
سرریز نیلوفری واقع در جناح چپ سد در تراز ۳۰۱/۰ متر	تونل انحراف آب شماره ۱ واقع در جناح چپ سد در تراز ۲۵۶/۷ متر	تونل انحراف آب شماره ۲ واقع در جناح چپ سد در تراز ۲۵۴/۰ متر
ظرفیت تخلیه‌کننده‌ی سیلاب (متر مکعب بر ثانیه)	ظرفیت آبگیرهای آبیاری و نیروگاه (متر مکعب بر ثانیه)	ظرفیت تخلیه‌کننده‌های تحتانی (متر مکعب بر ثانیه)
۱۰۱۰	۲۳	۱۵۰

تقاضای تأمین آب با یکدیگر در تضاد است. به منظور بررسی مدل توسعه یافته، چهار سیل به وقوع پیوسته در مخزن آنکانگ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد برنامه‌ی به دست آمده توسط MOEA/D-PWA به طور قابل توجهی می‌تواند به کاهش اوج سیلاب و تضمین ایمنی سد کمک نماید. در مطالعات پیشین به منظور شبیه‌سازی روندیابی سیلاب به ازای سناریوهای مختلف سیلاب با در نظر گرفتن ترکیبات مختلف از دوره‌های بازگشت سیلاب‌های ورودی و ترازهای مخزن سد در شروع سیلاب‌ها، از روش‌های هیدرولوژیکی غیر ذخیره‌ای و ذخیره‌ای (روندیابی مخزن و رودخانه) و هیدرولیکی HEC-RAS، HEC-HMS، MIKE11 و ... استفاده شد. هدف از انجام این پژوهش تهیه‌ی مدل ریاضی شبیه‌سازی-بهینه‌سازی بهره‌برداری کوتاه مدت (در مقیاس زمانی ساعتی) برای کاهش خسارت سیلاب است. در تهیه‌ی این مدل از ترکیب مدل بهینه‌سازی SA و مدل شبیه‌سازی روندیابی سیلاب براساس روندیابی ذخیره‌ای مخزن استفاده شد. در طول اجرای مدل بهینه‌سازی SA ، برای محاسبه‌ی تابع هدف (میزان خسارت سیلاب)، مدل شبیه‌سازی روندیابی سیلاب به‌عنوان زیر برنامه فراخوانی می‌شود. اجرای مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی تهیه شده تا زمانی ادامه خواهد یافت که مقدار بهینه‌ی تابع هدف حاصل شود. از مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی تهیه شده، می‌توان برای روندیابی هیدروگراف سیلاب‌های ورودی با دوره‌های بازگشت مختلف تا رسیدن به مقدار بهینه‌ی تابع هدف (کمینه‌سازی میزان خسارت سیلاب) استفاده نمود.

روش تحقیق

معرفی سد مخزنی البرز

سد مخزنی البرز روی رودخانه‌ی بابلرود در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر بابل احداث شده که به‌طور تقریبی در طول جغرافیایی ۵۲ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه شمالی واقع شده است. این سد از نوع خاکی سنگریزه‌ای با هسته‌ی رسی

است و در سال ۱۳۸۹ به بهره‌برداری رسید. رودخانه‌های آذر رود، کرسنگ رود و اسکیم رود سه رودخانه‌ی اصلی ورودی به مخزن سد البرز در حوضه‌ی آبریز پاشاکلا هستند [۱۲]. در تهیه‌ی منحنی فرمان سد البرز توسط شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس، هدف کنترل سیلاب مطرح نگردیده و منحنی فرمان صرفاً از نقطه‌نظر بهره‌برداری مناسب برای تأمین نیازهای شرب و کشاورزی تهیه شده است. حداکثر سیلاب محتمل سد معادل ۱۴۶۶/۵ متر مکعب بر ثانیه است. با توجه به حداکثر ظرفیت تخلیه‌کننده‌های تعبیه شده در سد (شامل تخلیه‌کننده سیلاب و تخلیه‌کننده‌ی تحتانی) معادل ۱۱۸۳ متر مکعب بر ثانیه و عدم نصب سرریز جانبی و فیوز پلاگ در محل سد، تهیه‌ی منحنی فرمان سد در شرایط سیلابی الزامات است [۱۳]. در حال حاضر بین حداکثر سیلاب محتمل سد و حداکثر ظرفیت تخلیه‌کننده‌های تعبیه شده در سد ۲۸۲ متر مکعب بر ثانیه اختلاف وجود دارد، لذا به پیشنهاد شرکت مهندسی مشاور ملی پاکستان (نسپاک) برای حفظ ایمنی و پایداری سد در زمان وقوع سیلاب، تراز مخزن سد تا پایان ماه آذر، حداقل ۳ متر پایین‌تر از تراز نرمال سد (یعنی در تراز ۲۹۸ متر) نگه داشته می‌شود. مشخصات کلی سد مخزنی البرز در جدول ۱ و مشخصات سیستم‌های تخلیه‌کننده‌ی سیلاب، آبگیرهای آبیاری و نیروگاه و تخلیه‌کننده‌های تحتانی سد در جدول ۲ ارائه شده است.

الگوریتم بهینه‌سازی SA

روش عددی SA یک روش بهینه‌سازی عددی با ساختار تصادفی هوشمند است که بر مبنای مکانیک آماری و قیاس با فرایند فیزیکی آنیلینگ به‌منزله‌ی یک فرایند فیزیکی در صنعت شبیه‌سازی شد [۱۴، ۱۵]. ایده‌ی اصلی که روش بهینه‌سازی SA بر مبنای آن پایه‌گذاری شده، اولین بار توسط متروپولیس و همکاران [۱۶] مطرح شد. مهم‌ترین پارامترها و معیارهایی که قبل از کاربرد روش SA برای مسئله‌ی مورد نظر باید بررسی و تنظیم شوند عبارتند از [۱۷]: دمای اولیه (T_0) ، فاکتور کاهش دما (B) ،

طول گام تصادفی $\Delta X = \text{Random} / K_{div}$ (که در آن: Random گزینه‌ی تصادفی و K_{div} عددی که گزینه‌ی تصادفی به نسبت آن کوچک می‌شود)، پارامتر مربوط به شرط تعادل (EBS)، طول دوره (تعداد تکرارها در هر دوره برای کنترل شرط تعادل) (Epoch)، حداکثر تعداد تکرارها در هر دورما برای رسیدن به شرط تعادل (It)، دمای نهایی مربوط به شرط توقف (T_f). به‌طور کلی مراحل مختلف استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی SA به‌صورت زیر است [۱۷]:

۱. فراخوانی پارامترهای روش SA: $(T_0, B, \Delta X, EBS, Epoch, It, T_f)$

۲. ایجاد نمونه‌ی اولیه: ایجاد نمونه‌ی تصادفی S در فضای امکان‌پذیر با توجه به قیدهای مسئله و به‌دست آوردن مقدار تابع هدف $OF(S)$ به ازای این نقاط؛

۳. ایجاد نمونه‌ی ثانویه: ایجاد نمونه‌ی تصادفی S' در فضای امکان‌پذیر با توجه به قیدهای مسئله و به‌دست آوردن مقدار تابع هدف $OF(S')$ به ازای این نقاط؛

۴. بررسی تغییرات تابع هدف: $(D = OF(S') - OF(S))$ (فرض اولیه: پارامتر دما (T_f) برابر با دمای اولیه (T_0)). اگر به ازای نمونه‌ی تصادفی S' نسبت به S، در مقدار تابع هدف کاهش مشاهده شد ($D \leq 0$)، این انتقال رو به پایین به‌عنوان جواب بهتر پذیرفته می‌شود و S' جایگزین S می‌گردد. اگر به ازای نمونه‌ی تصادفی S' نسبت به S، در مقدار تابع هدف افزایش مشاهده شد ($D > 0$)، یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید می‌شود. $P(D) = \exp(-D/T_f)$ و احتمال $P(D) > R(0-1)$ اگر $P(D) > R(0-1)$ باشد، برای رهایی از دام نقاط بهینه محلی و همگرایی به سوی بهینه سراسری این انتقال رو به بالا نیز پذیرفته می‌شود و S' جایگزین S می‌گردد و در غیر این صورت مجدداً به گام ۳ برگشت داده خواهد شد.

۵. تکرار گام‌های ۳ و ۴ به تعداد طول دوره (Epoch)؛

۶. بررسی شرط تعادل: (در این پژوهش از شرط تعادل به‌صورت رابطه‌ی ۱ استفاده شد [۱۸]).

رابطه‌ی ۱: $|(F_e - F_g) / F_g| \leq EBS$

که در آن: F_e : میانگین تابع هدف در طی آخرین دوره در هر دورما، F_g : میانگین تابع هدف در طی تمام دوره‌های پیشین در همان دورما و EBS: مقدار ثابت کوچک و مثبت کنترل‌کننده شرط تعادل است که توسط کاربر انتخاب می‌شود و مقدار بهینه‌ی آن طی آزمایشات اولیه به‌دست می‌آید. اگر شرط تعادل برقرار شد، گام ۷ اجرا می‌شود. اگر شرط تعادل برقرار نشد، باید حداکثر تعداد تکرارها در هر دورما برای رسیدن به شرط تعادل (It) بررسی شود. اگر تعداد دفعات تکرار گام‌های ۳ و ۴ به It رسید، گام ۷ اجرا می‌شود و در غیر این صورت به گام ۳ برگشت داده خواهد شد.

بررسی شرط توقف: (در این پژوهش رسیدن به دمای نهایی شرط توقف در نظر گرفته شد). اگر شرط توقف برقرار شد، جواب به‌دست آمده به‌منزله‌ی جواب بهینه (E) پذیرفته می‌شود. اگر

شرط توقف برقرار نشد، باید پارامتر دما به میزان $T_{i+1} = B \times T_i$ کاهش داده شود و به گام ۳ برگشت نمود. در این پژوهش، براساس اصول و مبانی روش SA یک برنامه‌ی کامپیوتری به زبان فرترن تهیه شد.

تابع هدف، متغیرهای تصمیم و قیود

در یک روش بهینه‌سازی مقادیر کلیه‌ی متغیرهای تصمیم به‌منظور کمینه یا بیشینه نمودن تابع هدف با اعمال یک‌سری قیدها و محدودیت‌ها، محاسبه می‌گردد. دو نکته‌ی مهم در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن در شرایط سیلابی، انتخاب تابع هدف و تدوین قوانین مناسب بهره‌برداری از مخزن است تا بتواند امکان استفاده از نتایج بهینه‌سازی در زمان واقعی را فراهم نماید. در این پژوهش، حداقل نمودن دبی اوج سیلاب خروجی در مقیاس زمانی ساعتی و کمبود آب در مقیاس زمانی ماهانه، به‌منزله‌ی تابع هدف در نظر گرفته شد که به‌صورت رابطه‌ی ۲ و ۳ تعریف می‌شود. رابطه‌ی ۲:

$$OF = \min |Q_{peak} + \text{Penalty}|$$

که در آن OF: مقدار تابع هدف مربوط به دبی اوج سیلاب خروجی در مقیاس زمانی ساعتی، Q_{peak} : دبی اوج سیلاب خروجی و Penalty: تابع جریمه مربوط به اختلاف بین دبی اوج سیلاب خروجی و دبی ایمن رودخانه در پایین‌دست سد در مدت سیلاب است. تابع جریمه، یک مسئله‌ی بهینه‌سازی محدود را با مجموعه‌ای از مسائل بدون قید جایگزین می‌نماید. مسائل بدون قید با افزودن یک شرط به تابع هدف به وجود می‌آیند که متشکل از یک پارامتر پناستی و میزانی از نقض قیود و محدودیت‌ها هستند. زمانی که محدوده‌ها نقض شوند، میزان نقض مخالف صفر و زمانی که محدوده‌ها نقض نشوند، میزان نقض برابر با صفر است. رابطه‌ی ۳:

$$\text{Penalty} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n_f} (Q_{peak} - Q_{safety}) & \text{if } Q_{peak} > Q_{safety} \\ 0 & \text{if } Q_{peak} \leq Q_{safety} \end{cases}$$

n_f : تعداد بازه‌های زمانی در هیدروگراف سیلاب خروجی، Q_{peak} : دبی اوج سیلاب خروجی و Q_{safety} : دبی ایمن رودخانه در پایین‌دست سد. در این پژوهش، میزان خروجی بهینه ناشی از مهار سیلاب در ماه‌های سیلابی، به‌عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شد. متغیرهای تصمیم برای این مدل شامل ضرایب تخلیه‌ی سیلاب (۱۵ متغیر تصمیم معادل ۱۵ تراز بحرانی) و زمان و ضریب پیش تخلیه‌ی سیلاب (۲ متغیر تصمیم) است.

قیود قابل تعریف برای این مدل، به شرح زیر است:

۱. محدودیت ثابت نگه داشتن نسبی تراز سطح آب در مخزن که به‌صورت رابطه‌ی ۴ تعریف می‌شود. این اختلاف حجم نباید بیشتر از ۱۰ درصد باشد [۲۰]. در صورت حذف این محدودیت، حجم ذخیره‌ی مخزن در زمان خاتمه‌ی سیلاب می‌تواند بسیار بیشتر یا

کمتر از حجم ذخیره‌ی مخزن در زمان شروع سیلاب باشد. در صورتی که حجم ذخیره‌ی مخزن در انتهای سیلاب کاهش یابد، می‌تواند در تناقض با سایر اهداف بهره‌برداری از مخزن نظیر ذخیره‌سازی آب برای تولید برق و یا تأمین نیازهای آبی باشد. همچنین در صورتی که حجم ذخیره‌ی مخزن در زمان خاتمه‌ی سیلاب افزایش یابد، مخزن برای مهار سیلاب‌های محتمل بعدی آماده نخواهد بود.

$$\left| \frac{S_1 - S_N}{S_N} \right| \leq 0.1 \quad \text{رابطه‌ی ۴:}$$

S_1 : حجم اولیه‌ی ذخیره‌ی مخزن و S_N : حجم نهایی ذخیره‌ی مخزن در پایان سیلاب

۲. محدودیت حداقل و حداکثر حجم خروجی از مخزن که به صورت رابطه‌ی ۵ تعریف می‌شود.

$$0 \leq R_t \leq R_{\max} \quad \text{رابطه‌ی ۵:}$$

R_t : حجم جریان خروجی از مخزن در ماه t ام و $R_{\max}$: حداکثر حجم جریان خروجی از مخزن (معادل حداکثر ظرفیت خروجی از تخلیه‌کننده‌های مخزن)

۳. محدودیت اختلاف حجم خروجی‌های متوالی از مخزن که به صورت رابطه‌ی ۶ تعریف می‌شود. این اختلاف حجم نباید بیشتر از ۴۰ تا ۶۰ درصد باشد [۲۰]. این محدوده با توجه به بازه‌ی تغییرات جریان ورودی در هیدروگراف ثبت شده‌ی متغیر در نظر گرفته شد. در صورت حذف این محدودیت، نوسانات شدیدی در هیدروگراف خروجی از مخزن ایجاد خواهد شد که عملاً تدوین سیاست بهره‌برداری را با مشکل مواجه می‌نماید.

$$\left| \frac{R_{t+1} - R_t}{R_{t+1}} \right| \leq m, \quad 0.4 \leq m \leq 0.6 \quad \text{رابطه‌ی ۶:}$$

R_t : حجم جریان خروجی از مخزن در ماه t ام و R_{t+1} : حجم جریان خروجی از مخزن در ماه $(t+1)$ ام.

مدل شبیه‌سازی سیلاب

به منظور تهیه‌ی مدل شبیه‌سازی سیلاب در مخازن با سرریزهای بدون دریچه که بالاتر از تراز نرمال کنترل‌ی روی میزان سرریز آب از سد وجود ندارد، به شرح ذیل عمل شده است:

۱. در ترازهای پایین‌تر از تراز نرمال سد (۳۰۱ متر)، حجم مفید مخزن (فاصله‌ی بین حداقل و حداکثر تراز ذخیره‌ی مخزن، ۲۵۹ و ۳۰۱ متر) به تعدادی پله (۱۵ پله) با فاصله‌ی مساوی تقسیم شده است. تراز قرارگیری این پله‌ها ثابت بوده که به عنوان ترازهای بحرانی تلقی شده است. تعداد ترازهای بحرانی برای هر سد به دلخواه کاربر با فاصله‌ی یکسان بین پله‌ها انتخاب شد. هر چه فاصله بین پله‌ها کوچک‌تر انتخاب شود، دقت محاسبات افزایش خواهد یافت. با رسیدن تراز سطح

آب مخزن به این پله‌ها در زمان سیلاب، دبی ثابت از پیش تعیین شده‌ای از مخزن خارج شده که به عنوان دبی‌های بحرانی تلقی شده است. مهم‌ترین معیار تعیین دبی‌های بحرانی، استفاده از حداکثر ظرفیت مخزن برای کنترل سیلاب است، به گونه‌ای که بازشدگی دریچه نه آنقدر کم باشد که سد به ازای سیلاب‌های مختلف، خصوصاً سیلاب طراحی دچار روگذری شود و نه آنقدر زیاد باشد که بدون این‌که از ظرفیت مخزن برای ذخیره‌ی سیلاب استفاده شود، سبب خسارت ناشی از سیلاب در پایین‌دست شود. دبی خروجی در هر پله به گونه‌ای انتخاب شد که تخلیه‌کننده‌های سد، ظرفیت عبور آن را داشته باشد. بنابراین پس از تعیین دبی خروجی، کنترل شد که دبی هر پله، از دبی به دست آمده از رابطه‌ی دبی-اشل تخلیه‌کننده‌های سد بیشتر نشده باشد. همچنین دبی خروجی از هر پله در شاخه‌ی صعودی هیدروگراف به نحوی تعیین شد که بزرگ‌تر یا مساوی دبی پله‌ی قبل باشد و برعکس. دبی خروجی از هر پله با استفاده از مدل شبیه‌سازی-بهنه‌سازی که در ادامه توضیح داده شده، تعیین شده است [۱۹].

۲. در ترازهای بالاتر از تراز نرمال سد (۳۰۱ متر)، دبی خروجی از مخزن سد معادل حداکثر ظرفیت سرریز در تراز سرریز در نظر گرفته شده است.

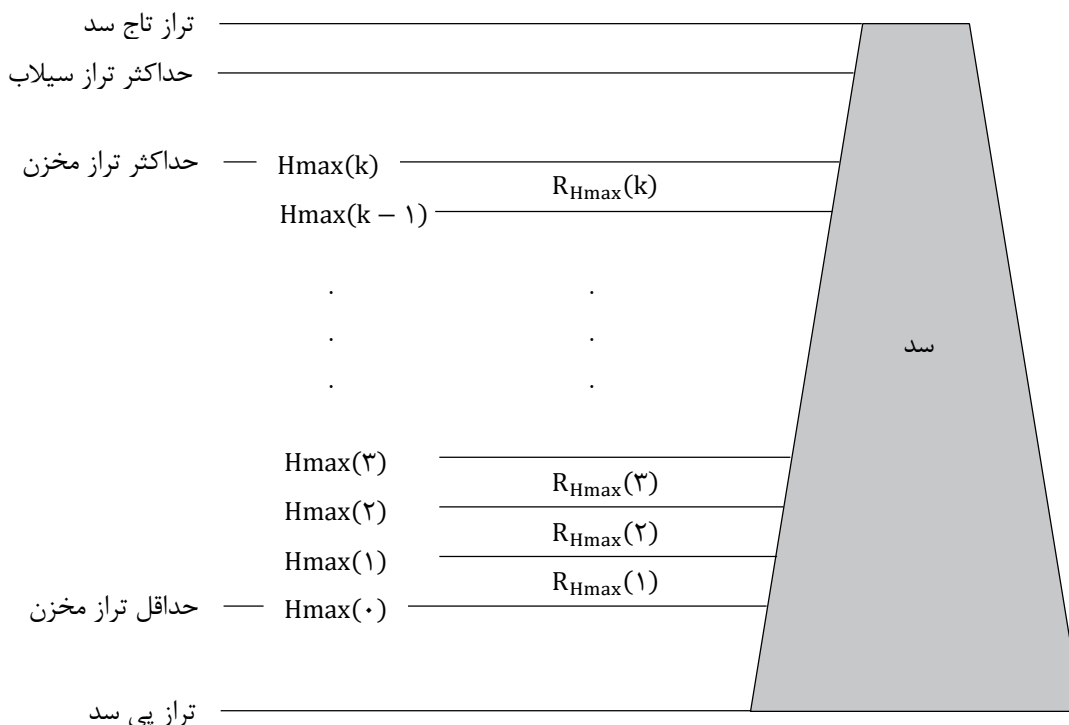
هدف اصلی از مدل بهینه‌سازی تعیین دبی‌های بحرانی سدهای مختلف است. برای نیل به اهداف فوق و مقید کردن متغیرهای تصمیم‌گیری در مسئله‌ی بهینه‌سازی از روابط ۸ الی ۱۲ استفاده شد. در تصویر ۱ موقعیت شماتیک (طرح‌وار) ترازها و دبی‌های بحرانی در روش شبیه‌سازی پله‌ای ترسیم شده است.

روندیابی سیلاب در مخزن سد

روندیابی سیلاب عبارت است از تعیین هیدروگراف سیلاب خروجی با داشتن هیدروگراف سیلاب ورودی به مخزن سد. در روندیابی مخزن رابطه‌ی ۷ اساس تمام روش‌های روندیابی ذخیره‌ای است، این معادله به صورت مستقیم قابل حل نیست، لذا به منظور حل این معادله باید از روش‌های عددی تفاضلات محدود (روش‌های عددی اولر، اولر اصلاح شده، رانگ کوتای درجه سه و رانگ کوتای درجه چهار) استفاده نمود.

$$\Delta H = \frac{I(t) - O(H)}{A(H)} \times \Delta t \quad \text{رابطه‌ی ۷:}$$

که در آن: ΔH : تغییرات تراز آب، $I(t)$: حجم جریان ورودی به مخزن نسبت به زمان، $O(H)$: حجم جریان خروجی از مخزن نسبت به تراز آب، $A(H)$: سطح مخزن نسبت به تراز آب و Δt : تغییرات زمان باید به قدری کوچک انتخاب شود که بتوان در طی آن تغییرات I و O را به صورت خطی فرض نمود. معمولاً Δt حدود 1/6 زمان رسیدن هیدروگراف ورودی به نقطه‌ی اوج در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش، براساس اصول و مبانی فرایند روندیابی سیلاب یک برنامه‌ی کامپیوتری به زبان فرترن تهیه شد.



تصویر ۱: موقعیت شماتیک (طرح‌واره) ترازها و دبی‌های بحرانی در روش شبیه‌سازی پله‌ای

نحوه‌ی شبیه‌سازی سیلاب

رابطه‌ی ۱۲:

$$\text{Outflow} = \text{Pre Outflow} + R_{c_{H_{\max}}}(15) + Q_s(i)$$

که در آن: i : شماره‌ی تراز سرریز، $R_{c_{H_{\max}}}(15)$: دبی خروجی بحرانی در تراز بحرانی پانزدهم (متر مکعب بر ثانیه) و $Q_s(i)$: حداکثر ظرفیت سرریز در تراز سرریز (متر مکعب بر ثانیه) است.

نحوه‌ی شبیه‌سازی پیش تخلیه‌ی سیلاب

به منظور کاهش دبی اوج سیلاب و کاهش خسارت سیلاب، قبل از ورود سیلاب به مخزن سد، حجمی از مخزن سد تخلیه خواهد شد لذا یکی دیگر از اهداف مدل بهینه‌سازی تعیین زمان و دبی پیش تخلیه‌ی سیلاب است. برای نیل به اهداف فوق و مقید کردن متغیرهای تصمیم‌گیری در مسئله‌ی بهینه‌سازی از روابط ۱۳ و ۱۴ استفاده شد.

$$\text{Pre Time} = D(1)$$

رابطه‌ی ۱۳:

$$\text{Pre Outflow} = D(2) + Q_{B_{\max}}(i) \quad \text{رابطه‌ی ۱۴:}$$

که در آن: $D(1)$ و Pre Time : زمان پیش تخلیه‌ی سیلاب (این مقدار بین صفر و یک بوده و با استفاده از مدل بهینه‌سازی تعیین می‌شود)، $D(2)$: ضریب پیش تخلیه‌ی سیلاب (این ضریب بین صفر و یک بوده و با استفاده از مدل بهینه‌سازی تعیین می‌شود)، $Q_{B_{\max}}(i)$: حداکثر دبی عبوری از تخلیه‌کننده‌ی تحتانی در تراز i ام (متر مکعب بر ثانیه) و Pre Outflow : دبی پیش تخلیه‌ی سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) است.

در ترازهای پایین‌تر از تراز نرمال از روابط ۸ الی ۱۱ استفاده شد: (شاخه‌ی صعودی هیدروگراف (رابطه‌ی ۱۰) و شاخه‌ی نزولی هیدروگراف (رابطه‌ی ۱۱))

$$R_{H_{\max}}(k) = Q_{B_{\max}}(k)$$

رابطه‌ی ۸:

رابطه‌ی ۹:

$$R_{c_{H_{\max}}}(k) = R_{H_{\max}}(k-1) + C(k) \times (R_{H_{\max}}(k) - R_{H_{\max}}(k-1))$$

رابطه‌ی ۱۰:

$$\text{if } \text{Inflow} < R_{c_{H_{\max}}}(k) \rightarrow \text{Outflow} = \text{Pre Outflow} + \text{Inflow}$$

$$\text{if } \text{Inflow} \geq R_{c_{H_{\max}}}(k) \rightarrow \text{Outflow} = \text{Pre Outflow} + R_{c_{H_{\max}}}(k)$$

رابطه‌ی ۱۱:

$$\text{if } \text{Inflow} < R_{c_{H_{\max}}}(k) \rightarrow \text{Outflow} = \text{Inflow}$$

$$\text{if } \text{Inflow} \geq R_{c_{H_{\max}}}(k) \rightarrow \text{Outflow} = R_{c_{H_{\max}}}(k)$$

که در آن: k : شماره‌ی تراز بحرانی $(k = 1, 2, 3, \dots, 15)$ ، $H_{\max}(k)$: تراز بحرانی k ام (متر)، $Q_{B_{\max}}(k)$ و $R_{H_{\max}}(k)$: حداکثر دبی عبوری از تخلیه‌کننده‌ی تحتانی در تراز بحرانی k ام (متر مکعب بر ثانیه)، $C(k)$: ضریب تخلیه‌ی سیلاب (این ضریب بین صفر و یک بوده و با استفاده از مدل بهینه‌سازی تعیین می‌شود)، $R_{c_{H_{\max}}}(k)$: دبی خروجی بحرانی در تراز بحرانی k ام (متر مکعب بر ثانیه)، Pre Outflow : دبی پیش تخلیه‌ی سیلاب (متر مکعب بر ثانیه)، Inflow : دبی سیلاب ورودی (متر مکعب بر ثانیه) و Outflow : دبی سیلاب خروجی (متر مکعب بر ثانیه)

در ترازهای بالاتر از تراز نرمال از رابطه‌ی ۱۲ استفاده شد:

جدول ۳: پارامترهای کنترلی مدل بهینه‌سازی SA

نام تابع	T_0	T_f	B	Epoch	It	EBS	K_{div}
OF	۵۰۰	۱	۰/۵	۵۰	۱۰۰۰	۰/۰۱	۱۰

جدول ۴: حد بالا، حد پایین و طول گام تصادفی متغیرهای تصمیم

ضرایب تخلیه سیلاب	زمان پیش تخلیه سیلاب (ساعت)	ضریب پیش تخلیه سیلاب
۰	۰	۰
۱	۷۲	۱
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

بحث و نتایج

تهیه‌ی مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی سیلاب (FLOOD ROUTING-SA)

در این پژوهش، کد مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی سیلاب به زبان فرترن تهیه شد. در مدل تهیه شده، مدل شبیه‌سازی فرایند روندیابی سیلاب به منزله‌ی یک زیر برنامه برای مدل بهینه‌سازی SA تعریف شده و به این ترتیب مدل ترکیبی FLOOD ROUTING-SA شکل گرفت. مدل بهینه‌سازی SA، شامل دو فایل ورودی SA PARAMETERS و INPUT و یک فایل خروجی OUTPUT است. در فایل ورودی SA PARAMETERS، پارامترهای مدل بهینه‌سازی SA، پس از یک سری اجراهای اولیه انتخاب می‌شوند. پس از تحلیل حساسیت، پارامترهای کنترلی مناسب برای همگرایی مدل به نقطه‌ی بهینه‌ی سراسری در تابع هدف مورد استفاده برای اجرای نهایی مدل ترکیبی به دست آمد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. در اجرای نهایی مدل، ۱۲۴۴۷ تکرار انجام و در نهایت از بین این تکرارها، ۵ مورد بهبود در مقدار تابع هدف (انتقال‌های رو به پایین) مشاهده شد. در اجرای نهایی مدل، مقدار تابع هدف ۷۳۹/۸۱ به دست آمد. به کمک روش مجانب مشاهده شد که با ضریب همبستگی ۰/۹۳ تابع هدف به سمت نقطه‌ی بهینه سراسری ۷۳۱/۲۲ میل می‌نماید.

در فایل ورودی INPUT، حد پایین، حد بالا و طول گام تصادفی متغیرهای تصمیم، برای انتخاب فضای شدنی یا مجاز تعریف می‌شوند. در این پژوهش، ۱۷ متغیر تصمیم تعریف شد که ۱۵ متغیر تصمیم به منزله‌ی ضرایب تخلیه‌ی سیلاب در ۱۵ تراز مختلف مخزن از حداقل تا حداکثر تراز ذخیره‌ی مخزن، یک متغیر تصمیم به عنوان زمان پیش تخلیه‌ی سیلاب و یک متغیر تصمیم به عنوان ضریب دبی پیش تخلیه‌ی سیلاب در نظر گرفته شد. در جدول ۴ حد بالا، حد پایین و طول گام تصادفی متغیرهای تصمیم برای انتخاب تصادفی ارائه شده است. در فایل خروجی OUTPUT، مقادیر متغیرهای تصمیم و تابع هدف بهینه محاسبه می‌شوند.

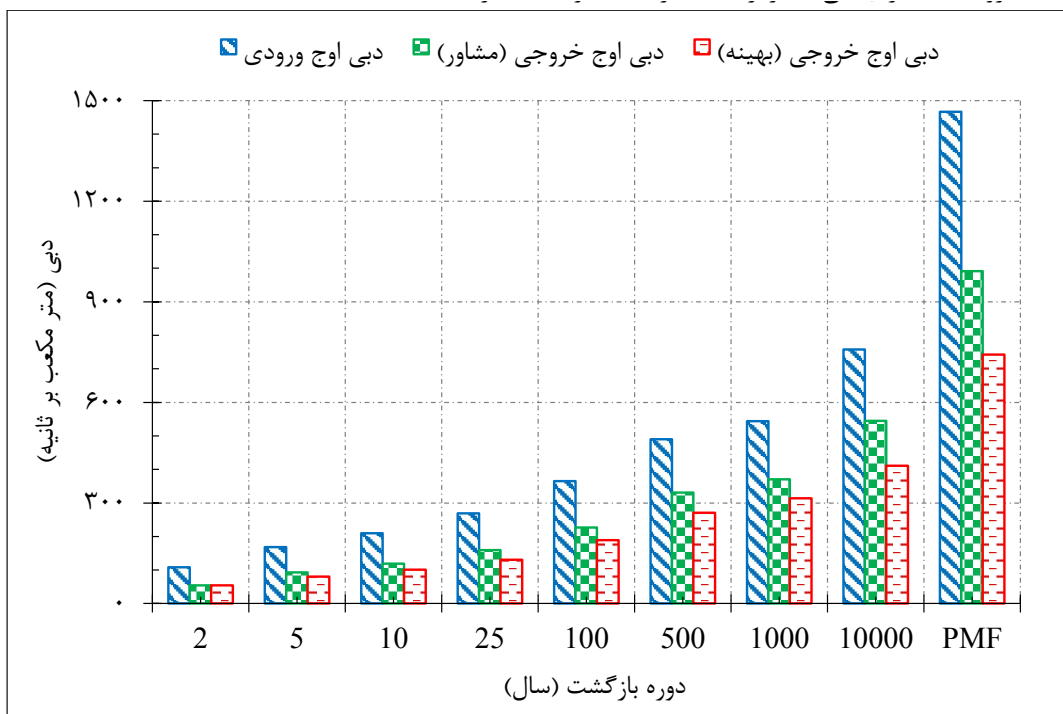
روندیابی سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف

مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی سیلاب (FLOOD ROUTING-SA) این امکان را ایجاد می‌نماید که با حداقل میزان حجم آب خروجی از مخزن سد پیش از وقوع سیلاب

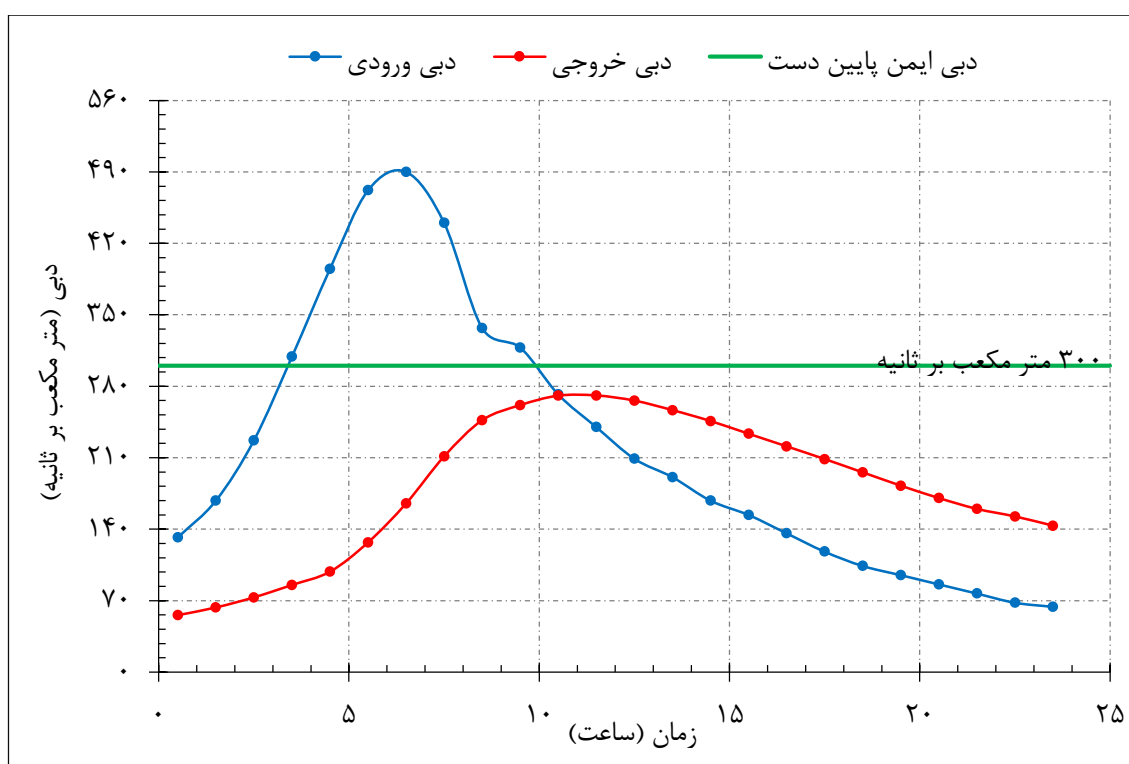
بتوان حجم آب مازاد بر دبی ایمن رودخانه در پایین دست سد در زمان وقوع سیلاب را کاهش داد. به این ترتیب می‌توان با کاهش دبی اوج سیلاب، خسارت ناشی از سیلاب در پایین دست سد را به حداقل رساند. در تصویر ۲ مقایسه بین دبی اوج خروجی تعیین شده توسط مشاور و روندیابی شده توسط مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی سیلاب برای سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف ارائه شد. با توجه به ظرفیت عبور سیلاب رودخانه‌ی بابل رود، خسارت سیلاب پایین دست رودخانه به ازای دبی کمتر از ۳۰۰ متر مکعب بر ثانیه صفر است.

دبی اوج ورودی سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۵۰۰ ساله، ۴۹۰ متر مکعب بر ثانیه و زمان وقوع آن، ۶/۵ ساعت است. با اجرای مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی سیلاب و پس از روندیابی سیلاب، مقدار دبی اوج خروجی بهینه با تأخیر زمانی ۵ ساعت، ۲۷۰/۹ متر مکعب بر ثانیه و زمان وقوع آن، ۱۱/۵ ساعت از زمان شروع سیلاب به دست آمد. تراز مخزن سد در پایان سیلاب ۰/۶۲ متر افزایش یافت. نتایج نشان داد که دبی اوج خروجی بهینه کمتر از دبی اوج خروجی محاسبه شده توسط شرکت مهندسين مشاور مهاب قدس (۳۳۱/۵ متر مکعب بر ثانیه) است و مشاور افزایش تراز مخزن سد در پایان سیلاب را ۱/۳۴ متر محاسبه نمود. در زمان وقوع سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۵۰۰ ساله، نیازی به پیش تخلیه‌ی مخزن سد نیست، زیرا دبی اوج خروجی بهینه کمتر از دبی ایمن رودخانه در پایین دست سد (۳۰۰ متر مکعب بر ثانیه) به دست آمد و می‌توان از ظرفیت مخزن برای ذخیره‌ی این سیلاب استفاده نمود. حجم سیلاب ورودی به مخزن سد با دوره‌ی بازگشت ۵۰۰ ساله، ۱۸/۶۲ میلیون متر مکعب است که براساس فرایند روندیابی سیلاب، حجم سیلاب خروجی از مخزن سد ۱۵/۳۵ میلیون متر مکعب پیش‌بینی شد. در تصویر ۳ روندیابی سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۵۰۰ ساله نمایش داده شد.

دبی اوج ورودی سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰ ساله، ۵۴۴ متر مکعب بر ثانیه و زمان وقوع آن، ۶/۵ ساعت است. با اجرای مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی سیلاب و پس از روندیابی سیلاب، مقدار دبی اوج خروجی بهینه با تأخیر زمانی ۴ ساعت، ۳۱۳/۹ متر مکعب بر ثانیه و زمان وقوع آن، ۱۰/۵ ساعت از زمان شروع سیلاب به دست آمد. تراز مخزن سد در پایان سیلاب ۰/۶۲ متر افزایش



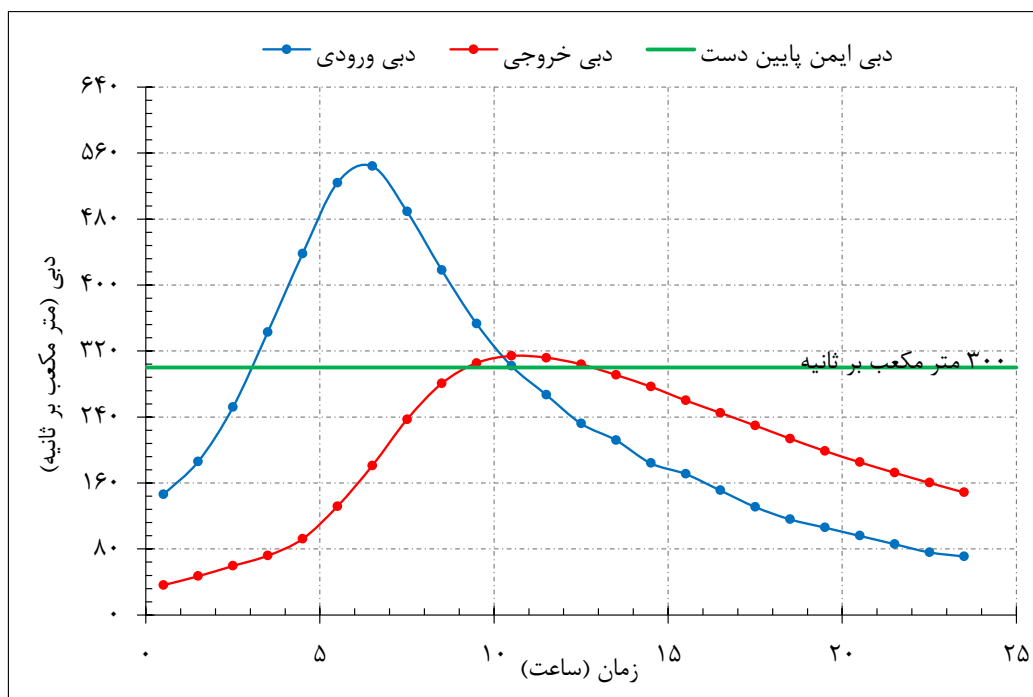
تصویر ۲: مقادیر دبی اوج سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف در مقاطع ورودی و خروجی از مخزن سد البرز



تصویر ۳: روندیابی سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۵۰۰ ساله

بهینه بیشتر از دبی ایمن رودخانه در پایین دست سد (۳۰۰ متر مکعب بر ثانیه) به دست آمد و پایین دست سد تا حدودی (۱۲/۰ میلیون متر مکعب حجم آب رها شده‌ی مازاد بر حجم آب ایمن در رودخانه‌ی پایین دست) متحمل خسارت خواهد شد ولی نیازی به پیش تخلیه‌ی مخزن سد نیست. حجم سیلاب ورودی به مخزن

یافت. نتایج نشان داد که دبی اوج خروجی بهینه کمتر از دبی اوج خروجی محاسبه شده توسط شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس (۳۷۰/۵ متر مکعب بر ثانیه) است و مشاور افزایش تراز مخزن سد در پایان سیلاب را ۱/۳۴ متر محاسبه نمود. در زمان وقوع سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰ ساله، با وجود این که دبی اوج خروجی



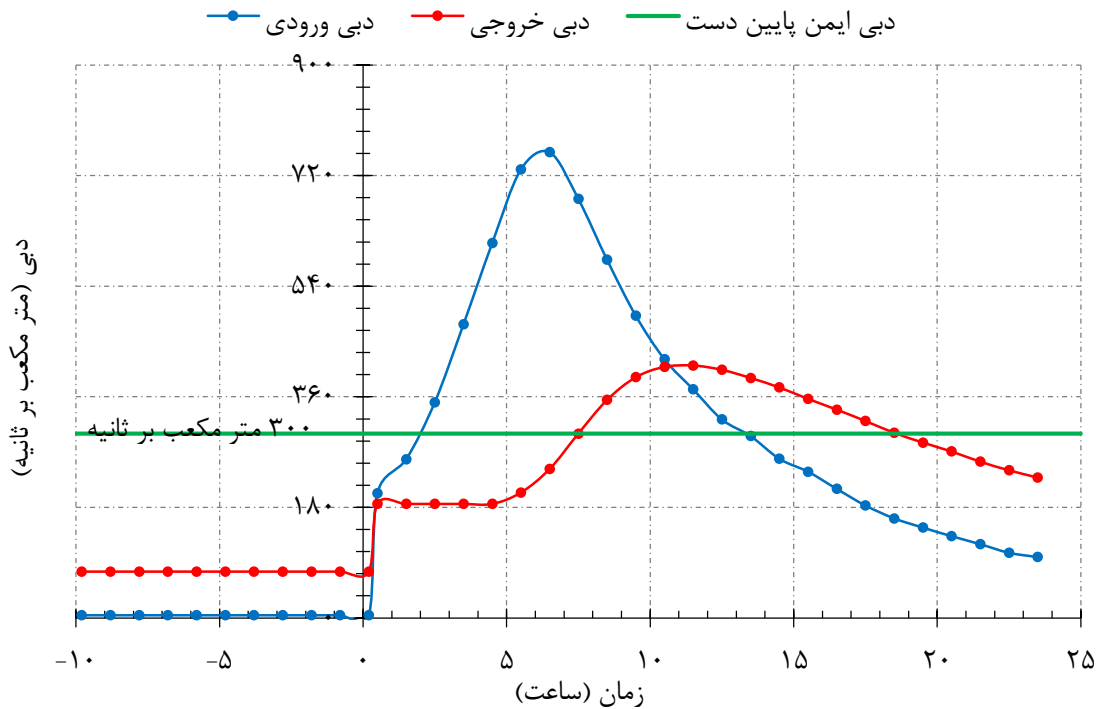
تصویر ۴: روندیابی سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰ ساله

شد. در تصویر ۵ روندیابی سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله نمایش داده شد.

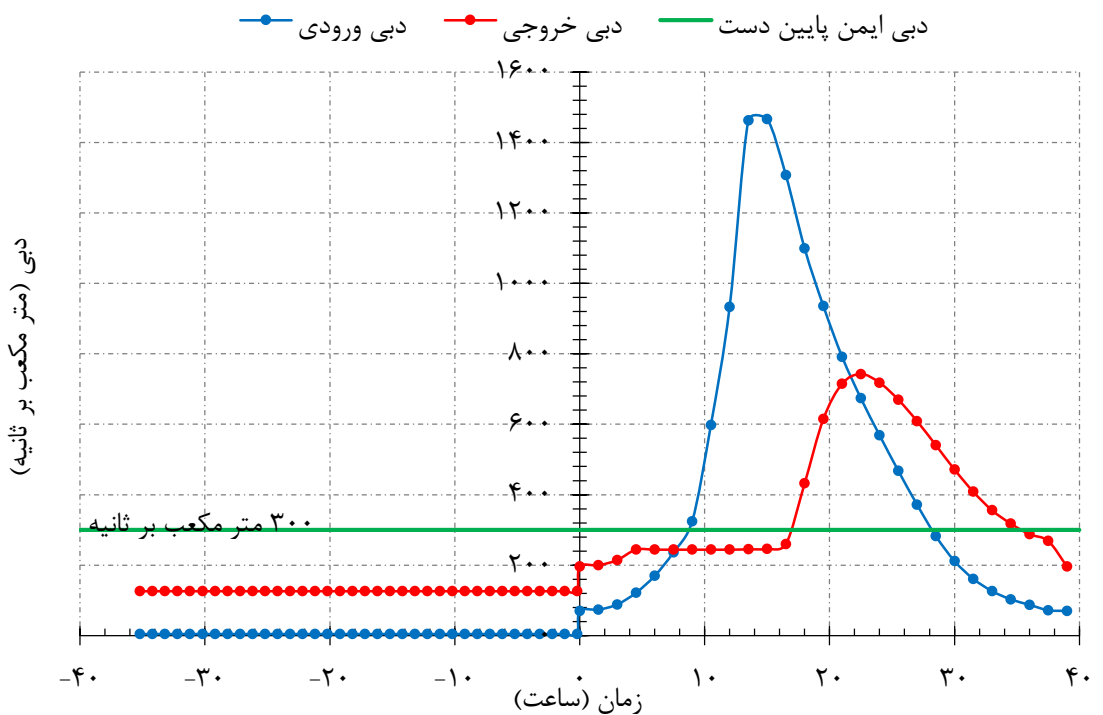
دبی اوج ورودی سیلاب PMF، $1466/5$ متر مکعب بر ثانیه و زمان وقوع آن، ۱۵ ساعت است. با اجرای مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی سیلاب و پس از روندیابی سیلاب، مقدار دبی اوج خروجی بهینه با تأخیر زمانی $7/5$ ساعته، $742/2$ متر مکعب بر ثانیه و زمان وقوع آن، $22/5$ ساعت از زمان شروع سیلاب به دست آمد. تراز مخزن سد در پایان سیلاب $0/17$ متر کاهش یافت. نتایج نشان داد که دبی اوج خروجی بهینه کمتر از دبی اوج خروجی محاسبه شده توسط شرکت مهندسین مشاور مه‌آب قدس ($991/3$ متر مکعب بر ثانیه) است و مشاور افزایش تراز مخزن سد در پایان سیلاب را $4/79$ متر محاسبه نمود. در زمان وقوع سیلاب PMF، ضرورت دارد به منظور کاهش خسارت ناشی از سیلاب در پایین‌دست سد، ۳۵ ساعت قبل از ورود سیلاب به مخزن سد، تخلیه‌ی مخزن با دبی ثابت صورت گیرد. این فرایند منجر خواهد شد تا در لحظه‌ی ورود سیلاب به مخزن سد، تراز مخزن حدود ۴ متر پایین‌تر از تراز نرمال سد قرار گیرد. حجم سیلاب ورودی به مخزن سد با دوره‌ی بازگشت PMF، $69/12$ میلیون متر مکعب است که براساس فرایند روندیابی سیلاب، حجم سیلاب خروجی از مخزن سد $53/88$ میلیون متر مکعب پیش‌بینی شد. طی این فرایند و قبل از ورود سیلاب به مخزن سد نیاز به $15/89$ میلیون متر مکعب پیش‌تخلیه‌ی سیلاب است که موجب خسارت ناشی از رهاسازی $15/81$ میلیون متر مکعب آب مازاد بر حجم آب ایمن در رودخانه‌ی پایین‌دست خواهد شد. در تصویر ۶ روندیابی سیلاب PMF نمایش داده شد.

نتایج نشان داد مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی سیلاب (FLOOD ROUTING-SA)، قابلیت کاهش دبی اوج خروجی

سد با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰ ساله، $20/83$ میلیون متر مکعب است که براساس فرایند روندیابی سیلاب، حجم سیلاب خروجی از مخزن سد $16/78$ میلیون متر مکعب پیش‌بینی شد. در تصویر ۴ روندیابی سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰ ساله نمایش داده شد. دبی اوج ورودی سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله، 758 متر مکعب بر ثانیه و زمان وقوع آن، $6/5$ ساعت است. با اجرای مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی سیلاب و پس از روندیابی سیلاب، مقدار دبی اوج خروجی بهینه با تأخیر زمانی ۵ ساعته، $410/9$ متر مکعب بر ثانیه و زمان وقوع آن، $11/5$ ساعت از زمان شروع سیلاب به دست آمد. تراز مخزن سد در پایان سیلاب $0/3$ متر افزایش یافت. نتایج نشان داد که دبی اوج خروجی بهینه کمتر از دبی اوج خروجی محاسبه شده توسط شرکت مهندسین مشاور مه‌آب قدس ($544/8$ متر مکعب بر ثانیه) است و مشاور افزایش تراز مخزن سد در پایان سیلاب را $2/38$ متر محاسبه نمود. در زمان وقوع سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله، ضرورت دارد به منظور کاهش خسارت ناشی از سیلاب در پایین‌دست سد، ۱۰ ساعت قبل از ورود سیلاب به مخزن سد، تخلیه‌ی مخزن با دبی ثابت صورت گیرد. این فرایند منجر خواهد شد تا در لحظه‌ی ورود سیلاب به مخزن سد، تراز مخزن حدود $0/5$ متر پایین‌تر از تراز نرمال سد قرار گیرد. حجم سیلاب ورودی به مخزن سد با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله، $29/03$ میلیون متر مکعب است که براساس فرایند روندیابی سیلاب، حجم سیلاب خروجی از مخزن سد $24/48$ میلیون متر مکعب پیش‌بینی شد. طی این فرایند و قبل از ورود سیلاب به مخزن سد نیاز به $2/75$ میلیون متر مکعب پیش‌تخلیه‌ی سیلاب است که موجب خسارت ناشی از رهاسازی $2/71$ میلیون متر مکعب آب مازاد بر حجم آب ایمن در رودخانه پایین‌دست خواهد



تصویر ۵: روندیابی سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله



تصویر ۶: روندیابی سیلاب PMF

شده توسط شرکت مهندسی مشاور مه‌آب قدس به‌دست آمده است که نشان‌دهنده‌ی قابلیت مدل در کاهش دبی اوج و به تأخیر انداختن زمان وقوع دبی اوج و نهایتاً کاهش خسارت ناشی از سیلاب‌ها است.

سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف را در مقایسه با دبی اوج خروجی محاسبه شده توسط شرکت مهندسی مشاور مه‌آب قدس دارد. برای سیلاب‌های ورودی به مخزن سد البرز با دوره‌ی بازگشت ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۰۰۰۰ ساله و سیلاب PMF، دبی اوج خروجی محاسبه شده توسط مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی سیلاب، به ترتیب ۱۸، ۲۵، ۲۵ و ۲۵ درصد کمتر از دبی اوج خروجی محاسبه

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی سیلاب (FLOOD ROUTING-SA) با هدف بهره‌برداری کوتاه‌مدت (در مقیاس زمانی ساعتی) کاهش خسارت سیلاب برای سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۰۰۰۰ ساله و سیلاب PMF تهیه شد. در این بخش، روش پلکانی برای شبیه‌سازی فرایند روندیابی سیلاب در مخزن سد پیشنهاد شد و تصمیم‌گیری در رابطه با این‌که در هر تراز بحرانی، چه مقدار دبی رها شود، فقط براساس تراز آب مخزن صورت گرفت. لذا تعیین میزان دبی خروجی در هر تراز مهم‌ترین اقدام در این مرحله از کار بوده که با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی بر پایه‌ی اصول الگوریتم SA تعیین شد. دبی خروجی از هر تراز به نحوی تعیین شد که هم ریسک خسارت سیلاب به نواحی پایین‌دست حداقل شود و هم ایمنی سد و رودخانه‌ی پایین‌دست به ازای هیچ سیلابی به خطر نیفتد. همچنین با فرض مجهز بودن حوضه به سیستم خودکار هشدار سیلاب و اطلاع از زمان و حجم سیلابی که قرار است وارد مخزن سد گردد، بخشی از مخزن تخلیه شده و با ایجاد حجم کنترل سیلاب از تخصیص حجم مجزایی از مخزن برای این منظور جلوگیری شد. با به‌کارگیری این سیاست بخشی از حجم مخزن به‌صورت دو منظوره استفاده شد. به عبارت دیگر از این حجم مخزن در زمان‌های عادی به‌عنوان حجم ذخیره‌ی آب و در زمان وقوع سیلاب به‌عنوان حجم کنترل سیلاب استفاده شد. مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری کوتاه مدت تهیه شده در این پژوهش، هیدروگراف سیلاب خروجی از مخزن سد با دوره‌های بازگشت مختلف را بهینه نمود. به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی سیلاب در سد مخزنی البرز سبب کاهش دبی اوج و به تأخیر انداختن زمان وقوع دبی اوج و نهایتاً کاهش خسارت ناشی از سیلاب‌ها، خصوصاً سیلاب ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله و سیلاب PMF در پایین‌دست سد شده که نشان‌دهنده‌ی عملکرد مناسب مدل بهینه‌سازی تهیه شده است. لذا ایجاد سیستم هشدار سیل به منظور آگاهی از میزان جریان ورودی به مخزن سد و تصمیم‌گیری برای پیش تخلیه‌ی مخزن، به همراه مدیریت مناسب بهره‌برداری از سد با حداکثر نمودن حجم آب در مخزن سد در انتهای سیلاب و حفظ ایمنی سد، نقش به‌سزایی در کاهش خسارت سیل ورودی به مخزن سد البرز خواهد داشت. نتایج نشان داد برای مهار سیلاب‌هایی با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰، نیازی به پیش تخلیه‌ی مخزن نیست و می‌توان با حداقل خسارت وارده به رودخانه‌ی پایین‌دست این سیلاب‌ها را مهار نمود. دبی اوج ورودی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله، ۷۵۸ متر مکعب بر ثانیه است. با اجرای مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی سیلاب، مقدار دبی اوج خروجی بهینه، ۴۱۰/۹ متر مکعب بر ثانیه به‌دست آمد که با تأخیر زمانی ۵ ساعته نسبت به دبی اوج ورودی سیلاب رخ می‌دهد. برای مهار سیلاب با دوری بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله، نیاز به ۱۰ ساعت پیش تخلیه‌ی مخزن است تا در لحظه‌ی ورود سیلاب به مخزن سد، تراز مخزن حدود ۰/۵ متر پایین‌تر از تراز نرمال سد قرار گیرد. دبی اوج ورودی سیلاب PMF

۵/۱۴۶۶ متر مکعب بر ثانیه است. با اجرای مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی سیلاب، مقدار دبی اوج خروجی بهینه، ۷۴۲/۲ متر مکعب بر ثانیه به‌دست آمد که با تأخیر زمانی ۷/۵ ساعته نسبت به دبی اوج ورودی سیلاب رخ می‌دهد. برای مهار سیلاب PMF، نیاز به ۳۵ ساعت پیش تخلیه‌ی مخزن است تا در لحظه‌ی ورود سیلاب به مخزن سد، تراز مخزن به ترتیب حدود ۴ متر پایین‌تر از تراز نرمال سد قرار گیرد که در صورت تجهیز نمودن حوضه‌ی آبریز سد البرز به سیستم هشدار سیلاب، می‌توان با اطلاع از زمان وقوع سیلاب و حجم سیلاب، پیش تخلیه‌ی مخزن را آغاز نمود و به این ترتیب از حجم کنترل سیلاب برای ذخیره‌ی آب در مخزن برای فصول زراعی استفاده نمود. در پایان مقایسه‌ی دقت، قابلیت و جواب‌های مدل‌های شبیه‌سازی - بهینه‌سازی تهیه شده با سایر مدل‌های بهینه‌سازی عددی در ترکیب با مدل شبیه‌سازی سیلاب در یک مطالعه‌ی موردی مشترک و ارائه‌ی روش مناسب بهینه‌سازی برای حل مدل‌های بهره‌برداری کوتاه مدت، برای کارهای تحقیقاتی آینده پیشنهاد می‌شود. نتایج کاربرد مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی سیلاب در کاهش خسارت سیلاب در این پژوهش با نتایج کاربرد این مدل در مطالعات ملک محمدی و همکاران [۵] و زرگر و همکاران [۹] مقایسه گردید. اجرای مدل‌های شبیه‌سازی - بهینه‌سازی سیلاب در سدهای مورد مطالعه، سبب کاهش قابل ملاحظه در خسارت سالانه‌ی سیلاب شده که نشان‌دهنده‌ی عملکرد مناسب مدل‌ها است.

پی‌نوشت

1. Ankang

منابع

1. Simonovic S.P. and Ahmad S. (2000). System dynamics modeling of reservoir operation for flood management. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14 (3): 190-198.
۲. یخکشی م. (۱۳۹۱). مدیریت سیلاب در سیستم رودخانه - مخزن (مطالعه موردی: سد نرمان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۳. یزدی ج. (۱۳۹۲). بهینه‌سازی اقدامات کنترل سیلاب در حوضه‌های آبریز با رویکرد غیر قطعی. رساله‌ی دکتری گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.
۴. کابوسی ک. و جلینی ر. (۱۳۹۵). بررسی شاخص‌های کارایی و نقش مخازن تأخیری در کنترل سیلاب خروجی از حوضه (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی جعفرآباد استان گلستان). نشریه‌ی حفاظت منابع آب و خاک، ۵ (۴): ۴۶-۳۵.
5. Malekmohammadi B., Zahraie B. and Kerachian R. (2011). Ranking solutions of multi-objective reservoir operation optimization models using multi-criteria decision analysis. *Expert Systems with Application*, 38: 7851-7863.
6. He Y., Xu Q., Yang SH. and Liao L. (2014). Reservoir flood control operation based on chaotic particle swarm optimization algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 38: 4480-4492.

7. Chou F.N-F. and Wu C-W. (2015). Stage-wise optimizing operating rules for flood control in a multi-purpose reservoir. *Journal of Hydrology*, 521: 245–260.
8. Luo J., Qic Y., Xie J. and Zhang X. (2015). A hybrid multi-objective PSO–EDA algorithm for reservoir flood control operation. *Applied Soft Computing*, 34: 526–538.
9. Zargar M., Samani H.M.V. and Haghighi A. (2016). Optimization of gated spillways operation for flood risk management in multi-reservoir systems. *Natural Hazards*, 82: 299–320
10. Uysal G., Akkol B., Topcu M.I., Sensoy A. and Schwanenberg D. (2016). Comparison of different reservoir models for short term operation of flood management. 12th International Conference on Hydro informatics, Procedia Engineering 154: 1385–1392.
11. Qi Y., Yu J., Li X., Wei Y. and Miao Q. (2017). Reservoir flood control operation using multi-objective evolutionary algorithm with decomposition and preferences. *Applied Soft Computing*, 50: 21–33.
۱۲. شرکت مهندسی مشاور ساز آب شرق. (۱۳۸۹). مطالعات بهنگام‌سازی اطلس منابع آب حوضه‌ی آبریز رودخانه‌های مازندران و شرق گیلان. جلد اول (آمار و اطلاعات و بررسی‌های مقدماتی آن).
۱۳. شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس. (۱۳۸۷). گزارش پیشرفت کار طرح سد مخزنی البرز.
14. Kirkpatrick S., Gelatt C.D. and Vecchi M.P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220: 671-680.
15. Zegordi S.H., Itoh K. and Enkawa T. (1995 a). A knowledgeable simulated annealing scheme for the early / tardy flow shop scheduling problem. *International Journal of Production Research*, 33: 1449-1466.
16. Metropolis N., Rosenbluth A., Teller A. and Teller E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *Journal of Chemical Physics*, 21: 1087-1092.
۱۷. محسنی موحد ا. (۱۳۸۳). تهیه مدل ریاضی بهینه‌سازی عملکرد هیدرولیکی کانال‌های آبیاری با استفاده از روش آنیلینگ شبیه‌سازی شده (SA) و تعیین ارزش نسبی شاخص‌های ارزیابی. رساله دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
18. Wilhelm M.R. and Ward T.L. (1987). Solving quadratic assignment problem by simulated annealing. *IIE Transactions*. 19 (1): 107-119.
۱۹. زرگر م.؛ سامانی ح.م.و.؛ حقیقی ع. (۱۳۹۴). بهینه‌سازی بهره‌برداری از سرریزهای دریچه‌دار در سیستم‌های چند مخزن با استفاده از الگوریتم ژنتیک با مطالعه‌ی موردی سیستم سدهای دز و بختیاری. نشریه علمی-پژوهشی هیدرولیک، انجمن هیدرولیک ایران، ۱۰ (۲): ۴۳–۲۷.
۲۰. زهرایی ب. و تکشی آ. (۱۳۸۷). کاربرد روش‌های الگوریتم ژنتیک و K- نزدیک ترین همسایه در تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن در زمان وقوع سیلاب. مجله علمی-پژوهشی تحقیقات منابع آب ایران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب، ۴ (۳): ۳۷–۲۷.

تحلیل و بررسی زمین لغزش ترانشه در راه ارتباطی خرم آباد - پل دختر

علی ویسکرمی*: دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش استخراج، veiskaramiali@yahoo.com
حسین نوفرستی: استادیار گروه معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

زمین لغزش ها از جمله حوادثی هستند که در دامنه های شیب دار به وقوع می پیوندند و همواره با خسارات مالی و تلفات جانی همراه اند. شیب ها سازه هایی ژئوتکنیکی هستند که در صورت رعایت نشدن زاویه ی مناسب در آن ها، لغزش دور از انتظار نخواهد بود. بنابراین همواره دغدغه ی اصلی مهندسان تعیین زاویه ی مناسب برای یک شیب است، به گونه ای که علاوه بر تحمیل نکردن خاک برداری بیش از اندازه، پایداری مناسب را برای سازه به همراه داشته باشد. در پروژه های راهسازی خصوصاً در مناطق کوهستانی، برای رعایت شیب مناسب جاده ی در دست احداث، نیاز به ایجاد ترانشه هایی در ناهمواری های واقع در مسیر عبور جاده است. در استان لرستان به علت وجود توپوگرافی کاملاً کوهستانی، ترانشه های متعددی در طول مسیرهای ارتباطی داخل استان احداث شده است. در این تحقیق، لغزش به وجود آمده در ترانشه واقع در ۳۵ کیلومتری مسیر ارتباطی شهرستان خرم آباد به شهرستان پل دختر، با دو روش تعادل حدی و روش عددی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از مدل سازی ها، نشان می دهند که زمین لغزش صورت گرفته هنوز کامل نشده است. ترک های کششی موجود در محل زمین لغزش اثبات کننده ی این ادعاست، که در صورت عدم پایداری مناسب این ترانشه باید منتظر فاجعه ای بزرگ بود.

واژه های کلیدی: زمین لغزش، تعادل حدی، روش عددی، خرم آباد، پل دختر

۱۱۹

شماره پانزدهم

بهار و تابستان
۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



Study and analysis slippage in a trenches on Khorramabad-Poldokhtar route

Ali Veiskarami^{1*}, Dr. Hossain Noferesti²

Abstract

Landslides are among the events occurring on steep slopes and are always accompanied with financial losses and loss of life. Slopes are geotechnical structures, in which slip is expected if the slope angle is not appropriately observed; So it has always been among engineers' concerns to determine the right angle for a dip in a way that not only doesn't it cause excessive excavation, but it also brings about proper stability to the structure. In road projects, especially in mountainous areas, it is necessary to create trenches in the ruggednesses located in the route of the road in order to observe the proper slope of the road. In Lorestan province, a large number of trenches has been created alongside communication routes due to the mountainous topography of the area. In this paper, an occurred slippage in a trench on 35th km in Khorramabad-Poldokhtar route has been studied by both limit equilibrium and numerical methods. The results of the modeling indicate that the landslide has not yet completely developed. And the tensile cracks in the landslide anticipate that in the absence of an appropriate stabilization of the trenches, a catastrophic event is not untemplated.

Keywords: Landslide, Limit equilibrium, Numerical methods, Khorramabad, Poldokhtar.

¹ Graduate Master of Mining Engineering, Email: veiskaramiali@yahoo.com

² Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand

مقدمه

زمین لغزش‌ها در طیف وسیعی از محیط‌ها از جمله مجتمع‌های فرورانش، کمان‌های آتشفشانی، گسل‌های تغییرری و محیط‌های درون ورقی به وقوع می‌پیوندند. علاوه بر این، زمین لغزش‌ها در هر نقطه از سطح زمین که در آنجا توپوگرافی دارای دامنه‌های شیبدار باشد یا جایی که لایه‌های مواد اشباع از آب در هر زاویه‌ای قابلیت حرکت بر روی دامنه‌ی شیبدار را داشته باشند، اتفاق می‌افتند. تحت چنین شرایطی، حرکت رو به پایین مواد بر روی شیب را با عنوان "حرکت توده‌ای مواد" بیان می‌کنند [۱].

هند دارای یکی از بزرگ‌ترین شبکه‌های جاده‌ای است که بیش از ۴۴۰۰۰ کیلومتر آن از کوهستان هیمالیا می‌گذرد. سیستم ارتباط جاده‌ای تنها ابزار برای حمل و نقل و ارتباط مردمی در منطقه‌ی پر از تپه‌ی هیمالیا است، بنابراین در رشد اقتصادی ناحیه نقش حیاتی بازی می‌کند و بر توسعه‌ی اقتصادی - اجتماعی ساکنان منطقه تأثیر بسزایی دارد. خطر زمین لغزش یکی از وسیع‌ترین خطرات پراکنده‌ای است که موجب بروز خسارات فراوان به جاده‌های کوهستانی هند می‌شود [۲].

در مورد ایران باید گفت با وجود دو رشته‌کوه البرز و زاگرس در شمال، شمال غرب و غرب کشور ایران و تمرکز جمعیت در این مناطق، نیاز به احداث مسیرهای ارتباطی بین مناطق مختلف، برای ایجاد رشد اقتصادی و اجتماعی همسان، احساس می‌شود. همچنین، به دلیل توپوگرافی ناهموار منطقه، احداث ترانشه در زمان ایجاد مسیرهای ارتباطی گریز ناپذیر است. استان لرستان به دلیل واقع شدن در رشته کوه زاگرس از نظر راهسازی از این حیث مستثنی نیست. محور ارتباطی خرم‌آباد - پل زال به منزله‌ی گلوگاه شاهراه ترانزیتی شمال - جنوب کشور، از مسیرهای پر پیچ و خم کوهستانی است که به دلیل گستردگی بیش از حد آن و عبور از واحدهای ژئومورفیک گوناگون همواره در معرض مخاطرات جاده‌ای ناشی از ناپایداری دامنه‌ای است [۳]. البته این محور ارتباطی دارای دو مسیر است که یک محور، آزادراه تازه تأسیسی است که در سال ۱۳۸۹ به بهره‌برداری رسید و محور دوم، مسیر قدیمی است که از شهرستان پل دختر عبور می‌کند و نسبت به آزادراه جدید الاحداث ۶۰ کیلومتر طولانی‌تر است [۴]. با وجود

تأسیس مسیر جدید همچنان مسیر قدیمی پررونق است و علاوه بر اهالی محلی، بیشتر کامیون‌داران برای فرار از نپرداختن عوارض آزادراه، تمایل به استفاده از این مسیر را دارند. بنابراین، اهمیت مسیر قدیمی بر کسی پوشیده نیست و نیاز به تعمیر و نگهداری در این مسیر احساس می‌شود.

مطالعه‌ی حاضر بر زمین لغزش ایجاد شده در مسیر قدیمی خرم‌آباد - پل زال صورت گرفته است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که روند ریزش روندی تدریجی است و با وجود اقدامات پایدارسازی صورت گرفته، اقدامی که شرایط ترانشه را بهینه سازد و باعث توقف کامل ریزش شود صورت نگرفته است. در این مقاله محدوده‌ی مورد مطالعه با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای، زمین‌شناسی منطقه، تجربیات حاصل از بازدید محلی و نتایج مدل‌سازی نرم‌افزاری به دو روش تعادل حدی^۱ و روش عددی^۲ مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. Slide برای روش تعادل حدی و Phase برای روش عددی نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش است.

موقعیت جغرافیایی و وضعیت زمین‌شناسی منطقه

زمین لغزش مورد مطالعه در منطقه‌ی ویسیان و در فاصله‌ی ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان خرم‌آباد اتفاق افتاده است (تصویر ۱). منطقه دارای اقلیم نیمه مرطوب با تابستان گرم و زمستان معتدل است [۵] بنابراین یخبندان‌های چشمگیری در منطقه وجود ندارد اما بعد از هر بارندگی احتمال وقوع زمین لغزش وجود خواهد داشت. زمین لغزش مورد مطالعه با استفاده از عکس‌های هوایی طی چند سال رصد شده است، ولی مدل‌سازی‌های صورت گرفته برای زمین لغزشی است که در پاییز ۱۳۹۴ به وقوع پیوسته است (البته از زمان دقیق وقوع زمین لغزش اطلاع درستی در دسترس نیست). میزان بارندگی در منطقه‌ی مورد نظر، طبق گزارش‌های اداره‌ی هواشناسی استان لرستان از ۱ مهر ۱۳۹۴ تا ۴ بهمن ۱۳۹۴ به میزان ۳۹۲٫۹ میلی‌متر بوده است که این میزان بارندگی نسبت به دوره‌ی آماری مشابه ۱۱۷٫۷ درصد افزایش داشته است [۶]. با توجه به آنچه گفته شد عامل اصلی این زمین لغزش می‌تواند ناشی از فشار منفذی آب زیرزمینی باشد.



تصویر ۱: موقعیت زمین لغزش بر روی نقشه

۱۲۰

شماره پانزدهم

بهار و تابستان
۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بحرین

پل دختر

تحلیل و بررسی زمین لغزش ترانشه در راه ارتباطی خرم‌آباد -



تصویر ۲: عکس هوایی سال ۲۰۱۰ از منطقه‌ی زمین لغزش، حدوداً یک سال بعد از ایجاد ترانشه



تصویر ۴: عکس هوایی سال ۲۰۱۳ از منطقه‌ی زمین لغزش



تصویر ۳: عکس هوایی سال ۲۰۱۱ از منطقه‌ی زمین لغزش

با بررسی عکس هوایی سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ منطقه، این احتمال می‌رود که پله‌ی ایمنی حفر شده در محدوده‌ی زمین لغزش یا احداث نشده است یا اینکه به دلیل حرکات اولیه دامن همان سال‌های اول از بین رفته باشد (تصویر ۲، ۳ و ۴).

با توجه به تصویر ۲ وجود خاک آهکی سفید رنگ بر روی دامن‌های آبرفتی رسی قرمز رنگ می‌تواند بیان‌کننده‌ی شروع یک زمین لغزش در این محدوده باشد (تصویر ۲ در فروردین ۱۳۸۹ گرفته شده است). اما متأسفانه به دلیل عدم توجه به این حرکات اولیه، در تصویر ۳ (این عکس در مرداد ماه ۱۳۹۰ گرفته شده است) تقریباً ۱۵ ماه بعد - به اندازه‌ی یک سال زراعی منطقه - حرکات دامن گسترش یافته است.

انتظار می‌رفت که حرکات ایجاد شده در دیواره طی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در سال‌های بعد باعث ایجاد زمین لغزش قابل توجهی شود ولی این اتفاق همان‌طور که در تصویر ۴ (این عکس در خرداد ماه ۱۳۹۲ گرفته شده است) مشاهده می‌شود، نیفتاده است. می‌توان علت عدم ریزش را در کاهش نزولات جوی طی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۹۱ بیان کرد.

اما همان‌طور که گفته شد در سال زراعی ۹۴ نزولات جوی نسبت به دوره‌ی آماری مشابه ۱۱۷٫۷ درصد افزایش داشته که این افزایش بارندگی باعث ایجاد ریزشی سهمگین در ترانشه‌ی مد نظر شده است (تصویر ۵). برای جلوگیری از زمین لغزش و کاهش خسارات ناشی از آن یک دیوار حفاظتی در پاشنه‌ی ترانشه احداث شده است، فونداسیون این دیوار بر روی سنگ بستر قرار

از نظر سنگ‌شناسی ترانشه‌ی مد نظر در سنگ‌های آهکی سازند آسماری که لایه‌ی آبرفتی عهد جدید آن را پوشانده است، ایجاد شده است. جنس لایه‌ی آبرفتی رسی است که جذب و نگهداری آب توسط این لایه شاید عامل مزیدی بر زمین لغزش مد نظر باشد.

ضخامت لایه‌ی آبرفتی متفاوت است و بیشتر بر روی دامن‌های شیب‌دار مشاهده می‌شود و به سمت ستیغ کوه این لایه ناپدید می‌شود. علاوه بر این از محل وقوع زمین لغزش به سمت شهر خرم‌آباد به صورت یک سراسیمی است که در بالای این سراسیمی خبری از این لایه‌ی آبرفتی نیست. در تصویر ۲ این موارد نشان داده شده‌اند. با توجه به موارد گفته شده به نظر می‌رسد لایه‌ی آبرفتی در محل وقوع زمین لغزش از ضخامت چندان زیادی برخوردار نباشد.

توصیف زمین لغزش

ترانشه‌ی مورد نظر در راستای طرح تعریض جاده‌ی خرم‌آباد به پل دختر، در سال ۱۳۸۸ و توسط اداره‌ی راهسازی شهرستان خرم‌آباد احداث شده است. این ترانشه دارای زاویه‌ی دامن‌های ۵۹ درجه و ارتفاع ۳۰ متر از پاشنه تا لبه حفاری شده است. به علت ارتفاع زیاد ترانشه برای جلوگیری از زمین لغزش احتمالی و همچنین ایجاد مانع برای جلوگیری از حرکت مواد بالای دامن به سمت پایین آن اقدام به احداث یک پله‌ی ایمنی در وسط ترانشه نموده‌اند (تصویر ۲).



تصویر ۵: نمایی از زمین لغزش صورت گرفته در سال ۱۳۹۴

در رابطه‌ی ۱، Q فشار آب منفذی در هر قطعه، c ، ϕ پارامترهای مؤثر مقاومت برشی خاک، وزن مخصوص توده سنگ، وزن مخصوص آب، ارتفاع آب در قطعه‌ی مورد بررسی، ارتفاع قطعه‌ی مورد مطالعه، شعاع دایره‌ی لغزش بحرانی، فاصله‌ی قائم بین مرکز دایره‌ی لغزش بحرانی و محل اعمال نیروی آب در ترک کششی، ارتفاع آب در ترک کششی، زاویه‌ی شیب قاعده‌ی قطعه و پهنای افقی هر قطعه است [۷]. از آنجایی که پیاده کردن روش‌های تعادل حدی برای دیواره‌های شیب‌دار با هندسه‌های پیچیده به روش دستی بسیار وقت‌گیر است، معمولاً از نرم‌افزارهای تجاری برای این منظور استفاده می‌شود [۷]. در مطالعه‌ی حاضر نیز از نرم‌افزار اسلاید^۸ که توسط شرکت راک‌ساینس^۹ توسعه داده شده است، استفاده گردید.

روش تنش - کرنش

در ارزیابی سازه‌های ژئوتکنیکی اغلب استفاده از روش‌های تعادل حدی برای تحلیل مسئله کافی است و روش‌های عددی پیشرفته^{۱۰} صرفاً برای بهبود بخشیدن و تکمیل نمودن این ارزیابی‌ها به کار برده می‌شوند. اما در برخی موارد لازم است که ارزیابی دقیقی از تنش‌ها و کرنش‌های موجود در شیب یا خاکریزهای خاکی^{۱۱} صورت پذیرد که در این موارد استفاده از روش‌های عددی نه تنها مطلوب بلکه ضروری است [۱۱].

در این تحقیق از روش عددی المان محدود^{۱۲} برای مدل‌سازی استفاده شده است. روش المان محدود نسبت به روش تعادل حدی دارای مزایایی، از جمله مدل کردن شیب‌ها با درجه‌ی واقع‌گرایی بسیار بالا (هندسه پیچیده، بارگذاری‌های متناوب، حضور تقویت‌کننده‌ها، عملکرد آب، قوانینی برای رفتارهای پیچیده‌ی خاک) و بهینه نمودن تصویرسازی تغییر شکل‌های ایجاد شده در شیب است [۹].

در روش المان محدود، مدل به منزله‌ی یک محیط پیوسته در نظر گرفته می‌شود و در صورت لزوم ناپیوستگی‌ها به صورت مجزا

دارد (تصویر ۵). گفتنی است که این دیوار حفاظتی در سال ۱۳۹۳ احداث شد.

تحلیل زمین لغزش

برای تحلیل زمین لغزش‌ها روش‌های مختلف تجربی، گرافیکی و ریاضی وجود دارد [۷]. روش‌های ریاضی روش‌های تقریباً جامع‌تری است و خود به دو گروه روش‌های تعادل حدی^۵ و تنش-کرنش^۶ تقسیم می‌شوند [۸]. روش‌های تعادل حدی در عین کارایی نسبت به روش‌های تنش-کرنش ساده‌تر و قابل فهم‌تر هستند [۹].

تعادل حدی

معمولاً در تمام روش‌های تعادل حدی توده‌ی خاک بالای سطح لغزش به قطعاتی قائم تقسیم می‌شود [۸]. نیروهای وارده بر هر قطعه جداگانه در تصویر ۶ نشان داده شده است. روش‌های متنوع تعادل حدی در زمینه‌ی فرضیات مربوط به معادلات تعادل نیروها و معادلات تعادل لنگرها حول نقطه‌ی مرکزی O اختلاف نظر دارند [۱۰].

در تحلیل زمین لغزش مورد نظر از روش ساده شده‌ی بیشاپ^۷ استفاده شد. در این روش از نیروی برشی ما بین قطعات صرف نظر شده و تلاش می‌شود تا با تغییر مابقی نیروهای وارده بر هر قطعه معادلات تعادل لنگرها و تعادل نیروهای قائم برقرار شود. فاکتور ایمنی به روش سعی و خطا و از طریق رابطه‌ی ۱ جستجو می‌گردد [۷].

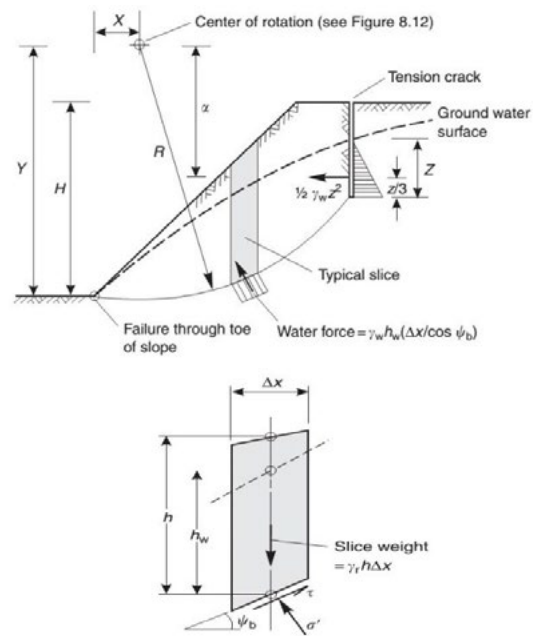
$$FS = \left(\sum X / (1 + Y / FS) \right) / (\sum Z + Q)$$

$$X = [c + (\gamma_r h - \gamma_w h_w) \tan \phi] (\Delta X / \cos \psi_b) \quad \text{رابطه‌ی ۱:}$$

$$Y = \tan \psi_b \tan \phi$$

$$Z = \gamma_r h \Delta X \sin \psi_b$$

$$Q = \frac{1}{2} \gamma_w Z^2 (\alpha / R)$$



تصویر ۶: نمایش شماتیکی (طرح کلی) یک قطعه و نیروهای وارده بر آن

و به تعداد محدود با المان‌های خاص به نام المان فصل مشترک شبیه‌سازی می‌شوند. محدوده‌ی مدل، یعنی زمین دربرگیرنده، به تعداد محدودی المان تقسیم می‌شود که از طریق نقاط گرهی در گوشه‌های المان‌ها به هم متصل هستند [۱۲]. در روش المان محدود، ارتباط هندسی و فیزیکی بین تمام المان‌های یک مدل به صورت یک مسئله‌ی ریاضی با معادلات ماتریسی انجام می‌شود. فرم کلی معادلات ماتریسی به صورت رابطه‌ی ۲ است [۱۳]:

$$[K] [D] = [F] \quad \text{رابطه‌ی ۲:}$$

که در آن:

K: ماتریس سختی

D: ماتریس جابه جایی (مجهول مسئله)

F: ماتریس بارهای وارده

این ماتریس برای تک تک المان‌ها تشکیل و در نهایت

ماتریس کلی مدل تشکیل می‌شود و حل کل معادلات به صورت همزمان انجام می‌شود [۱۳].

ایجاد مدل هندسی دامنه و انتخاب ویژگی‌های ژئوتکنیکی

برای تعیین وضعیت هندسی دامنه‌ی لغزش کرده از تصاویر ماهواره‌ای نرم‌افزار GOOGLE EARTH استفاده گردید. همچنین

با مراجعه به محل و با استفاده از GPS برداشت‌های کنترلی صورت پذیرفت. وضعیت دامنه در آستانه و پس از لغزش نیز به کمک اندازه‌گیری‌های انجام شده با GPS، متر و همچنین تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد. با استفاده از این اطلاعات در ابتدا مدل اولیه‌ی دوبعدی دامنه که مربوط به قبل از انجام هرگونه فعالیت راهسازی است در نرم افزار SLIDE6 ایجاد شد.

برای تکمیل مدل به شیب، امتداد لایه‌بندی و خواص ژئوتکنیکی لایه‌ها نیاز بود. شیب و امتداد لایه‌ها توسط کمپاس و مشاهده‌ی صحرایی تعیین گردید. خواص ژئوتکنیکی نیز بر اساس مشاهدات و برآورد صحرایی و همچنین کمک‌گیری از بانک اطلاعات ژئوتکنیکی نرم‌افزار ROCKDATA انتخاب شدند. شیب، امتداد لایه‌ها و خواص ژئوتکنیکی در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به آنچه در بخش‌های قبل در مورد زمان زمین لغزش و بارندگی‌های صورت گرفته در منطقه مورد نظر گفته شد، حضور آب زیرزمینی در دامنه و نقش مؤثر آن در ریزش قطعی است. به همین دلیل ضریب فشار آب زیرزمینی RU در لایه‌های مختلف دامنه معادل ۰٫۵ اعمال گردید.

بحث و بررسی نتایج

همان‌طور که در تصویر ۷ مشاهده می‌شود ترانشه‌ی مورد مطالعه کاملاً ناپایدار است و بحرانی‌ترین سطح لغزش تشخیص داده شده توسط نرم‌افزار Slide حجم بزرگی از جابه‌جایی در دیواره را به نمایش گذاشته است. با توجه به تصویر ۵ زمین لغزش صورت گرفته در ترانشه دارای عمق نهایی ۱٫۲ متر است. در صورتی که با مراجعه به تصویر ۷ عمق زمین لغزش اندازه گرفته شده حدوداً ۱۲ متر است. مقایسه‌ی صورت گرفته نشان می‌دهد که زمین لغزش رخ داده هنوز کامل نشده و احتمال ریزش مجدد در ترانشه وجود دارد. در بازدید حضوری از محل حادثه چندین ترک کششی در ترانشه‌ی موردی مطالعه مشاهده شدند (تصویر ۸) که وجود این ترک‌های کششی مبین کامل نبودن زمین لغزش رخ داده است و به صورت قطع هشدار برای زمین لغزشی بزرگ‌تر در ترانشه خواهد بود.

پله‌های حفاظتی به دو منظور در شیب‌ها ایجاد می‌شوند [۱۴]:

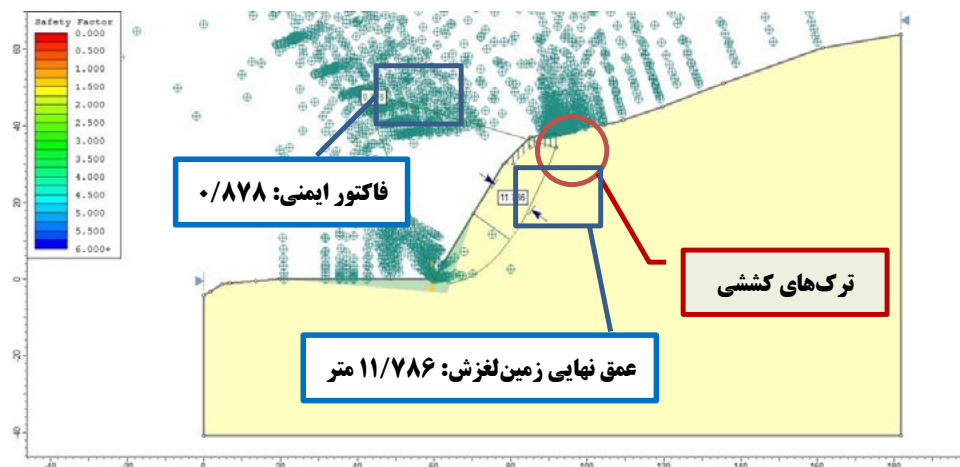
۱. جمع‌آوری موادی که از پله‌های بالایی به سمت پایین می‌لغزند.

۲. متوقف کردن ادامه‌ی حرکت قله‌سنگ‌ها به سمت پایین و کاهش خسارات احتمالی.

البته یک کاربرد عمده‌ی این پله‌ها کنترل شیب سراسری ترانشه است. اصلاح هندسی ترانشه برای دست یافتن به یک فاکتور ایمنی مناسب صورت می‌پذیرد. یکی از راه‌های اصلاح

جدول ۱: مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌های منطقه و دیوار حفاظتی

نوع لایه بندی	C (kN/m ²)	φ (درجه)	وزن مخصوص (kN/m ³)	شیب (درجه)	رنگ لایه
آبرفت	۶۸	۲۵	۲۰	۰	سبز
آهک	۱۵۴	۳۶٫۶۴	۲۵	۰	زرد
دیوار حفاظتی	۵۰۰۰	۳۵	۳۰	۹۰	نارنجی



تصویر ۷: فاکتور ایمنی، سطح لغزش و عمق نهایی سطح لغزش محاسبه شده برای زمین لغزش توسط نرم افزار Slide



(الف)

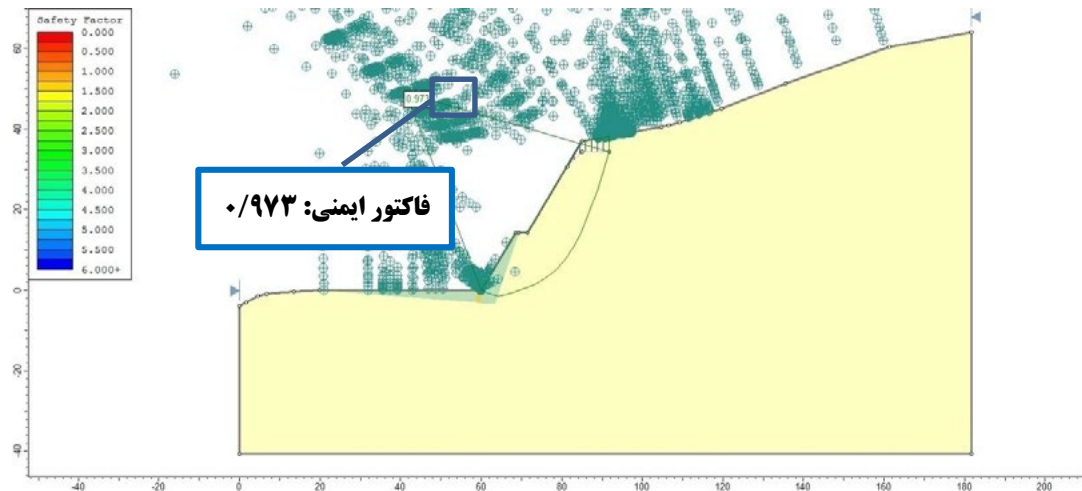


(ب)

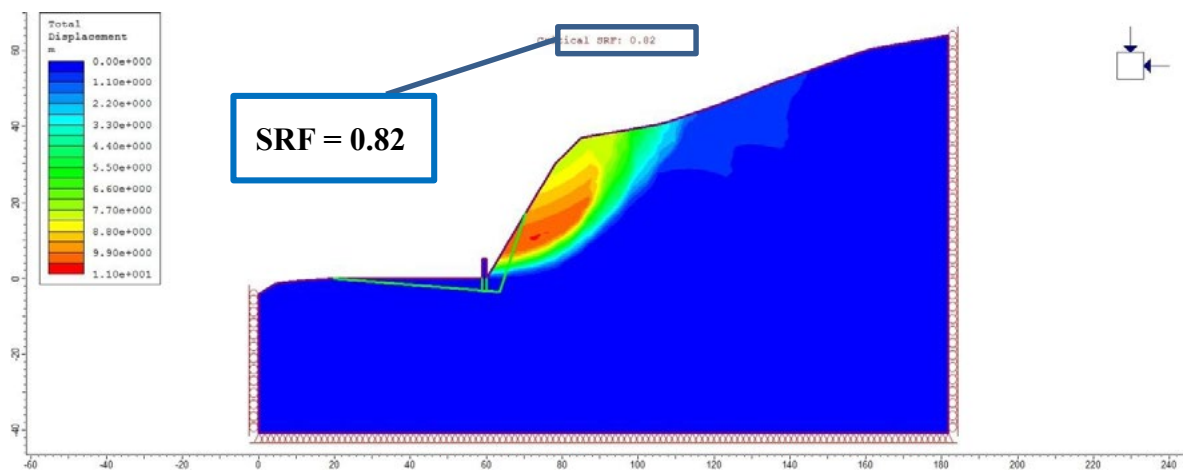
تصویر ۸: ترک‌های کششی مشاهده شده در محدوده ی ترانشه. الف. ترک‌های کششی بر روی لبه ی ترانشه؛ ب. ترک کششی بالاتر از لبه ترانشه

انتظار می‌رود که در صورت وجود پله ی حفاظتی خطر بالقوه زمین لغزش کاهش یابد و با تغییر فاکتور ایمنی مانع زمین لغزش شود. برای همین در مدل تغییراتی داده شد، به این صورت که یک پله ی حفاظتی به عرض ۳ متر در وسط رخساره ی ترانشه ایجاد شد

هندسی ترانشه برداشتن مصالح هوازده ی بالادست است که پله‌های حفاظتی راحتی دسترسی به افق‌های بالاتر را امکان‌پذیر می‌سازند.



تصویر ۹: تغییر فاکتور ایمنی بعد از اصلاح نمودن ترانشه



تصویر ۱۰: SRF محاسبه شده و سطح لغزش به وجود آمده در مدل

۱۲۵

شماره پانزدهم

بهار و تابستان
۱۳۹۸

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



پلدختر
تحلیل و بررسی زمین لغزش در راه ارتباطی خرم آباد -

افزایش ۱۱۷٫۸ درصدی نسبت به سال‌های قبل داشته‌اند، که حجم ریزش ترانشه در این سال اهمیت موضوع بارندگی را بیان می‌کند. فاکتور ایمنی ۰٫۸۷۸ به دست آمده برای ترانشه مؤید این موضوع است که ترانشه باید در همان سال ۱۳۹۴ به طور کامل ریزش می‌کرد اما شاید به خاطر داشتن پوشش جنگلی در منطقه زمین لغزش و مسلح شدن مواد سازنده ترانشه‌ی این ریزش به طور کامل و یکباره صورت نگرفته است. تحلیل‌های ریاضی عمق ریزش را حدود ۱۲ متر نشان می‌دهند اما عمق واقعی اندازه‌گیری شده ۱٫۲ متر است، با توجه به وجود ترک‌های کششی موجود در رخساره‌ی ترانشه و تفاوت عمق‌های ریزش این نتیجه حاصل می‌شود که این زمین لغزش هنوز کامل نشده و در حال گسترش است.

متأسفانه در پروژه‌ی مورد مطالعه با وجود تمهیداتی که برای پایدارسازی استفاده شده بود، زمین لغزش در طی سال‌هایی که از احداث ترانشه می‌گذشت در حال افزایش بوده و هست. عدم توجه به حرکات دامنه در طی سال‌های اولیه‌ی احداث ترانشه، عدم نظارت راهبردی بر پروژه و بی‌اهمیت بودن به واقعه در حال اتفاق باعث شده است که وضعیت زمین لغزش در این ترانشه به مرز بحران برسد. چنانچه در این مقاله نشان داده شد، با اعمال یک

و زاویه‌ی دو رخساره معادل زاویه‌ی در نظر گرفته شده برای مدل بدون پله‌ی حفاظتی، معادل ۵۹ درجه، در نظر گرفته شد. این تغییر در مدل باعث کاهش ۳ درجه‌ای شیب کلی ترانشه‌ی مورد مطالعه گردید. همان‌طور که در تصویر ۹ مشاهده می‌شود تغییرات اصلاحی داده شده در مدل باعث تغییر فاکتور ایمنی از ۰٫۸۷۸ به ۰٫۹۷۳ شدند.

در ادامه برای ارزیابی نتایج به دست آمده از نرم‌افزار Slide و تکمیل نمودن تحلیل‌های حرکات دامنه‌ی ترانشه، مدل ساخته شده در نرم‌افزار Slide به نرم‌افزار Phase انتقال داده شده و نتایج آن در تصویر ۱۰ آورده شده‌اند. همان‌طور که در تصویر ۱۰ مشاهده می‌شود نتایج تحلیل عددی معادل با تحلیل تعادل حدی هستند. تشابه جواب‌های هر دو تحلیل دال بر صحت مدل‌سازی است.

نتیجه‌گیری

بررسی عکس‌های هوایی، بازدید از محل حادثه، آمار بارندگی‌های منطقه و نتایج تحلیل‌های نرم‌افزاری، نشان می‌دهند که زمین لغزش رخ داده در سال ۱۳۹۴ در ترانشه‌ی مورد مطالعه هنوز کامل نشده است. در سال ۱۳۹۴ بارندگی‌ها

پله‌ی حفاظتی به عرض ۳ متر و اصلاح شیب ترانشه به اندازه‌ی ۳ درجه فاکتور ایمنی ترانشه از ۰.۸۷۸ به ۰.۹۷۳، تغییر می‌کند و این به معنی رسیدن به پایداری نسبی است.

مسئله‌ی بعدی ایجاد دیواره‌ای با کمترین کارایی در پاشنه‌ی شیب است که با اولین سقوط جدی مواد از ترانشه دچار خسارت شدید شده است. البته منظور از کارایی کم دیواره‌ی حفاظتی بیشتر به جلوگیری از سقوط مواد از ترانشه برمی‌گردد، وگرنه احداث دیواره‌ی حفاظتی در این موارد کاری مرسوم است و در صورت جانمایی درست و رعایت اصول ساختاری مناسب قادر به تغییر وضعیت لغزشی محدوده خواهد شد، بنابراین دیواره‌ی حفاظتی ایجاد شده در این پروژه به مقدار زیادی بر روی حرکت لغزشی دامنه‌ی ترانشه تأثیر گذار بوده است.

پی‌نوشت

1. mass wasting
2. Limit Equilibrium Method
3. Numerical Method
4. Alluvium
5. Limit Equilibrium Method
6. Stress-Strain Method
7. Bishop's simplified method
8. SLIDE
9. Rocscience
10. Advanced Numerical Methods
11. Embankments
12. Finite Element Method

منابع

1. G. Girty, (2009). Perilous Earth: Understanding Processes Behind Natural Disasters, California.
2. P. Gupta, D. Mukherjee, P. Sikdar and K. Kumar, (2004). Investigation and Control of Narayanbagar Landslide, District Chamoli, Uttaranchal, India – A Case Study, in *Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, New York.

۳. م. یمانی؛ ع. ا. شمسی پور؛ ا. گورابی و م. رحمتی (بهار ۱۳۹۳). تعیین مرز پهنه‌های خطر زمین لغزش در مسیر آزادراه خرم‌آباد-پل زال با روش تحلیل سلسله مراتبی- فازی. *نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال چهاردهم، شماره‌ی ۳، ۲۷-۴۳.

۴. ف. بیرانوند (۲۴ بهمن ۱۳۹۵). گران‌ترین آزادراه کشور همچنان درگیر حوادث / آزادراه خرم‌آباد- پل زال امنیت ندارد، شماره خبر: ۱۳۲۶۰۶۸، ۲۴ بهمن ۱۳۹۵. [درون خطی]. Available: www.tasnimnews.com. [دستیابی در ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۶].

۵. م. لشنی زند؛ ب. پروانه؛ ف. بیرانوند (بهار ۱۳۹۰). پهنه‌بندی اقلیمی استان لرستان با استفاده از روش‌های آماری و تعیین مناسب‌ترین روش تجربی. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال چهارم، شماره‌ی ۱۱، ۸۹-۱۰۶.

۶. مرکز تحقیقات اداره کل هواشناسی استان لرستان (پاییز ۱۳۹۴). سوز و سیل. *نشریه داخلی اداره کل هواشناسی استان لرستان*، فصلنامه‌ی شماره ۳۲، ۵-۷.

7. D. C. Wyllie and C. W. Mah (2004). Rock Slope Engineering CIVIL AND MINING, New York: Spon Press.
8. Y. Cheng and C. Lau, (2014). Slope Stability Analysis and Stabilization: New Methods and Insight second edition, Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.
9. C. Matthews, Z. Farook and P. Helm, (2014). Slope stability analysis - limit equilibrium or the finite element method? *Ground Engineering*, 22-28.
10. O. C. Rickard and N. Sitar, (2012). bSLOPE: A Limit Equilibrium Slope Stability Analysis Code for iOS, Geotechnical Engineering Report No. UCB/GT/12-01, Department of Civil and Environmental Engineering, UC Berkeley, Berkeley, CA, 94720.
11. R. Chowdhury, P. Flentje and G. Bhattacharya, (2010). Geotechnical Slope Analysis, Boca Raton, London, New York, Leiden: CRC Press, Taylor & Francis Group.
12. T. Scheldt, (2002). Comparison of Continuous and Discontinuous Modelling for Computational Rock Mechanics, This thesis has been submitted to Department of Geology and Mineral Resources Engineering Norwegian University of Science and Technology.
13. D. V. Hutton, (2004). Fundamentals Of Finite Element Analysis, New York: MC Graw Hill companies.

۱۴. و. هوسترویلید؛ م. کوچتا (۱۳۸۳). طراحی و برنامه ریزی معادن روباز. تهران: دانشگاه صنایع و معادن ایران.

۱۲۶

شماره پانزدهم
بهار و تابستان
۱۳۹۸
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



پلدختر
تحلیل و بررسی زمین لغزش در راه ارتباطی خرم‌آباد -

