





دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران

صاحب امتیاز: دانشگاه صنعتی مالک اشتر به همراه انجمن علوم ایمنی ایران
مدیر مسئول: دکتر مهدی نوری
سردبیر: دکتر علیرضا آزموده اردلان
جانشین سردبیر: دکتر محمدعلی نکوئی
مدیر اجرایی: دکتر قربانی
مدیر داخلی: خانم منیژه نجات، مهندس وحید پورقهرمان

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر علیرضا آزموده اردلان	استاد دانشگاه تهران
دکتر محمدرضا ثروتی	استاد دانشگاه شهید بهشتی
دکتر جمشید صالحی صدقیانی	استاد دانشگاه علامه طباطبائی
دکتر محمدرضا عارف	استاد دانشگاه صنعتی شریف
دکتر مجتبی قدیری معصوم	استاد دانشگاه تهران
دکتر ناصر مهرداد	استاد دانشگاه تهران
دکتر رضا حسنوی	استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر
دکتر نعمت الله جعفرزاده حقیقی فرد	دانشیار دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز
دکتر محمد ابراهیم سنجقی	استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر
دکتر ابراهیم محمودزاده	استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر
دکتر مهدی مدیری	استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر
دکتر منوچهر منطقی	استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر
دکتر محمدعلی نکویی	استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر
دکتر ناصر الهی	استادیار دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
دکتر سعید گیوه چی	استادیار دانشگاه تهران

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر،
مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، صندوق پستی ۳۸۶۴-۱۶۷۶۵
تلفن: ۰۹۹۲۵۰۱۴۶۱۴-۲۲۹۵۱۱۳۰
وبگاه: www.joem.ir
رایانامه: bohran.jeom@gmail.com

همکاران اجرایی: آسیه ملکی، مهندس وحید پورقهرمان
طراح گرافیک (لوگو، جلد و گرید): اکرم سادات برزگر بفروئی
ویراستار فارسی: آرش صالحی
ویراستار انگلیسی: آرش صالحی
شمارگان: چاپ الکترونیکی

چاپ: چاپ دانشگاه صنعتی مالک اشتر

داورهای این شماره:

محمد احسانی فر | محمد اسکندری | هادی تره باری | محمد حسین توفیقی | فرزین چاره جو | ابراهیم حاجی ابراهیمی | رضا حسنوی | سید احمد حسینی |
کوروش داداش تبار احمدی | هادی ذاکری | محمد یاسر رادان کوهپایی | حبیب اله سهامی | ناصر شمس کیا | مجتبی عراقی زاده | محمد رضا فلاح قنبری | مرتضی فیروزی | مهدی کریاسیان |
علی اکبر کیایی خوشرودباری | سید حسین میرزینی یزدی | مهدی نوری

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

۵	_____ مدل سازی ریاضی دوهدفه برای مسئله مکان یابی - مکان یابی مجدد تسهیلات بیمارستانی سلسله مراتبی در شرایط عدم قطعیت و بحران	محمد رضا کرزه بر رضا توکلی مقدم
۱۷	_____ تحلیل و بررسی زمین لغزش پاهلت	علی ویس کرمی حسین نوفرستی
۲۹	_____ طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا با در نظر گرفتن هزینه محرومیت با رویکرد عدم قطعیت مطالعه موردی: سیل ۱۳۹۷ شهرستان ساری	مهدی مدیری سمیرا حسن زاده محمد اسکندری
۴۹	_____ برآورد احتمال انسداد مسیر در شبکه حمل و نقل درون شهری پس از وقوع زلزله با استفاده از الگوریتم بیزی مطالعه موردی: شهر بابل	میثم مغیثی حمید رضا توکلی الناز بیغاله
۶۷	_____ ارزیابی تاب آوری سیستم اجتماعی-اکولوژیک در برابر کاهش آب قابل دسترس مطالعه موردی: روستای هرچگان	شهیار مهرابی محمد رضا یزدانی مهدی قربانی
۸۱	_____ توسعه الگوریتم ابتکاری مبتنی بر شمارش کامل به منظور بهینه سازی دوسطحی مساله طراحی شبکه هاب لجستیک در زنجیره تأمین امداد و بلایا	انسیه تاکی سید حبیب اله میرغفوری علی مروتی شریف آبادی سید حیدر میرفخرالدینی
۹۷	_____ مدل سازی و پهنه بندی زمین لغزش های حوضه لتیان با استفاده از مقایسه آماری ۲ متغیره	ابوالقاسم امیراحمدی جواد جمال آبادی رفعت دانشفر
۱۲۹	_____ واسنجی جایگاه سازمان های مدیریت بحران در افزایش تاب آوری شهری مطالعه موردی: شهر زابل	محمد پودینه غلامرضا میری محمود رضا انوری
۱۴۱	_____ شناسایی و گروه بندی ریسک های احداث واحدهای صنعتی به وسیله روش دلفی و شبکه عصبی مصنوعی خودسازمانده مطالعه موردی: احداث کارخانه تراورس	جعفر مصری محمد رضا شهرکی
۱۴۹	_____ بررسی نقش ویژگی های کالبدی ساختمان های آموزشی در مدت زمان تخلیه اضطراری هنگام حوادث	علی خاکی
۱۶۳	_____ الگوسازی کاربرد ایمن و امن اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران	منیژه احدیانی امید علی مسعودی سید محمد باقر ملائک نسیم مجیدی قهرودی

مدل سازی ریاضی دوهدفه برای مسئله مکان یابی - مکان یابی مجدد تسهیلات بیمارستانی سلسله مراتبی در شرایط عدم قطعیت و بحران

محمدرضا کرزه بر: دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
رضا توکلی مقدم*: استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۹

چکیده

با توجه به گسترش مناطق شهری، تغییرات جمعیتی و اینکه تسهیلات موجود طی سال های گذشته و به تدریج مکان یابی شده اند، این نیاز به وجود می آید که همه تسهیلات موجود تحت بررسی دوباره قرار گرفته و در صورت نیاز اصلاحاتی در ساختار شبکه ها ایجاد شود. در این مقاله با ارائه یک مدل مکان یابی - مکان یابی مجدد برای تسهیلات بیمارستانی با رویکرد سلسله مراتبی، وضعیت کنونی تسهیلات موجود بررسی شده و در صورت نیاز به ایجاد تغییرات در ساختار کنونی تسهیلات، راهکارهایی برای بستن، تغییر ظرفیت و بازکردن تسهیلات تازه ارائه خواهد شد. اهداف مدل پیشنهادی شامل بیشینه سازی پوشش تقاضا و کمینه سازی هزینه های ساختار است. در مدل پیشنهادی احتمال رخداد اختلالات و بحران هایی نظیر از دسترس خارج شدن یک تسهیل در نظر گرفته شده است. از طرف دیگر شعاع پوشش و میزان ظرفیت هر یک از تسهیلات بیمارستانی بر روی کیفیت و سرعت پاسخ دهی اثرگذار است؛ پس در این مقاله سطوح ظرفیت تسهیلات و شعاع پوشش تسهیلات به صورت متغیر در نظر گرفته می شود. شعاع پوشش متغیر بدین معنی است که هر تسهیل حداکثر تا چه شعاعی را پوشش بدهد. برای حل مدل ۲ هدفه پیشنهادی از روش محدودیت اسیلون استفاده می شود. در پایان، مدل پیشنهادی بر روی تسهیلات بیمارستانی شهر قم به عنوان نمونه مطالعاتی پیاده سازی و نشان داده شده که با حل مدل پیشنهادی میزان پوشش تقاضا به میزان قابل قبولی افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: مسئله مکان یابی - مکان یابی مجدد، تسهیلات بیمارستانی، شعاع پوشش متغیر، بحران.

Bi-objective mathematical modelling for a location-relocation problem of hierarchical healthcare facilities under uncertainty and disaster

Mohammad Reza Korzebor¹, Reza Tavakkoli-Moghaddam^{*2}

Abstract

Since the expansion of urban areas, demographic changes and the existing facilities have gradually been established over the past years, there is a need for them to take a re-examination and it improve in the structure of the networks if needed. This study aims to investigate the recent facilities by building a model for locating and re-locating hospital facilities in a hierarchical approach. Additionally, there are some solutions for closing, changing the capacity and opening new facilities if it needs to change in the current structure of facilities. The purposes of this study consist of maximizing the demand coverage and minimizing the structure cost. This model considers the probability occurrence of disturbances and crises, such as the lack of the availability and easy access. On the other hand, coverage radius and the capacity of each hospital facility are affected on the quality and speed of responses so that this study attempts to examine the capacity levels related to facilities and their coverage radius. This means how long any facility can cover the maximum distance of the access point. It is used of the Epsilon-constraint method in order to solve the proposed bi-objective model. As a result, this model is implemented as a case study in Qom Hospital facilities and it is shown that the amount of the demand coverage is increased in an acceptable level.

Keywords: Location-relocation problem, Hospital facilities, Variable coverage radius, Disaster.

¹ M.Sc., School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

² Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

با توجه به گسترش مناطق شهری، تغییرات جمعیتی و اینکه تسهیلات موجود طی سال‌های گذشته و به تدریج مکان‌یابی شده‌اند، این نیاز به وجود می‌آید که همه تسهیلات موجود تحت بررسی مجدد قرار گرفته و در صورت نیاز اصلاحاتی در ساختار شبکه‌ها ایجاد شود. به این معنی که تصمیماتی که در هر برهه از زمان گرفته شده‌اند، یک بار به صورت یکپارچه و در ارتباط با هم مورد بررسی قرار بگیرند و بار دیگر بررسی شود که آیا مکان‌های تسهیلات به طور جامع بهینه هستند یا خیر؟ از این‌رو موضوع مکان‌یابی مجدد تسهیلات مطرح می‌شود که در آن سعی می‌شود تا همه منطقه مورد نظر از نظر بهینه بودن مکان تسهیلات بررسی شده و در صورت نیاز مکان‌یابی دوباره در آن انجام شود. این مکان‌یابی مجدد می‌تواند شامل تأسیس تسهیل تازه، بستن یک تسهیل موجود و تغییر سطح ظرفیت یک تسهیل باشد. در صورتی که مکان‌یابی مجدد بر روی منطقه مورد نظر صورت نگیرد، با یک تعداد جواب بهینه محلی روبرو خواهیم بود که هر کدام در زمانی خاص به دست آمده‌اند و نه تنها ممکن است جواب بهینه کلی را به ما ندهند، بلکه تغییرات تقاضای ایجاد شده در طول زمان هم در آنها در نظر گرفته نمی‌شود. جاثو بیگاتی و همکاران [۱] در یک مدل سلسله‌مراتبی به مکان‌یابی مجدد برای تسهیلات پرداختند. در مدل آنها علاوه بر مکان‌یابی مجدد شبکه راه‌های ارتباطی هم بازطراحی می‌شود. به این ترتیب که همزمان تصمیم‌گیری می‌شود که کدام تسهیل و کدام راه باید به سطح تازه‌ی تغییر کنند تا دسترسی به تسهیلات بیشینه شود. در تحقیق دیگر پائول و همکاران [۲] در یک تحقیق با در نظر گرفتن ماهیت سلسله‌مراتبی تسهیلات به بررسی مکان‌های تسهیلات موجود و انجام مکان‌یابی مجدد تسهیلات برای بهبود مکان تسهیلات و افزایش بهره‌وری پرداختند. آنها در مدل قطعی خود برای هر تسهیل شعاع پوشش را در نظر گرفتند؛ اما ظرفیت تسهیلات را نامحدود در نظر گرفته‌اند. مطالعات بسیار زیادی پیرامون مکان‌یابی تسهیلات حوزه سلامت با پوشش تقاضا انجام شده است. بر اساس تحقیق احمدی جاوید و همکاران [۳] به طور کلی می‌توان مکان‌یابی در سیستم سلامت را به ۲ دسته مکان‌یابی تسهیلات اورژانسی و غیراورژانسی تقسیم کرد که دسته اول شامل مکان‌یابی تسهیلاتی مانند بیمارستان، درمانگاه و بانک‌های خون و دسته دوم هم شامل مکان‌یابی تسهیلاتی هم چون مراکز تروما، اورژانس، مراکز درمانی موقت و ایستگاه‌های آمبولانس است. در مکان‌یابی تسهیلات اورژانسی هم می‌توان تسهیلات را به ۲ بخش تقسیم کرد: تسهیلات ثابت همانند مراکز اورژانس و تسهیلات موقتی مثل اکیپ‌های امدادرسانی در شرایط خاص.

در موضوع تسهیلات ثابت سیلوا و سرا [۴] به مطالعه مکان‌یابی مراکز اورژانس پرداخته‌اند. آنها یک مدل مکان‌یابی پوششی مبتنی بر صف را در نظر گرفتند. براناس و همکاران [۵] به بررسی مکان‌یابی مراکز تروما، محل نگهداری و سکوی فرود هلیکوپتر پرداختند. کالسار و واکر [۶] مطالعه مکان‌یابی مجدد ایستگاه‌های

آتش‌نشانی را انجام دادند. در موضوع تسهیلات موقت هم جیا و همکاران [۷] به گسترش مدلی پرداختند که در آن به مکان‌یابی انباشته‌های دارویی و سپس به مکان‌یابی مکان‌های توزیع اقلام دارویی پس از یک اختلال می‌پردازد.

یکی از چالش‌هایی که در مسئله مکان‌یابی تسهیلات مطرح است، در نظر گرفتن تسهیلات در نقاط مختلف به صورت یکسان و با خدمات و ظرفیت مشابه است. این در حالی است که ویژگی‌های نقاط مکان‌یابی شده، محدودیت‌ها، نوع و مقدار نیازهای موجود در هر منطقه لزوماً با یکدیگر مشابه نیستند و این تفاوت‌ها باعث می‌شود که یکسان در نظر گرفتن تسهیلات کارایی کافی را نداشته باشد. از جمله این تفاوت‌ها می‌توان به این مورد اشاره کرد که در منطقه‌ای با تراکم جمعیت زیاد به تسهیلاتی با ظرفیت بالا نیاز است. با وجود این شرایط برای رسیدن به یک جواب بهینه باید تسهیلاتی با ویژگی‌ها و ظرفیت‌های مختلف را در نظر گرفت که این مورد در ادبیات مکان‌یابی با عنوان سلسله‌مراتبی بودن تسهیلات شناخته می‌شود.

تحقیقات بسیار زیادی در زمینه مکان‌یابی تسهیلات سلسله‌مراتبی انجام شده است. اسمیت و همکاران [۸] با هدف ارائه یک مدل مکان‌یابی سلسله‌مراتبی با کاربردهای گسترده در شرایط گوناگون به مدلی دست یافتند که در آن ترکیبی از اهداف در برگیرنده عدالت در چارچوب سلسله‌مراتبی وجود داشت. جاثو بیگاتی و همکاران [۱] در یک مدل سلسله‌مراتبی علاوه بر سلسله‌مراتبی در نظر گرفتن تسهیلات راه‌های ارتباطی را هم سلسله‌مراتبی در نظر می‌گیرند. در تحقیق آنها مدل به طور همزمان در مورد سطح تسهیل و راه ارتباطی تصمیم‌گیری می‌کند؛ بدین ترتیب که کدام تسهیل و راه ارتباطی باید به سطحی تازه تغییر کند تا دسترسی به همه سطوح تسهیلات بیشینه شود. کنان پهلوان و همکاران [۹] تحقیقی را انجام دادند که در آن به ارائه مدل تازه سلسله‌مراتبی پرداختند که علاوه بر اینکه تسهیلات سلسله‌مراتبی هستند و هر تسهیل می‌تواند خدمات تسهیلات سطوح پایین‌تر از خود را هم ارائه بدهد؛ متقاضیان هم سلسله‌مراتبی فرض شده‌اند و هر متقاضی در هر سطح تقاضای خدمات سطوح پائین‌تر را هم دارد. در این مدل می‌توان تصمیمات گوناگونی همچون تأسیس یا حذف یک تسهیل و افزایش یا کاهش ظرفیت حمل‌ونقل عرضی هم گرفته می‌شود. خودمانی-یزدی و همکاران [۱۰] یک مدل سلسله‌مراتبی مکان‌یابی ۲ هدفه ارائه کردند. برای یک مرور کامل بر روی مسائل مکان‌یابی سلسله‌مراتبی می‌توان به تحقیق کونتراس و اورتیز-آستوکیزا مراجعه کرد.

یکی از فرضیه‌هایی که در مسائل مکان‌یابی در گذشته رایج بوده، فرض فعال بودن تسهیلات در شرایط مختلف است. اما این فرض در دنیای واقعی برقرار نیست و امکان دارد تسهیلات به دلایل مختلفی دچار اختلال شده و متوقف شوند. دلایل رخداد اختلال می‌توانند طبیعی مثل اختلال در اثر زلزله و یا انسانی مثل اختلال در اثر اعتصاب باشند. بنابراین در نظر گرفتن احتمال رخداد اختلال در مسئله و ارائه مدلی که در شرایط پس از وقوع اختلال هم بتواند به کار خود ادامه دهد، از اهمیت و کاربرد بالایی برخوردار است.

زنجیرانی فراهانی و همکاران [۱۱] مدلی قابل اعتماد برای کاربرد در شرایط عادی و در زمان وجود اختلال ارائه کرده‌اند. آنها با هدف پیشینه کردن پوشش و با در نظر گرفتن احتمال رخداد اختلال مدل سازی کرده‌اند. قضاوتی و همکاران [۱۲] به دنبال مکان یابی تسهیلات سلسله مراتبی و در نظر گرفتن سناریوهای مختلف در شرایط وجود احتمال اختلال برای راه‌های ارتباطی هستند. شن و همکاران [۱۳] در مدلی قابل اعتماد، احتمال رخداد اختلال برای تسهیلات را در نظر گرفتند و مدل تصادفی دومرحله‌ای ارائه کردند. لیم و همکاران [۱۴] هم به ارائه مدلی قابل اعتماد با در نظر گرفتن احتمال رخداد اختلال پرداختند. در این تحقیق فرض می‌شود که برخی تسهیلات قابل اعتماد هستند و احتمال رخداد اختلال برای آنها وجود ندارد و برای برخی دیگر این احتمال وجود دارد. آزاد و همکاران [۱۵] احتمال رخداد اختلال را برای نقاط توزیع و همچنین وسیله‌های حمل و نقل در نظر گرفتند و به ارائه مدل طراحی زنجیره تأمین قابل اعتماد پرداخته‌اند. توکلی و همکاران [۱۶] به ارائه مدلی برای پاک سازی آوار در شرایط بحران پرداخته‌اند که در آن امکان مسدود شدن راه‌ها وجود دارد. جمال ارکات و همکاران [۱۷] هم به ارائه یک مدل مکان یابی و مسیریابی تسهیلات اورژانس پرداخته‌اند که در آن احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی در زمان بحران در نظر گرفته شده است. روحانی نژاد و همکاران [۱۸] در تحقیق خود تلاش کردند تا تعادلی بین قابلیت اعتماد بر سیستم، سرمایه‌گذاری کل و هزینه‌های عملیاتی ایجاد کنند؛ در حالی که ساختار مدل آنها به صورت تسهیلات چندلایه‌ای و با ظرفیت محدود است. محمدی و همکاران [۱۹] هم مدلی قابل اعتماد با تسهیلات دارای ظرفیت محدود ارائه کردند که در آن عدم قطعیت تسهیلات و راه‌های ارتباطی را در نظر گرفته‌اند. اهداف این مدل کاهش هزینه کل و پیشینه زمان حمل و نقل است. برای مطالعات بیشتر در زمینه اختلال در تسهیلات به تحقیق اسکاپارا و چرچ [۲۰] مراجعه کنید.

از موارد دیگری که در مکان یابی و مکان یابی مجدد تسهیلات باید به آن توجه کرد، محدودیت‌های ظرفیت تسهیلات است؛ به این ترتیب که هر تسهیل با توجه به فاکتورهای مختلف دارای ظرفیتی محدود است که بیش از این ظرفیت نمی‌تواند به ارائه سرویس بپردازد. از این رو در نظر گرفتن ظرفیت محدود برای تسهیلات ضرورت می‌یابد. مایکل وایدنر و همکاران [۲۱] و جمالی و همکاران [۲۲] به ترتیب ظرفیت تسهیلات و وسایل نقلیه را محدود در نظر گرفتند. روحانی نژاد و همکاران [۱۸] و محمدی و همکاران [۱۹] هم همانطور که اشاره شد، ظرفیت تسهیلات را محدود در نظر گرفتند.

فاصله نقاط تقاضا با تسهیلات اثر مستقیمی بر روی سرعت دریافت خدمت دارد؛ از این رو توجه به شعاع پوشش تسهیلات اهمیت می‌یابد. در نظر گرفتن شعاع پوشش می‌تواند به اشکال مختلفی همچون حداکثر و یا حداقل شعاع پوشش، شعاع پوشش تدریجی و شعاع پوشش متغیر در نظر گرفته شود. پائول و همکاران [۲] در تحقیق خود حداقل و حداکثر شعاع پوشش را در نظر گرفته‌اند. کسیمی و همکاران [۲۳] شعاع پوشش تدریجی را برای

تسهیلات در نظر گرفته‌اند. مهری و همکاران [۲۴] در مدل ارائه شده خود شعاع پوشش تسهیلات را محدود و به صورت متغیر در نظر گرفتند. این شعاع محدود در ساعات و شرایط مختلف متفاوت است.

بسیاری از مسائل مکان یابی دارای چند هدف هستند. اهدافی که معمولاً در مسائل مکان یابی در نظر گرفته می‌شوند، در ادامه به طور خلاصه بیان می‌شوند. هزینه یکی از رایج‌ترین مواردی است که در مسائل مکان یابی به عنوان هدف لحاظ می‌شود. هزینه دارای انواع مختلفی است که در ۲ نوع متغیر و ثابت تقسیم می‌شود. معمولاً در مسائل مکان یابی یک هدف که شامل همه انواع هزینه‌ها است را در نظر می‌گیرند. مورد بعدی میزان پوشش است که در مسائل پوشش حداکثری به کار می‌رود. به این ترتیب که یک هدف برای پیشینه سازی میزان پوشش تقاضا به مدل اضافه می‌شود.

رویکردهای مختلفی در برخورد با مسائل چندهدفه در نظر گرفته می‌شود. برخی از این رویکردها بدین شرح هستند: (۱) رویکرد سلسله مراتبی که در آن اهداف مختلف اولویت بندی شده و بر اساس اولویت خود بهینه سازی می‌شوند. (۲) رویکرد برنامه ریزی آرمانی که در آن همه اهداف مدل به عنوان محدودیت در نظر گرفته می‌شوند. برای هر تابع هدف هم یک مقدار مورد نظر از پیش تعیین می‌شود. هدف در این رویکرد به حداقل رساندن مقدار هر تابع هدف از مقدار از پیش تعیین شده است. (۳) رویکرد همزمان یا پارتو در آن به دنبال یافتن همه جواب‌هایی هستیم که ارزش یکسانی دارند و تصمیم‌گیری در انتخاب یک جواب بر عهده تصمیم‌گیرنده است. از میان رویکردهای همزمان یا پارتو، روش محدودیت اسیلون در ادبیات اخیر مکان یابی تسهیلات بیشتر به کار گرفته شده است [۲].

اسمیت و همکاران [۸] چنانچه در قبل بیان شد به مدلی دست یافتند که در آن ترکیبی از اهداف در برگزیده عدالت در چارچوب سلسله مراتبی وجود داشت. ژو و همکاران [۲۵] در تحقیق خود به ارائه مدلی برای مکان یابی تسهیلات سلسله مراتبی مراکز تروما در شنزن چین پرداخته‌اند. در این مدل چندهدفه به دنبال یافتن نقاط بهینه تسهیلات و ارتقای میزان تخصیص است. اهداف در این مدل شامل کمینه سازی زمان واکنش، پیشینه سازی پوشش، پیشینه سازی کیفیت سرویس دهی و کمینه سازی هزینه هستند. باتاچاریا و همکاران [۲۶] در تحقیق خود مدلی ۲ هدفه برای مکان یابی ارائه کردند که در آن به ایجاد یک موازنه بین کمینه سازی کل هزینه حمل و نقل و هم کمینه سازی بیشترین مسافت طی شده برای ارضای تقاضا از یک نقطه تقاضا تا یک تسهیل می‌پردازند. چانتا و همکاران [۲۷] هم در ۳ مدل ۲ هدفه به ایجاد موازنه بین عدالت و اهداف دیگر پرداختند. ۳ هدف دیگر شامل کمینه سازی بیشترین فاصله نقطه تقاضا تا تسهیل، کمینه سازی تقاضای پوشش داده نشده و کمینه سازی نقاط پوشش داده نشده روستایی می‌شود. منصوری و همکاران [۲۸] هم در مدلی ۲ هدفه زنجیره تأمین خون به کمینه سازی هزینه و کمبود پرداختند. عشقی و همکاران [۲۹] یک مدل برنامه ریزی ریاضی ۲ هدفه برای مسأله

مکان یابی-مسیریابی-موجودی تحت شرایط وقوع بحران با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و قابلیت اطمینان تسهیلات ارائه دادند که اهداف آن کمینه‌سازی هزینه های کل در فاز آماده‌سازی، پاسخگویی و زمان کل پاسخگویی هستند. آنها برای حل مدل ریاضی پیشنهادی از الگوریتم‌های ژنتیک بر مبنای رتبه‌بندی نامغلوب‌ها (NSGA-II) و گرگ خاکستری چندهدفه (MOGWO) استفاده کردند. عباسی و همکاران [۳۰] هم مدلی ریاضی ۲ هدفه برای مسئله مکان‌یابی-توزیع برای محصولات غیرپزشکی ارائه دادند که هدف اول آن کمینه‌سازی هزینه کل توزیع و هدف دوم آن کمینه‌سازی کل افق زمانی توزیع است. در این مقاله به ارائه یک مدل مکان‌یابی و مکان‌یابی مجدد برای ارزیابی تسهیلات موجود و ارائه پیشنهاداتی برای بهبود پوشش تقاضا پرداخته می‌شود و تسهیلات به صورت سلسله‌مراتبی در نظر گرفته می‌شوند. برای بالا بردن قابلیت اعتماد مدل ریسک اختلال تسهیلات در نظر گرفته می‌شود. ریسک اختلال به صورت در نظر گرفتن سناریوهای محتمل است. ظرفیت تسهیلات سلسله‌مراتبی محدود بوده و در ۳ سطح ظرفیت در نظر گرفته می‌شوند و سطح ظرفیت بهینه برای هر تسهیل تعیین می‌شود. برای بهینه‌سازی و بهبود پوشش تقاضا شعاع پوشش تسهیلات هم محدود بوده و به صورت متغیر در نظر گرفته می‌شود. در پایان به ارائه نمونه مطالعاتی تسهیلات بیمارستانی شهر قم پرداخته می‌شود و نتایج حل مدل ارائه می‌شود.

ادامه این مقاله بدین شرح است: ابتدا به بیان مسئله و مفروضات آن می‌پردازیم، سپس مدل ریاضی اصلی و مدل تکمیل‌کننده ارائه می‌شود. در بخش بعدی حل مدل با استفاده از روش محدودیت اپسیلون ارائه می‌شود. پس از آن هم نتایج عددی حاصل از نمونه مطالعاتی و تحلیل حساسیت ارائه می‌شود. در نهایت به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی پرداخته می‌شود.

بیان مسئله و ارائه مدل ریاضی

در این مدل پیشنهادی فرض می‌شود که تعدادی تسهیل در سطوح مختلف در منطقه مورد بررسی وجود دارند و باید میزان پوشش تقاضا توسط این تسهیلات بررسی شوند و در صورتی که تغییری در ظرفیت و یا مکان تسهیلات وجود داشته باشد که از نظر میزان هزینه هم توجیه‌پذیر باشد؛ این تغییرات در مکان و ظرفیت تسهیلات ایجاد می‌شود. نهایتاً ساختار نوبی از تسهیلات بیمارستانی ارائه می‌شود که در آن مکان و ظرفیت بعضی از تسهیلات تغییر یافته؛ اما در مقابل میزان پوشش تقاضا افزایش یافته است. در این مقاله مدلی اصلی و مدلی تکمیل‌کننده ارائه می‌شود و نقش مدل تکمیل‌کننده تعیین میزان بهینه توابع هدف در هر سناریو است. پس از تعیین میزان بهینه توابع هدف در هر سناریو این مقادیر بهینه در محدودیت‌های ویژه در مدل اصلی قرار گرفته و به مقدار بهینه کلی دست پیدا می‌کنیم.

در این مسئله به دنبال بررسی بهینگی تسهیلات موجود می‌باشیم؛ با این هدف که به سطح پوشش تقاضای بالاتری

برسیم. به این منظور در بررسی خود با در نظر گرفتن صرفه اقتصادی به این اقدامات می‌پردازیم: تأسیس تسهیل، حذف تسهیل، افزایش و کاهش ظرفیت تسهیل.

مفروضات مسئله

- محدوده مورد مطالعه از تعدادی منطقه تشکیل شده و مناطق هم خود زیرمجموعه محدوده بزرگتری به نام ناحیه هستند.
- در این مقاله ۳ سطح تسهیل در نظر گرفته شده؛ تسهیل سطح w که پایین‌ترین سطح بوده و ارائه خدمات اولیه را عهده دارد. تسهیل سطح c که به ارائه خدمات تکمیلی می‌پردازد و در نهایت تسهیل سطح h که به ارائه پیشرفته‌ترین خدمات پرداخته و هم خدمات سطح c را هم ارائه می‌دهد.
- هر نقطه تقاضا باید به وسیله یک تسهیل سطح w و یک تسهیل سطح c و هم یک تسهیل سطح h پوشش داده شود؛ اما تسهیلات سطح h می‌توانند خدمات سطح c را هم ارائه بدهند. از این رو در صورتی که یک نقطه تقاضا تحت پوشش تسهیل سطح h قرار بگیرد، دیگر لزومی به قرار گرفتن آن نقطه تقاضا تحت پوشش تسهیل c وجود ندارد.
- در هر منطقه باید لااقل یک تسهیل در سطح w وجود داشته باشد.
- در یک منطقه نمی‌توان به طور همزمان هم تسهیل سطح c داشته باشیم و هم تسهیل سطح h داشته باشیم.
- در یک ناحیه نمی‌توان بیش از یک تسهیل سطح h قرار داد.
- تقاضا به صورت نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شود.

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

N	مجموعه نقاط شبکه
B	مجموعه مناطق موجود در مدل
R	مجموعه ناحیه‌های موجود در مدل
S	مجموعه سناریوهای موجود
F_r	مجموعه گره‌های موجود در ناحیه r
$i \in N$	اندیس نشان‌دهنده نقاط تقاضا
$j \in N$	اندیس نشان‌دهنده نقاط نامزد برای تأسیس تسهیل
$l \in \{h, c, w\}$	اندیس مربوط به سطح تسهیل
t	اندیس مربوط به سطح ظرفیت
b	اندیس مربوط به منطقه
$N_b \in N$	گره‌های موجود در منطقه b
r	اندیس مربوط به ناحیه
s	اندیس مربوط به هر سناریو

پارامترها

h_i	تقاضای نقطه i
$F_{j,t}^l$	هزینه ثابت تأسیس تسهیل در سطح l در نقطه j با سطح ظرفیت t

$$\sum_{j \in N_b, t} y_{j,t}^c + \sum_{j \in N_b, t} y_{j,t}^h \leq 1 \quad \forall b \in B \quad (۶)$$

$$\sum_{j \in F_r, t} y_{j,t}^h \leq 1 \quad \forall r \in R \quad (۷)$$

$$\sum_{l, t} y_{j,t}^l \leq 1 \quad \forall j \quad (۸)$$

$$a_{i,j}^l \leq \sum_{l, t} y_{j,t}^l \quad \forall i, j, l, t \quad (۹)$$

$$\sum_i a_{i,j}^{l,s} h_i \leq \left(\sum_t level_t y_{j,t}^l \right) u_j^s \quad \forall j, l, s \quad (۱۰)$$

$$r_j \geq \sum_t d_{i,j} a_{i,j}^l \quad \forall i, l, j \quad (۱۱)$$

$$r_j \leq M \sum_t y_{j,t}^l \quad \forall l, j \quad (۱۲)$$

$$\sum_{j, t} x_{j,t}^l \leq P^l \quad \forall l \in L \quad (۱۳)$$

$$x_{j,t}^l = |y_{j,t}^l - Q_{j,t}^l| \quad \forall l, j, t \quad (۱۴)$$

$$\sum_i h_i z_i \geq (1 - p_r) \rho_s^* \quad (۱۵)$$

$$\sum_{l, j, t} F_{j,t}^l x_{j,t}^l + \sum_{l, j} r_j^l (\varphi) \leq (1 + p_r) \tau_s^* \quad (۱۶)$$

$$\forall s \in S / 0$$

تابع هدف (۱) میزان تقاضای پوشش داده شده را نشان می‌دهد. تابع هدف (۲) هزینه ناشی از تغییرات در ساختار تسهیلات را نشان می‌دهد. به این ترتیب که در صورت تأسیس تسهیل تازه یا تغییر در ظرفیت یک تسهیل و یا جابجایی یک تسهیل متغیر باینری مقدار یک گرفته و هزینه این تغییر محاسبه می‌شود. در قسمت دوم معادله هم هزینه شعاع پوشش هر تسهیل به صورت تابعی از شعاع محاسبه می‌شود. هر نقطه تقاضا به شرطی تحت پوشش قرار می‌گیرد که حداقل به یک تسهیل در سطح و به یک تسهیل در سطح h در منطقه خودش تخصیص پیدا کند. این شرط در رابطه (۳) در نظر گرفته شده است. با توجه به مفروضات مدل تسهیل در سطح c می‌تواند نقطه تقاضا را از تخصیص یافتن

میزان ظرفیت مربوط به سطح t $level_t$

۱ اگر تسهیل در سطح a در نقطه z و سطح ظرفیت t از قبل وجود داشته باشد؛ ۰ در غیر این صورت $Q_{j,t}^l$
تعداد تسهیل در سطح a که باید در پایان وجود داشته باشد. P^l

فاصله بین دو نقطه a و z $d_{i,j}$

یک مقدار بسیار بزرگ M

سطح قابل قبول در انحراف از میزان بهینه هر سناریوها p_r
در مدل اصلی

متغیرهای تصمیم

میزان بهینه تقاضای پوشش داده شده در هر سناریو ρ_s^*

میزان بهینه هزینه در هر سناریو τ_s^*

۱ در صورتی که تقاضای نقطه a در سناریوی s پوشش داده شود؛ ۰ در غیر این صورت $z_i^s \in \{0, 1\}$

۱ در صورتی که تسهیل سطح a موجود در نقطه z در سطح ظرفیت t قبلاً وجود نداشته باشد؛ ۰ در غیر این صورت $x_{j,t}^l \in \{0, 1\}$

شعاع پوشش تسهیل موجود در نقطه z r_j

۱ در صورتی که نقطه تقاضای a به تسهیل z در سطح a در سناریوی s تخصیص یابد؛ ۰ در غیر این صورت $a_{i,j}^{l,s} \in \{0, 1\}$

۱ در صورتی که تسهیل سطح a در نقطه z و سطح ظرفیت t وجود داشته باشد؛ ۰ در غیر این صورت $y_{j,t}^l \in \{0, 1\}$

مدل ریاضی

$$\text{Max} \sum_i h_i z_i^0 \quad (۱)$$

$$\text{Min} \sum_{l, j, t} F_{j,t}^l x_{j,t}^l + \sum_{l, j} r_j^l (\varphi) \quad (۲)$$

$$\sum_{j \in N_b} a_{i,j}^{l,s} \geq z_i^s \quad \forall i \in N_b, b \in B, l \in \{w, h\}, s \quad (۳)$$

$$\sum_{j \in F_r} (a_{i,j}^{c,s} + a_{i,j}^{h,s}) \geq z_i^s \quad \forall i \in F_r, r \in R, s \quad (۴)$$

$$\sum_{j \in N_b, t} y_{j,t}^w \geq 1 \quad \forall b \in B \quad (۵)$$

به تسهیل سطح h بی نیاز کند؛ از این رو در رابطه ی (۴) این فرض اعمال می شود که با تخصیص یک نقطه تقاضا به یک تسهیل سطح c در یک ناحیه دیگر تخصیص آن نقطه به تسهیل سطح h الزامی نیست. رابطه (۵) الزام تأسیس حداقل یک تسهیل سطح w در هر منطقه را بیان می کند. فرض ممنوع بودن تأسیس همزمان ۲ تسهیل در سطوح h و c در رابطه ی (۶) در نظر گرفته شده است. رابطه ی (۷) تأسیس بیش از یک تسهیل در سطح h در یک ناحیه را محدود می کند. رابطه ی (۸) تأسیس بیش از یک تسهیل در یک نقطه را محدود می کند. رابطه ی (۹) بیان می کنند که تخصیص در صورتی به یک نقطه انجام می شود که تسهیلی در آن نقطه وجود داشته باشد. رابطه (۱۰) محدودیت ظرفیت تسهیلات است و از تخصیص بیش از سطح ظرفیت بهینه برای تسهیل و هم تخصیص به تسهیل مختل شده جلوگیری می کند. روابط (۱۱) و (۱۲) تعیین کننده میزان شعاع پوشش هر کدام از تسهیلات هستند. رابطه (۱۳) تعداد مجاز تغییرات شبکه در هر سطح را نشان می دهد. رابطه ی (۱۴) تشخیص می دهد که طی مکان یابی- مکان یابی مجدد تسهیل دچار تغییر شده و یا بدون تغییر مانده است. روابط (۱۵) و (۱۶) هم تعیین می کنند که مقدار تابع هدف از مقدار بهینه در هر سناریو بیش از درصد مجاز لحاظ شده دچار انحراف نشود.

مدل تکمیل کننده

در مدل تکمیل کننده هم تمام محدودیت ها مثل مدل اصلی است؛ با این تفاوت که در تکمیل کننده به ازای هر سناریو مقدار بهینه ρ^*s و τ^*s به عنوان هدف به دست می آید.

$$\rho_s^* = \text{Max} \sum_i h_i^s z_i^s \quad (17)$$

$$\tau_s^* = \text{Min} \sum_{l,j,t} F_{j,t}^l x_{j,t}^l + \sum_{l,j} r_j^l(\varphi) \quad (18)$$

s.t.

$$\sum_{j \in N_b} a_{i,j}^{l,s} \geq z_i^s \quad (19)$$

$$\forall i \in N_b, b \in B, l \in \{w, h\}, s$$

$$\sum_{j \in F_r} (a_{i,j}^{c,s} + a_{i,j}^{h,s}) \geq z_i^s \quad (20)$$

$$\forall i \in F_r, r \in R, s$$

$$\sum_{j \in N_b,t} y_{j,t}^w \geq 1 \quad \forall b \in B \quad (21)$$

$$\sum_{j \in N_b,t} y_{j,t}^c + \sum_{j \in N_b,t} y_{j,t}^h \leq 1 \quad \forall b \in B \quad (22)$$

$$\sum_{j \in F_r,t} y_{j,t}^h \leq 1 \quad \forall r \in R \quad (23)$$

$$\sum_{l,t} y_{j,t}^l \leq 1 \quad \forall j \quad (24)$$

$$a_{i,j}^l \leq \sum_{l,t} y_{j,t}^l \quad \forall i, j, l, t \quad (25)$$

$$\sum_i a_{i,j}^{l,s} h_i \leq \left(\sum_t level_t y_{j,t}^l \right) u_j^s \quad (26)$$

$$\forall j, l, s$$

$$r_j \geq \sum_t d_{i,j} a_{i,j}^l \quad \forall i, l, j \quad (27)$$

$$r_j \leq M \sum_t y_{j,t}^l \quad \forall l, j \quad (28)$$

$$\sum_{j,t} x_{j,t}^l \leq P^l \quad \forall l \in L \quad (29)$$

$$x_{j,t}^l = |y_{j,t}^l - Q_{j,t}^l| \quad \forall l, j, t \quad (30)$$

روش حل

با توجه به آنچه که در بخش مرور ادبیات بیان شد و ویژگی های روش محدودیت اپسیلون برای حل این مدل ۲ هدفه از روش حل دقیق محدودیت اپسیلون استفاده می شود. در این روش یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف نگه داشته می شود و بقیه توابع هدف به محدودیت های نامساوی با توجه به کمینه و یا بیشینه سازی بودن آن تابع هدف به صورت زیر تبدیل می شود. در این روش مقدار تابع هدف طی یک الگوریتم تکرار شونده مقدار اپسیلون را بهبود داده تا به یک سری جواب با ارزش برابر برسد [۳۶]. چانکونگ و هایمز [۳۲] نشان دادند که روش محدودیت اپسیلون یافتن همه جواب های پارتویی را برای یک مساله عمومی چندهدفه تضمین می کند.

$$\max ax \rightarrow ax \geq \varepsilon \quad (31)$$

$$\min ax \rightarrow ax \leq \varepsilon \quad (32)$$

در این مدل هم محدودیت اول که حاصل بیشینه سازی میزان تقاضای پوشش یافته است، به عنوان تابع هدف نگه داشته می شود، اما تابع هدف دوم که کمینه سازی هزینه و میزان تغییرات است، به عنوان محدودیتی در نظر گرفته شده و به صورت زیر تغییر می یابد:

$$\sum_{l,j,t} F_{j,t}^l x_{j,t}^l + \sum_j r_j(\varphi) \leq \varepsilon \quad (33)$$

در این روش ابتدا مقدار اولیه‌ای برای پارامتر اسپیلون (ϵ) گرفته می‌شود و طی تکرار در حل مدل مقدار اسپیلون (ϵ) بهبود داده می‌شود تا به جواب بهینه دست یابیم. در روش اسپیلون محدودیت مدل باید به صورت خطی باشد، اما مدل ارائه شده در این مقاله به صورت یک مدل آمیخته غیرخطی است؛ از این رو در ادامه روند خطی‌سازی مدل را تشریح می‌کنیم.

در مدل ارائه شده در این مقاله رابطه‌های (۱۴) و (۳۰) غیرخطی هستند و در صورت خطی‌سازی این معادلات به مدل خطی مختلطی دست می‌یابیم. در مورد این محدودیت غیرخطی وجود یک علامت قدر مطلق باعث غیرخطی شدن مدل شده که با توجه به وجود متغیر معادل قدر مطلق در تابع هدف خطی‌سازی به صورت زیر انجام می‌شود:

ابتدا ۲ متغیر باینری $x_{l,j,t}^1$ و $x_{l,j,t}^2$ را معرفی می‌کنیم و سپس روابط (۱۴) و (۳۰) را به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$y_{j,t}^l - Q_{j,t}^l = x_{l,j,t}^1 - x_{l,j,t}^2 \quad (34)$$

$$x_{j,t}^l = x_{l,j,t}^1 + x_{l,j,t}^2 \quad (35)$$

به این ترتیب مدل ارائه شده در این مقاله تبدیل به مدل خطی آمیخته‌ای تبدیل می‌شود.

نتایج عددی

در این بخش با ارائه مطالعه‌ای موردی کاربردی بودن مدل ارائه شده را نشان می‌دهیم. شهر قم به عنوان یکی از کلانشهرهای کشور ایران با جمعیتی بالغ بر یک میلیون و ۳۰۰ هزار نفر شهری

با جمعیت بالا و متراکم به حساب می‌آید؛ از این رو بهبود مکان تسهیلات حوزه سلامت برای افزایش کارایی آنها ضروری است. در این مقاله به بررسی مکان‌یابی تسهیلات حوزه سلامت موجود و تسهیلات مورد نیاز تازه می‌پردازیم. در تصویر (۱) موقعیت جغرافیایی شهر قم و تقسیم‌بندی مناطق شهری قم قابل مشاهده است. شهر قم متشکل از ۸ منطقه شهری است که در این تصویر هر منطقه به لحاظ پراکندگی جمعیتی به چند بخش تقسیم شده است. هر کدام از این بخش‌ها به عنوان یک نقطه تقاضا در نظر گرفته می‌شوند.

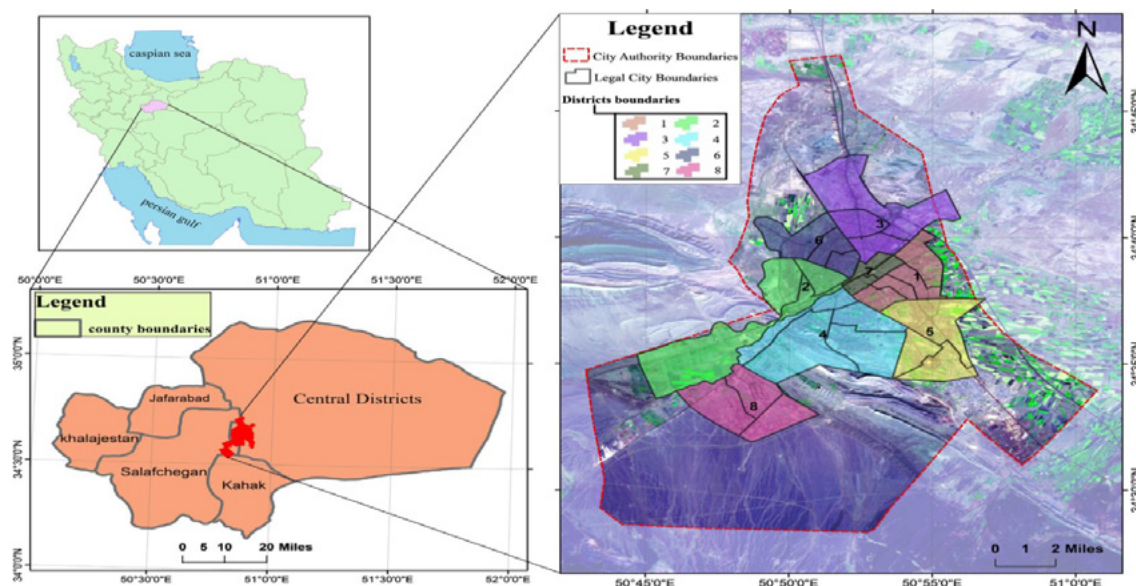
در جدول (۱) هم جمعیت کل، جمعیت مردان و زنان و هم تعداد خانوارها به تفکیک مناطق آورده شده است. بر اساس آخرین اطلاعات موجود از تسهیلات سلامت شهر قم دارای ۸ بیمارستان (۲ مورد از این بیمارستان‌ها تسهیل سطح h و بقیه تسهیلات سطح c به حساب می‌آیند) و ۲۶ درمانگاه فعال است. نقاط تقاضای در نظر گرفته شده در این مقاله هم تعداد ۶۷ نقطه است که این نقاط شامل نقاطی که در آنها تسهیل وجود دارد هم می‌شوند و هم همه نقاط موجود نامزد تأسیس تسهیل هم هستند.

در تصویر (۲) مکان تسهیلات موجود پیش از مکان‌یابی- مکان‌یابی مجدد و هم پس از مکان‌یابی- مکان‌یابی مجدد نمایش داده شده است. در این مسئله هیچ گونه محدودیتی در تعداد تغییرات در مکان و ظرفیت تسهیلات و هزینه مورد نیاز برای انجام تغییرات وجود ندارد.

با توجه به مفروضات مسئله برای پوشش هر نقطه تقاضا باید حداقل یک تسهیل سطح w و یک تسهیل سطح h و یا ۳ تسهیل در سطوح c، w و h آن نقطه را پوشش دهند. همانطور که در

جدول ۱: جمعیت مناطق شهر قم

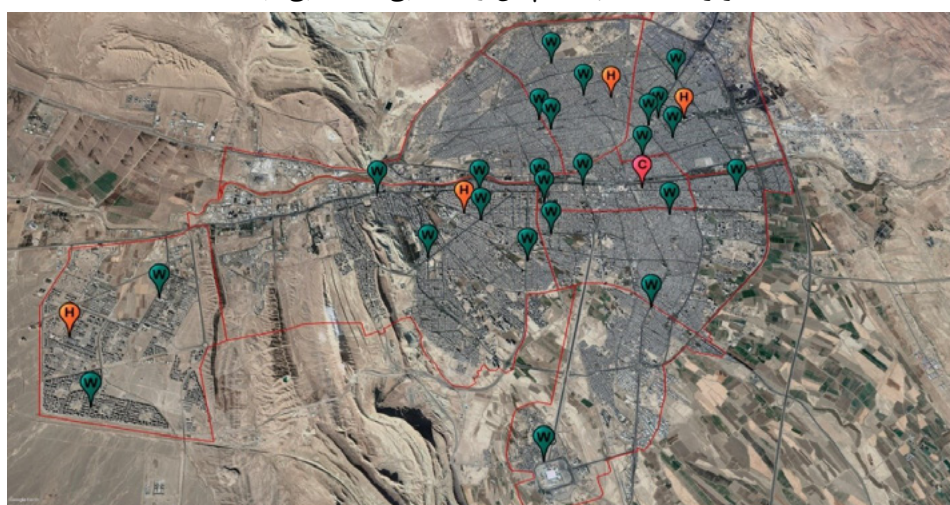
نام منطقه	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	جمع کل
جمعیت	۱۹۲۰۶۰	۱۸۹۷۰۸	۱۷۱۳۶۳	۱۹۲۷۵۵	۷۸۴۰۱	۲۱۳۳۵۶	۴۱۶۲۵	۲۲۱۸۹۰	۱۳۰۱۱۵۸



تصویر ۱: موقعیت جغرافیایی استان قم، شهرهای قم و تقسیم‌بندی مناطق شهری



تصویر ۲: مکان تسهیلات پیش از مکان یابی - مکان یابی مجدد



تصویر ۳: مکان تسهیلات پس از مکان یابی - مکان یابی مجدد

۲ مشخص است، در حالت اول که نمایش جواب بهینه با در نظر گرفتن تابع هدف اول است، با توجه به اینکه هیچ گونه محدودیت برای هزینه وجود ندارد و تابع هدف دوم که کمینه سازی هزینه است، در نظر گرفته نمی شود؛ در تمام نقاط نامزد تسهیل تأسیس شده است. در حالت دوم که نمایش جواب بهینه با در نظر گرفتن تابع هدف دوم است؛ با توجه به اینکه صرفاً کمینه سازی هزینه ها مد نظر است؛ فقط تسهیلاتی تأسیس شده اند که بر اساس محدودیت های مدل تأسیس آنها اجباری است.

جدول ۲: جواب حاصله از حل مدل با ازای توابع هدف

	جواب بهینه با در نظر گرفتن تابع هدف اول	جواب بهینه با در نظر گرفتن تابع هدف دوم
مقدار تابع هدف اول	۳۷۵	۰
مقدار تابع هدف دوم	۲۰۳۷۸۶۱۰۸۱۶	۲۱۹۷۸۰

در جدول ۳ جواب های بهینه پیشنهادی حاصل از حل مدل تک هدفه معادل با استفاده از روش محدودیت اسپیلون نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است، ۴ جواب پیشنهاد

تصویر (۳) مشاهده می شود و با توجه به مفروضات مسئله پیش از مکان یابی و مکان یابی مجدد فقط ۲ منطقه ۲ و ۳ تحت پوشش قرار می گیرند که با توجه به فاصله بسیار زیاد تسهیل سطح h در منطقه ۲ با نقاط تقاضا، پوشش تقاضا در این منطقه با شعاع بسیار بالا انجام می گیرد که این امر کیفیت ارائه سرویس را پائین می آورد؛ زیرا فاصله زیاد به معنی زمان طولانی تا دریافت سرویس است. پس از مکان یابی و مکان یابی مجدد و با بستن تسهیل سطح h موجود در منطقه ۲ و بازگشایی ۳ تسهیل سطح h در مناطق ۴، ۶ و ۸ و هم تغییری در تسهیلات سطوح w و c میزان پوشش تقاضا به مقدار چشم گیری افزایش یافته و هم بیشترین مقدار شعاع پوشش تسهیلات کاهش می یابد که در نتیجه آن هزینه متغیر کاهش و زمان مورد نیاز برای خدمات دهی کاهش می یابد. با تغییری که در مکان و ظرفیت تسهیلات در منطقه مورد مطالعه ایجاد شد، میزان پوشش تقاضا حدود ۲۵ درصد به حدود ۶۲ درصد افزایش یافت.

تحلیل حساسیت

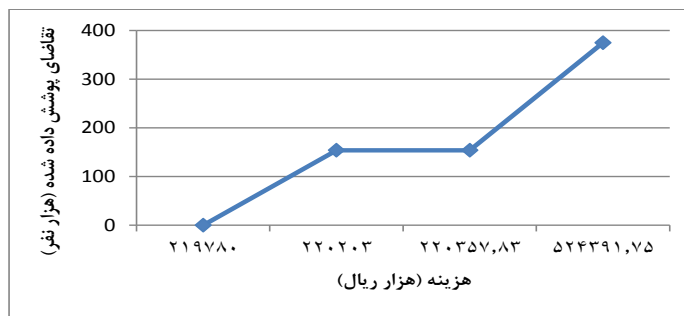
در ابتدا و برای اعتبارسنجی مدل در یک مسئله نمونه مدل را با هر یک از توابع هدف حل می کنیم. همان طور که در جدول

شده که انتخاب جواب مناسب با نظر تصمیم‌گیرنده اتفاق می‌افتد. تصویر ۴ نمودار جواب‌های حاصل از حل مدل معادل تک‌هدفه با استفاده از روش محدودیت اپسیلون است (نمودار پارتو). همان‌طور که قابل مشاهده است؛ جواب‌های به دست آمده

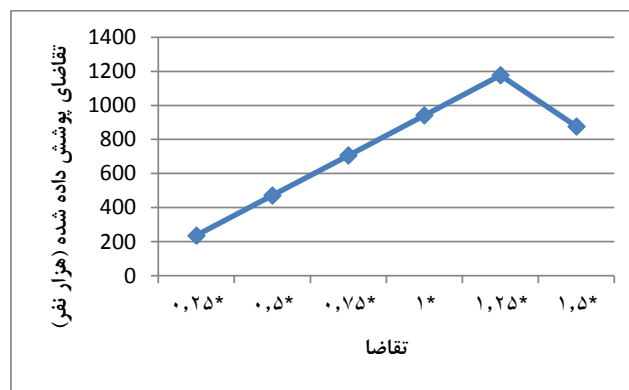
جدول ۳: جواب‌های بهینه مدل تک‌هدفه معادل با روش محدودیت اپسیلون

شماره جواب	۱	۲	۳	۴
مقدار تابع هدف اول	۰	۱۵۴	۱۵۴	۳۷۵
مقدار تابع هدف دوم	۲۱۹۷۸۰	۲۲۰۲۰۳	۲۲۰۳۵۷٫۸۳	۵۲۴۳۹۱٫۷۵

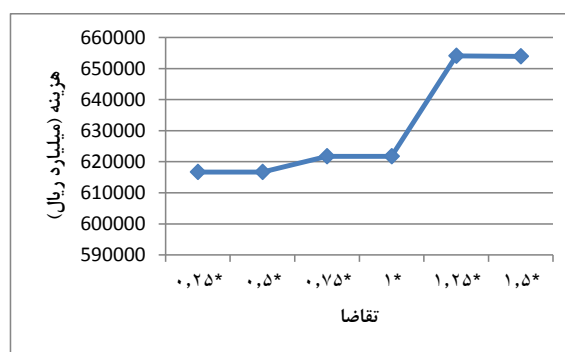
با روش محدودیت اپسیلون با توجه به جواب‌های به دست آمده از حل مدل با هر یک از توابع هدف جواب‌هایی منطقی هستند. در تصویر ۵ تغییرات تابع هدف اول به ازای افزایش تدریجی میزان تقاضا نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش میزان تقاضا میزان تقاضای پوشش یافته هم افزایش می‌یابد. در نقطه آخر میزان تقاضای پوشش یافته کاهش پیدا کرده و دلیل آن این است که تقاضا از بیشینه ظرفیت تسهیلات بیشتر شده و هم امکان تأسیس تسهیل تازه وجود ندارد؛ از این رو یک یا تعدادی از نقاط تقاضا از پوشش خارج می‌شوند. در تصویر ۶ تغییرات تابع هدف دوم یعنی هزینه نمایش داده شده است. ۲ نوع تغییر در نمودار دیده می‌شود: تغییرات جزئی که در اثر افزایش شعاع پوشش است و دوم جهش موجود بین نقاط چهارم و پنجم که به دلیل تأسیس تسهیل تازه است.



تصویر ۴: جواب‌های بهینه مدل تک‌هدفه معادل با روش محدودیت اپسیلون (نمودار پارتو)



تصویر ۵: تغییرات تابع هدف اول نسبت به افزایش تقاضا



تصویر ۶: تغییرات تابع هدف دوم نسبت به افزایش تقاضا

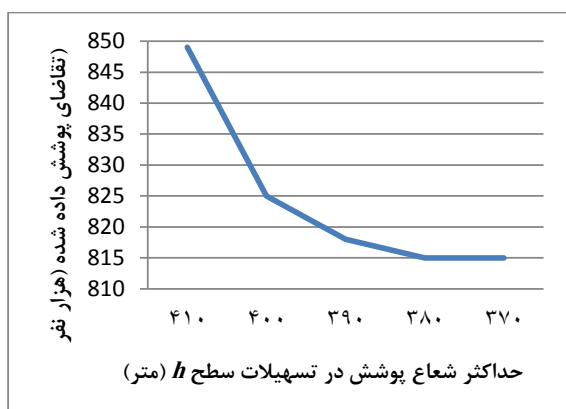
در این بخش به بررسی تأثیر تغییرات پارامترهای مدل بر روی خروجی‌های مدل می‌پردازیم. یکی از مهم‌ترین پارامترهای مدل حداکثر تعداد مجاز تغییر در ساختار شبکه شامل مکان یا ظرفیت تسهیلات و یا تأسیس و حذف آنهاست. در ادامه به بررسی تغییرات میزان تقاضای پوشش داده‌شده در اثر تغییر این پارامتر می‌پردازیم. تصویر ۷ نشان می‌دهد که در اثر کاهش تعداد تغییر مجاز در ساختار شبکه میزان تقاضای پوشش داده‌شده به شدت کاهش می‌یابد؛ از این رو در صورتی که تصمیم‌گیرنده توانایی اعمال تغییرات بیشتری را در ساختار شبکه داشته باشد؛ می‌تواند تقاضای بیشتری را پوشش دهد.

در ادامه به بررسی تغییرات میزان تقاضای پوشش یافته با تغییر در میزان مجاز حداکثر شعاع پوشش مجاز برای تسهیلات می‌پردازیم. تصویر ۸ نشان‌دهنده میزان تقاضای پوشش یافته با کاهش حداکثر شعاع پوشش مجاز برای تسهیلات سطح h است. این تصویر نشان می‌دهد که با کاهش حداکثر شعاع مجاز برای تسهیلات سطح h میزان تقاضای پوشش یافته در ابتدا کاهش چشمگیری می‌یابد؛ اما به مرور این میزان تغییر کمتر می‌شود. شیب کاهشی نمودار بیانگر این است که مناطقی که تسهیل سطح

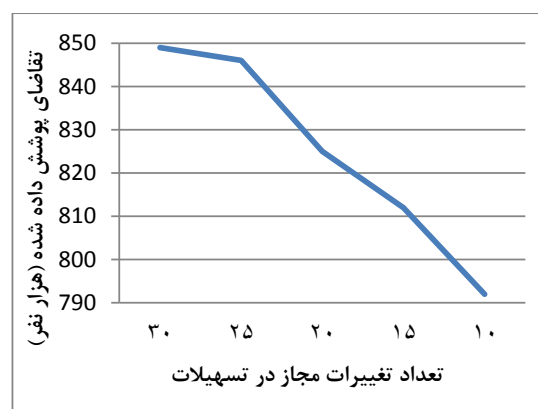
h ندارند و از تسهیلات موجود در مناطق دیگر سرویس می‌گیرند، به دلیل فاصله بیشتر از شعاع پوشش خارج شده و در نتیجه میزان پوشش تقاضا کاهش چشمگیری می‌یابد.

تصویر ۹ نشان‌دهنده میزان تقاضای پوشش یافته با کاهش حداکثر شعاع پوشش مجاز برای تسهیلات سطح c است. با توجه به این فرض که سرویس ارائه‌شده توسط تسهیلات سطح c به وسیله تسهیلات سطح h هم ارائه می‌شود؛ از این رو پوشش تقاضا توسط این تسهیلات از اهمیت کمتری برخوردار است و کاهش شعاع پوشش مجاز تقریباً اثر یکنواختی بر روی میزان تقاضای پوشش یافته می‌گذارد.

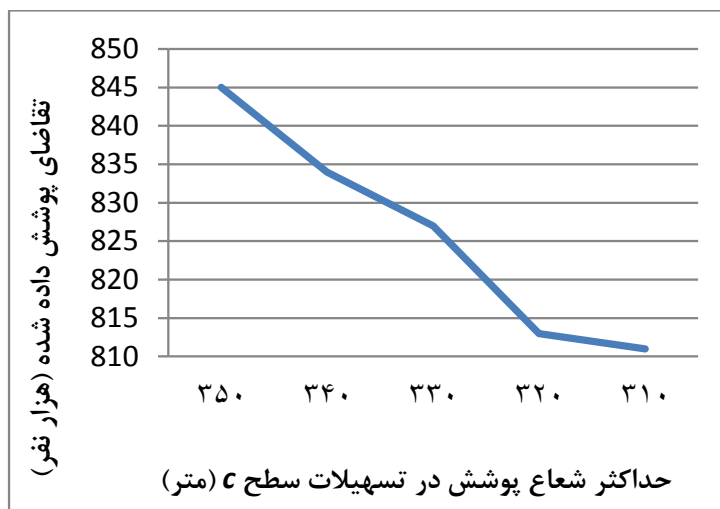
تصویر ۱۰ نشان‌دهنده میزان تقاضای پوشش یافته با کاهش حداکثر شعاع پوشش مجاز برای تسهیلات سطح w است. این تصویر بیان می‌کند که بخشی از تقاضای پوشش یافته در سطح w در شعاع بیش از ۱۹۰ واحد و بخشی دیگر در شعاع کمتر از ۱۷۰ واحد قرار گرفته‌اند و تقاضای اندکی در در فاصله ۱۷۰ تا ۱۹۰ واحدی قرار دارند. با کاهش حداکثر شعاع مجاز پوشش برای تسهیلات سطح w میزان تقاضای پوشش یافته هم کاهش می‌یابد.



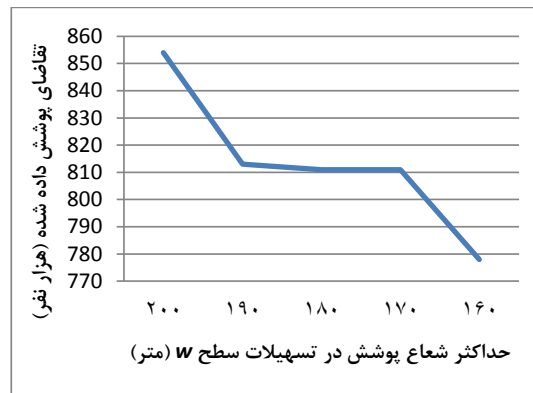
تصویر ۸: میزان تقاضای پوشش یافته با کاهش حداکثر شعاع پوشش مجاز برای تسهیلات سطح h



تصویر ۷: تغییرات میزان تقاضای پوشش داده شده در اثر تغییر تعداد تغییرات مجاز



تصویر ۹: میزان تقاضای پوشش یافته با کاهش حداکثر شعاع پوشش مجاز برای تسهیلات سطح c



تصویر ۱۰: میزان تقاضای پوشش یافته با کاهش حداکثر شعاع پوشش مجاز برای تسهیلات سطح w

Research, 22(2), 249-274.

7. Jia, H., Ordóñez, F., & Dessouky, M. M. (2007). Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Computers & Industrial Engineering*, 52(2), 257-276.
8. Smith, H. K., Harper, P. R., & Potts, C. N. (2013). Bicriteria efficiency/equity hierarchical location models for public service application. *Journal of the Operational Research Society*, 64(4), 500-512.
9. Pehlivan, C., Augusto, V., & Xie, X. (2014). Dynamic capacity planning and location of hierarchical service networks under service level constraints. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 11(3), 863-880.
10. Khodemani-Yazdi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Bashiri, M., & Rahimi, Y. (2019). Solving a new bi-objective hierarchical hub location problem with an M/M/c queueing framework. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 78, 53-70.
11. Farahani, R. Z., Hassani, A., Mousavi, S. M., & Baygi, M. B. (2014). A hybrid artificial bee colony for disruption in a hierarchical maximal covering location problem. *Computers & Industrial Engineering*, 75, 129-141.
12. Ghezavati, V., Soltanzadeh, F., & Hafezalkotob, A. (2015). Optimization of reliability for a hierarchical facility location problem under disaster relief situations by a chance-constrained programming and robust optimization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 229(6), 542-555.
13. Shen, Z. J. M., Zhan, R. L., & Zhang, J. (2011). The reliable facility location problem: Formulations, heuristics, and approximation algorithms. *INFORMS Journal on Computing*, 23(3), 470-482.
14. Lim, M., Daskin, M. S., Bassamboo, A., & Chopra, S. (2010). A facility reliability problem: Formulation, properties, and algorithm. *Naval Research Logistics (NRL)*, 57(1), 58-70.
15. Azad, N., Davoudpour, H., Saharidis, G. K., & Shiripour, M. (2014). A new model to mitigating random disruption risks of facility and transportation in supply chain network design. *The International Journal of*

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل مکان‌یابی - مکان‌یابی مجدد برای بررسی جامع مکان و ظرفیت تسهیلات موجود ارائه شد. بر اساس این مدل می‌توان ظرفیت و سطح تسهیلات موجود را تغییر داد و یا آنها را تعطیل کرد و هم می‌توان تسهیلات تازه‌ای را تأسیس کرد. از این رو می‌توان با تغییراتی که از نظر اقتصادی توجیه پذیر هستند، به بهبود پوشش تقاضا بپردازیم. مدل غیرخطی آمیخته عدد صحیح با خطی‌سازی محدودیت غیرخطی به مدل خطی عدد صحیح تبدیل شد. برای حل مدل از روش محدودیت ایسلون استفاده شد. در پایان با حل مدل بر اساس نمونه مطالعاتی دیده شد که میزان تقاضای پوشش ۱۲ تغییر در ساختار شبکه به میزان ۳۷ درصد بهبود یافت. به عنوان پیشنهاد‌های آتی می‌توان به در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای مدل، گسترش روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری، در نظر گرفتن محدودیت‌های زمانی، سیستم‌های صف و هم به کارگیری نرم افزار GIS برای تعیین و یا ارزیابی نقاط کاندید و امتیازدهی به نقاط کاندید اشاره کرد.

منابع

1. Bigotte, J. F., Krass, D., Antunes, A. P., & Berman, O. (2010). Integrated modeling of urban hierarchy and transportation network planning. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(7), 506-522.
2. Paul, N. R., Lunday, B. J., & Nurre, S. G. (2017). A multiobjective, maximal conditional covering location problem applied to the relocation of hierarchical emergency response facilities. *Omega*, 66, 147-158.
3. Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., & Syam, S. S. (2017). A survey of healthcare facility location. *Computers & Operations Research*, 79, 223-263.
4. Silva, F., & Serra, D. (2008). Locating emergency services with different priorities: the priority queuing covering location problem. *Journal of the Operational Research Society*, 59(9), 1229-1238.
5. Branas, C. C., MacKenzie, E. J., & ReVelle, C. S. (2000). A trauma resource allocation model for ambulances and hospitals. *Health Services Research*, 35(2), 489.
6. Kolesar, P., & Walker, W. E. (1974). An algorithm for the dynamic relocation of fire companies. *Operations*

30. Abbassi, A., Kharraja, S., El Hilali Alaoui, A., Boukachour, J., & Paras, D. (2020). Multi-objective two-echelon location-distribution of non-medical products. *International Journal of Production Research*, 1-17.
31. Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied Mathematics and Computation*, 213(2), 455-465.
32. Chankong, V., & Haimes, Y. Y. (2008). *Multiobjective decision making: theory and methodology*. Courier Dover Publications.
- Advanced Manufacturing Technology*, 70(9-12), 1757-1774.
۱۶. توکلی، شایان، ربانی، مسعود، بزرگی امیری، علی. (۱۳۹۵). ارائه‌ی یک الگوی بهینه‌سازی برای مسئله‌ی پاک‌سازی آوار در فاز پاسخ به بحران. علمی پژوهشی مدیریت بحران، ۵(۲)، ۱۶-۵.
۱۷. ارکات، جمال، زمانی، شکوفه، قدس، پرک. (۱۳۹۴). مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات اورژانسی با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی در زمان بحران. علمی پژوهشی مدیریت بحران، ۴(۲)، ۹۵-۱۰۶.
18. Rohaninejad, M., Sahraeian, R., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). An accelerated Benders decomposition algorithm for reliable facility location problems in multi-echelon networks. *Computers & Industrial Engineering*, 124, 523-534.
19. Mohammadi, M., Jula, P., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2019). Reliable single-allocation hub location problem with disruptions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 123, 90-120.
20. Scaparra, M. P., & Church, R. L. (2019). Location problems under disaster events. In *Location science* (pp. 631-656). Springer, Cham.
21. Widener, M. J., & Horner, M. W. (2011). A hierarchical approach to modeling hurricane disaster relief goods distribution. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 821-828.
۲۲. جمالی، حسین، بشیری، مهدی، توکلی مقدم، رضا. (۱۳۹۴). بررسی و حل مسئله امداد رسانی ۲ سطحی نقاط آسیب‌دیده از بحران. علمی پژوهشی مدیریت بحران، ۴(۲)، ۵-۲۲.
23. Keçici, S., Aras, N., & Verter, V. (2012). Incorporating the threat of terrorist attacks in the design of public service facility networks. *Optimization Letters*, 6(6), 1101-1121.
24. Mohri, S. S., Akbarzadeh, M., & Matin, S. H. S. (2020). A Hybrid model for locating new emergency facilities to improve the coverage of the road crashes. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, 100683.
25. Zhu, Y., Du, Q., Tian, F., Ren, F., Liang, S., & Chen, Y. (2016). Location Optimization Using a Hierarchical Location-Allocation Model for Trauma Centers in Shenzhen, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(10), 190.
26. Bhattacharya, U., Rao, J. R., & Tiwari, R. N. (1993). Bi-criteria multi facility location problem in fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 56(2), 145-153.
27. Chanta, S., Mayorga, M. E., & McLay, L. A. (2014). Improving emergency service in rural areas: a bi-objective covering location model for EMS systems. *Annals of Operations Research*, 221(1), 133-159.
۲۸. منصوری، الهام، حاجی آقایی کشتلی، مصطفی، توکلی مقدم، رضا. (۱۳۹۶). توسعه شبکه لجستیک پیشرو و معکوس در خدمات درمانی در شرایط عدم قطعیت و بحران. علمی پژوهشی مدیریت بحران، ۶(۱)، ۵-۱۷.
۲۹. علی اکبر عشقی، رضا توکلی مقدم، سعدالله ابراهیم نژاد و وحیدرضا قضاوتی، مدل‌سازی ریاضی استوار برای مسأله مکان‌یابی-مسیریابی-موجودی چندهدفه در شرایط وقوع بحران با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و قابلیت اطمینان تسهیلات، نشریه مدیریت بحران، پذیرش چاپ، ۱۳۹۹.

تحلیل و بررسی زمین لغزش پاهلت

علی ویس کرمی*: دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش استخراج (veiskaramiali@yahoo.com)
حسین نوفرستی: استادیار گروه معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران. (hnoferesty@birjand.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

حرکت در شیب‌ها تحت اثر جریان‌ها، زمین‌لغزش‌ها و واژگونی‌ها پدیده‌هایی هستند که در شیب‌های طبیعی و مصنوعی در صورت به وجود آمدن شرایط مناسب به وقوع می‌پیوندند. به همین منظور برای مقابله و دفع اثرات نامطلوب ناشی از این پدیده‌ها باید شیب‌ها به نحوی مطالعه شوند که در مرحله اول از وقوع چنین پدیده‌هایی در شیب‌ها جلوگیری کرد و در مرحله دوم در صورت وقوع این پدیده‌ها بتوان با پیش‌بینی مناسب اثرات نامطلوب بعد از ریزش را به حداقل ممکن رساند. برای این کار لازم است شیب‌ها قبل از اینکه ایجاد شوند، با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی منطقه، ژئومکانیک، شرایط آب و هوایی و اطلاعات هیدروژئولوژی منطقه تحلیل پایداری شوند. در منطقه پاهلت بعد از عریض‌سازی جاده شیبی ایجاد شده که بعد از گذشت چندین سال مواد تشکیل‌دهنده شیب در اثر زمین‌لغزش شروع به حرکت کرده و تقریباً وارد جاده شده‌اند. در این مقاله این پدیده توسط بررسی عکس‌های هوایی منطقه، تغییرات شرایط آب و هوایی منطقه و همچنین روش‌های ریاضی تحلیل پایداری شیب تحلیل شده است. در این مقاله کوشش شده روشی مناسب جهت پایداری این شیب ارائه شود.

کلمات کلیدی: حرکت در شیب‌ها، جریان، زمین‌لغزش، واژگونی، پاهلت، روش ریاضی.

Study and analysis Pahlat landslide

Ali Veiskarami^{*1}, Hossain Noferesti²

Abstract:

Movement on slopes under titles such as flows, landslides, and topplings are phenomena that occur on natural and artificial slopes in the event of the creation of appropriate conditions. Therefore, in order to counteract and eliminate the adverse effects of these phenomena, slopes must be studied in such a way that in the first stage, the occurrence of such phenomena on slopes is prevented, and in the second stage, if this occurs Phenomena can be minimized with the proper prediction of adverse effects after thinning. To do this, it is necessary to make the slopes before they are created, taking into account geological information of the region, geomechanical information of the region, the weather conditions of the region and the hydrological information of the region. In the Pahlat area, after the road spread, a slope has been created, which, after several years, the slope material began to move and almost entered the road. In this paper, this motion has been analyzed by studying the aerial photos of the region, regional weather changes and mathematical methods of slope stability analysis. In this paper, we have tried to provide a suitable method for stabilizing this slope.

Keywords: movment on slopes, flow, landslide, toppling, Pahlat, mathematical method.

¹Graduate Master of Mining Engineering, veiskaramiali@yahoo.com

²Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand. hnoferesty@birjand.ac.ir

۱. مقدمه

طیف وسیعی از فعالیت‌های مهندسی نیازمند حفاری و برش توده‌های سنگی هستند؛ از جمله مهندسی عمران برای ایجاد آزاد راه‌ها، خطوط راه‌آهن و مهندسی معدن برای خارج کردن نهشته‌های معدنی از داخل زمین [۱]. نتیجه برش دادن توده‌های سنگ به وجود آمدن شیب‌هاست. بسته به بافت و ساختار مواد تشکیل‌دهنده شیب و با توجه به عدم پایداری شیب انواعی از حرکت‌ها در شیب اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه توده سنگ تشکیل‌دهنده شیب قوی یا ضعیف است، حرکت در شیب به ۳ صورت می‌تواند رخ دهد [۲]:

۱. شکست ساختاری کنترل‌شده که در این نوع شکست گسیختگی تنها در امتداد درزه‌ها یا سطوح لایه‌بندی و یا گسل‌ها اتفاق می‌افتد. از انواع این نوع شکست لغزش‌های گوه‌ای و صفحه‌ای هستند که بیشتر در مقیاس پله به وقوع می‌پیوندند. باید به این نکته اشاره شود که مهمترین پارامترهای ارزیابی پایداری شیب در این نوع شکست‌ها مقاومت و جهت ساختارهاست [۲].

۲. شکست با کنترل ساختاری جزئی که در این نوع شکست بخشی از گسیختگی در داخل توده سنگ و بخشی در داخل ساختارها رخ می‌دهد. این نوع شکست در مقیاس شیب‌های سراسری رخ داده و در آن مقاومت توده سنگ به همراه مقاومت و جهت‌گیری ساختار مهمترین پارامترها در ارزیابی پایداری شیب هستند [۲].

۳. شکست با کنترل ساختاری محدود که در این نوع شکست گسیختگی عمدتاً در داخل توده سنگ رخ می‌دهد. این نوع شکست در مقیاس شیب سراسری و در توده سنگی که به شدت برش خورده یا توده سنگی که حاوی مواد نرم یا به شدت هوازده باشد، رخ می‌دهد. در این نوع شکست مهمترین پارامتر در ارزیابی پایداری شیب مقاومت توده سنگ است [۲].

در ایجاد شیب‌ها علاوه بر قوی یا ضعیف بودن توده سنگ تشکیل‌دهنده شیب، عامل تأثیرگذار دیگر بر کنترل‌کننده‌های ساختاری افزایش ارتفاع شیب است. بعد از ایجاد شیب منطقه اطراف شیب بسته به ارتفاع شیب تنش‌زدایی می‌شود که این رهایی تنش با افزایش ارتفاع شیب شدیدتر می‌شود. نتیجه این تنش‌زدایی ایجاد ترک‌های کششی در شیب است که با بازشدگی این ترک‌ها و ترک‌های از قبل موجود در توده سنگ دوباره سنگ برجا تحت تنش قرار می‌گیرد. در نهایت این تغییرات ایجاد شده در توده سنگ شیب ممکن است باعث تغییر در کنترل‌کننده ساختاری شکست شیب شود [۳].

زمین‌لغزش‌ها از جمله حرکتی هستند که در شیب‌ها رخ می‌دهند. زمین‌لغزش‌ها مشتمل بر ۲ نوع هستند که در نوع اول صفحه لغزش مشخص بوده و در نوع دوم صفحه لغزش وجود ندارد و این صفحه به مرور زمان در داخل توده سنگ ایجاد می‌شود. نوع دوم از زمین‌لغزش‌ها به صورت استوانه‌ای در شیب‌ها رخ می‌دهند که در نمای ۲ بعدی به صورت دایره‌ای هستند. البته با توجه به همگن بودن یا نبودن محیط لغزش این نوع زمین‌لغزش می‌تواند

به ترتیب یکی از ۲ مورد با سطح لغزش دایره‌ای یا قاشقی باشد [۴].

برای تحلیل عددی زمین‌لغزش‌های بدون کنترل ساختاری از ۲ روش تعادل حدی و روش‌های عددی استفاده می‌شود [۱]. فلنیوس (۱۹۲۷) ابتدایی‌ترین روش را برای به دست آوردن ضریب اطمینان به روش باریکه‌های قائم ارائه کرد؛ ولی به دلیل صرفه نظر کردن از نیروهای بین قطعات ضریب اطمینان به دست آمده از دقت کافی برخوردار نبود [۵]. بیشاب (۱۹۵۴) روش حل صحیح‌تری را نسبت به فلنیوس ارائه کرد. در این روش اثر نیروهایی که روی وجوه جانبی قطعات عمل می‌کنند هم تا حدودی در نظر گرفته می‌شود [۶]. جانبو (۱۹۷۳-۱۹۵۴) روش‌های ساده‌شده و عمومی چندی را به وجود آورد. روش عمومی جانبو خط اثری فرض شده برای نیروهای بین باریکه در نظر گرفت و معادلات تعادل را بر اساس آن حل کرد. تیلور (۱۹۴۸-۱۹۳۷) راهکاری ارائه داد که در آن بر شرط تعادل نیروها بیشتر تأکید شده است [۷]. اسپنسر (۱۹۷۳-۱۹۶۷) روشی ساده با دقت کافی ارائه کرد که با استفاده از فرآیندی پیچیده تعادل استاتیکی را با فرض اینکه برآیند نیروهای بین قطعه‌ای دارای شیب ثابت و نامعلوم هستند، محقق می‌کرد [۸]. مرگنسترن (۱۹۶۳) نمودارهایی برای پایداری شیب بالادست در هنگام تخلیه‌ی سریع مخزن ارائه کرد [۹].

در این مقاله برای تحلیل زمین‌لغزش از روش تعادل حدی و روش عددی المان محدود استفاده شده و برای این کار از نرم‌افزارهای Slide و Phase2 استفاده شده است.

در این مقاله علاوه بر تحلیل نرم‌افزاری ریزش از منظر تغییرات شرایط آب و هوایی، عکس‌های هوایی مربوط به منطقه در طول چند سال اخیر که از آرشیو مجموعه تصاویر نرم‌افزار Google Earth تهیه شده‌اند، بررسی شده است.

۲. موقعیت جغرافیایی و وضعیت زمین شناسی منطقه

زمین‌لغزش مورد مطالعه در منطقه ویسیان و در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان خرم‌آباد اتفاق افتاده است (شکل ۱). منطقه دارای اقلیم نیمه مرطوب با تابستان گرم و زمستان معتدل است [۱۰]؛ از این رو یخبندان‌های فاحشی در منطقه وجود ندارد و بعد از هر بارندگی احتمال وقوع زمین‌لغزش وجود خواهد داشت. زمین‌لغزش مورد مطالعه با استفاده از عکس‌های هوایی طی چند سال رصد شده است، ولی مدل‌سازی‌های صورت گرفته برای زمین‌لغزشی است که در زمستان ۱۳۹۴ به وقوع پیوسته است (البته از زمان دقیق وقوع زمین‌لغزش اطلاع درستی در دسترس نیست). میزان بارندگی در منطقه مورد نظر طبق گزارش‌های اداره هواشناسی استان لرستان از یک مهر تا ۴ بهمن ۱۳۹۴ به میزان ۳۹۲٫۹ میلی‌متر بوده که این میزان بارندگی نسبت به دوره آماری مشابه ۱۱۷٫۷ درصد افزایش داشته است [۱۱]. با توجه به آنچه گفته شد، عامل اصلی این زمین‌لغزش می‌تواند ناشی از فشار منفذی آب زیرزمینی باشد.

از نظر سنگ شناسی ترانشه مد نظر در لایه آبرفتی عهد جدید^۱ که بر روی بستری از سنگ آهک آسماری انباشته شده، ایجاد شده است (شکل ۲). جنس لایه آبرفتی رسی بوده که جذب و نگهداری آب توسط این لایه شاید عامل دیگری بر زمین لغزش مورد نظر باشد.

ضخامت لایه آبرفتی متفاوت بوده و بیشتر بر روی دامنه‌های شیبدار مشاهده شده و به سمت ستیغ کوه این لایه ناپدید می‌شود. علاوه بر این با توجه به شکل (۳) منطقه در محدوده زمین لغزش برای تعیین ضخامت تقریبی لایه آبرفتی در نظر گرفته شده است. در منطقه یک آبرفتی مشاهده نمی‌شود و رخ‌نمون کنار جاده در اثر ایجاد ترانشه از سنگ آهک است. در منطقه ۲ تغییر رنگ خاک محیط از سفید به قرمز تیره و پوشانده شدن سنگ‌های آهکی نشانه آغاز لایه رسوبی است. در منطقه ۳ که منطقه وقوع زمین لغزش هم هست، بیشتر خاک دیده شده از جنس رس بوده و البته در این منطقه اثراتی از آهک فرسایش یافته که از نواحی بالاتر کوه توسط آب باران به سمت پایین حرکت کرده‌اند، هم مشاهده

می‌شوند که با توجه به برتری میزان رس در این تحقیق از آن‌ها صرف نظر شده است. در منطقه ۴ خاک مشاهده شده بیشتر از نوع آهک فرسایش یافته و به نظر فاقد رس است.

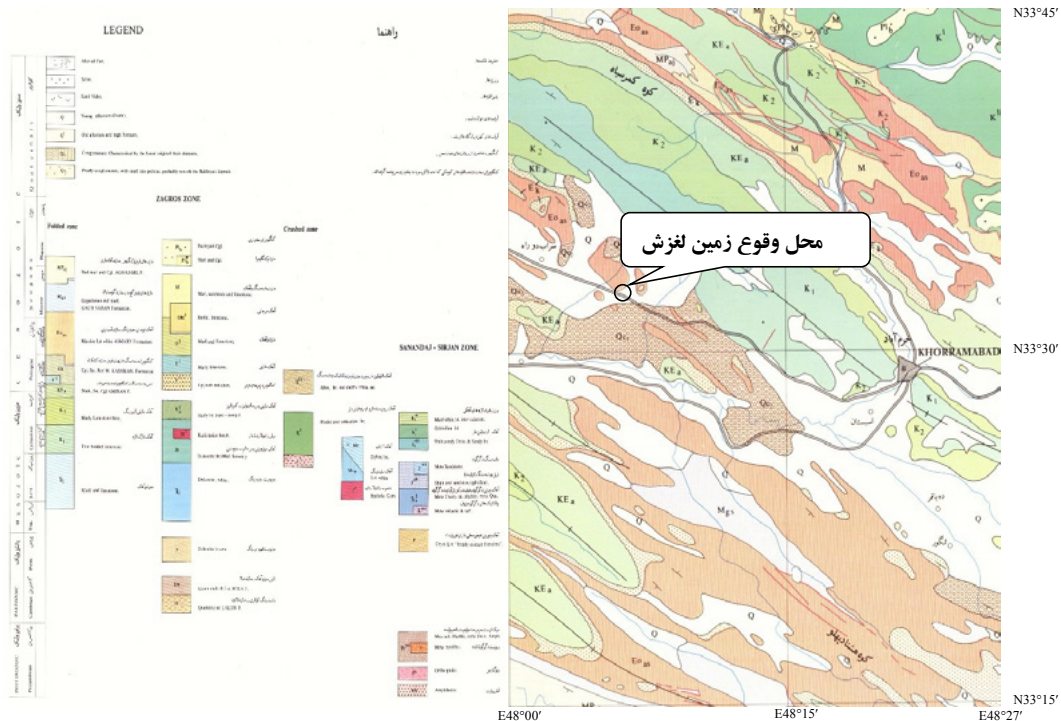
در تصاویر نشان داده شده به وضوح مشخص است که زمین لغزش مد نظر در منطقه ۳ که حاوی رسوبات رسی است با شدت بیشتری اتفاق افتاده است.

۳. توصیف زمین لغزش

ترانشه مورد نظر در راستای طرح تعریض جاده خرم‌آباد به پلدختر در سال ۱۳۸۸ و توسط اداره راه‌سازی شهرستان خرم‌آباد احداث شده است. این ترانشه دارای زاویه دامنه ۴۰ درجه و ارتفاع حدودی ۲۰ متر از پاشنه تا لبه حفاری شده است. البته سازندگان با ایجاد یک پله ایمنی کوشیده‌اند که ارتفاع و زاویه شیب‌رانی را در ۲ پله سرشکن کنند؛ چرا که ایجاد پله ایمنی به پایدار ماندن شیب‌های خاکی کمک وافری می‌کند.



شکل ۱- موقعیت زمین لغزش بر روی نقشه



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی شهرستان خرم‌آباد

با بررسی عکس هوایی سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷ منطقه روند رو به رشد زمین لغزش در طی این سال‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۴، ۵ و ۶).

تصویر شکل ۴ فروردین ماه سال ۱۳۸۹ گرفته شده که معادل یک فصل بارش منطقه پس از احداث ترانشه است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، حرکات در دامنه به حدی بوده که پله ایمنی تخریب شده است. تصویر شکل ۵ در خردادماه سال ۱۳۹۲ گرفته شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، تخریب گسترده‌تر شده و پله ایمنی به‌کل از بین رفته است. اما در تصویر شکل ۴ که در خرداد

ماه سال ۱۳۹۶ گرفته شده، دیده می‌شود که زمین لغزش گسترش یافته و حجم خاک جابه‌جا شده از دامنه به حدی است که تا حوالی جاده رسیده است (شکل ۷).

انتظار می‌رفت که حرکات ایجادشده در دیواره طی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در سال‌های بعد باعث ایجاد زمین لغزش قابل توجهی شود؛ ولی این اتفاق همان‌طور که در شکل ۶ (این عکس در خرداد ماه ۱۳۹۲ گرفته شده) مشاهده می‌شود، روی نداده است و می‌توان علت عدم ریزش را در کاهش نزولات جوی طی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۹۱ بیان کرد.



شکل ۳- روند تغییر ضخامت لایه آبرفتی



شکل ۴- عکس هوایی سال ۲۰۱۰ از منطقه زمین لغزش؛ حدود یک سال بعد از ایجاد ترانشه

۲۰

شماره ۲۱
بهار و تابستان
۱۴۰۱
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرار و تابستان
۱۴۰۱

تحلیل و بررسی زمین لغزش پاهل/ علی و بیس کریمی



شکل ۵- عکس هوایی سال ۲۰۱۳ از منطقه زمین لغزش



شکل ۶- عکس هوایی سال ۲۰۱۷ از منطقه زمین لغزش



شکل ۷- حرکت توده خاک به سمت جاده



شکل ۸- وجود درختان بلوط بر فراز ترانشه لغزش کرده

(۱)

$$FS = (\sum X / (1 + Y / FS)) / (\sum Z + Q)$$

$$X = [c + (\gamma_r h - \gamma_w h_w) \tan \phi] (\Delta X / \cos \psi_b)$$

$$Y = \tan \psi_b \tan \phi$$

$$Z = \gamma_r h \Delta X \sin \psi_b$$

$$Q = \frac{1}{2} \gamma_w Z^2 (\alpha / R)$$

در رابطه (۱) Q فشار آب منفذی در هر قطعه، c ، ϕ پارامترهای مؤثر مقاومت برشی خاک، γ_r وزن مخصوص توده سنگ، γ_w وزن مخصوص آب، h_w ارتفاع آب در قطعه مورد بررسی، h ارتفاع قطعه مورد مطالعه، R شعاع دایره لغزش بحرانی، a فاصله قائم بین مرکز دایره لغزش بحرانی و محل اعمال نیروی آب در ترک کششی، Z ارتفاع آب در ترک کششی، ψ_b زاویه شیب قاعده قطعه و ΔX پهنای افقی هر قطعه است [۱]. 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 [۱]. در مطالعه حاضر هم از نرم‌افزار اسلاید^۵ که توسط شرکت راک‌ساینس^۶ توسعه داده شده، استفاده شده است.

۴-۲. روش تنش-کرنش

در ارزیابی سازه‌های ژئوتکنیکی اغلب استفاده از روش‌های تعادل حدی برای تحلیل مسئله کافی بوده و روش‌های عددی پیشرفته^۷ فقط برای بهبود بخشیدن و تکمیل کردن 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^۸ صورت پذیرد که در این موارد استفاده از روش‌های عددی نه تنها مطلوب، بلکه ضروری است [۱۵].

در این تحقیق از روش عددی المان محدود^۹ برای مدل‌سازی استفاده شده است. روش المان محدود

اما همان‌طور که گفته شد، در سال زراعی ۹۴ نزولات جوی نسبت به دوره آماری مشابه ۱۱۷٫۷ درصد افزایش داشته که این افزایش بارندگی باعث ایجاد ریزشی سهمگین در ترانشه مد نظر شده است (شکل ۸). البته باید به این نکته اشاره شود که با توجه به جنگلی بودن منطقه شاید یکی از عواملی که باعث کندی روند زمین‌لغزش شده، وجود ریشه درختان بلوطی است که بر فراز ترانشه مستقر هستند که متأسفانه این زمین‌لغزش موجب از بین رفتن آن‌ها هم شده است (شکل ۸).

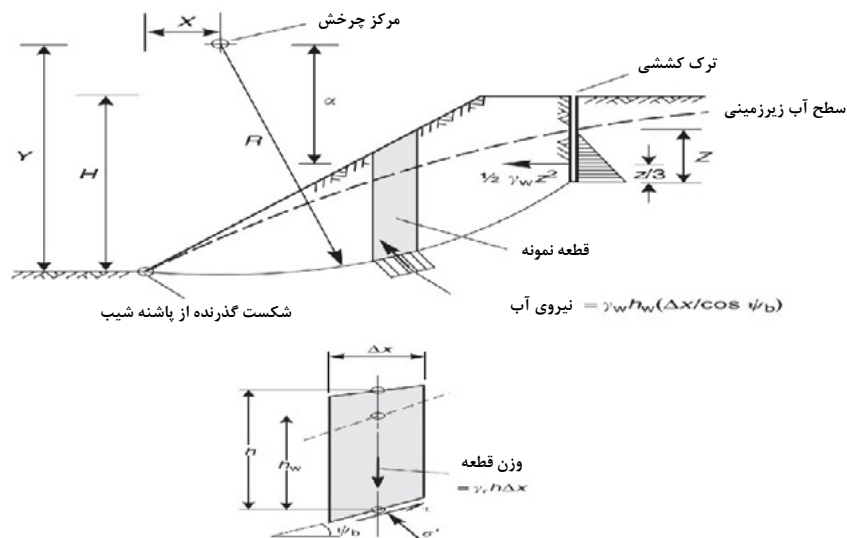
۴. تحلیل زمین‌لغزش

برای تحلیل زمین‌لغزش‌ها روش‌های مختلف تجربی، گرافیکی و ریاضی وجود دارد. روش‌های ریاضی روش‌های جامع‌تری بوده و خود به ۲ گروه روش‌های تعادل حدی^۲ و تنش-کرنش^۳ تقسیم می‌شوند [۱۲]. روش‌های تعادل حدیدر عین کارایی نسبت به روش‌های تنش-کرنش ساده‌تر و قابل فهم‌تر هستند [۱۳].

۴-۱. تعادل حدی

معمولاً در تمام روش‌های تعادل حدی توده خاک بالای سطح لغزش به قطعاتی قائم تقسیم می‌شود [۱۲]. نیروهای وارده بر هر قطعه جداگانه در شکل (۸) نشان داده شده است. روش‌های گوناگون تعادل حدی در زمینه فرضیات مربوط به معادلات تعادل نیروها و معادلات تعادل لنگرها حول نقطه مرکزی O اختلاف نظر دارند [۱۴].

در تحلیل زمین‌لغزش مورد نظر از روش ساده شده بیشاپ^۴ استفاده شد. در این روش از نیروی برشی 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 رابطه (۱) جستجو می‌شود [۱].



شکل ۸ - نمایش شماتیکی یک قطعه و نیروهای وارده بر آن [۱]

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 [۱۷].

۳-۴. ایجاد مدل هندسی دامنه و انتخاب ویژگی‌های ژئوتکنیکی
برای تعیین وضعیت هندسی دامنه لغزش کرده از تصاویر ماهواره‌ای نرم‌افزار GOOGLE EARTH استفاده شد. همچنین با مراجعه به محل و با استفاده از GPS برداشت‌های کنترلی انجام شد. وضعیت دامنه در آستانه و پس از لغزش هم به کمک اندازه‌گیری‌های انجام شده با GPS، متر و همچنین تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد. با استفاده از این اطلاعات در ابتدا مدل اولیه ۲ بعدی دامنه که مربوط به قبل از انجام فعالیت راه‌سازی است، در نرم‌افزار SLIDE 6 ایجاد شد.

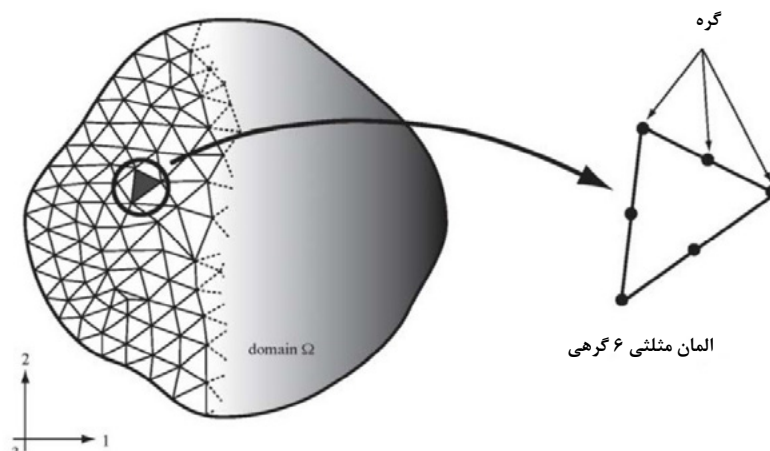
برای تکمیل مدل به شیب، امتداد لایه بندی و خواص ژئوتکنیکی لایه‌ها نیاز بود. شیب و امتداد لایه‌ها توسط قطب‌نما

نسبت به روش تعادل حدی دارای مزایایی از جمله مدل کردن شیب‌ها با درجه واقع‌گرایی بسیار بالا (هندسه پیچیده، بارگذاری‌های متناوب، حضور تقویت‌کننده‌ها، عملکرد آب، قوانینی برای رفتارهای پیچیده خاک) و بهینه کردن تصویرسازی تغییرشکل‌های ایجاد شده در شیب است [۱۳].

در روش المان محدود مدل به عنوان محیطی پیوسته در نظر گرفته می‌شود و در صورت لزوم ناپیوستگی‌ها به صورت مجزا و به تعداد محدود با المان‌های ویژه به نام المان فصل مشترک شبیه‌سازی می‌شوند. محدوده مدل یعنی زمین دربرگیرنده به تعداد محدودی المان تقسیم می‌شود که از طریق نقاط گرهی در گوشه‌های المان‌ها به هم متصل هستند (شکل ۹) [۱۶]. در روش المان محدود ارتباط هندسی و فیزیکی بین تمام المان‌های یک مدل به صورت یک مسئله ریاضی با معادلات ماتریسی انجام می‌شود. فرم کلی معادلات ماتریسی به صورت رابطه (۲) است [۱۷]:

$$[K] [D] = [F] \quad (2)$$

که در آن:



شکل ۹ - نمایش تصویری روش المان محدود در ۲ بعد [۱۸].

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	۳۸.۷۵	۱۸.۶۴	۲۰	۰	طوسی
آهک	۴۰۶.۹۳	۴۲.۱۵۷۳	۲۷	۰	سبز

که در طول فصول خشک سال عملاً خبری از جابه‌جایی توده سازنده ترانشه نیست.

برخلاف نتیجه‌ای که در شرایط خشک به دست آمد، در مورد نتیجه حاصل از اجرای مدل در شرایط مرطوب نتایج کاملاً متفاوت است. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، فاکتور ایمنی مقداری کمتر از یک دارد که این نشانه غلبه نیروهای محرک لغزش بر نیروهای مقاوم در برابر لغزش است. نکته قابل‌تأمل در نتایج حاصل این است که با وجود فاکتور ایمنی پایین عملاً لغزش صورت گرفته‌آنی نبوده و به مرور زمان در حال گسترش است. همان‌طور که پیشتر بیان شد، شاید این روند کند ناشی از تغییرات ریزش‌های جوی در طول سالیان متمادی و حتی تغییر در نوع بارندگی‌هاست که از بارندگی‌های کند با نفوذ بالا در حال تغییر به بارندگی‌های تند با قدرت نفوذ کم هستند. البته به مسلح بودن مواد سازنده ترانشه به وسیله ریشه درختان بلوط هم باید توجه شود؛ چرا که این ریشه‌ها از عوامل کاهنده نیروهای محرک لغزش به حساب می‌آیند.

سطح لغزش داده‌شده در شکل ۱۱ نشانه یک لغزش بزرگ‌تر از لغزشی است که در حال حاضر در ترانشه به وقوع پیوسته است. ترک‌های کششی مشاهده‌شده در محدوده زمین لغزش این قطعیت را به وجود می‌آورد که این لغزش هنوز فعال بوده و احتمال اینکه در آینده گسترش یابد هم وجود دارد (شکل ۱۲).

زمین لغزش‌های چرخشی با توجه به سطح لغزش و توده لغزنده به انواع زیر تقسیم می‌شوند [۱۹]:

لغزش از بستر: این نوع لغزش در امتداد قوسی که تمام شیب را فرا می‌گیرد، اتفاق می‌افتد. خاک نرمی که بر روی لایه‌ای از خاک سفت قرار داشته باشد، مستعد این نوع از لغزش است.

لغزش از پنجه: این نوع لغزش در امتداد قوسی که از پنجه شیب عبور می‌کند، اتفاق می‌افتد.

و مشاهده صحرایی تعیین شد. خواص ژئوتکنیکی هم بر اساس مشاهدات و برآورد صحرایی و همچنین کمک‌گرفتن 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 صورت‌گرفته 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 ۰.۲۵ اعمال شد.

با توجه به شرایط اقلیمی منطقه که دارای ۲ دوره ۶ ماهه با بارندگی و بدون بارندگی است، مدل‌های ساخته‌شده ابتدا در شرایط خشک و سپس در شرایط مرطوب اجرا و نتایج به طور همزمان در این مقاله آورده شده‌اند. به علاوه در مدل‌های ساخته‌شده در محل عبور جاده - به خاطر زیرسازی صورت‌گرفته در هنگام احداث جاده و به خاطر تردهای فراوانی که در این مسیر صورت می‌گیرد- نیروی گسترده‌ای معادل با ۱۰۰ kPa به عرض جاده اعمال شده است.

متأسفانه از وضعیت ترک‌های کششی قبل از رخ دادن زمین لغزش اطلاعی در دسترس نبود؛ برای همین در این تحقیق از اعمال ترک‌های کششی در مدل‌های ساخته‌شده خودداری شده است.

۵. بحث و بررسی نتایج

با توجه به شکل ۱۰ که نتیجه اجرای مدل در حالت خشک است، فاکتور ایمنی به دست آمده برای مدل ۱.۰۹۸ است. با فرض پایداری مدل برای فاکتورهای ایمنی بالاتر از یک این نتیجه نشان‌دهنده پایدار بودن مدل است. بر این اساس می‌توان گفت



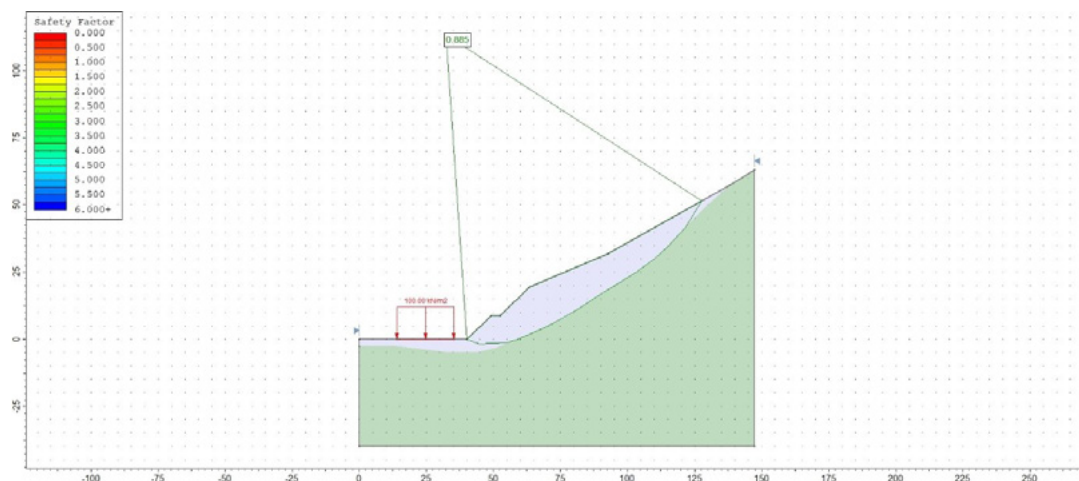
شکل ۱۰- فاکتور ایمنی، سطح لغزش و عمق نهایی سطح لغزش محاسبه‌شده برای زمین لغزش توسط نرم‌افزار Slide

لغزش شیب: این نوع لغزش در امتداد قوسی که از داخل شیب می‌گذرد، اتفاق می‌افتد.

زمین لغزش مد نظر همان طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، از نوع لغزش از پنجه بوده که تصویر شکل ۱۱ مؤید این موضوع است. البته وقوع این گونه از زمین لغزش در این ترانشه شاید در اثر باری

است که بر جاده وارد می‌شود؛ چرا که با اجرای مدل بدون بارگذاری جاده نتیجه به صورت شکل ۱۳ تغییر می‌کند.

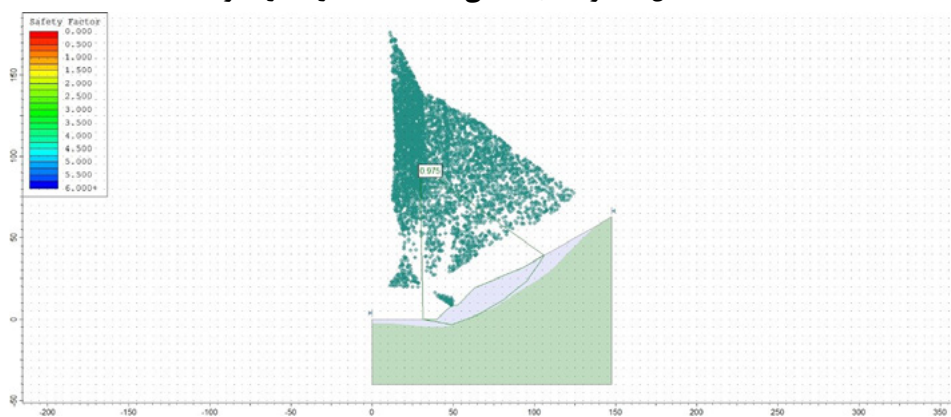
در ادامه برای ارزیابی نتایج به دست آمده از نرم افزار Slide و تکمیل کردن تحلیل‌های حرکات دامنه ترانشه، مدل ساخته شده در نرم افزار Slide به نرم افزار Phase انتقال داده شده و نتایج آن در شکل ۱۴ آورده شده‌اند. همان طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود،



شکل ۱۱- فاکتور ایمنی و سطح لغزش مدل در شرایط مرطوب



شکل ۱۲- ترک‌های کششی مشاهده شده در محدوده ترانشه



شکل ۱۳- سطح لغزش بعد از حذف بارگذاری جاده

نتایج تحلیل عددی معادل با تحلیل تعادل حدی هستند. تشابه جواب‌های هر ۲ تحلیل دال بر صحت مدل‌سازی است.

برای جلوگیری از این زمین‌لغزش راه حل‌های متفاوتی در دسترس بودند. یکی از این راه حل‌ها که در این مقاله پایداری شیب با آن ارزیابی شده است، روش میخکوبی خاک^{۱۰} است. تراکم پیشنهادی میخ‌ها برای این شیب ۲*۳ بوده و طول هر میخ ۱۵ متر در نظر گرفته شده که به طور عمود بر رخساره‌های شیب اعمال شده‌اند. در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود که با اعمال الگوی میخکوبی بر روی شیب مرطوب اندازه فاکتور ایمنی از ۰.۸۸۵ به ۱.۰۲۶ افزایش می‌یابد و این به معنای ایجاد پایداری نسبی در شیب است.

۶. نتیجه‌گیری

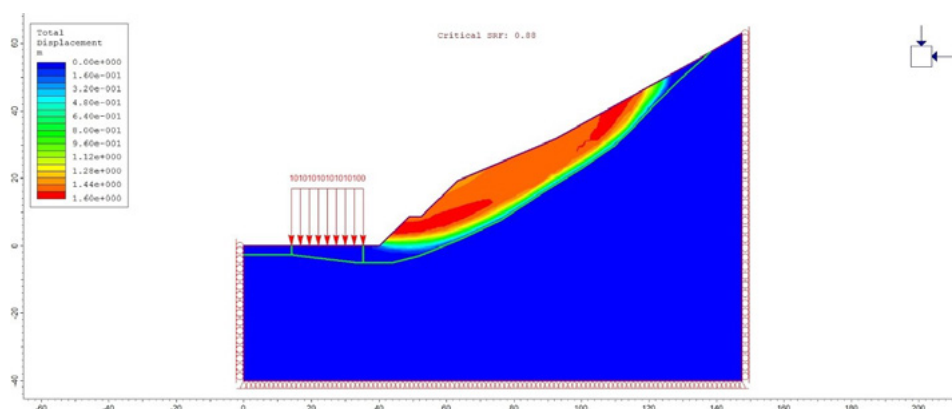
با توجه به تحلیلی که برای زمین‌لغزش یادشده صورت گرفت، مشخص شد که این زمین‌لغزش در فصل‌های با بارندگی فاکتور ایمنی کمتر از یک دارد که نتیجه آن حرکت توده خاک بر روی سطح لغزش است. البته این حرکت به دلایلی از جمله منقطع بودن فصل‌های بارندگی و وجود ریشه درختان بلوط خیلی کند انجام شده است. وجود ترک‌های کششی در لبه بالایی زمین‌لغزش و سطح لغزش به‌دست‌آمده از تحلیل نرم‌افزاری این یقین را ایجاد کرد که زمین‌لغزش هنوز کامل نشده و به مرور زمان در حال کامل شدن است. همچنین نشان داده شد که در صورت استفاده از

میخ‌های خاکی به عنوان تجهیز نگهداری سطح ترانشه فاکتور ایمنی به طور چشمگیری افزایش می‌یافت و حتی در فصول با بارندگی مقدار فاکتور ایمنی به بالاتر از یک می‌رسید.

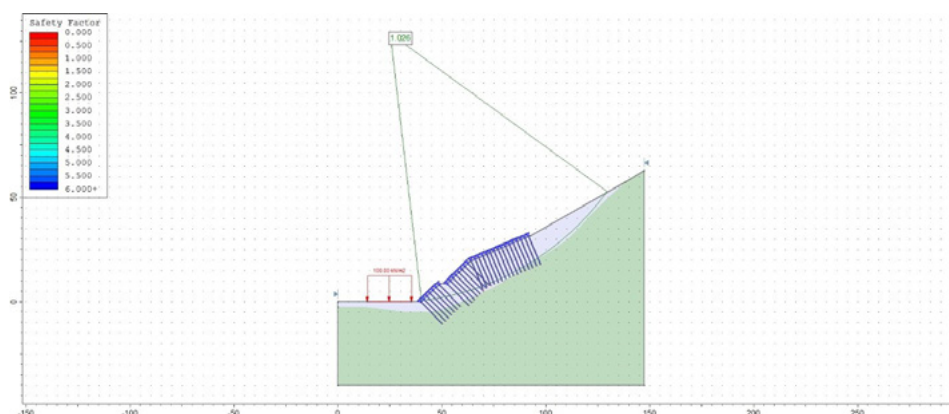
پیش‌مطالعات دقیق زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و آب و هوایی منطقه، تحلیل‌های نرم‌افزاری و اجرای یک سیستم نگهداری مناسب می‌توانست از وقوع این زمین‌لغزش جلوگیری کند. اما متأسفانه علاوه بر اینکه در جهت پیشگیری اقدامی انجام نشده، هم‌اکنون که زمین‌لغزش نمایان شده و با چشم غیرمسلح قابل دیدن است، در جهت کاهش خطرات احتمالی ناشی از گسترش آن هنوز اقدام نشده است.

پی‌نوشت

1. Alluvium
2. Limit Equilibrium Method
3. Stress-Strain Method
4. Bishop's simplified method
5. SLIDE
6. Rocscience
7. Advanced Numerical Methods
8. Embankments
9. Finite Element Method
10. Soil Nailing



شکل ۱۴- SRF محاسبه شده و سطح لغزش به وجود آمده در مدل



شکل ۱۵- وضعیت شیب بعد از اعمال میخ‌ها

16. T. Scheldt, "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, 2002.
17. D. V. Hutton, Fundamentals Of Finite Element Analysis, New York: MC Graw Hill companies , 2004.
18. A. Bobet, "Numerical Methods in Geomechanics," The Arabian Journal for Science and Engineering, vol. 35, no. 1B, pp. 27-48, 2010.
۱۹. م. بودهو و م. یوسفزاده فرد، مکانیک خاک و پی، تبریز: انتشارات دانشگاه تبریز، ۱۳۸۵.
1. D. C Wyllie and C. W Mah, Rock Slope Engineering CIVIL AND MINING, New York: Spon Press, 2004.
2. J. Read and P. Stacey, Guidelines for open pit slope design, Australia, New Zealand and South Africa : CSIRO PUBLISHING, 2009.
۳. و. هوسترولید و م. کوچتا، طراحی و برنامه ریزی معادن روباز، تهران: دانشگاه صنایع و معادن ایران، ۱۳۸۳.
۴. برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن - وزارت صنایع و معادن، "دستورالعمل تحلیل پایداری و پایداری سازی شیب ها در معادن روباز"، سیمای دانش، تهران، ۱۳۸۹.
۵. م. وفائیان، سدهای خاکی و سنگریز، اصفهان: جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳ آذر ۱۳۹۱.
6. A. W. Bishop, "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes," in First Technical Session : General Theory of Stability of Slopes, 21, September, 1954.
- ۱.۷. نوری دلور و ا. فرازمنند، "اصول پایداری و روش های تحلیل و آنالیز شیروانی ها"، در چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران، دسامبر ۲۰۱۶.
8. E. Spencer, "A Method Of Analysis Of The Stability Of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces," Geotechnique, vol. 17, pp. 11-26, 1967.
9. N. Moregenstern, "No Access Stability Charts for Earth Slopes During Rapid Drawdown," Géotechnique, vol. 13, no. 2, pp. 121-131, June 1963.
۱۰. م. لشنی زند، ب. پروانه و ف. بیرانوند، "پهنه بندی اقلیمی استان لرستان با استفاده از روش های آماری و تعیین مناسب ترین روش تجربی"، فصل نامه جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۱۱، pp. ۸۹-۱۰۶، بهار ۱۳۹۰.
۱۱. مرکز تحقیقات اداره کل هواشناسی استان لرستان، "سوز و سیل"، نشریه داخلی اداره کل هواشناسی استان لرستان، فصل نامه شماره ۳۲، pp. ۷-۵، پاییز ۱۳۹۴.
12. Y. Cheng and C. Lau, Slope Stability Analysis and Stabilization: New Methods and Insight second edition, Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014.
13. C. Matthews, Z. Farook and P. Helm, "Slope stability analysis - limit equilibrium or the finite element method?", Ground Engineering, pp. 22-28, 2014.
14. O. C. Rickard and N. Sitar, "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, 2012.
15. R. Chowdhury, P. Flentje and G. Bhattacharya, Geotechnical Slope Analysis, Boca Raton, London, New York, Leiden: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010.

طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلايا با در نظر گرفتن هزینه محرومیت با رویکرد عدم قطعیت مطالعه موردی: سیل ۱۳۹۷ شهرستان ساری

مهدی مدیری^۱: استاد تمام دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، Email: m_modiri@mut.ac.ir

سمیرا حسن زاده: دانشجوی دکتری مدیریت بحران دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

محمد اسکندری: استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

سوانح طبیعی در مقیاس بزرگ بارها رخ داده و منجر به پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی شده است. به عبارتی سوانح طبیعی تهدیدی جدی برای توسعه پایدار محسوب می شوند. اخیراً مدل سازی پایدار لجستیک امداد بلايا توجه فزاینده ای را به خود جلب کرده است. در نظر گرفتن جنبه های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی پایداری برای کاهش اثرات منفی فاجعه در مسئله لجستیک امداد بلايا ضروری است. هدف اصلی این پژوهش ارائه یک مدل ریاضی چندهدفه به منظور طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلاياست. ویژگی اصلی این مدل این است که جنبه های اقتصادی، اجتماعی (هزینه محرومیت) و زیست محیطی پایداری را در تابع هدف در نظر می گیرد. با توجه به اینکه عدم قطعیت در ماهیت این مسئله وجود دارد، به منظور مقابله با عدم قطعیت از رویکرد بهینه سازی استوار فازی و برای حل مدل چندهدفه از روش برنامه ریزی آرمانی چندگزینه ای استفاده شده است. به منظور بررسی کارایی مدل یک مطالعه موردی بر اساس داده های واقعی (سیل شهرستان ساری) انجام شده است. در این پژوهش تعداد بهینه مراکز توزیع و مکان هر مرکز توزیع به گونه ای تعیین می شوند که هزینه های اقتصادی، اجتماعی و میزان آلودگی های زیست محیطی به حداقل برسد و هر مرکز توزیع با توجه به ظرفیت ویژه خود به مجموعه ای از نقاط تقاضا با انواع متفاوتی از کالاها خدمت رسانی کند. با استفاده از مدل پیشنهادی ما تصمیم گیرندگان و مدیران قادر به تصمیم گیری های استراتژیکی و تاکتیکی با کمترین هزینه و زمان می شوند و در برنامه ریزی های امداد می توانند ساختار شبکه توزیع را بهبود بخشیده و نارضایتی آسیب دیدگان را کاهش دهند.

کلیدواژه: شبکه توزیع پایدار، کالاهای اضطراری، لجستیک امداد بلايا، هزینه محرومیت، عدم قطعیت.

Sustainable Emergency Goods Distribution Network Design in Disaster Relief Logistic Considering the Deprivation Cost under Uncertainty

Case Study: 2019 flood in Sari city

Mahdi Modiri^{1*}, Samira Hasanzadeh², Mohammad Eskandari³

Abstract

Large-scale natural disasters have occurred many times and led to social, economic and environmental consequences. In other words, natural disasters are a serious threat to sustainable development. Recently, sustainable modeling of disaster relief logistics has increasingly attracted attention. It is vital to take the economic, social, and environmental aspects into account in the disaster relief logistic problem to reduce the harmful effects of a disaster. The present study aims to develop a multi-objective mathematical programming model for designing a sustainable distribution network of emergency goods in disaster relief logistics. The key feature of this formulation being the fact that it explicitly considers the economic, social (deprivation cost) and environmental aspects of sustainability in the objective function. Considering the inherent uncertainty in this issue a robust fuzzy optimization approach is utilized to deal with the uncertainty. Further, multi-choice goal programming is used to solve the multi-objective model. Finally, a case study was conducted on Sari city, Mazandaran Province, to verify the model performance. In this investigation, the optimal number and location of distribution centers are determined such that the economic, social costs and the environmental pollution level are minimized, and each distribution center provides services concerning its particular capacity to a set of demand points with different types of commodities. Using the proposed model, decision-makers and managers are able to make strategic and tactical decisions with the least cost and time, and in relief planning can enhance the structure of distribution networks and inventory and reduce victims' dissatisfaction.

Keywords: Sustainable distribution network, Emergency goods, Disaster relief logistics, Deprivation cost, Uncertainty.

1-Full professor at Malek Ashtar University of technology, Tehran, Iran, Email: m_modiri@mut.ac.ir

2-Ph.D student in Crisis Management, Malek Ashtar University of technology, Tehran, Iran

3-Assistant professor, faculty member of Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

۱- مقدمه

علی‌رغم پیشرفت علم و فناوری انسان هنوز در مقابل عوارض سوانح ناشی از دگرگونی‌های طبیعت مانند (سیل، زلزله، آتشفشان و ...) آسیب‌پذیر است. به‌طور کلی بیش از ۴۰ نوع سوانح طبیعی با زیرمجموعه‌های متعدد شناسایی شده که از این تعداد حدود ۳۱ نوع سوانح طبیعی سرزمین ایران را تهدید می‌کند [۱]. طبق آمارهای سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۱ ایران بعد از چین، هند و بنگلادش چهارمین کشور حادثه‌خیز در آسیا محسوب می‌شود [۲]. سوانح طبیعی در مقیاس بزرگ چندین بار رخ داده و منجر به پیامدهای اجتماعی و اقتصادی مانند مرگ‌ومیر، از دست دادن دارایی‌ها و اختلالات زیست‌محیطی هم در داخل کشور آسیب‌دیده و هم در سراسر جهان شده است. به عبارتی سوانح طبیعی تهدیدی جدی برای توسعه پایدار محسوب می‌شوند [۳، ۴]. در زمان وقوع بحران مسئله اساسی تصمیم‌گیری در مورد مکان مناسب مراکز توزیع در منطقه سانحه دیده است تا به‌عنوان نقاط توزیع کالاهای امدادی عمل کند. مراکز توزیع پیوند کلیدی بین مراکز تأمین و نقاط تقاضا هستند و باید به‌طور استراتژیک بلافاصله بعد وقوع سانحه ایجاد و قادر به پاسخ کافی باشند [۵]. تصمیم‌گیری برای استقرار استراتژیک و تخصیص موجودی به مراکز توزیع اغلب بعد از وقوع فاجعه صورت می‌گیرد. تا این زمان بازماندگان به دلیل عدم دسترسی به منابع حیاتی دچار آسیب و رنج می‌شوند؛ بنابراین مکان‌های انتخاب‌شده برای قرارگیری مراکز توزیع به‌طور مستقیم بر زمان پاسخ دادن به ارائه کالاهای حیاتی به نقاط تقاضا تأثیر می‌گذارد [۶]. توزیع به‌موقع به‌طور مستقیم بر هزینه‌های محرومیت متحمل‌شده توسط کسانی که در طول زمان رنج می‌برند، تأثیر می‌گذارد؛ زیرا آن‌ها منتظر تحویل منابع حیاتی هستند. هر زمان که منابع حیاتی به جمعیتی تحویل داده می‌شود، هزینه-فرصت ازدست‌رفته‌ای برای جمعیت سایر نقاط که در آن زمان کالاهای حیاتی را دریافت نمی‌کنند، وجود دارد [۷].

برای محاسبه این هزینه‌ها در برابر هزینه‌های عملیاتی فاز پاسخ مدل‌های لجستیک امداد بلایا باید یک مؤلفه زمانی را برای ثبت زمانی که هر جمعیت دسترسی به کالاهای حیاتی را از دست می‌دهد و در نتیجه از آن رنج می‌برد، استفاده کرد. این مؤلفه زمانی می‌تواند برای محاسبه هزینه محرومیت در هر نقطه تقاضا استفاده شود. هزینه‌های محرومیت می‌تواند در تابع هدف مدل‌های کاهش هزینه به همان روش هزینه‌های حمل‌ونقل و عملیات مورد استفاده قرار گیرد؛ بنابراین استفاده از یک تابع هدف که هزینه‌های اجتماعی را کاهش می‌دهد، بسیار مناسب است. به‌طوری‌که هم هزینه‌های پاسخ‌دهندگان و هم هزینه‌های متحمل‌شده توسط بازماندگان را در نظر بگیرد [۵]. فرض بر این است که افراد در فاز پاسخ (داوطلبان، سازمان‌های دولتی، سازمان‌های غیردولتی) و افراد ذی‌نفع (بازماندگان) در گروه‌های مجزا هستند. باید معیاری برای نشان دادن رنج بازماندگان ناشی از عدم دسترسی به کالاهای حیاتی در طی زمان معرفی شود. این معیار به‌عنوان هزینه محرومیت شناخته می‌شود و آن هزینه‌های اقتصادی که در طی زمان توسط بازماندگان متحمل می‌شود

را کمی‌سازی می‌کند؛ زیرا آن‌ها به دلیل عدم دسترسی به منابع حیاتی رنج می‌برند [۸]. این پژوهش از اهمیت گنجاندن اصول رفاه اقتصادی در مدل‌های لجستیک امداد بلایا جهت امداد رسانی بعد از فاجعه استفاده می‌کند تا مبنایی برای تصمیم‌گیری در مورد استراتژی‌های تحویل و اطمینان از بهترین تخصیص کالاهای اضطراری به جمعیت آسیب‌دیده فراهم کند. با این کار مدلی استراتژیک برای پیش‌بینی منابع تهیه می‌شود؛ به‌گونه‌ای که رنج قربانیان را با توجه به هزینه‌های اجتماعی به حداقل می‌رساند. مدلی که به‌طور شفاف هزینه‌های عملیاتی و محرومیت را در تابع هدف خود در نظر می‌گیرد. در این پژوهش برای ارزیابی هزینه محرومیت ناشی از زمان صرف‌شده برای تحویل کالاهای اضطراری از رویکرد انتخاب گسسته کانتیلو و همکاران [۹] استفاده شد که به‌عنوان تغییرات در رفاه مردمی که تحت تأثیر بلایای طبیعی قرار گرفته‌اند، تعریف شده است. اهداف لجستیک امداد بلایا تضمین تحویل به‌موقع منابع به افراد آسیب‌دیده از فاجعه در مرحله پاسخ و کاهش رنج‌های انسانی و به‌حداقل‌رساندن تلفات است. در این راستا طراحی مدل‌های مناسب برای به‌حداقل‌رساندن هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی عملیات پاسخ و توزیع کالاهای اضطراری به جمعیت آسیب‌دیده ضروری است.

این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط چندهدفه به‌منظور طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا تحت عدم قطعیت و با در نظر گرفتن هزینه محرومیت ارائه می‌دهد. در این تحقیق ما به‌صورت یکپارچه هر ۳ جنبه پایداری را با ترکیب هزینه‌های امداد (بعد اقتصادی)، هزینه محرومیت (بعد اجتماعی) و انتشار کربن (بعد زیست‌محیطی) در نظر گرفتیم. تابع هدف اول میزان هزینه‌های کل شبکه را کمینه می‌کند. تابع هدف دوم میزان آلایندگی تولیدشده توسط شبکه را کمینه می‌کند. این مدل برای تعیین مقدار هر نوع محصولی که برای خدمت به مناطقی که تحت تأثیر سوانح طبیعی در طول واکنش اولیه قرار دارند، مفید است و به آن دسته از مداخلات کمک اشاره دارد که باید فوراً انجام شود. مابقی مقاله به شرح زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم مقالات مرتبط با مدل‌های استراتژیک مورد استفاده در لجستیک امداد بلایا و ارزیابی هزینه محرومیت ارائه می‌شود. در بخش سوم تعریف مسئله بیان می‌شود. در بخش چهارم روش تحقیق شامل مدل ریاضی عدد صحیح مختلط چندهدفه به‌منظور طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا و مدل‌سازی عدم قطعیت و روش حل تشریح می‌شود. در بخش پنجم کاربرد مدل در سیل سال ۱۳۹۷ شهرستان ساری بررسی و نتایج ارائه می‌شود. و تحلیل حساسیت روی پارامترهای مهم مسئله انجام می‌شود. در نهایت بخش ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادها جهت تحقیقات آینده را بیان می‌کند.

مرور ادبیات

در این پژوهش تحقیقات مرتبط با طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری با در نظر گرفتن اهداف تحقیق مورد مطالعه و

بررسی بیشتر قرار گرفته است. آکپهال [۱۰] به ارائه مدلی جهت مکان‌یابی مراکز مدیریت بحران جهت مدیریت کالاهای امدادی پرداخته است. تزنگ و همکاران [۱۱] یک مدل قطعی چند معیاره برای توزیع کالاهای اضطراری به مناطق آسیب‌دیده با در نظر گرفتن هزینه، زمان پاسخ و رضایتمندی مشتریان ارائه داده و آن را به کمک روش برنامه‌ریزی چندهدفه فازی حل کردند. لین و همکاران [۱۲] به ارائه یک مدل لجستیکی چند دوره‌ای، چند کالایی و چند وسیله نقلیه‌ای برای برنامه‌ریزی لجستیکی کالاهای مهم و اولویت‌دار در فاز پاسخ به فاجعه پرداخته‌اند. مدل یادشده دارای ۲ تابع هدف بوده که اولین آن به کمینه کردن تقاضاهای پاسخ‌داده‌نشده پرداخته و تابع هدف دوم به حداقل کردن زمان سفر پرداخته است. برکونه و همکاران [۱۳] هم به ارائه مدلی ریاضی برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کالاها در فاز پاسخ پرداخته که در آن به کمینه‌سازی زمان سفر وسایل نقلیه حامل کالاها می‌پردازد. هاتفی و جولایی [۱۴] مدلی استوار و قابل اطمینان برای طراحی شبکه لجستیکی با جریان روبه‌جلو و بازگشت ارائه می‌دهند که به‌طور هم‌زمان پارامترهای نامشخص و اختلالات تسهیلات را در نظر می‌گیرند. مدل پیشنهادی بر اساس رویکرد بهینه‌سازی استوار برای حفظ امنیت شبکه در برابر عدم قطعیت صورت پذیرفته است. لیو و همکاران [۱۵] یک مدل مکان‌یابی تسهیلات قابل اطمینان تحت عدم قطعیت ارائه کرده‌اند که در آن اختلال تسهیلات تصادفی با توزیع مشترک وابسته فرض شده است. ژانگ و همکاران [۱۶] یک مدل مکان‌یابی قابل اطمینان با در نظر گرفتن ریسک تحت اختلال در زنجیره پیشنهاد داده‌اند. در پژوهش آن‌ها احتمال خرابی تسهیلات در نظر گرفته شده و در صورت خرابی تسهیل اختصاص‌یافته به نقطه‌ای در یک سطح تسهیل دیگری در سطح بعدی به آن اختصاص می‌یابد و اگر تمام تسهیلات تخصیص‌یافته به یک نقطه دچار آسیب شوند، هزینه جریمه برای آن در نظر گرفته می‌شود. ریورا و همکاران [۱۷] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای تخمین نمای ماهیت هزینه محرومیت پیشنهاد کردند. یک تابع محرومیت خطی وابسته به تعداد دوره‌های زمانی برای در نظر گرفتن زمان محرومیت استفاده می‌شود. این تقریب می‌تواند با کاهش دوره‌های برنامه‌ریزی بهبود یابد؛ اما فرض بر این است که تقاضا تنها یک بار در آغاز افق زمانی افزایش می‌یابد. این اغلب یک فرض غیرواقعی است؛ با این فرض که نیازهای قربانیان معمولاً در هر لحظه در طول زمان فاجعه رخ می‌دهد. حقی و همکاران [۱۸] یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای مکان‌یابی مراکز توزیع کالاهای امدادی و مراکز بهداشتی به‌منظور توزیع کالاهای امدادی و انتقال مجروحان به مراکز بهداشتی با فرض محدودیت بودجه‌ای پیش و پس از بحران توسعه دادند. برای نزدیک شدن مدل با واقعیت، عدم قطعیت در تقاضا، تأمین و پارامترهای هزینه‌ای در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی میزان پاسخ به نیازهای پزشکی افراد آسیب‌دیده را حداکثر می‌بخشد؛ در حالی که هدف قرار دادن توزیع صحیح کالاهای امدادی و به حداقل رساندن هزینه‌های کل مرحله آمادگی و واکنش است. کانتیلو و همکاران [۹] در پژوهشی از نظریه

رویکرد انتخاب گسسته برای ارزیابی هزینه‌های محرومیت ناشی از زمان صرف‌شده برای تحویل سبد مواد اولیه که به‌عنوان تغییرات رفاه مردمی تحت تأثیر بلایا قرار گرفته‌اند، استفاده می‌کند. کائو و همکاران [۱۹] یک مدل ریاضی چندهدفه برای پایداری زنجیره تأمین بلایا به‌منظور به حداقل رساندن رضایت قربانیان و به حداقل رساندن بیشترین انحراف در رضایت قربانیان برای تمام نقاط تقاضا ارائه داده‌اند و برای حل این مدل ریاضی الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد داده‌اند. همچنین برای اعتبارسنجی مطالعه موردی از زلزله ونچوان نشان داده شده است. لوری و آروس [۵] یک مدل ریاضی برای تعیین مکان توزیع و تخصیص موجودی لجستیک بشردوستانه پس از فاجعه ارائه دادند که این مدل هزینه محرومیت، لجستیک و تسهیلات را به حداقل می‌رساند و به نقاط تقاضا اجازه می‌دهد تا از چندین نقاط توزیع استفاده کنند. نکته قابل توجه اینکه یک مرکز توزیع ممکن است موجودی را برای خدمت به تمام نقاط تقاضا که به آن اختصاص داده شده، نداشته باشد. رحمانی و همکاران [۲۰] مدلی قابل اطمینان و استوار برای زنجیره تأمین امداد بشردوستانه برای مقابله با اختلال در تسهیلات بعد از زلزله ارائه داده‌اند. لئو و همکاران [۲۱] یک مدل توزیع چند کالایی و چند دوره‌ای ارائه دادند که هم کالاهای امدادی و هم افراد آسیب‌دیده را برای به حداقل رساندن کل تقاضای برآورده‌نشده در نظر می‌گیرد و به‌منظور کاربرد مدل و چارچوب پیشنهادی از داده‌های زلزله ونچوان استفاده کردند. کوتس و کانتیلو [۲۲] مدل مکان‌یابی تسهیلات را برای پیش‌بینی منابع در فاز آمادگی در بحران توسعه می‌دهند.

به دلیل افزایش الزامات زیست‌محیطی و اجتماعی، پایداری در حال حاضر نگرانی اجتماعی برای توسعه شده است. در این زمینه طراحی یک شبکه لجستیک اضطراری پایدار چالشی برای تصمیم‌گیرندگان است. برای پاسخ به این چالش‌ها پایداری شبکه لجستیک اضطراری نه تنها باید جنبه‌های اقتصادی بلکه جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی را هم باید در نظر بگیرد. در سال‌های اخیر طراحی سیستم‌های شبکه لجستیک اضطراری توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. در مجموع مرور متون نشان می‌دهد که تحولی اساسی در روند مدل‌سازی مورد استفاده در لجستیک امداد بلایا وجود دارد. محققان نیاز به بررسی هزینه‌های محرومیت و هزینه‌های لجستیک را تشخیص می‌دهند. مسئله مهمی که به‌ندرت مورد توجه پژوهش‌های قبلی قرار گرفته، این است که در زمان وقوع یک فاجعه مراکز توزیع ممکن است دچار اختلال شده و قادر به ارائه خدمات نباشند که این مراکز به‌عنوان مراکز توزیع غیرقابل اطمینان نامیده می‌شود. با در نظر گرفتن شکاف‌های تحقیقاتی نوآوری پژوهش حاضر بدین شرح است: در این پژوهش به‌منظور کاهش ریسک و کاهش تقاضای برآورده‌نشده مراکز توزیع قابل اطمینان در نظر گرفته می‌شود تا در صورت عدم توانایی مراکز توزیع نامطمئن کالاهای امدادی را به نقاط تقاضا ارسال کند. طبیعت غیرقابل پیش‌بینی شرایط اضطراری ممکن است منجر به تصمیمات واقعی شود که معمولاً در حالت عدم قطعیت هستند. به‌منظور سازگاری بیشتر با

دنیای واقعی در این پژوهش عدم قطعیت پارامترها مانند (تقاضای مناطق آسیب دیده و هزینه های لجستیکی) مورد توجه قرار گرفته است. در مقالات موجود در حوزه طراحی شبکه توزیع در لجستیک امداد بلایا، قابلیت اطمینان، عدم قطعیت، هزینه محرومیت و احتمال اختلالات به صورت پراکنده وجود داشته و هیچ مدلی نبوده که به صورت یکپارچه همه این موارد را با هم داشته باشد. همچنین تحقیقات زیادی با موضوع پایداری در زنجیره تأمین تجاری انجام شده؛ اما موضوع پایداری هنوز در تحقیقات لجستیک امداد بلایا بسیار محدود است و در حال حاضر هیچ پژوهشی مرتبط با مدیریت توزیع کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا از منظر پایداری در چارچوب نظریه عدم قطعیت به طوری که تمامی معیارهای بالا را در برداشته باشد، صورت نگرفته است. در این پژوهش ما به صورت یکپارچه پایداری را با ترکیب هزینه های امدادی (بعد اقتصادی)، هزینه محرومیت (بعد اجتماعی) و انتشار کربن (بعد زیست محیطی) در نظر گرفتیم. در مطالعات صورت گرفته برای مقابله با انواع عدم قطعیت در مسئله لجستیک امداد بلایا روش های مختلفی وجود دارد؛ اما رویکردی که تاکنون در هیچ یک از این گونه تحقیقات صورت نگرفته، رویکرد چندهدفه استوار-فازی است که در این پژوهش برای مقابله با نوع عدم قطعیت به کار گرفته خواهد شد؛ بنابراین با توجه به تحقیقات صورت گرفته یک مدل چندهدفه با در نظر گرفتن هزینه محرومیت، عدم قطعیت، قابلیت اطمینان، احتمال خطر و اختلالات با تمرکز بر پایداری برای مسئله لجستیک امداد بلایا پیشنهاد می شود. در این پژوهش انواع کالاها از طریق حالت های مختلف حمل و نقل بین مراکز توزیع، تأمین و نقاط تقاضا منتقل می شود. هر یک از وسایل نقلیه مقدار متفاوتی از گاز CO₂ را مطابق با مسافت پیموده شده منتشر می کنند. در این پژوهش مدل ارائه شده تلاش می کند تا علاوه بر کاهش هزینه های اجتماعی آلاینده های زیست محیطی را کاهش دهد. برای حل مدل چندهدفه از روش برنامه ریزی آرمانی چندگزینه ای استفاده شده است. در نهایت به منظور بررسی کارایی مدل مطالعه ای موردی بر روی استان مازندران (سیل سال ۱۳۹۷ شهرستان ساری) انجام شده است.

۱.۲. پیشینه نظری هزینه محرومیت

در حوزه اقتصاد کمی کردن هزینه های محرومیت از اهمیت زیادی برخوردار است. به هر حال محاسبه ارزش رنج انسان از زمان محرومیت کالاهای ضروری وقتی که فاجعه رخ می دهد، بسیار دشوار است. برای اقتصاددانان این موضوع یک مسئله جدی نیست؛ زیرا تخصیص ارزش پولی به کالاها و خدمات غیربازاری کاری رایج و به طور یکنواخت کاری ضروری است؛ زیرا معاملات اقتصادی اغلب هزینه ها و سودهایی را ایجاد می کنند که با قیمت تعادلی بین عرضه و تقاضا به دست نمی آیند [۲۳]. مزایا برای تحویل به موقع کالا با مفهوم محرومیت مرتبط است و به عنوان عدم دسترسی به کالاها و خدمات تعریف می شود [۲۴]. به عنوان مثال برون [۲۵] محرومیت را از دیدگاه اقتصادی مورد مطالعه قرار داده و نتیجه می گیرد محرومیت مفهوم نسبی است؛ چرا که مقایسه ای شخصی بین موقعیت واقعی آن ها و وضعیت بقیه

جامعه است. در اصل هرگونه اثر محرومیت با چند درجه از رنج برای شخصی که آن را تجربه می کند، در ارتباط است. برای مثال ارزش ذهنی زمان به وسیله بایس و همکاران [۲۶] به عنوان اندازه گیری غیرمستقیم رنج در نظر گرفته شده است؛ بنابراین وقتی شخصی تصور می کند که زمان ذهنی حتی طولانی تر از زمان تقویمی است، این نشان دهنده سطح بالایی از رنج است. وقتی شخصی زمان ذهنی را طبق معمول و یا کوتاه مدت تصور می کند، برخلاف حالت قبل بیانگر رفاه است. نویسندگان دیگر پیشرفت ها و توسعه های خود را بر روی تمایل برای پرداخت کالاهای ضروری (مانند آب و غذا) قرار دادند تا احتمال مرگ را کاهش دهند. تمایل به پرداخت نشانگر بزرگی رنج بیان شده که می تواند به آسانی از طریق طراحی و پیاده سازی نظرسنجی های ارزش گذاری مشروط مورد خطاب واقع شود؛ به گونه ای که افراد در موقعیت های گزینه فرضی قرار داده می شوند و ارزیابی بهتری از دامنه هزینه های آن ها به وجود می آید. به این شکل هولگوین و همکاران [۲۷] یک آزمایش ارزش گذاری مشروط را توسعه دادند تا عملکردهای هزینه های محرومیت را تخمین بزنند. این آزمایش از مردم درخواست می کند تا تمایل خود را به طور مستقیم برای پرداخت گزارش دهند تا مقداری از آب آشامیدنی را بعد از یک زمان خاص محرومیت به دست آورند. استفاده از تکنیک های ترجیحات بیان شده و مدل های انتخاب گزینشی جایگزینی با قدرت اقتصاد خرد بالا است تا مزایا را برای تحویل زمان بندی شده کالاهای امدادی ضروری در عملیات امدادی بشردوستانه را تخمین می زند. یکی از رویکردها برای تخمین زدن تمایل به پرداخت معیارهای سنتی تغییر در مازاد مصرف کننده را در نظر می گیرد. این معیارها می توانند برای برجسته کردن تغییرات غیر حاشیه ای در ویژگی هایی که شامل تغییرات در احتمالات گزینه هستند، مورد استفاده واقع شوند؛ بنابراین مدلی وجود دارد که به وسیله کانتیلو و دیگران [۹] توسعه داده شده که تغییر رفاه شخص را برای تقاضای برآورده نشده و دیر برآورده شده با در نظر گرفتن آب به عنوان ماده ای حیاتی در زندگی تخمین می زند. در تمامی موارد تابع مطلوبیت سیستماتیک V_{nj} (نشان دهنده فرد j جایگزین) شامل اثرات ویژگی های مرتبط با رفاه فرد آسیب دیده در زمان محرومیت بوده است. وقتی تمایل به پرداخت برای دسترسی به کالایی اساسی (آب و غذا) بیشتر یا برابر با قیمت فعلی آن است، فرد آن را خواهد خرید. این تفاوت بین تمایل به پرداخت و قیمت بازار کالا به عنوان مازاد مصرفی شناخته می شود؛ چرا که رفاه را به شخص اضافه می کند. مازاد مصرفی به عنوان تغییر در رفاه فردی بعد از تبدیل شرایط پولی که شخص در موقعیت انتخابی آن را دریافت می کند، تعریف می شود.

معادله ای که مازاد مصرفی مورد انتظار را هنگامی که از مدل نوع لاجیت استفاده می شود، در قسمت زیر ارائه شده و با $\log \text{sum}$ مرتبط است؛ یعنی لگاریتم مخرج احتمال انتخاب لاجیت تقسیم بر مطلوبیت نهایی درآمد به اضافه ثابت دلخواه.

۳. تعریف مسئله

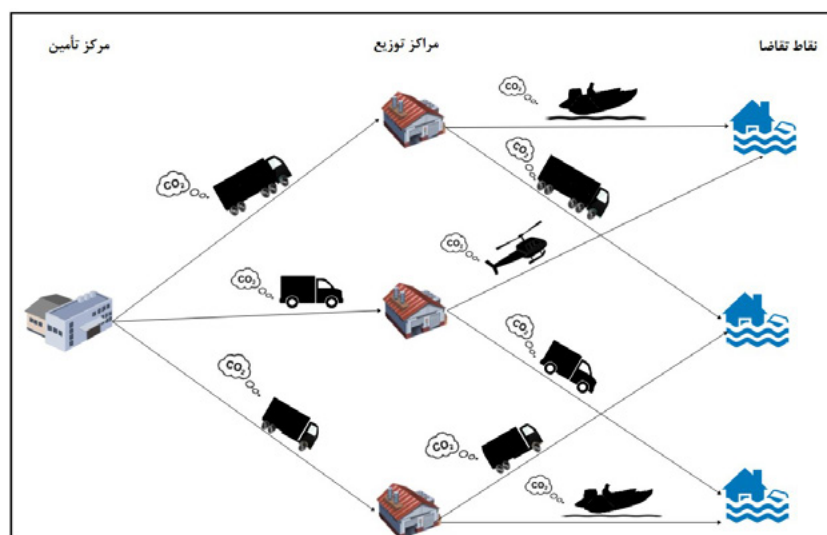
با توجه به اینکه در شرایط بحران معمولاً اطلاعات دقیق از پارامترها (مانند میزان تقاضای کالاهای ضروری) در دست نیست، عدم قطعیت در ماهیت مسئله تحقیق وجود دارد؛ از این رو در این پژوهش مسئله تحقیق تحت عدم قطعیت بررسی شده است. به منظور شباهت بیشتر مسئله به دنیای واقعی در این پژوهش اختلالاتی مانند عدم توزیع به موقع یا امکان تخریب برخی انبارها در مراکز توزیع در نظر گرفته شده و به منظور مقابله با اختلالات قابلیت اطمینان در مسئله لحاظ شده است؛ به این صورت که مراکز توزیع ما به ۲ بخش مطمئن و نامطمئن تقسیم شده اند که هر کدام هزینه و ظرفیت های خاص خودش را دارد. مطمئن ها هزینه بیشتری دارند و در عوض مطمئن هستیم که مشکلی اتفاق نمی افتد و با اختلالات می توانیم مقابله کنیم. غیرمطمئن ها هزینه خیلی کمتری دارند؛ اما امکان دارد دچار تخریب یا اختلالات ظرفیت در توزیع شوند. در این پژوهش به منظور کاهش ریسک و کاهش تقاضای برآورده نشده مراکز توزیع قابل اطمینان در نظر گرفته می شود تا در صورت عدم توانایی مراکز توزیع نامطمئن کالاهای امدادی را به نقاط تقاضا ارسال کند. در این پژوهش ما شبکه لجستیکی امداد بلایا را همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده، در نظر می گیریم. این شبکه شامل یک منبع اصلی تأمین کالا به عنوان مرکز تأمین، چندین موقعیت پیشنهادی به عنوان مراکز توزیع و چندین نقطه آسیب دیده به عنوان نقاط تقاضا است. این پژوهش یک مدل مکان یابی مراکز توزیع برای آماده سازی در برابر بلایا را پیشنهاد می کند. این مدل سازی همچنین مقدار هر نوع محصول را برای خدمت به مناطقی که تحت تأثیر یک فاجعه در طول واکنش اولیه قرار گرفته اند، تعیین می کند. در این پژوهش تعداد بهینه مراکز توزیع و مکان هر مرکز توزیع به گونه ای تعیین می شود که هزینه های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی به حداقل برسد و هر مرکز توزیع با توجه به ظرفیت مخصوص خود به مجموعه ای از نقاط تقاضا با انواع متفاوتی از کالاها خدمت رسانی کند.

$$E(CS_n) = \frac{1}{a_n} E[\max_j (V_{nj} + e_{nj})] = \frac{1}{a_n} \ln \left(\sum_{A_j \in A(n)} e^{(V_{nj})} \right) + C$$

که در آن a_n مطلوبیت نهایی درآمد (منهای مطلوبیت نهایی متغیر هزینه یا قیمت) است که مطلوبیت را به واحدهای پولی تغییر می دهد؛ چون $a_n = \partial V_n / \partial I_n$ با I_n درآمد فرد است [۲۸]. علاوه بر این تغییر در مازاد مصرف کننده که نتیجه تغییر در ویژگی های انتخاب است، می تواند به راحتی به عنوان تفاوت بین مازاد مصرف کننده پیش از ۰ و بعد از ۱ به شرح زیر محاسبه شود [۲۹].

$$\Delta E(CS_n) = \frac{1}{a_n} \left[\ln \left(\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}^1} \right) - \ln \left(\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}^0} \right) \right] \quad (2)$$

این معادله عدم وجود اثر درآمدی را در نظر می گیرد که حاکی از آن است که مطلوبیت نهایی درآمد قبل و بعد از تغییر ثابت است. در اصل این تغییر در مازاد مصرف کننده به عنوان معیار تغییر رفاه امکان ارزیابی اثرات اقتصادی تأمین منابع مورد نیاز کمک های بشردوستانه را فراهم می کند؛ بنابراین ساختار و ماهیت تابع هزینه محرومیت باید به عنوان تابعی از رفاه در نظر گرفته شود و احتمال دارد به عنوان تابعی از زمان محرومیت و ویژگی های اجتماعی-اقتصادی فرد (سن و جنسیت در بین بقیه) باشد. انتظار می رود این تابع به طور یکنواخت افزایش یابد و غیرخطی باشد. برای مثال اگر موقعیت آغازین (۰) زمانی باشد که فاجعه به تازگی رخ داده و شرایط متعاقب آن (۱) پس از زمان خاص محرومیت (t) باشد، واضح است که نشان می دهد رفاه فرد بدتر شده است. در نتیجه سودمندی در ۱ کمتر از سودمندی در ۰ است. این تغییر در رفاه از لحاظ اقتصادی هزینه محرومیت است که برای مطالعه بیشتر در این زمینه باید به مقاله کانتیلو و همکاران [۹] رجوع شود.



شکل ۱: شبکه لجستیک امداد بلایا

در ادامه فرضیات مسئله ارائه می شود و عناصر مدل ریاضی معرفی می شود و سپس به ارائه و تشریح مدل پرداخته می شود.

۳-۱ فرضیات مسئله

- شبکه لجستیک امداد بلایا ۳ سطحی، شامل مرکز تأمین، مرکز توزیع و نقاط آسیب دیده در نظر گرفته شده است.
- نقاط تقاضا و مکان مراکز تأمین مشخص است.
- نقاط بالقوه برای تأسیس مراکز توزیع مطمئن و نامطمئن در نظر گرفته شده است.
- احتمال خرابی برای مراکز توزیع نامطمئن فرض شده است.
- هر مرکز توزیع دارای ظرفیت مختلفی است.
- برای مدل ارائه شده چند نوع کالای امدادی در نظر گرفته شده است.
- مقدار تقاضا برای کالای امدادی با عدم قطعیت همراه است.
- علاوه بر هزینه های خصوصی شبکه لجستیک امداد بلایا شامل (هزینه های حمل و نقل، هزینه ذخیره سازی برای هر نوع کالا و هزینه ثابت مراکز توزیع مطمئن و نامطمئن) هزینه محرومیت هم در نظر گرفته شده است.
- حداکثر زمان محرومیت از کالاها در مدل در نظر گرفته شده است.
- فاصله بین مناطق آسیب دیده، مراکز توزیع و مراکز تأمین مشخص است.
- علاوه بر حمل و نقل جاده ای حالت های دیگر حمل و نقل از جمله حمل کالاهای امدادی با قایق موتوری و بالگرد امدادی هم در نظر گرفته شده است؛ زیرا با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه آسیب دیده در پژوهش حاضر (سیل شهرستان ساری)، به منظور ارسال کالاها از مراکز توزیع به نقاط تقاضا مکان های آسیب دیده از طریق بزرگراه ها یا جاده های اصلی قابل دسترسی نیستند و افراد آسیب دیده نمی توانند کالاهای امدادی را از طریق کامیون ها و تریلرهای با ظرفیت بالای مراکز توزیع دریافت کنند.
- میزان انتشار CO_2 توسط هر وسیله نقلیه در نظر گرفته شده است.
- هر وسیله نقلیه برای حمل کالاهای امدادی ظرفیت مختلفی دارد.

۴. روش تحقیق

این بخش شامل ۳ زیر بخش اصلی است: فرموله کردن مسئله، مدل سازی عدم قطعیت و روش حل. اطلاعات دقیق هر یک به شرح زیر است:

فرموله کردن مسئله

یک مدل برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط چندهدفه به منظور طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک

امداد بلایا فرموله شده است. اندیس ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم گیری به شرح زیر است:

اندیس ها

I	اندیس مراکز تأمین کالا (i: 1, ..., I)
J	اندیس مراکز توزیع کالا (j: 1, ..., J)
K	اندیس نقاط تقاضا (آسیب دیده) (k: 1, ..., K)
M	اندیس کالاهای اضطراری (m: 1, ..., M)
L	اندیس وسایل نقلیه (l: 1, ..., L)

پارامترها

C_{ijk}^{ml}	هزینه حمل و نقل برای نوع کالای m از مرکز تأمین i به نقاط تقاضای k از طریق مرکز توزیع j توسط وسیله نقلیه l
C_{jk}^{ml}	هزینه حمل و نقل برای نوع کالای m از مرکز توزیع j به نقاط تقاضای k توسط وسیله نقلیه l
Q_K	جمعیت در نقاط تقاضای k
γ	تابع هزینه محرومیت که به زمان محرومیت در نقاط تقاضای k بستگی دارد.
T_{max}	حداکثر زمان محرومیت به گونه ای که تلفات انسانی به همراه نداشته باشد.
t_{ijk}^l	زمان سفر از مرکز تأمین i به نقاط تقاضای k با عبور از مرکز توزیع j توسط وسیله نقلیه l
t_{jk}^l	زمان سفر از مرکز توزیع j به نقاط تقاضای k توسط وسیله نقلیه l
W_{km}	تقاضا برای هر نوع کالای m در هر نقاط تقاضای k
e_l	انتشار CO_2 در هر کیلومتر از وسیله نقلیه l
DI_{ij}	فاصله بین مرکز تأمین i به مرکز توزیع j
DI_{jk}	فاصله بین مرکز توزیع j به نقاط تقاضای k
$capl_l$	ظرفیت حمل و نقل نوع l
H_m	حداقل مقدار نوع کالای m که در یک مرکز ذخیره می شود.
S_m	هزینه ذخیره سازی برای هر نوع کالای m
Fr_j	هزینه ثابت مراکز توزیع j مطمئن
Fu_j	هزینه ثابت مراکز توزیع j نامطمئن
qu_j	ظرفیت مراکز توزیع j
a	نرخ اختلال در ظرفیت

$$P_{jk}^{ml} \leq X_{jk} \quad (6)$$

$$\forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$

$$P_{ijk}^{ml} \leq X_{ijk} \quad (7)$$

$$\forall i \in I, j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_{jk}^{ml} + \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I P_{ijk}^{ml} = 1 \quad (8)$$

$$\forall k \in K, m \in M$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K W_{km} \cdot P_{jk}^{ml} \leq (qu_j \cdot yr_j + a \cdot qu_j \cdot yu_j) \quad (9)$$

$$\forall j \in J$$

$$A_j^m \geq H_m \cdot (Yr_j + Yu_j) \quad (10)$$

$$\forall j \in J, m \in M$$

$$X_{jk} \leq (Yr_j + Yu_j) \quad \forall j \in J, k \in K \quad (11)$$

$$X_{ijk} \leq (Yr_j + Yu_j) \quad (12)$$

$$\forall i \in I, j \in J, k \in K$$

$$t_{jk}^l \cdot X_{ijk} \leq T_{\max} \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L \quad (13)$$

$$t_{ijk}^l \cdot X_{ijk} \leq T_{\max} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (14)$$

$$TM_{jk}^{ml} \leq X_{jk} \quad (15)$$

$$\forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$

$$TM_{ijk}^{ml} \leq X_{ijk} \quad (16)$$

$$\forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, m \in M$$

$$P_{ijk}^{ml} \leq capl_l \cdot TM_{ijk}^{ml} \quad (17)$$

$$\forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, m \in M$$

$$p_{jk}^{ml} \leq capl_l \cdot TM_{jk}^{ml} \quad (18)$$

$$\forall j \in J, k \in K, l \in L, m \in M$$

$$TM_{ijk}^{ml} \leq (Yr_j + Yu_j) \quad (19)$$

$$\forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, m \in M$$

P_{jk}^{ml} نسبت تقاضا در هر نوع کالای m که از مرکز توزیع j به نقاط تقاضای k توسط وسیله نقلیه l منتقل می‌شود.

P_{ijk}^{ml} نسبت تقاضا در هر نوع کالای m که از مرکز تأمین i به نقاط تقاضای k با عبور از مرکز توزیع j توسط وسیله نقلیه l منتقل می‌شود.

A_j^m مقدار کالای m که در مرکز توزیع j ذخیره می‌شود.

Yr_j برابر یک است؛ اگر مرکز توزیع مطمئن در j احداث شود و در غیر این صورت برابر صفر است.

Yu_j برابر یک است؛ اگر مرکز توزیع نامطمئن در j احداث شود و در غیر این صورت برابر صفر است.

X_{ijk} برابر یک است؛ اگر نقاط تقاضای k کالاها را از مرکز تأمین i از طریق مرکز توزیع j دریافت کند و در غیر این صورت برابر صفر است.

X_{jk} برابر یک است؛ اگر نقاط تقاضای k کالاها را از مرکز توزیع j دریافت کند و در غیر این صورت برابر صفر است.

TM_{ijk}^{ml} اگر نوع وسیله نقلیه l انتخاب شود، برای جابه‌جایی هر نوع کالای m از مرکز تأمین i به نقاط تقاضای k از طریق مرکز توزیع j برابر یک است و در غیر این صورت صفر است.

TM_{jk}^{ml} اگر نوع وسیله نقلیه l انتخاب شود، برای جابه‌جایی هر نوع کالای m از مرکز توزیع j به نقاط تقاضای k برابر یک است و در غیر این صورت صفر است.

$BigM$ عدد مثبت بزرگ

۱،۱،۴ مدل ریاضی

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L C_{jk}^{ml} W_{km} \cdot P_{jk}^{ml} + \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L C_{ijk}^{ml} W_{km} \cdot P_{ijk}^{ml} + \sum_{j=1}^J Fr_j Yu_j + \sum_{j=1}^J Fu_j Yr_j + \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J S_m \cdot A_j^m +$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \gamma(t_{jk}^l) Q_K \cdot P_{jk}^{ml} + \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \gamma(t_{ijk}^l) Q_K \cdot P_{ijk}^{ml}$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I DI_{ij} \cdot e_l \cdot P_{ijl}^n \quad (4)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^J X_{jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$TM_{jk}^{ml} \leq (Yr_j + Yu_j) \quad (20)$$

$$\forall j \in J, k \in K, l \in L, m \in M$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K W_{km} \cdot P_{jk}^{ml} - A_j^m = 0 \quad (21)$$

$$\forall j \in J, m \in M$$

$$A_j^m \leq BigM \cdot (Yr_j + Yu_j) \quad (22)$$

$$\forall j \in J, m \in M$$

$$Yr_j, Yu_j, X_{ijk}, X_{ij} \in \{0, 1\} \quad (23)$$

$$\forall i \in I, j \in J, k \in K$$

$$0 \leq P_{jk}^{ml} \leq 1 \quad (24)$$

$$\forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$

$$0 \leq P_{ijk}^{ml} \leq 1 \quad (25)$$

$$\forall i \in I, j \in J, k \in K, m \in M$$

$$A_j^m \geq 0 \quad \forall j \in J, m \in M \quad (26)$$

رابطه (۳) تابع هدف را نشان می‌دهد که کل هزینه‌های متحمل شده در طول واکنش اضطراری را کمینه می‌کند؛ بنابراین فرمول ریاضی ارائه شده دربرگیرنده هزینه‌های خصوصی لجستیک امداد شامل (هزینه‌های حمل و نقل از مرکز تأمین به مراکز توزیع و از مرکز توزیع به نقاط تقاضا، هزینه‌های ثابت مرتبط با مکان‌یابی مراکز توزیع و همچنین هزینه‌های موجودی از پیش تعیین شده) و همچنین هزینه‌های محرومیت (ناشی از فقدان دسترسی به اقلام پایدار زندگی) است. در این فرمول بندی متغیرهای تصمیم‌گیری مانند نسبت‌های تقاضا قرار دارند؛ زیرا آن‌ها با ۲ هزینه متفاوت در تابع هدف مرتبط هستند. هزینه‌های حمل و نقل که مربوط به تقاضا برای هر نوع محصول است و هزینه‌های محرومیت که به جمعیت (تعداد افراد) و همچنین زمان سفر تهیه کالا بستگی دارد و مرتبط با زمان محرومیت است. رابطه (۴) تابع هدف دوم را نشان می‌دهد که میزان آلاینده‌ی تولید شده توسط شبکه را کمینه می‌کند. مجموعه محدودیت‌های (۵) تضمین می‌کند که هر مرکز توزیع به هر نقاط تقاضا خدمت‌رسانی می‌کند. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که اگر یک مرکز توزیع به‌طور ویژه به نقاط تقاضا خدمت‌رسانی نکند، هیچ باری به آن اختصاص نمی‌یابد. محدودیت (۷) تضمین می‌کند، اگر یک مرکز تأمین به مرکز توزیع خدمت نکند، هیچ محموله‌ای از مرکز تأمین به سمت مرکز توزیع ارسال نمی‌شود. محدودیت‌های (۸) نشان می‌دهد که مجموع نسبت‌های تقاضا برای هر نوع کالایی که به نقاط تقاضای K ارسال می‌شود و یا از یک مرکز تأمین حاصل می‌شود، برابر با یک است. محدودیت (۹) به ظرفیت مرکز توزیع اشاره دارد و تضمین می‌کند اگر کسی در سایت j مستقر نباشد، نمی‌تواند هیچ محموله‌ای را ارسال کند. محدودیت (۱۰) بیان می‌کند که اگر مرکز توزیع مستقر

باشد، باید حداقل مقدار نوع محصول m را ذخیره کند؛ به‌طوری که ارزش باز کردن تسهیلات را داشته باشد. محدودیت (۱۱) و (۱۲) بیان می‌کند X زمانی می‌تواند مقدار بگیرد که Y مقدار گرفته باشد. به عبارتی تا زمانی که مکانی را احداث نکنیم (Y یک نشود)، نمی‌توانیم منطقه‌ای را به مرکز توزیعی تخصیص بدهیم. محدودیت (۱۳) و (۱۴) تضمین می‌کند که زمان سفر از مرکز تأمین یا مرکز توزیع کمتر یا حداکثر برابر است با حداکثر زمان محرومیت، به‌طوری که تلفات انسانی وجود نداشته باشد. محدودیت (۱۵) و (۱۶) تا زمانی که X یک نشود، مقدار نگیرد، TM نمی‌تواند مقدار بگیرد؛ یعنی تا زمانی که تخصیص نداده باشیم، از نوع حمل و نقل هم نمی‌توانیم استفاده کنیم. محدودیت (۱۷) و (۱۸) بیان‌کننده محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه است. محدودیت (۱۹) و (۲۰) تا زمانی که مرکزی احداث نشده باشد و Y یک نشده باشد، نمی‌توان در آنجا نوع حمل و نقل داشته باشیم. محدودیت (۲۱) امکان حفظ جریان محصولات را فراهم می‌کند. محدودیت (۲۲) نشان می‌دهد اگر ما مرکزی را احداث نکرده باشیم، اصلاً نمی‌توانیم کالایی در آن ذخیره کرده باشیم. محدودیت (۲۳) متغیرها را به یک عدد صحیح تبدیل می‌کند. مجموعه محدودیت‌های (۲۴) و (۲۵) تضمین می‌کند که مقدار متغیرها بین صفر و یک، متغیر است. محدودیت (۲۶) یک محدودیت مثبت است.

۲.۴. مدل سازی عدم قطعیت

۱، ۲، ۴. مدل برنامه‌ریزی فازی محدودیت شانس

برخی از مدل‌های فازی برای مقابله با عدم قطعیت در توابع هدف و محدودیت‌ها توسعه یافته‌اند که از میان آن‌ها می‌توان از برنامه‌ریزی فازی محدودیت شانس^۱ (CCFP) برای ساخت مدل پایه استفاده کرد؛ زیرا رویکردی بنیادی است که به مفاهیم عمیق ریاضی مانند ارزش مورد انتظار عدد فازی و معیارهایی مانند احتمال^۲ و ضرورت^۳ متکی است و تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد، به‌منظور رفع محدودیت‌ها سطح محافظه‌کاری را کنترل کند. همچنین از اشکال مختلف اعداد فازی مانند مثلثی و دوزنقه‌ای پشتیبانی می‌کند [۳۰]. برای معرفی بیشتر ابتدا برای ساده‌سازی فرم فشرده (بدون در نظر گرفتن دیگر توابع هدف) مدل پیشنهادی به شرح زیر ارائه شده است:

$$\text{Min } Z = fy + cx \quad (27)$$

$$s.t.$$

$$Ax \geq d$$

$$Bx = 0$$

$$Sx \leq Ny$$

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

فرض کنید بردار f (هزینه‌های ثابت) یک پارامتر قطعی و بردارهای c (هزینه‌های متغیر) و d (تقاضای بازار) و ماتریس ضرایب N (ظرفیت تسهیلات) پارامترهای غیرقطعی مسئله

(۳۰)

$$\begin{aligned} \text{Min } E[Z_1] = & \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \left(\frac{C_{jk(1)}^{ml} + C_{jk(2)}^{ml} + C_{jk(3)}^{ml} + C_{jk(4)}^{ml}}{4} \right) \\ & \left(\frac{W_{km(1)} + W_{km(2)} + W_{km(3)} + W_{km(4)}}{4} \right) P_{jk}^{ml} + \\ & \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \left(\frac{C_{ijk(1)}^{ml} + C_{ijk(2)}^{ml} + C_{ijk(3)}^{ml} + C_{ijk(4)}^{ml}}{4} \right) \\ & \left(\frac{W_{km(1)} + W_{km(2)} + W_{km(3)} + W_{km(4)}}{4} \right) P_{ijk}^{ml} \\ & + \sum_{j=1}^{J_1} Fr_j Yu_j + \sum_{j=1}^{J_2} Fu_j Yr_j + \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J S_m A_j^m + \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \gamma(t_{jk}^l) Q_K P_{jk}^{ml} \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \gamma(t_{ijk}^l) Q_K P_{ijk}^{ml} \\ \text{s.t.} \\ & \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \left[(1 - \alpha_1) W_{km(3)} + \alpha_1 W_{km(4)} \right] P_{jk}^{ml} \leq \\ & (qu_j \cdot yr_j + qu_j \cdot yu_j) \quad \forall j \in J \\ & 0.5 \leq \alpha_m \leq 1 \quad \forall m \in M \end{aligned}$$

Equations (5-8) and (10-26)

۲.۲.۴. برنامه‌ریزی استوار فازی

علاوه برداشتن خصوصیات یک مدل بهینه‌سازی استوار و برخلاف مدل‌های برنامه‌ریزی استوار رایج که در آن برخی از محدوده‌ها برای ملاحظات غیرقطعی فراهم شده است، برنامه‌ریزی استوار فازی می‌تواند فرضیات نظریه فازی را هم در نظر بگیرد؛ طلایی و همکاران [۳۶]. برنامه‌ریزی استوار فازی مدل پیشنهادی به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Min } E[Z_1] + \eta(Z_{\max} - E[Z]) \quad (31) \\ + \varphi \left[\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L (W_{km(4)} - (1 - \alpha_1) W_{km(3)} - \alpha_1 W_{km(4)}) P_{jk}^{ml} \right] \\ \text{s.t.} \\ \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \left[(1 - \alpha_1) W_{km(3)} + \alpha_1 W_{km(4)} \right] \quad (32) \\ P_{jk}^{ml} \leq (qu_j \cdot yr_j + qu_j \cdot yu_j) \quad \forall j \in J \end{aligned}$$

$$0.5 \leq \alpha_m \leq 1 \quad \forall m \in M \quad (33)$$

Equations (5-8) and (10-26)

 $Z_{\max}$ در رابطه بالا به شرح زیر است:

هستند. برای ساخت مدل پایه CCFP از عملگر ارزش انتظاری برای مدل‌سازی پارامترهای غیرقطعی توابع هدف و معیار ضرورت (Nec) برای مدل‌سازی محدودیت‌های شانس استفاده می‌کنیم. معیار Nec را می‌توان مستقیماً برای تبدیل محدودیت‌های شانس فازی به معادل قطعی آن‌ها استفاده کرد. از آنجا که استفاده از Nec برای رفع محدودیت‌های شانس معنادارتر است [۳۰]، در این پژوهش هم همان کار استفاده شده و از توزیع فازی دوزنقه‌ای برای مدل‌سازی استفاده شده است؛ زیرا می‌تواند با ۴ نقطه حساس تعریف شود. (مانند $\tilde{\theta} = \tilde{\theta}_{(1)}, \tilde{\theta}_{(2)}, \tilde{\theta}_{(3)}, \tilde{\theta}_{(4)}$) (شکل ۲).

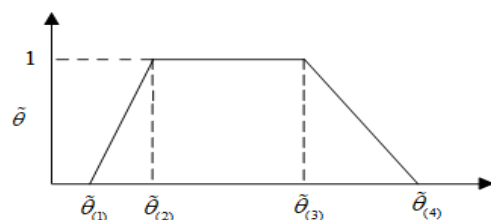
بنابراین مدل پایه CCFP می‌تواند به شرح زیر فرموله شود:

$$\begin{aligned} \text{Min } E[Z] = E[f]y + E[\tilde{c}]x \\ \text{s.t.} \\ \text{Nec} \{Ax \geq \tilde{d}\} \geq \alpha_m \quad \forall m \in M \quad (28) \\ Bx = 0 \\ \text{Nec} \{Sx \leq \tilde{N}y\} \geq \alpha_m \quad \forall m \in M \\ y \in \{0, 1\} \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

تابع هدف و محدودیت‌های اول و سوم (که دارای پارامترهای غیرقطعی هستند) با توزیع‌های فازی در نظر گرفته شده‌اند. با دانستن اینکه محدودیت‌ها با پارامترهای غیرقطعی باید با سطح رضایت حداقل α_i ایجاد شوند، مدل قطعی می‌تواند به شرح زیر تعریف شود [۳۶]:

$$\begin{aligned} \text{Min } E[z] = fy + \left(\frac{c_{(1)} + c_{(2)} + c_{(3)} + c_{(4)}}{4} \right) x \\ \text{s.t.} \\ Ax \geq (1 - \alpha_m) d_{(3)} + \alpha_m d_{(4)} \quad \forall m \in M \quad (29) \\ Bx = 0 \\ Sx \leq [(1 - \alpha_m) N_{(2)} + \alpha_m N_{(1)}] y \quad \forall m \in M \\ y \in \{0, 1\} \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

مدل ارائه شده در (۲۹) به مدل معادل قطعی آن به شرح زیر تبدیل می‌شود.

شکل ۲: پارامتر فازی $\tilde{\theta}$

تابع هدف و محدودیت غیرخطی در مدل پیشنهادی به شرح زیر تغییر می‌کند:

$$\text{Min } E[Z_1] + \eta(Z_{\max} - E[Z]) \quad (36)$$

$$+ \varphi \left[\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L (W_{km(4)} \cdot P_{jk}^{ml} - W_{km(3)} \cdot P_{jk}^{ml} + W_{km(3)} \cdot LP_{jk}^{ml} - W_{km(4)} \cdot LP_{jk}^{ml}) \right] \\ \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L W_{km(3)} \cdot P_{jk}^{ml} - W_{km(3)} \cdot LP_{jk}^{ml} \quad (37)$$

$$W_{km(4)} \cdot LP_{jk}^{ml} \leq (qu_j \cdot yr_j + qu_j \cdot yu_j) \\ \forall j \in J$$

۳،۴. برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت
چانگ در سال ۲۰۱۱ [۳۲] در پژوهشی بیان کرد که برنامه‌ریزی
آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح شده^۴ میزان ارجحیت تصمیم‌گیرندگان
را در نظر نمی‌گیرد. از این رو با هدف بیشینه کردن مطلوبیت مورد
انتظار تصمیم‌گیرندگان تابع مطلوبیت را به مدل قبل اضافه کرد که
مدل تازه او به صورت زیر است:

$$\text{Min} \sum_k [\beta_k^d (d_k^+ + d_k^-) + \beta_k^s \delta_k^-]$$

S.T.

$$\lambda \leq \frac{U_{k,\max} - y_k}{U_{k,\max} - U_{k,\min}} \quad \forall_k$$

$$f_k(X) + d_k^- - d_k^+ = y_k \quad \forall_k \quad (38)$$

$$\lambda_k + \delta_k^- = 1 \quad \forall_k$$

$$U_{k,\min} \leq y_k \leq U_{k,\max} \quad \forall_k$$

$$d_k^- \cdot d_k^+ = 0 \quad \forall_k$$

$$d_k^-, d_k^+, \delta_k^-, \lambda_k \geq 0 \quad \forall_k$$

محدودیت‌های سیستم

که δ_k^- نشان‌دهنده میزان انحراف نرمالیزه شده y_k از $U_{k,\min}$ است. β_k^s اهمیت (وزن) δ_k^- بوده و λ_k ارزش مطلوبیت است.

$$Z_{\max} = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L C_{jk(4)}^{ml} W_{km(4)} \cdot P_{jk}^{ml} \quad (34)$$

$$+ \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L C_{ijk(4)}^{ml} W_{km(4)} \cdot P_{ijk}^{ml} \\ + \sum_{j=1}^J Fr_j Y_j + \sum_{j=1}^J Fu_j Y_j + \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J S_m \cdot A_j^m \\ + \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \gamma(t_{jk}^l) Q_K \cdot P_{jk}^{ml} \\ + \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \gamma(t_{ijk}^l) Q_K \cdot P_{ijk}^{ml}$$

اولین عبارت در معادله (۳۱) مانند مدل اصلی CCFP مقدار ارزش
انتظاری تابع هدف را به حداقل می‌رساند. عبارت دوم اختلاف بین
مقادیر بدبینانه و انتظاری را در تابع هدف به حداقل می‌رساند. η
وزن یا اهمیت این عبارت در مقابل دیگران را در تابع هدف نشان
می‌دهد و در واقع استواری بهینه بودن بردار حل را کنترل می‌کند.
عبارت سوم سطح محافظه‌کاری را برای هر محدودیت شانس
تعیین می‌کند. φ ها جریمه واحد برای انحرافات احتمالی از هر
محدودیت تصادفی با پارامترهای غیرقطعی هستند و ضرایب آن‌ها
تفاوت‌های بین بدبینانه‌ترین مقادیر پارامترهای غیرقطعی و
آن‌هایی است که در این محدودیت‌ها استفاده می‌شوند. در
حقیقت این عبارت استواری قابلیت بردار حل را کنترل می‌کند.

۳،۲،۴. خطی سازی محدودیت‌ها و توابع غیرخطی

در استفاده از رویکرد بالا نکته گفته‌شده این است که زمانی که
ضرایب فنی غیرقطعی فرض می‌شوند، خطی بودن محدودیت‌های
شانسی و تابع هدف مدل پیشنهادی از بین می‌رود؛ بنابراین
می‌توان گفت هنگامی که ضرایب فنی با عدم قطعیت مواجه
می‌شوند، مدل به یک برنامه‌ریزی غیرخطی تبدیل می‌شود. در
چنین مواردی عبارت غیرخطی با اضافه کردن برخی محدودیت‌ها
و تعریف کردن متغیرهای جدید به مدل به یک جمله خطی تغییر
می‌کند؛ بنابراین برای جلوگیری از پیچیدگی یک مدل غیرخطی
متغیرهای جدید به شرح زیر تعریف می‌شوند:

$$LP_{jk}^{ml} \leq \alpha_1 \quad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$

$$LP_{jk}^{ml} \leq \text{Bigm} \cdot P_{jk}^{ml} \quad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$

$$LP_{jk}^{ml} \geq \alpha_1 - \text{Bigm}(1 - P_{jk}^{ml}) \quad (35) \\ \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$

$$LP_{jk}^{ml} = P_{jk}^{ml} \cdot \alpha_1 \quad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$

$$LP_{jk}^{ml} \geq 0 \quad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$

۱,۳,۴. پیاده‌سازی RMC GP با تابع مطلوبیت روی مسئله

تحقیق

از آنجایی که آخرین مدل برنامه‌ریزی آرمانی ارائه شده توسط چانگ [۳۲] علاوه بر مزیت‌های مدل‌های قبلی ارجحیت تصمیم‌گیرندگان را هم لحاظ می‌کند، در این پژوهش از این روش استفاده شده است. با توجه به تعاریف و مفاهیم مطرح شده مدل آرمانی چندگزینه‌ای با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت برای مسئله طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و هزینه محرومیت به شرح زیر است:

(۳۹)

$$\text{Min} \beta_1^d (d_1^+ + d_1^-) + \beta_2^d (d_2^+ + d_2^-) + \beta_1^\delta d_1^- + \beta_2^\delta d_2^-$$

S.T.

(۴۰)

$$\lambda_1 \leq \frac{U_{1,\max} - y_1}{U_{1,\max} - U_{1,\min}}$$

(۴۱)

$$\lambda_2 \leq \frac{U_{2,\max} - y_2}{U_{2,\max} - U_{2,\min}}$$

(۴۲)

$$Z_1 + d_1^- - d_1^+ = y_1$$

(۴۳)

$$Z_2 + d_2^- - d_2^+ = y_2$$

(۴۴)

$$\lambda_1 + \delta_1^- = 1$$

(۴۵)

$$\lambda_2 + \delta_2^- = 1$$

$$U_{1,\min} \leq y_1 \leq U_{1,\max} \quad (۴۶)$$

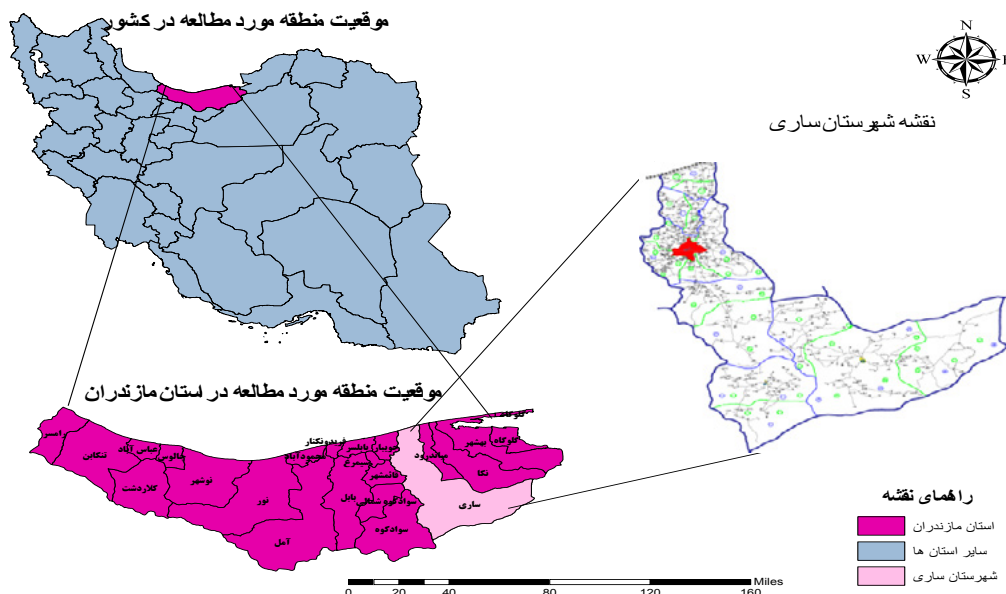
$$U_{2,\min} \leq y_2 \leq U_{2,\max} \quad (۴۷)$$

$$\text{محدودیت‌های مدل} \quad (۴۸)$$

۵. مطالعه موردی

شهرستان ساری با مساحتی برابر با ۳ هزار و ۲۴۸/۴ کیلومتر مربع بزرگ‌ترین شهرستان استان مازندران و مرکز این شهرستان شهر ساری است. جمعیت شهرستان یاد شده در سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۵۰۴ هزار و ۲۹۸ نفر بوده که از این تعداد ۳۴۷ هزار و ۴۰۳ نفر در شهر ساری ساکن هستند. این شهرستان از پرجمعیت‌ترین شهرستان‌های شمال کشور بوده که حدود جغرافیایی آن ۳۶/۳۳۵۹۷۴° عرض شمالی و ۵۳/۰۳۱۹۸۱° طول شرقی است. شهرستان ساری از شمال به دریای مازندران، از شرق به شهرستان‌های میانرود و نکا، از مغرب به شهرستان‌های قائم‌شهر و سوادکوه و از شمال غربی به جویبار محدود می‌شود. نقشه زیر موقعیت شهرستان ساری را در کل کشور و استان مازندران نشان می‌دهد (شکل ۳).

با مشاهده مشکلات در امر امدادرسانی سیل اسفندماه ۹۷ شهرستان ساری و به منظور اثبات کارایی مدل در این پژوهش به مدل‌سازی مدیریت توزیع کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا در مواجهه با سیل شهرستان ساری می‌پردازیم تا در زمان مواجهه با سوانح طبیعی مانند سیل بتوانیم تصمیمات عملیاتی و استراتژیکی مناسبی را اتخاذ کنیم. در این پژوهش ۱۲ روستای خسارت‌دیده (شیخ‌علی محله و آکند از بخش رودپی جنوبی، کردخیل، آبمال، پنبه چوله، اسفندان، حسن‌آباد، موزی باغ، حمیدآباد، سوته، طاهرآباد و شریف‌آباد از بخش رودپی شمالی) به عنوان نقاط تقاضا در نظر گرفته شده است.



شکل ۳: موقعیت شهرستان ساری در کشور و استان مازندران

۵ نقطه بالقوه در شهرستان ساری به عنوان نقاط کاندید برای احداث مراکز توزیع مطمئن و نامطمئن کالاهای امدادی در نظر گرفته شده است. این مراکز ظرفیت‌ها و هزینه‌های مخصوص خود را دارند. ملاک‌هایی که جهت تعیین این مراکز در نظر گرفته شده، شامل مواردی مانند راه دسترسی به مناطق آسیب‌دیده، دوری از رودخانه‌ها و آب‌بندان‌ها و نزدیکی به مناطق بحران‌زده شهرستان ساری بوده است. در سیل سال ۹۷ شهرستان ساری شاهد آن بوده‌ایم، تمامی کمک‌های مردمی و کالاهای امدادی در انبار هلال احمر استان مازندران در شهر ساری ذخیره و جمع‌آوری شد و از آنجا به مراکز توزیع منتقل و سپس به مناطق آسیب‌دیده ارسال شده است. به همین دلیل در این پژوهش انبار هلال احمر شهر ساری به عنوان مرکز تأمین انتخاب می‌شود.

بر اساس اطلاعاتی که از جمعیت هلال احمر استان مازندران اتخاذ شده، کالاهای مورد نیاز افراد آسیب‌دیده شهرستان ساری در سیل سال ۹۷ به تفکیک روستاها شامل بسته غذایی ۷۲ ساعته، پتو، موکت، کیسه برنج، روغن، چادر و پودر رخت‌شویی است. استاندارد تعیین‌شده برای ذخیره‌سازی کالای امدادی برای ۲ درصد جمعیت تهیه و اقلام ضروری مورد نیاز برای زمان‌های بحرانی ذخیره می‌شود. هزینه ذخیره‌سازی برای هر کالا تقریباً برابر با ۲۵ درصد قیمت خرید است.

پس از مشورت با کارشناس‌های جمعیت هلال احمر مشخص شد با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه به منظور توزیع کالاهای امدادی در شرایط بحرانی (سیل شهرستان ساری) از ۳ نوع شیوه حمل‌ونقل (جاده‌ای، هوایی و دریایی) استفاده شده است. جدول ۱ انواع و ظرفیت هر نوع وسیله نقلیه و میزان انتشار CO_2 هر نوع را ارائه می‌دهد.

فاصله بین مرکز تأمین i و مراکز توزیع j و فاصله بین مراکز توزیع j و نقاط تقاضا k توسط Google Maps برآورد شده است.

به منظور تسهیل در امر امداد رسانی به سیل‌زدگان چند فروند قایق موتوری از سازمان امداد و نجات کشور تحویل جمعیت هلال احمر استان شد. این قایق‌های موتوری از نوع قایق‌های سبک بادی عملیاتی (جیمینی) هستند که ویژه عملیات امداد و نجات در شرایط سیلابی به شمار می‌روند. این قایق با موتور قایق بنزینی ۱۵ اسب بخار سرعتی برابر با ۴۵ کیلومتر بر ساعت را داراست. ظرفیت هر مرکز توزیع با در نظر گرفتن ابعاد هر کالاهای امدادی به میزان $0/3829$ مترمکعب محاسبه شده است. اطلاعات مربوط به ظرفیت، هزینه ثابت و متراژ هر مرکز توزیع به شرح جدول ۲ است.

۵- تخمین تابع هزینه محرومیت

در شکل کاربردی تابع هزینه محرومیت^۵ در تابع هدف (معادله ۳)، t'_{jk} نشان‌دهنده زمان سفر بین مرکز توزیع j و نقاط تقاضا k است. در عوض t'_{ijk} بیانگر زمان سفر از مرکز تأمین i به نقاط تقاضای k است. این زمان از مجموع زمان سفر بین مرکز تأمین، مرکز توزیع و زمان سفر بین مرکز توزیع به نقاط تقاضا به علاوه زمان اضافی t_0 ناشی از زمان انتظار قبل از ورود کمک‌های امدادی به مرکز تأمین است.

$$T: \begin{cases} t_{jk} \\ t_{jk} + t_{ijk} + t_0 \end{cases} \quad (49)$$

برای این پژوهش هدف دقیقاً تخمین تابع هزینه محرومیت نیست، بلکه فرموله کردن یک مدل لجستیک امداد بلایاست که از هزینه‌های اجتماعی به عنوان تابع هدف ترجیحی استفاده می‌کند که رفاه اجتماعی را به حداکثر می‌رساند. مدل اقتصاد خرد که برای گنجاندن میزان رنج در نظر گرفته می‌شود، یک مدل الهام گرفته‌شده توسط کانتیلو و همکاران [۹] است. از

جدول ۱: انواع حمل‌ونقل، ظرفیت و میزان انتشار CO_2 هر نوع وسیله نقلیه

منبع	انتشار CO_2 (کیلوگرم/تن-کیلومتر)	ظرفیت	نوع وسیله حمل‌ونقل	شیوه حمل‌ونقل
[۳۳]	۰/۰۴۸	۲ تن	۱- ماشین سبک مانند وانت نیسان	جاده‌ای
[۳۳]	۰/۰۲۵۲	۱۰ تن	۲- ماشین نیمه سنگین مانند کامیونت	
[۳۳]	۰/۰۲۹۷	۲۲ تن	۳- ماشین سنگین مانند تریلی	
[۳۴]	۰/۰۴۴۷	۴ تن	۴- بالگرد	هوایی
[۳۵]	۰/۰۰۳۲	۵۶۶ کیلوگرم	۵- قایق	دریایی

جدول ۲: اطلاعات مراکز توزیع

شماره مرکز توزیع	متراژ (مترمربع)	ظرفیت (تعداد کالای امدادی)	هزینه ثابت (ریال)
۱	۲۰۰	۵۲۲	۳۶۰۰۰۰۰
۲	۳۵۰	۹۱۴	۶۳۰۰۰۰۰
۳	۵۰۰	۱۳۰۵	۹۰۰۰۰۰۰
۴	۷۵۰	۱۹۵۸	۱۳۵۰۰۰۰۰
۵	۹۰۰	۲۳۵۰	۱۶۲۰۰۰۰۰

مدل‌های اقتصادسنجی تخمین زده شده برای ارزیابی هزینه‌های محرومیت می‌توان معیارهای رفاه را تعیین کرد. تا آنجایی که با افزایش زمان محرومیت رفاه کاهش می‌یابد. این کار با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از روش انتخاب بیان شده^۶ تهیه شده است. همان‌طور که می‌دانیم مجموعه‌ای از کالاهای امدادی در اختیار افراد آسیب‌دیده قرار می‌گیرد (مثلاً آب، دارو، غذا، کمک‌های اولیه، لباس و ...). با این حال برای این پژوهش و تحلیل آن یک کیت غذایی پایه (از جمله آب) در نظر گرفته شد؛ زیرا یک کالای رایج در فرایندهای لجستیکی است. علاوه بر این تمام افراد آسیب‌دیده به این نوع کالاهای امدادی نیاز دارند تا زنده بمانند. اگر افراد آسیب‌دیده از آب و غذا برای دوره‌ای طولانی محروم باشند، می‌تواند منجر به آسیب دائمی آن‌ها و یا حتی مرگ شود [۲۷]. علاوه بر این تجربه‌های قبلی فاجعه نشان می‌دهد که آب و غذا ملزومات ضروری در روزهای اولیه واکنش هستند؛ بنابراین آزمایش بیان شده برای پاسخ‌دهندگان به ما اجازه داد تا اولویت‌های خود را در مورد سناریوهای انتخاب فرضی برای بازماندگان فاجعه جمع‌آوری کنیم که ۲ گزینه برای کنترل منابع امدادی وجود داشت؛ خرید یک کیت غذایی اصلی با توجه به محدودیت بودجه یا صبر کردن طولانی‌تر برای رسیدن کمک‌های بشردوستانه یعنی به تعویق انداختن مصرف. وضعیت فرضی زیر برای پاسخ‌دهندگان ارائه شد:

فرض کنید فاجعه‌ای در شهری که شما زندگی می‌کنید، رخ داده و خانه شما ویران شده است. سوپرمارکت‌ها، فروشگاه‌ها و هر مکانی که شما می‌توانستید خرید کنید، ویران شده و کمبود شدید مواد غذایی وجود دارد. خانواده شما جان سالم به در برده و آن‌ها چندین ساعت بدون غذا، نوشیدن و آشامیدن از زمان وقوع حادثه گذرانده‌اند. با این حال مقدار مشخصی از پول در جیب شما وجود دارد. ما ۹ سناریوی انتخاب را به شما نشان خواهیم داد که در هر مورد شما بین خرید یک سبد از منابع اصلی یا غذای کافی برای تغذیه یک فرد برای یک روز و یا صبر کردن طولانی‌تر تا زمانی که کمک امدادی با همان ملزومات برسد، انتخاب خواهید کرد. اگر گزینه دوم را انتخاب کنید، قادر به نگه داشتن پول برای نیازهای دیگر خواهید بود. توصیف زمینه انتخاب با عکس‌هایی از سوانحی که قبلاً در این حوزه رخ داده بود، همراه بود تا درک بهتری از سناریوی مطرح شده به دست آید. با توجه به وضعیت فرضی ارائه شده ۵ ویژگی مورد بررسی قرار گرفتند: ۱- زمان محرومیت فعلی که زمان بدون دسترسی به کیت غذایی از زمان وقوع حادثه است (t_1). ۲- زمان انتظار که زمان محرومیت اضافی است که انتظار دریافت کمک‌های امدادی رایگان (کیت غذایی رایگان) را

دارد (t_2). ۳- بودجه کلی برای خرید، ۴- قیمت بسته غذایی و ۵- بودجه موجود برای خرید سایر منابع. از آنجا که غذا و آب تنها ضروریات پس از وقوع سانحه طبیعی نیستند، مردم آسیب‌دیده تلاش می‌کنند تا سودمندی خود را برای محدودیت‌های بودجه به حداکثر برسانند. اگر پاسخگویان تصمیم بگیرند که جعبه غذای اصلی را خریداری کنند تا نیازهای خود را برای آب و غذا پوشش دهند، با توجه به یک‌زمان محرومیت خاص بودجه آن‌ها کاهش خواهد یافت و این می‌تواند مانع برآورده کردن نیازهای اساسی دیگر شود (مانند پزشکی، حمل و نقل و ارتباطات). با این حال اگر پاسخ‌دهندگان بخواهند بودجه را حفظ کنند و نیازهای خود را برای غذا و آب حفظ کنند، آنگاه یک‌زمان انتظار اضافی لازم است تا زمانی که کمک‌های امدادی وارد شود و غذای رایگان و آب را توزیع کند. در این زمینه گزینه مربوط به زمان محرومیت است و گزینه انتظار مربوط به زمان محرومیت مورد انتظار تا زمان رسیدن کمک‌های امدادی است. از طرفی دیگر استفاده از بودجه به عنوان یک متغیر آزمایشی به حذف اثر درآمدی از پاسخ‌ها کمک می‌کند؛ زیرا سناریو مشخص می‌سازد که تنها پول موجود برای پاسخ‌دهندگان بودجه مشخص شده است. افراد باید بر اساس سناریوهای داده شده و نه بر اساس شرایط اجتماعی اقتصادی خود واکنش نشان دهند. تمام ویژگی‌های یاد شده با ۴ سطح تغییر همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده، مشخص شدند.

این ویژگی‌ها و ارزش‌های آن‌ها از طریق تمرکز بر گروه‌هایی شامل افرادی هستند که تحت تأثیر سوانح طبیعی قرار گرفته‌اند. هرچه زمان محرومیت طولانی‌تر باشد، تصور حقایق سناریوها برای پاسخ‌دهندگان دشوارتر است و پاسخ‌ها کمتر قابل اطمینان هستند. دامنه مقادیر مورد استفاده برای ویژگی‌ها عبارت بودند از: قیمت از ۷۰۰ هزار تا یک میلیون و بودجه از ۰ تا ۹۰۰ هزار ریال. از آنجا که طرح کامل فاکتوریل برای ۴ ویژگی هرکدام با ۴ سطح تغییر به تعداد زیادی از سناریوهای انتخاب نیاز دارند ($4^4 = 256$) [۳۶]، از طرح فاکتوریل جزئی استفاده کردیم که برای پاسخ‌دهندگان امکان پذیرتر است؛ زیرا آن‌ها می‌توانند با توجه بیشتر با موقعیت‌های انتخابی کمتری مواجه شوند [۳۷] و هر پاسخ‌دهنده با ۹ موقعیت انتخاب روبرو شدند. هر پاسخ‌دهنده به‌طور تصادفی به یکی از این بلوک‌ها اختصاص داده شد. این طراحی تعادل سطح ویژگی‌ها را در هر یک از بلوک‌ها تضمین می‌کند [۳۸]. نظرسنجی ترجیحات بیان شده برای ۳۸۳ نفر از پاسخ‌دهندگان که به‌طور تصادفی انتخاب شده بودند، به کار گرفته شد. داده‌ها شامل افرادی است که قبلاً تحت تأثیر فاجعه‌ای (۶۴ درصد) بودند و افرادی که تحت تأثیر فاجعه (۳۶ درصد) نبودند. مصاحبه‌ها

جدول ۳: ویژگی‌های طراحی آزمایشی

ویژگی‌ها	سطوح مقادیر
DT : زمان محرومیت (ساعت)	۴, ۸, ۱۲, ۱۶
WT : زمان انتظار (ساعت)	۴, ۸, ۱۲, ۱۶
P : قیمت کل خرید بسته غذایی اصلی (ریال)	۷۰۰۰۰۰, ۸۰۰۰۰۰, ۹۰۰۰۰۰, ۱۰۰۰۰۰۰
AB : بودجه در دسترس (ریال)	۰, ۷۰۰۰۰۰, ۸۰۰۰۰۰, ۹۰۰۰۰۰

به صورت رودرو انجام شد و داده‌های به دست آمده از انتخاب بیان شده برای تخمین مدل با استفاده از روش حداکثر درست نمایی شبیه سازی شده مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس تابع مطلوبیت برای هر جایگزین توسط معادله زیر ارائه می شود.

$$V_{buy} = ASC + \beta_{AB} AB + \beta_C C + \beta_{t1} \exp(\beta_{t2} t_1) \quad (50)$$

$$V_{wait} = \beta_{t1} \exp(\beta_{t2} t_2)$$

ویژگی های مورد استفاده در مشخصات تابع مطلوبیت به شرح ذیل است:

ASC یک ثابت خاص است

β_{AB} پارامتر مرتبط با بودجه در دسترس

β_C پارامتر مربوط به قیمت هر واحد کیت

β_{t1}, β_{t2} پارامترهای مرتبط با زمان محرومیت (ساعت) هستند.

فرایند تخمینی مبتنی بر ۳ هزار و ۴۴۷ مشاهده از ۳۸۳ نفر است و جدول ۵ نتایج مدل لاجیت چند جمله ای را نشان می دهد. همان طور که توضیح داده شد، کاهش رفاه افراد به دلیل عدم دسترسی به اقلام حیاتی با در نظر گرفتن معیارهای رفاهی مانند تغییر در مازاد مصرف کننده $\Delta E(CS_n)$ ارزیابی شد؛ درست همان طور که در معادله ۲ تعریف شد. تغییرات در رفاه از طریق تغییرات در ویژگی زمان ارزیابی شدند که در آن شرایط اولیه (۰) مازاد مصرف کننده را بدون هیچ محرومیت تثبیت می کند ($t_0 = 0$)؛ درست زمانی که فاجعه روی داده و وضعیت نهایی (۱) ناشی از افزایش زمان محرومیت همراه با تأخیر در توزیع است که یک متغیر مستقل با روند فزاینده روبه رشد است.

جدول ۵: نتایج حاصل از لاجیت چند جمله ای

پارامتر	Value (t-test)
ASC ثابت	-۲۰۵۹(-۱۵،۹۸)
β_{AB} بودجه در دسترس	۰،۰۶۴۷(۱۶،۱۲)
β_C قیمت	-۰،۰۱۷۴(-۴،۶۴)
β_{t1} زمان	-۱،۰۸۲(-۵،۳۹)
β_{t2} زمان نمایی	۰،۰۶۲۸(۱۱،۸۰)
تعداد مشاهدات	۳۴۴۷
Final log-likelihood	-۲۲۱۹،۷
Rho-square	۰،۲۴۹

نشانه های منفی مرتبط با پارامترهای زمان و قیمت بیانگر آن است که افزایش در هر یک از این متغیرها نشان دهنده کاهش در سودمندی فرد است و افزایش در زمان محرومیت غذایی و آب در یک سانحه رفاه آن ها را کاهش خواهد داد. همچنین علامت

مثبت در پارامتر زمان نمایی (β_{t1}) نشان می دهد که از رابطه به شدت در حال افزایش و محدب بین هزینه محرومیت و زمان محرومیت پشتیبانی می کند. شکل ۴ نتیجه اعمال ضرایب برآورده شده برای مدل با فرمول LOGSUM (معادله ۲) است و یک رابطه افزایشی، غیرخطی و محدب را بر زمان محرومیت نشان می دهد؛ مانند آنچه توسط هولگوین و همکاران پیشنهاد شده است [۲۴]. نتایج حاصل از این تحقیق تا ۷۲ ساعت نشان داده شد. به منظور تسهیل کاربرد عملی آن ها با توجه به پیچیدگی LOGSUM منحنی حاصل با استفاده از مدل رگرسیون چندجمله ای برازش شده است.

مقادیر ۹۹ R در تمامی حالات نشان دهنده تناسب عالی برای منحنی هاست که می تواند در مدل های لجستیک انسان دوستانه استفاده شود. ارزش بسته غذایی در حدود ۷۰۰ هزار ریال به عنوان مرجع در نظر گرفته می شود. بعد از ۴۸ ساعت هزینه محرومیت از ۵۰ میلیون ریال تجاوز می کند و در ۷۲ ساعت به سرعت ۳۰ میلیون ریال شد. بنابراین با گذشت زمان هزینه های محرومیت با تغییرات جزئی در زمان به شدت رشد می کند. این برآوردها نشان می دهند که وزن بالای محرومیت از هزینه های اجتماعی فراتر از هزینه های لجستیکی خصوصی است. تابع هزینه محرومیت به دست آمده هزینه های اجتماعی محرومیت را آشکار می کند که می توانند در مدل های لجستیکی جامع بشردوستانه گنجانده شوند تا بتوانند تجزیه و تحلیل ریسک را برای ارزیابی عملکردهای بشردوستانه از نظر اقتصادی انجام دهند. واضح است محرومیت در طول زمان بسیار گران تر و حساس می شود؛ بنابراین مراقبت به موقع در ساعات اولیه حیاتی است.

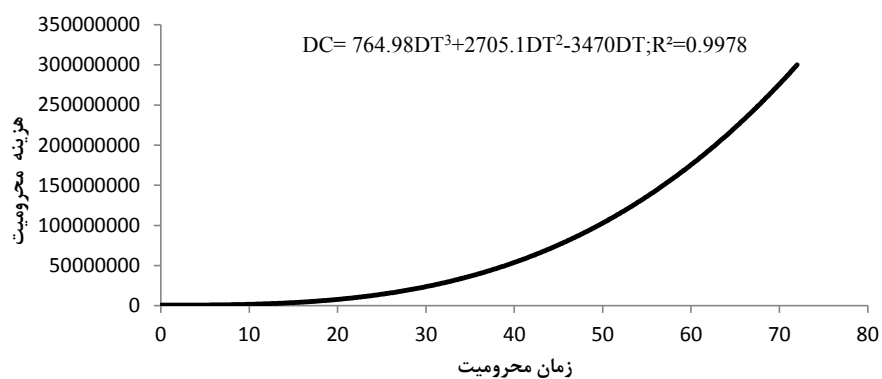
۲.۵. نتایج محاسباتی

در این بخش نتایج به دست آمده از حل داده های مطالعه موردی با روش برنامه ریزی آرمانی چندگزینه ای بیان می شود. همه محاسبات در نرم افزار GAMS بر روی رایانه شخصی پردازشگر ۲/۴۰ گیگاهرتز با ۴ گیگابایت حافظه داخلی در ویندوز ۸ اجرا شده که نتایج به دست آمده از حد بالا و پایین سطوح آرمانی در جدول ۶ نشان داده می شود.

در ادامه نتایج حاصل از حل مدل با روش برنامه ریزی آرمانی چندگزینه ای آورده شده است. جدول شماره ۷ مقدار بهینه تابع هدف اول (Z_1)، مقدار بهینه تابع هدف دوم (Z_2) و همچنین مقدار بهینه تابع هدف آرمانی (Z) و انحرافات را نشان می دهد.

نتایج حاصل شده از جدول ۷ نشان می دهد، تابع هدف اول و دوم به طور کامل رضایتمندی را ایجاد می کنند، زیرا انحراف های (d_1^+)، (d_1^-)، (d_2^+) و (d_2^-) آن ها صفر هستند. پس از اجرای مدل متغیرهای تصمیم به شرح جدول های ۸ و ۹ به دست آمده اند.

همان طور که در جدول های بالا مشاهده می شود، مرکز توزیع $\bar{r}_3$ برای احداث مرکز توزیع مطمئن و مرکز توزیع $\bar{r}_4$ برای احداث کالاهای امدادی که باید در مرکز توزیع ذخیره شود، به شرح جدول ۱۰ است.



شکل ۴: منحنی تابع هزینه محرومیت

جدول ۶: حد بالا/ پایین سطوح آرمانی

$(U_{2,max})$	$(U_{2,min})$	$(U_{1,max})$	$(U_{1,min})$
۹۴۹,۸۰۴	۱,۰۱۹	۱۱+۷,۵۰۰۰۶E	۸+۷,۲۲۲۰۱E

جدول ۷: نتایج به دست آمده از روش برنامه ریزی آرمانی چندگزینه ای

Z	۰,۰۰۳
Z_1	۹+۴,۶۱۷۳۵۶E
Z_2	۱,۴۶۸
y_1	۹+۴,۶۱۷۳۵۶E
y_2	۱,۴۶۸
d_1^+	۰,۰۰۰
d_1^-	۰,۰۰۰
d_2^+	۰,۰۰۰
d_2^-	۰,۰۰۰
δ_1^-	۰,۰۰۵
δ_2^-	۴-۴,۷۲۵۰۴۷E

جدول ۸: نقاط انتخابی جهت احداث مرکز توزیع مطمئن

j	۱	۲	۳	۴	۵
Yr	۰	۰	۱	۰	۰

جدول ۹: نقاط انتخابی جهت احداث مرکز توزیع نامطمئن

j	۱	۲	۳	۴	۵
Yu	۰	۰	۰	۱	۰

جدول ۱۰: مقادیر پیش موجودی کالاهای امدادی در مراکز توزیع مطمئن و نامطمئن

$a(m, j)$	j_3	j_4
m_1	۲۲۰,۰۰۰	۳۴۲,۰۰۰
m_2	۶۸,۰۰۰	۱۵۲,۰۰۰
m_3	۲۶۷,۰۰۱	۱۵۷,۰۰۰
m_4	۴۰۷,۹۹۹	۵۳۰,۰۰۰
m_5	۱۰۰,۰۰۰	۳۷۱,۰۰۰
m_6	۵۵,۰۰۰	۱۴۳,۰۰۰
m_7	۱۸۷,۰۰۰	۲۴۸,۰۰۰

جدول ۱۱ نشان می‌دهد هر نقاط تقاضای k کالاهای امدادی را از کدام مراکز توزیع احداث شده دریافت کنند. شکل ۵ نشان می‌دهد جریان تخصیص در نتیجه اجرای مدل چگونه خواهد بود.

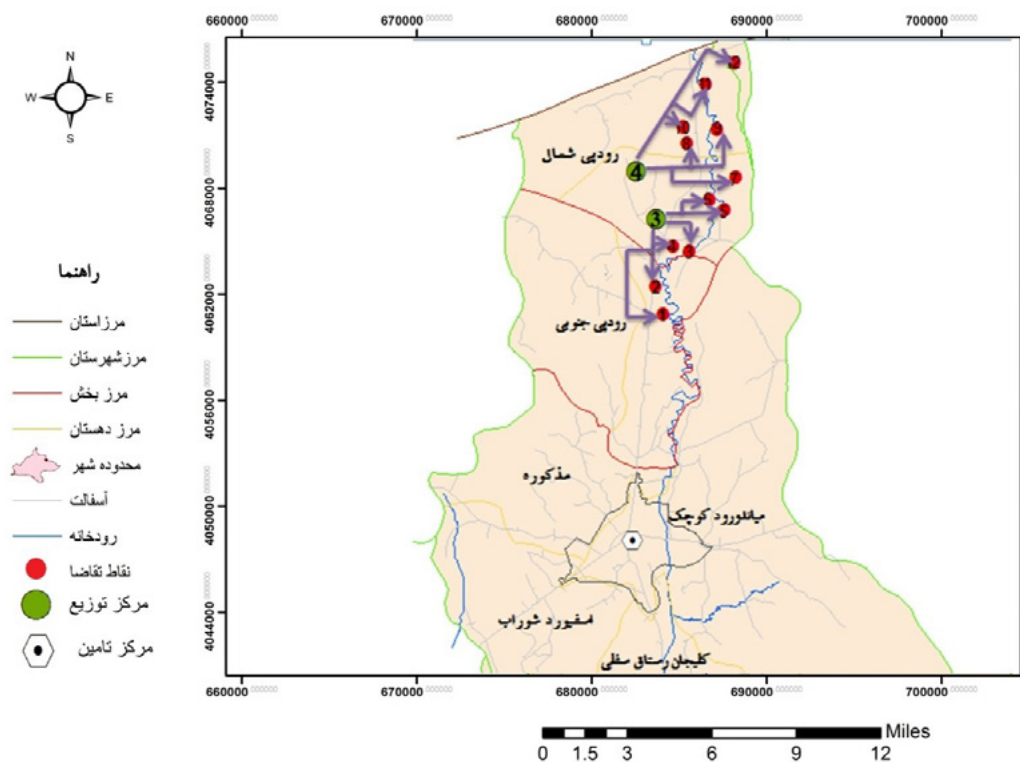
۳.۵. آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت به مطالعه تأثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی یک مدل آماری گفته می‌شود. به عبارت دیگر روشی برای تغییر دادن در ورودی‌های مدل آماری به صورت سازمان‌یافته (سیستماتیک) است که بتوان تأثیرات این تغییرها را در خروجی مدل پیش‌بینی کرد.

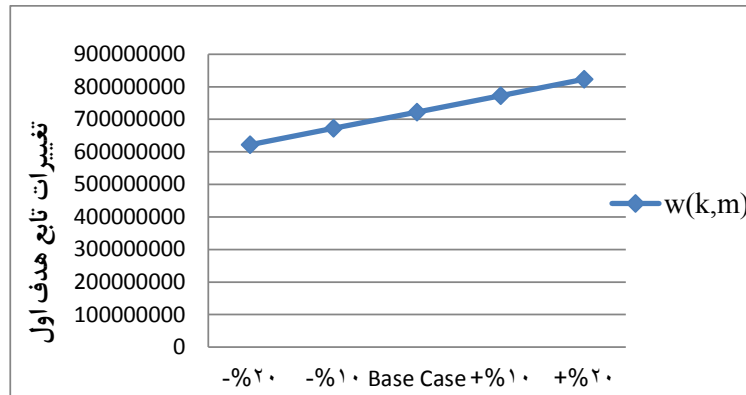
در این بخش، در تابع هدف اول حساسیت مدل به پارامترهایی نظیر هزینه حمل و نقل و میزان تقاضا بررسی می‌شود که به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ قابل مشاهده است. در نمودارهای حاصل از این تحلیل نشان داده می‌شود، در صورتی که مقدار پارامترها تغییر یابند، هر یک از توابع هدف چگونه تغییر خواهد کرد. برای تحلیل حساسیت از ضرایب $۱/۸$ ، $۰/۹$ ، $۱/۱۰$ و $۱/۲$ استفاده شده است.

جدول ۱۱: تخصیص نقاط تقاضا به مراکز توزیع جهت دریافت کالاهای امدادی

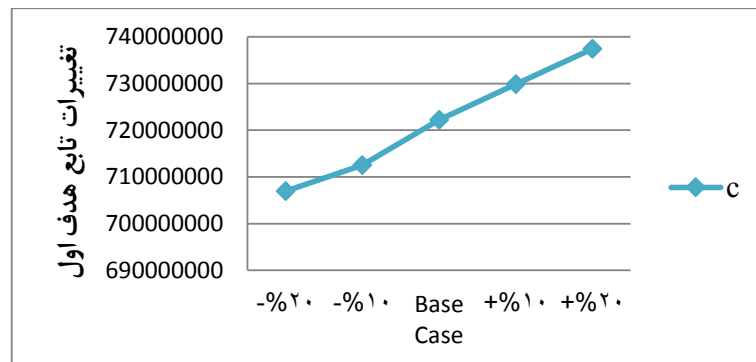
$x(j, k)$	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}
j_3	۱	۱	۱	۱	۱	۱						
j_4							۱	۱	۱	۱	۱	۱



شکل ۵: وضعیت شبکه پس از مدل سازی



شکل ۶: آنالیز حساسیت تابع هدف اول بر تقاضا



شکل ۷: آنالیز حساسیت تابع هدف اول بر هزینه‌های حمل و نقل

کمک به کاهش خطر برای نجات جان بسیاری از زندگی افراد تا حد ممکن و تضمین بالاترین سود و رفاه جمعیت آسیب‌دیده است؛ بنابراین توجه به هزینه‌های اجتماعی (هزینه محرومیت) ضروری است. اختصاص ارزش پولی به درد و رنج انسان موضوعی بحث‌برانگیز است. استراتژی توزیع پس از یک فاجعه بر رفاه ذی‌نفعان تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش این تغییرات در رفاه را با استفاده از تکنیک‌های ارزش‌گذاری اقتصادی مناسب کمی کردیم و آن را در فرمول تحلیلی گنجانده‌ایم. تحقیقات زیادی با موضوع پایداری در زنجیره تأمین تجاری انجام شده؛ اما موضوع پایداری هنوز در تحقیقات لجستیک امداد بلایا بسیار محدود است. در این تحقیق ما به صورت یکپارچه جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را با ترکیب هزینه‌های امداد (بعد اقتصادی)، هزینه محرومیت (بعد اجتماعی) و انتشار کربن (بعد زیست‌محیطی) در نظر گرفتیم. مدل پیشنهادی می‌تواند جایگاه بهینه مراکز توزیع را به گونه‌ای تعیین کند که تأثیر اقتصادی و اجتماعی واکنش اضطراری و میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی به حداقل برسد. این پژوهش یک مدل مکان‌یابی تسهیلات برای پیش‌بینی کالاهای اضطراری مورد نیاز برای آماده‌سازی در برابر بلایا را پیشنهاد می‌کند که در طی اولین ساعات پس از وقوع یک وضعیت اضطراری پیشنهاد می‌شود. این مدل‌سازی مقدار هر نوع محصول را برای خدمت به مناطقی که تحت تأثیر یک فاجعه در طول واکنش اولیه قرار گرفته‌اند، تعیین می‌کند. به منظور مقابله با عدم قطعیت رویکرد بهینه‌سازی استوار فازی و مدل هم‌ارز استوار ارائه

مطابق شکل ۶ افزایش تقاضای نقاط آسیب‌دیده به افزایش تابع هدف اول و کاهش تقاضای نقاط آسیب‌دیده به کاهش تابع هدف اول منجر می‌شود. به عنوان مثال در وضعیت پایه^۷ مقدار تابع هدف ۷۲۲ میلیون و ۲۲۰ هزار و ۱۰۰ ریال است. کاهش ۲۰ درصدی تقاضا منجر به کاهش تابع هدف به مقدار ۶۲۱ میلیون و ۶۰۶ هزار و ۱۰۰ ریال و ۲۰ درصد افزایش تقاضا منجر به افزایش تابع هدف به میزان ۸۲۲ میلیون و ۸۳۴ هزار و ۲۰۰ ریال خواهد شد. همچنین کاهش و افزایش ۱۰ درصدی به ترتیب منجر به تغییر تابع هدف به میزان ۶۷۱ میلیون و ۹۱۳ هزار و ۱۰۰ ریال و ۷۷۲ میلیون و ۵۲۷ هزار و ۱۰۰ ریال شده است.

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، کاهش هزینه حمل و نقل منجر به کاهش ارزش تابع هدف اول می‌شود و با افزایش آن ارزش تابع هدف افزایش می‌یابد. با کاهش ۱۰ و ۲۰ درصدی هزینه حمل و نقل تابع هدف به ترتیب به مقدار ۷۱۲ میلیون و ۵۶۲ هزار و ۹۰۰ و ۷۰۶ میلیون و ۹۸۷ هزار ریال کاهش می‌یابد و با افزایش ۱۰ و ۲۰ درصدی در نتیجه منجر به افزایش تابع هدف به مقدار ۷۲۹ میلیون و ۸۳۶ هزار و ۷۰۰ و ۷۳۷ میلیون و ۴۵۳ هزار و ۳۰۰ ریال می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

آمادگی در برابر سوانح طبیعی فرصتی برای برنامه‌ریزی مؤثر، کاهش تلاش‌های مورد نیاز و افزایش اثربخشی اقدامات پاسخگویی نهادهای درگیر در سوانح طبیعی است. هدف از برنامه‌ریزی

منابع

1. Arab-Kheradmand, J., Ahmadi, S., Baniasadi, A., & Khankeh, H. (2016). Historical Research on Disaster Management Legislation in Iran before Islamic Revolution. *Health in Emergencies and Disasters*, 1(4), 209-214.
2. Rashidi Jahan, H., Ebrahimnia, M., Roshani, M., & Hadian, M. (2015). Crisis Preparedness among Clinical Staff: A Brief Survey in an Iranian Context. *International Journal of Hospital Research*, 4(4), 189-193.
3. Papadopoulos, T., Gunasekaran, A., Dubey, R., Altay, N., Childe, S. J., & Fosso-Wamba, S. (2017). The role of Big Data in explaining disaster resilience in supply chains for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1108-1118.
4. Anaya-Arenas, A. M., Renaud, J., & Ruiz, A. (2014). Relief distribution networks: a systematic review. *Annals of Operations Research*, 223(1), 53-79.
5. Loree, N., & Aros-Vera, F. (2018). Points of distribution location and inventory management model for Post-Disaster Humanitarian Logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 1-24.
6. Khayal, D., Pradhananga, R., Pokharel, S., & Mutlu, F. (2015). A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response. *Socio-Economic Planning Sciences*, 52, 22-30.
7. Van Wassenhove, L. N., & Pedraza Martinez, A. J. (2012). Using OR to adapt supply chain management best practices to humanitarian logistics. *International Transactions in Operational Research*, 19(1-2), 307-322.
8. Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31(5), 262-280.
9. Cantillo, V., Serrano, I., Macea, L. F., & Holguín-Veras, J. (2017). Discrete choice approach for assessing deprivation cost in humanitarian relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 63, 33-46.
10. Akkihal, A. R. (2006). Inventory pre-positioning for humanitarian operations (*Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology*).
11. Tzeng, G. H., Cheng, H. J., & Huang, T. D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 673-686.
12. Lin, Y. H., Batta, R., Rogerson, P. A., Blatt, A., & Flannigan, M. (2011). A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, 45(4), 132-145.
13. Berkoune, D., Renaud, J., Rekik, M., & Ruiz, A. (2012). Transportation in disaster response operations. *Socio-*

شد. همچنین برای حل مدل چندهدفه روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای با تابع مطلوبیت برای آن ارائه شده است. علاوه بر این مدل با موفقیت در شهرستان ساری که در اسفندماه ۱۳۹۷ تحت تأثیر سیل قرار گرفت، اعمال شد. در ادامه‌ی این پژوهش آنالیز حساسیت بر روی برخی پارامترهای مدل نسبت به تابع هدف انجام شد و تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات هر یک از پارامترها ارائه شده است. نتایج تجربی به دست آمده در این پژوهش نقش حیاتی زمان‌های محرومیت در لجستیک امداد بلایا را تأیید می‌کند. مدل پیشنهادی اهمیت هزینه‌های عملیاتی را تشخیص می‌دهد؛ اما بیان می‌کند که مدل‌هایی که منحصرأ مبتنی بر آن‌ها هستند، نمایش کاملی از مسئله پیچیده چگونگی تخصیص منابع محدود در میان افراد آسیب‌دیده را ارائه نمی‌دهند. هدف این پژوهش ارائه یک تحلیل جامع‌تر از هزینه‌های متحمل شده در لجستیک امداد بلایا با ترکیب هزینه‌های اجتماعی (هزینه محرومیت) است. نتیجه این مطالعه برنامه‌ریزان را قادر می‌سازد، برنامه‌های آمادگی و عملیات پاسخگویی خود را بهبود بخشند و بهترین مکان‌ها را برای توزیع کالاهای اضطراری در نظر بگیرند؛ زیرا تعداد و مکان مراکز توزیع به طور مستقیم بر روی زمان پاسخ و هزینه‌های که در طول لجستیک امداد بلایا رخ می‌دهد، تأثیرگذار است. همچنین نتایج نشان می‌دهد، هر نقاط تقاضا کالاهای امدادی را از کدام مراکز توزیع دریافت کنند و پیش موجودی کالاهای امدادی در مراکز توزیع چه مقدار باشد؛ بنابراین با استفاده از مدل پیشنهادی ما، تصمیم‌گیرندگان در برنامه‌ریزی امداد می‌توانند ساختار شبکه توزیع را بهبود بخشیده و نارضایتی آسیب‌دیدگان را کاهش دهند. اگرچه این پژوهش چندین شکاف قابل توجه بین ادبیات را مورد بررسی قرار می‌دهد، توسعه آتی باید پیشرفت‌های دیگری را مورد بررسی قرار دهد.

مدل پیشنهادی می‌تواند متغیرها و محدودیت‌های دیگر را برای سازگاری بیشتر با واقعیت تعیین کند؛ ولی مدل ما فقط اختلال در تسهیلات را در نظر گرفته بود. در حالی که قطع ارتباطات شبکه نظیر مسیرها و جاده‌ها را می‌توان بررسی کرد. علاوه بر حمل کالاهای اضطراری به نواحی آسیب‌دیده، تخلیه اضطراری افراد آسیب‌دیده از این نواحی و انتقال آن‌ها به واحدهای اضطراری مانند اورژانس می‌تواند در این مدل در نظر گرفته شود. برای تحقیقات آتی عدم قطعیت تسهیلات و نوع حمل‌ونقل می‌تواند برای طراحی شبکه لجستیک چند محصولی در نظر گرفته شود. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسائل بزرگ‌تر از دیگر راه‌های توسعه مدل است. مدل کنونی را می‌توان به یک مدل چند دوره‌ای برای مسئله تخصیص کالاهای اضطراری بسط داد.

پی‌نوشت

1. Chance Constraint Fuzzy Programming
2. Possibility
3. Necessity
4. Revised multi-choice goal programming(RMCGP)
5. Deprivation Cost Function
6. Stated Choice Method



- Wassenhove, L. N., Aros-Vera, F., & Jaller, M. (2016). Econometric estimation of deprivation cost functions: A contingent valuation experiment. *Journal of Operations Management*, 45, 44-56.
28. Williams, H. C. (1977). On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. *Environment and planning A*, 9(3), 285-344.
29. Train, K. E. (2009). Discrete choice methods with simulation. Cambridge university press.
30. Inuiguchi, M., & Ramík, 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), 3-2.
31. Talaei, M., Moghaddam, B. F., Pishvae, M. S., Bozorgi-Amiri, A., & Gholamnejad, S. (2016). A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in electronics industry. *Journal of Cleaner Production*, 113, 662-673.
32. Chang, C. T. (2011). Multi-choice goal programming with utility functions. *European Journal of Operational Research*, 215(2), 439-445.
33. Mohammed, F., Selim, S. Z., Hassan, A., & Syed, M. N. (2017). Multi-period planning of closed-loop supply chain with carbon policies under uncertainty. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, 146-172.
34. Columbia, B. (2012). 2012 BC Best Practices Methodology for Quantifying Greenhouse Gas Emissions Including Guidance for Public Sector Organizations, Local Governments and Community Emissions. Ministry of Environment.
35. Jun, P., Gillenwater, M., & Barbour, W. (2002). CO₂, CH₄, and N₂O emissions from transportation-water-borne-navigation [Background paper]. *Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories*, 71-92.
1. Hicks, C. R. (1973). Fundamental Concepts in the Design of Experiments Holt. Rinehart and Winston, New York.
2. Ortúzar, J. D. D., & Willumsen, L. G. (2011). Simplified Transport Demand Models. *Modelling Transport*, 4th ed.; John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester, UK.
3. Louviere, J. J., Hensher, D. A., & Swait, J. D. (2000). *Stated choice methods: analysis and applications*. Cambridge university press.
- Economic Planning Sciences*, 46(1), 23-32.
14. Hatefi, S. M., & Jolai, F. (2014). Robust and reliable forward-reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions. *Applied Mathematical Modelling*, 38(9-10), 2630-2647.
15. Lu, M., Ran, L., & Shen, Z. J. M. (2015). Reliable facility location design under uncertain correlated disruptions. *Manufacturing & Service Operations Management*, 17(4), 445-455.
16. Zhang, Y., Snyder, L. V., Qi, M., & Miao, L. (2016). A heterogeneous reliable location model with risk pooling under supply disruptions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 83, 151-178.
17. Rivera-Royero, D., Galindo, G., & Yie-Pinedo, R. (2016). A dynamic model for disaster response considering prioritized demand points. *Socio-economic planning sciences*, 55, 59-75.
18. Haghi, M., Ghomi, S. M. T. F., & Jolai, F. (2017). Developing a robust multi-objective model for pre/post disaster times under uncertainty in demand and resource. *Journal of Cleaner Production*, 154, 188-202.
19. Cao, C., Li, C., Yang, Q., Liu, Y., & Qu, T. (2018). A novel multi-objective programming model of relief distribution for sustainable disaster supply chain in large-scale natural disasters. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1422-1435.
20. Rahmani, D., Zandi, A., Peyghaleh, E., & Siamakmanesh, N. (2018). A robust model for a humanitarian relief network with backup covering under disruptions: a real world application. *International journal of disaster risk reduction*, 28, 56-68.
21. Liu, Y., Lei, H., Wu, Z., & Zhang, D. (2019). A robust model predictive control approach for post-disaster relief distribution. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 1253-1270.
22. Cotes, N., & Cantillo, V. (2019). Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics. *Socio-Economic Planning Sciences*, 65, 89-100.
23. Rodriguez, N. P. (2011). Inventory allocation models for post-disaster humanitarian logistics with explicit consideration of deprivation costs. *Rensselaer Polytechnic Institute*.
24. Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31(5), 262-280.
25. Brown, R. G. (1967). WG Runciman, Relative Deprivation and Social Justice (Book Review). *International Journal of Comparative Sociology*, 8, 124.
26. Bayés, R., Limonero, J. T., Barreto, P., & Comas, M. D. (1997). A way to screen for suffering in palliative care. *Journal of Palliative care*, 13(2), 22-26.
27. Holguín-Veras, J., Amaya-Leal, J., Cantillo, V., Van

برآورد احتمال انسداد مسیر در شبکه حمل و نقل درون شهری پس از وقوع زلزله با استفاده از الگوریتم بیزی

مطالعه موردی: شهر بابل

میشم مغیثی: دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، مازندران، ایران.

حمیدرضا تاولکی*: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، مازندران، ایران. Email: tavakoli@nit.ac.ir

الناز پیغاله: مدرس دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کلمسون، کارولینای جنوبی، آمریکا.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

برنامه‌ریزان مدیریت بحران برای مناطق مستعد وقوع سوانح طبیعی به دنبال تصمیم‌گیری‌هایی قبل و پس از وقوع خطر به منظور کاهش عواقب ناشی از وقوع آن و بازگرداندن هر چه سریع‌تر شهر به حالت اولیه هستند. شبکه حمل و نقل درون شهری به عنوان یکی از آسیب‌پذیرترین شریان‌های حیاتی نقش راهبردی در قابلیت برگشت‌پذیری شهر داراست. بدین ترتیب ابزارهای کارآمدی برای شناسایی این نقش در صورت وقوع بلایای طبیعی مورد نیاز است.

در این پژوهش مدلی تحت GIS توسعه یافته که با کمک آن می‌توان عملکرد شبکه راه‌های درون شهری را به‌طور احتمالاتی پس از وقوع زلزله و با کمک الگوریتم بیزی بررسی کرد. این مدل می‌تواند خسارات ناشی از وقوع رویداد لرزه‌ای شامل خرابی ساختمان‌ها و پل‌های مجاور هر مسیر که منجر به انسداد آن مسیر می‌شود و همچنین احتمال انسداد مسیرها را تعیین کند. در این روش سناریوهای مختلف زلزله که در آن منابع مختلف عدم قطعیت‌های موجود در توزیع مکانی و زمانی وقوع زلزله‌ها در نظر گرفته شده، به منطقه مورد بررسی اعمال می‌شود. خسارات وارده به ساختمان و پل‌های موجود در منطقه به همراه فاکتورهای مختلف کنترل خسارت لرزه‌ای شبکه راه‌ها برآورد شده است. تحلیل‌های انجام شده منجر به تولید نقشه‌های احتمال انسداد مسیرهای موجود در شبکه راه برای حالات مختلف انسداد (بدون انسداد، کم، متوسط، زیاد) شده است. این نقشه‌ها شرایط راه‌ها را بلافاصله پس از زلزله نشان می‌دهد. با بررسی نتایج این تحقیق به وضعیت بسیار پیچیده انسدادهای مسیر شهر بابل پی خواهیم برد و انجام چنین تحلیل‌ها و تولید این نقشه‌ها برای زلزله‌های محتمل آینده می‌تواند به مدیران شهری نقطه ضعف‌های شبکه حمل و نقل را نشان دهد. در ضمن برای بهبود شبکه و برنامه‌ریزی جهت یافتن مسیر مطلوب به منظور امداد و کمک‌رسانی مؤثر خواهد بود و به برنامه‌ریزی برای بازگردان شهر به حالت اولیه پس از زلزله‌ای محتمل کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: زلزله، شبکه حمل و نقل، انسداد مسیر، الگوریتم بیزی

Estimating the Probability of Closure in the Intra-Urban Transport Network After the Earthquake Using Bayesian Algorithm, A Case Study of Babol

Meissam Mogheisi¹, Hamid Reza Tavakoli^{*2}, Elnaz Peyghaleh³

Abstract

Crisis management planners for natural disaster-prone areas are looking for pre- and post-hazard decisions to reduce the consequences and bring the city back to normal as soon as possible. The intra-city transportation network, as one of the most vulnerable arteries, has a strategic role in the city's reversibility. Thus, effective tools are needed to identify this role in the event of a natural disaster.

In this research, a model has been developed under GIS with the help of which the performance of the urban road network can be investigated after the earthquake with the help of Bayesian algorithm. This model can determine the damage caused by a seismic event, including the collapse of buildings and adjacent bridges in any path that leads to the blockage of the route and the probability of blockage of the routes. In this method, different earthquake scenarios in which different sources of uncertainties in the spatial and temporal distribution of earthquakes are considered, are applied to the study area. Damage to buildings and bridges in the area, along with various seismic damage control factors of the road network, has been estimated. The performed analyses have led to the production of maps of the possibility of obstruction of the existing routes in the road network for different cases of obstruction (no obstruction, low, medium, high). These maps show the condition of the roads immediately after the earthquake. By examining the results of this research, we will found out the very complex situation of roadblocks in the city of Babol, and by conducting such analyzes and producing these maps for possible future earthquakes, the weaknesses of transportation network can easily be spotted by city managers, and authorities will be assisted to improve the network effectively while finding a suitable route for relief and help. Moreover, the results can be used in planning for the return of the city to its original state after a possible earthquake.

Keywords: Earthquake, Transport Network, Route Closure, Bayesian Algorithm

1 - PhD student, Faculty of Civil, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

2 - Assoc. Prof., Faculty of Civil, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

3 - Instructor, Department of Civil Engineering, Clemson, United States

۴۹

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



برآورد احتمال انسداد مسیر در شبکه حمل و نقل درون شهری پس از وقوع زلزله با استفاده از الگوریتم بیزی / حمیدرضا تاولکی

۱. مقدمه و بررسی پژوهش های گذشته

زلزله می تواند در مدت زمان کوتاهی خسارات و تلفات بسیار گسترده ای بر جای بگذارد. آنچه که از این پدیده فاجعه ای می سازد، پیشگیری نکردن از تأثیرات آن و آماده نبودن برای پاسخ مناسب به آن است. واقع شدن ایران بر روی کمربند زلزله خیز آلپ- هیمالیا موجب شده که زمین لرزه به عنوان یکی از زیان بارترین بلایا در کشور مطرح شود. چنین رخدادهایی همواره موجب تغییرات محیطی بسیاری شده و خسارات فراوانی بر جای می گذارند. [۱]

ایمنی شریان های حیاتی در برابر سوانح طبیعی از قبیل زمین لرزه، سیل و طوفان نه تنها از لحاظ عملکرد و خدمت رسانی اهمیت دارد، بلکه از این نظر هم دارای اهمیت است که وارد آمدن صدمه به برخی از آن ها مانند شبکه حمل و نقل، خطوط لوله گاز، آب و یا کابل های برق می تواند وخامت اوضاع در موقع بروز یک سانحه طبیعی را تشدید کند. [۲]

سیستم شبکه حمل و نقل که جزئی ضروری در حیات امروزی مردم شده، بخشی مهم از شریان های حیاتی است. سیستم حمل و نقل شهری یک سیستم شبکه ای متغیر به شکل گسترده است که از خرابی ناشی از حوادث زلزله به سادگی آسیب می بیند و منجر به خسارات جانی شدید مستقیم، غیرمستقیم و خسارت های مالی می شود که مشکلات بسیاری را برای برگشت پذیری این شبکه پس از وقوع زلزله به همراه دارد. [۲]

شبکه حمل و نقل درون شهری نقشی تعیین کننده در موفقیت عملیات نیروهای امداد و نجات در شرایط بحرانی پس از زلزله به ویژه در شهرهای بزرگ را دارد. در بسیاری از کشورها شبکه بزرگراه ها و خیابان های شهری که در شرایط عادی دارای مشکلات متعدد به ویژه در ساعات اوج سفرهای درون شهری هستند، یقیناً پس از وقوع زلزله ای بزرگ وضعیتی بسیار بحرانی پیدا می کنند. اندازه گیری عملکرد این شبکه خصوصاً به خاطر مشخصات مکانی شبکه، تعدد کاربران و ماهیت بحرانی خدمات حیاتی برای اصلاح و پاسخگویی بسیار پیچیده است. این مشکل بر سایر تحقیقات مانند یافتن مناطق امن و مسائل مسیریابی بهینه هم تأثیر می گذارد. [۳]

بعد از وقوع زلزله بدنه راه و ابنیه مجاور آن ممکن است دچار آسیب شوند که موجب می شود شبکه حمل و نقل درون شهری دچار اختلال شده و یا حتی از بین برود. عواملی که باعث اختلال در شبکه حمل و نقل ناشی از وقوع زلزله می شود را می توان به شکل زیر دسته بندی کرد:

- آسیب دیدن پل ها که در صورت شدید بودن می تواند به مسدود شدن ۲ مسیر اصلی منجر شود؛
- ناپایداری شیب های مشرف که می تواند منجر به مسدود شدن جزئی یا کامل مسیرها شود؛
- فروریزش ساختمان های مجاور یک مسیر که می تواند آن را مسدود و یا ناامن کند؛
- آسیب دیدن شبکه های آب، گاز و فاضلاب که نه تنها خیابان ها و بزرگراه ها بلکه تونل ها را هم تهدید می کند؛

- سقوط دکل های برق و مخابرات که علاوه بر مسدود کردن مسیرها احتمال وقوع آتش سوزی را هم افزایش می دهد؛
- رها شدن خودروها در سطح خیابان ها توسط مردم به علت نبود امکان حرکت و تمایل آن ها دسترسی به مناطق امن؛
- اختلال در عملکرد چراغ های راهنمایی به علت قطع برق که بی نظمی ناشی از بحران زلزله را تشدید می کند؛ [۴]

چن و اگوچی^(۲۰۰۳) آسیب پذیری شبکه و قابلیت اعتمادپذیری مسیرهای مسدود نشده نسبت به کارایی پیش بینی شده آنها را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها تأثیر فروریزش ساختمان ها در مجاورت شبکه که سبب اختلال و گسیختگی در جریان ترافیک می شود را برای نخستین بار بررسی کردند. [۵]

در مطالعه ای دیگر توسط کرمیجان و همکاران^(۲۰۰۷) خطرپذیری شبکه حمل و نقل در ناحیه سانفرانسیسکو ارزیابی شد و اثر خسارات وارده به ۲ هزار و ۶۴۰ پل بر انسداد مسیرها و در نتیجه زمان تأخیر در سفرهای روزانه درون شهری محاسبه شد. [۶]

روش های شبیه سازی استفاده شده بر حرکات فردی و ارتباط بین آنها به منظور تخلیه مسیر تمرکز می کند که این فرآیند بسیار پیچیده و برای سناریوهای بزرگ تخلیه نامناسب است. در حالی که این رویکردها بینش مفیدی را ارائه می دهند، فقدان ابزارهایی برای بهبود مقیاس پذیری آنها را به طور ذاتی برای برنامه ریزی اضطراری در دنیای واقعی غیرعملی می کند. [۷]

مطالعه دیگری توسط ویسوانث و پیتا^(۲۰۰۳) انجام شد که طی آن با فرمول بندی مسائل طراحی شبکه، هزینه سفر (مسیریابی) OD^۴ به عنوان ماتریس عملکرد برای شناسایی مسیرهای بحرانی پس از وقوع زلزله استفاده شد. [۸]

جانکوسکی و ریچارد^۵ یکی از نخستین محققانی بودند که با ادغام GIS و روش های تصمیم گیری برای اجرای سامانه پشتیبانی تصمیم گیری مکانی کار می کردند. [۹]

بونو و گوتیرز^۶ فاصله هزینه محاسبه شده از هر سلول تک در GIS بر اساس امیدانس تعریف شده از هر لینک را برای شبکه منطقه ای از هائیتی بررسی کردند و در آن تنزل درجه هر لینک را لحاظ کردند. [۱۰]

جانیوس و متسون^۷ مدلی را برای شبکه راه سوئد توسعه دادند که در آن اهمیت سلول و شاخص های قرار گرفتن در منطقه بر اساس زمان انتظار و افزایش زمان واقعی سفر (به علت اختلال) محاسبه می شد و در آن تنزل درجه هر لینک محاسبه نمی شد. [۱۱]

برای مدیریت خطرپذیری لایه ای در یک منطقه و تصمیم گیری های لازم درباره آن، انسداد مسیر که عملکرد شبکه حمل و نقل درون شهری را مختل می کند، بسیار مهم است.

۲. مبنای نظری تحقیق

یک مدل جامع از عملکرد شبکه حمل و نقل پس از زلزله باید بتواند علاوه بر خرابی های مستقیم وارده به بدنه جاده ها، خرابی های غیرمستقیم که بر شبکه وارد می شود (اثرات خرابی و فروریزش سازه های جانبی مانند پل و ساختمان) را در نظر بگیرد.

در شکل (۱) نمونه‌ای از خطرات لرزه‌ای که شبکه راه را مورد تهدید قرار می‌دهد و باعث انسداد مسیر می‌شود، نشان داده شده است. [۱۲]

در مدل‌هایی که تاکنون برای عملکرد شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری توسعه یافته، فقط اثرات خسارات مستقیم یا غیرمستقیم به‌طور مجزا بررسی شده است. به عبارت دیگر خرابی ساختمان‌ها یا پل‌ها و یا حتی بدنه راه با هم در نظر گرفته نشده‌اند. فروریزش ساختمان در مجاور جاده‌های درون‌شهری و آوار ناشی از آن و همچنین خرابی پل‌ها می‌تواند منجر به اختلال در عملکرد شبکه و یا حتی بسته شدن جاده‌ها شود. اثراتی از قبیل ارتفاع سازه، نوع سازه، فاصله از مسیر و هم‌عرضی با مسیر می‌تواند نقش مهمی در این بین بازی کند (شکل ۲).

در مدل توسعه یافته در این مقاله بر خلاف مدل‌های موجود (تحلیل عملکردی شبکه حمل‌ونقل پس از زلزله) مدلی احتمالاتی ارائه شده که در آن به هر دسته از خسارات لرزه‌ای وارده به شبکه به صورت مستقل نگاه می‌شود و نتایج ناشی از این اثرات آسیب با هم ترکیب می‌شوند و در نهایت در قالب خروجی گرافیکی (نقشه‌های پهنه‌بندی احتمالاتی انسداد مسیر) ارائه می‌شود. بدین صورت که اثرات خرابی و فروریزش آوار ساختمانی در مجاورت راه و خرابی پل‌های ارتباطی به عنوان عناصر تأثیرگذار بر انسداد جاده‌ای با کمک نظریه بیزی در نظر گرفته شده‌اند؛ سپس با توجه به تحلیل مدل نتایج به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی احتمالاتی انسداد مسیر به دست آمده است. از این نقشه‌ها می‌توان برای تصمیم‌گیری درباره بهسازی شبکه راه‌ها قبل از وقوع زلزله (کاهش خطر لرزه‌ای)

و یا درباره مدیریت بحران و بازگرداندن شبکه حمل‌ونقل شهری به حالت اولیه بعد از وقوع زلزله استفاده کرد.

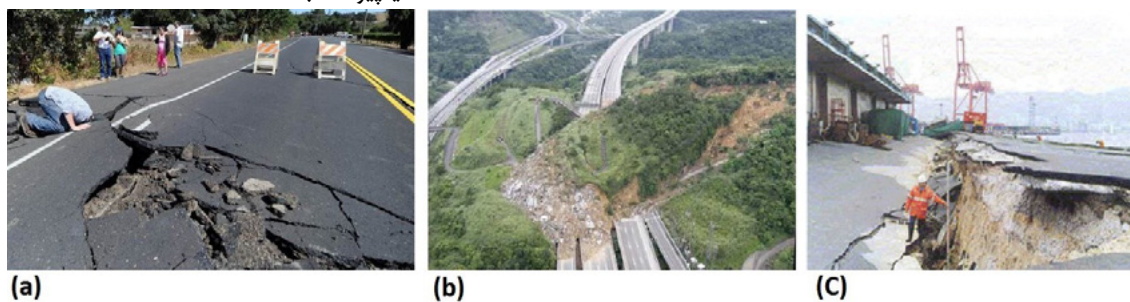
شکل (۳) روند کلی تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه حمل‌ونقل و محاسبه خسارات وارده به هر یک از عناصر شبکه راه را نشان می‌دهد. اطلاعات ورودی مدل ارائه شده در این مقاله هم در این شکل معرفی شده‌اند. روش تحلیل آسیب‌پذیری در این مقاله مجموعه‌ای از پیچیدگی‌های احتمالاتی از عدم قطعیت‌های مربوط به توزیع زلزله در زمان و مکان، آسیب وارده به سازه‌ها و اختلال در عملکرد شبکه مورد بررسی را در نظر گرفته است. نتایج حاصل از نظریه شبکه بیزی برای استنتاج احتمال انسداد منجر به تولید توزیع احتمالی آوار سازه‌ای برای هر المان در سطح جاده می‌شود که شکل این تابع توزیع می‌تواند برای هر المان بر اساس سطح جنبش زمین و آسیب‌پذیری المان متفاوت باشد.

۲-۱. نظریه بیزی^۸

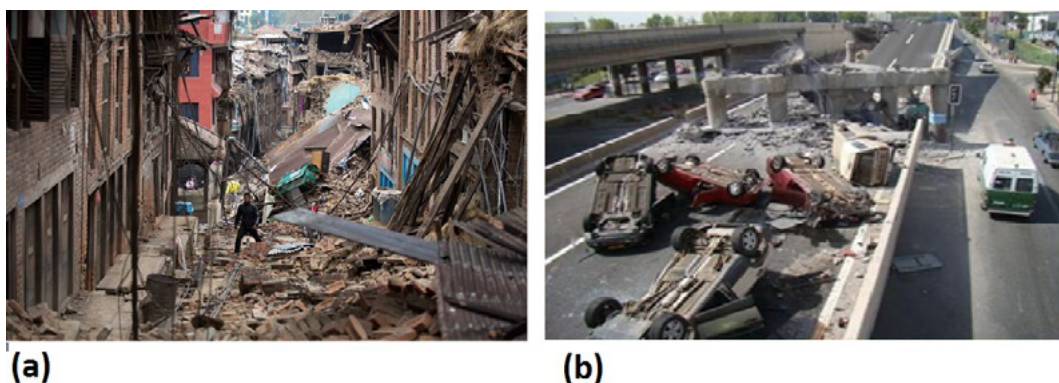
امروزه بسیاری از مشکلات انسان‌ها با کمک هوش مصنوعی حل می‌شود. یکی از مهمترین خصوصیات این مشکلات وجود عدم قطعیت در آنها است. اکثر روش‌هایی که در هوش مصنوعی برای کنترل عدم قطعیت پیشنهاد شده‌اند، بر پایه نظریه احتمالات و نظریه فازی بنا نهاده شده‌اند.

شبکه بیزی گرافی جهت‌دار است که رئوس آن شامل اطلاعات مقادیر احتمالات شرطی هستند. به‌طور دقیق‌تر این شبکه شامل اجزا و خصوصیات زیر است:

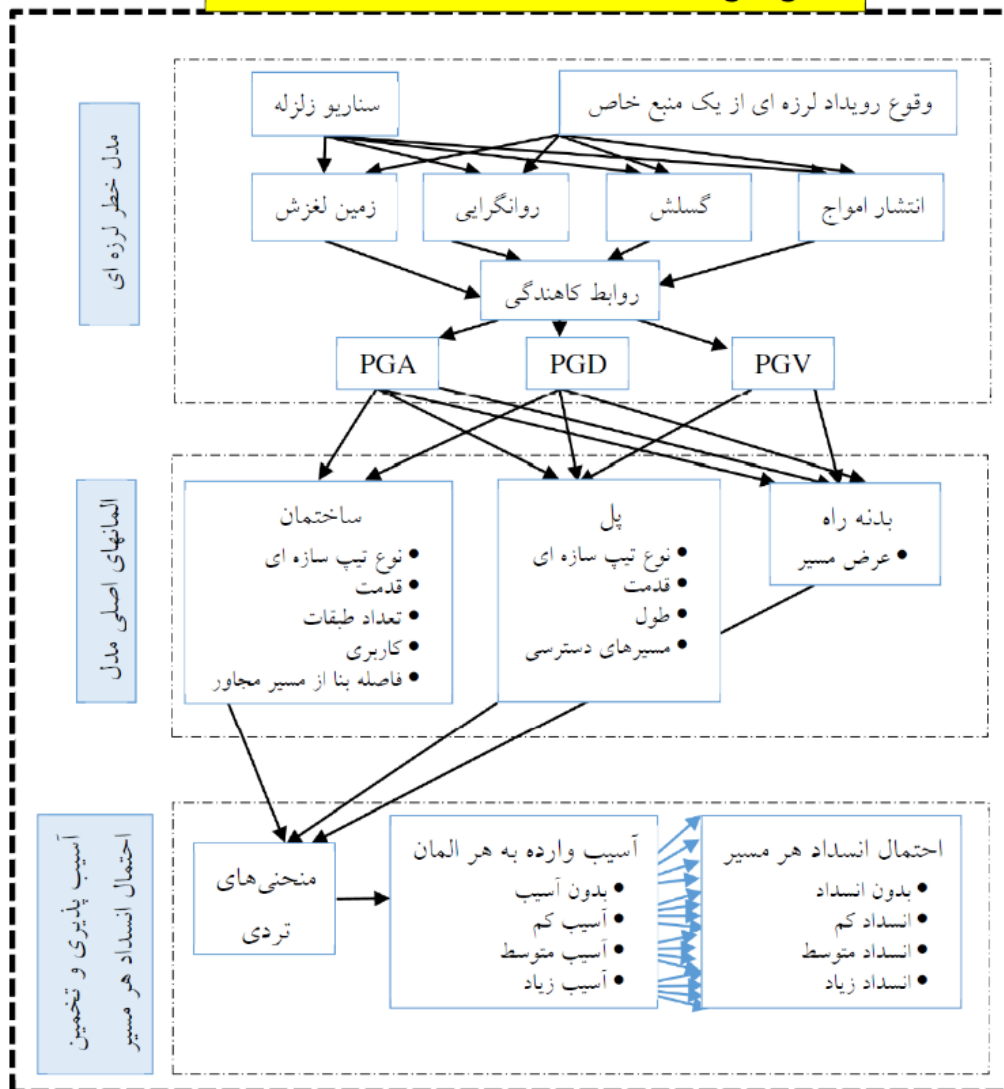
۱. یک مجموعه از متغیرهای تصادفی مجموعه رئوس گراف را تشکیل می‌دهند که این متغیرها می‌توانند گسسته یا پیوسته باشند.



شکل ۱. خرابی راه در اثر (a) گسلش، (b) زمین لغزش و (c) روانگرایی



شکل ۲. انسداد مسیر در اثر (a) خرابی پل و (b) فروریزش ساختمان



شکل ۳. مدل پیشنهادی

استفاده از آن می توان توزیع توأم کامل را به دست آورد که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

برای یک شبکه بیزی ۲ مفهوم می توان در نظر گرفت. از دید مفهوم نخست می توان شبکه را تقریبی از توزیع توأم کامل قلمرو دید و از دید دوم می توان شبکه را به صورت ساختاری که وابستگی و استقلال متغیرها را نشان می دهد، دید. هر ۲ دید معادل هم هستند که دید نخست برای طراحی شبکه و دید دوم برای طراحی روال استنتاج مناسب است.

با استفاده از قاعده بیزی می توانیم احتمال هر پیشامد را با شرطی کردن آن نسبت به رخ دادن یا ندادن پیشامدی دیگر تعیین کنیم. به عبارت دیگر قاعده بیزی می گوید که چگونه احتمال رویداد A با توجه به اطلاعاتی که در مورد وقوع رویداد B به دست آمده تغییر می کند. (Box and Tiao ۱۹۹۲)

$$\Pr(A|B) = \frac{\Pr(AB)}{\Pr(B)} = \frac{\Pr(B|A)}{\Pr(B)} \Pr(A) \quad (1)$$

۲. یک مجموعه از یال های جهت دار که اگر یک یال از راس X به راس Y باشد، X را والد Y می نامیم.

۳. هر گره X_i یک توزیع احتمال شرطی $P(X_i|Parents(X_i))$ دارد که تأثیر گره های والد بر روی این گره را به صورت عددی نشان می دهند.

۴. گراف هیچ دور جهت داری ندارد و در واقع یک گراف بدون دور جهت دار است.

ساختار شبکه نشان دهنده وابستگی های شرطی در قلمرو است. به صورت شهودی معنی یک یال از X به Y وجود تأثیر مستقیم X بر Y و یا وابستگی مستقیم Y به X است. باید توجه داشت که تعیین این وابستگی های مستقیم برای یک فرد خبره قلمرو کار مشکلی نیست؛ بنابراین در صورت وجود فرد خبره تعیین ساختار شبکه آن چنان سخت نیست. پس از تعیین ساختار، تعیین توزیع شرطی گره ها، ساختمان داده شبکه بیزی را کامل می کند و با

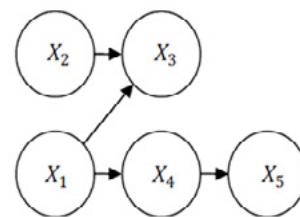
- تابع احتمال پسین^۹ (احتمال وقوع فرضیه با در نظر گرفتن شواهد موجود): $Pr(A|B)$
- راست نمایی^{۱۰} (احتمال مشاهده و وقوع شواهد موجود به شرط درستی فرضیه): $Pr(B|A)$
- تابع احتمال پیشین^{۱۱} (احتمال درستی فرضیه بدون در نظر گرفتن شواهد خاص): $Pr(A)$
- تابع احتمال مرزی یا حاشیه‌ای^{۱۲} (احتمال مشاهده و وقوع شواهد موجود با در نظر گرفتن همه فرضیات ممکن): $Pr(B)$

در قاعده بیزی طبق شکل (۴) X_1 و X_2 والد X_3 هستند. هر عنصر توزیع توأم به صورت ضرب تعدادی از عناصر جدول‌های احتمالات شرطی محاسبه می‌شود و این جدول‌ها به نوعی تجزیه توزیع توأم را انجام می‌دهند. توسط رابطه شماره (۳) می‌توان ایده‌ای برای ساختن ساختار شبکه بیزی به دست آورد. این فرمول مشخص می‌کند که یک شبکه بیزی چه معنی‌ای دارد؛ ولی به طور شفاف روش ساختن شبکه را طوری که نمایشی مناسب از قلمرو باشد، معلوم نمی‌سازد. باید توجه داشت در یک شبکه فرض بر نوع خاصی از وابستگی بین متغیرهاست که لزوماً با واقعیت تطابق ندارد. بنابراین ما تنها دنبال یک شبکه خوب می‌گردیم؛ نه شبکه‌ای که دقیقاً توزیع توأم را مدل کند (چون ممکن است امکان پذیر نباشد). [۱۳]

$$p(X) = \prod_{i=1}^n p(x_i | Pa(x_i)) \quad (2)$$

با توجه به قانون زنجیره‌ای^{۱۳} در احتمالات می‌توانیم احتمال یک عنصر توزیع توأم را توسط رابطه (۴) بیان کنیم.

$$p(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = p(x_5 | x_4) p(x_4 | x_1) p(x_3 | x_1, x_2) p(x_1) p(x_2) \quad (3)$$



شکل ۴. رابطه بین فضای نمونه‌های $\{X\}$

در واقع شبکه‌های بیزی راهی مناسب برای نشان دادن استقلال‌های شرطی که فرآیند استنتاج احتمالی را سریع می‌کند، هستند. شبکه‌های بیزی در واقع یک توزیع توأم هم برای قلمرو تعیین می‌کنند که هر عنصر توزیع به صورت ضرب تعدادی عناصر از جداول احتمالات شرطی رؤس است. در هر شبکه بیزی ساختار آن و جداول احتمالات شرطی تعیین‌کننده آن هستند. همچنین به طور کلی اندازه گره‌های شبکه بیزی به صورت نمایی کوچک‌تر از تعداد عناصر درون این جداول احتمالات شرطی است. بنابراین

برای نمایش کارآمد جداول توزیع‌های شرطی راه‌های زیادی طراحی شده که استفاده از توزیع‌های خاص با پارامترهای محدود از جمله این روش‌هاست. در نهایت پس از طراحی شبکه تنها نکته‌ای که باقی می‌ماند، استنتاج با این شبکه‌هاست که هدف اصلی ما از به کارگیری آنهاست. روش‌های زیادی برای استنتاج کارآمد در شبکه‌های بیزی طراحی شده؛ روش‌هایی که سعی در استنتاج دقیق دارند. مانند استنتاج به وسیله محاسبه تک تک عناصر احتمالی و الگوریتم حذف متغیر در قلمروهای پیچیده عملی نیستند و منجر به روش‌های استنتاج تقریبی مانند نمونه‌گیری با رد کردن، نمونه‌گیری وزن دار و نمونه‌گیری زنجیره مارکوف می‌شوند. [۱۳]

در این مدل از استنتاج دقیق، استنتاج به وسیله محاسبه تک تک عناصر احتمالی که توضیح داده شده، انجام می‌شود.

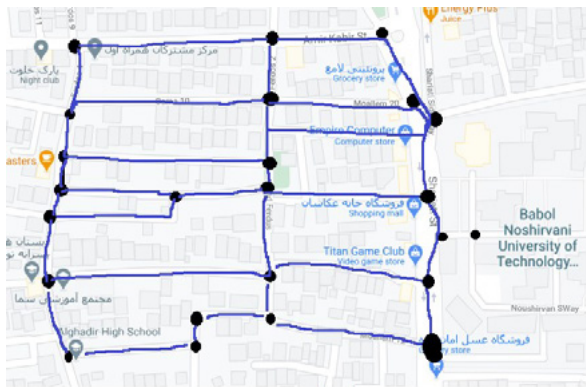
۲-۲. ساختار مدل توسعه یافته

برای نشان دادن خطر لرزه‌ای در این مدل ویژگی‌های لرزه‌ای منطقه‌ای هم می‌تواند از تحلیل خطر ساختگاه منطقه مورد بررسی و هم به صورت یک کاتالوگ زلزله شبیه‌سازی شده تاریخی و دستگاهی یا مصنوعی که شامل موقعیت‌های زمین لرزه، بزرگای و زمان بازگشت آن است، باشد. هر زلزله‌ای در چنین کاتالوگ معرف زلزله‌ای واقعی است که می‌تواند به طور بالقوه در مجاورت منطقه مدل سازی رخ دهد. جنبش‌های زمین شامل حداکثر شتاب زمین ($PGA^{۱۴}$)، حداکثر سرعت زمین ($PGV^{۱۵}$) حداکثر تغییر مکان زمین ($PGD^{۱۶}$)، تغییر شکل مانگار زمین ($PGD^{۱۷}$) را می‌توان از روابط کاهندگی برای هر سناریوی زلزله تخمین زده شود.

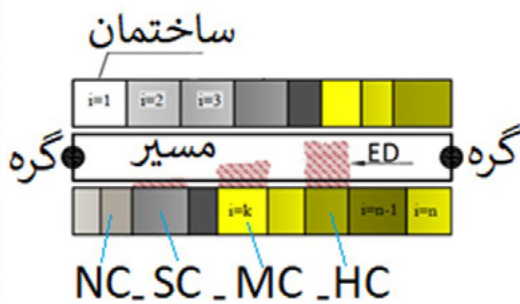
عدم قطعیت مرتبط با توابع کاهندگی با استفاده از فرآیند شبیه‌سازی مونت کارلو در نظر گرفته می‌شود. این فرآیند منجر به توزیع احتمالی جنبش زمین در ساختمان‌ها و سازه‌های جاده‌ای می‌شود.

عناصر تشکیل دهنده شبکه جاده‌ای شهری مانند پل‌های اصلی، ساختمان‌ها و هم بدنه راه به صورت اطلاعات مکانی با استفاده از لایه‌های داده‌های بردار GIS مدل سازی می‌شوند (شکل ۵). برای برآورد میزان آسیب ناشی از خطرات لرزه‌ای وارده به هر المان شبکه از منحنی‌های شکنندگی^{۱۸} استفاده می‌شود. آوارهای سازه‌ای ناشی از خسارات لرزه‌ای می‌تواند در طول مسیر مجاورش گسترش یابد ($ED^{۱۹}$).

در این مقاله برای هر نوع تیپ ساختمانی در مجاورت یک مسیر با کمک منحنی‌های شکنندگی آن و جنبش زمین استفاده شده در منطقه مورد مطالعه احتمال خسارات لرزه‌ای در ۴ سطح بدون خسارت، خسارت کم، خسارت متوسط و خسارت زیاد تخمین زده شده است. ماتریس احتمالاتی انسداد مسیر وابسته به ارتفاع ساختمان، نحوه فروریزش آن، فاصله آن از مسیر مجاور و عرض راه است که برای بیان انسداد مسیر تابع توزیع انسداد آن در ۴ سطح انسداد (بدون انسداد، انسداد کم، انسداد متوسط و انسداد زیاد) با توجه به شکل (۶) تقسیم بندی می‌شود. شکل‌های (۷ تا ۱۰) مثال‌هایی برای این تقسیم بندی با توجه به وقوع زلزله در بعضی از مناطق شهری را نشان می‌دهد.

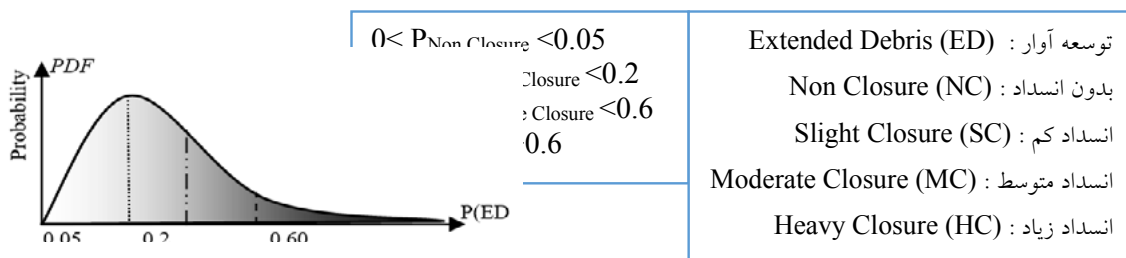


(a)



(b)

شکل ۵. مدل سازی شبکه راه (a) شامل گره، مسیر، ساختمان ها و پل های مجاور آن (b) نحوه پیشروی آوار در هر مسیر



شکل ۶. تقسیم بندی نمودار توزیع انسداد به سطوح مختلف [۲۰]



شکل ۷. حالت بدون انسداد - زلزله سال ۲۰۱۱ نیوزلند

شکل ۸. حالت انسداد کم - زلزله سال ۲۰۱۱ نیوزلند



شکل ۹. حالت انسداد متوسط - زلزله سال ۲۰۱۱ نیوزلند

شکل ۱۰. حالت انسداد زیاد - زلزله سال ۱۹۹۹ در Chi Chi تایوان

با توجه به توضیحات ارائه شده و در نظر گرفتن تمام شرایط احتمالاتی معرفی شده احتمال توسعه آوار برای هر المان توسط رابطه (۵) بیان می شود:

$$P(ED = ED_i) = \sum_{k=1}^{n_{IM}} \sum_{j=1}^{n_{DS}} \sum_{i=1}^{n_{ED}} P(ED = ED_i | DS_j) \\ P(DS = DS_j | IM_k) P(IM_k)$$

که در اینجا n_{DS} ، n_{IM} و n_{DE} به ترتیب بیانگر شماره جنبش زمین، شماره خرابی المان (ساختمان، پل و یا بدنه راه) و شماره حالت توسعه آوار در الگوریتم شکل ۳ است.

انسداد مسیر می تواند به علت توسعه آوار یک ساختمان و یا اینکه چندین ساختمان در مجاورت مسیری خاص باشد. بنابراین احتمال انسداد مسیر به علت توسعه آوار حداقل یک ساختمان در مسیر مجاورش با توجه به رابطه (۶) قابل محاسبه است.

$$P_{MC} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(MC)) \quad (6)$$

رابطه (۶) بیانگر وقوع احتمال انسداد یک مسیر ناشی از توسعه آوار حداقل یک ساختمان مجاور آن مسیر در حالت انسداد مسیر متوسط است.

علاوه بر توسعه آوار ساختمانی قابلیت کارکرد شبکه حمل و نقل درون شهری بستگی به رفتار لرزه ای پل ها و دیگر سازه های جاده ای دارد. در بسیاری از مطالعات مشابه برای شبکه حمل و نقل شهری توجه ویژه ای به پل ها به عنوان مهم ترین عامل کنترل عملکرد شبکه شده است. با استفاده از منحنی های شکنندگی برای پل ها می توان احتمال وقوع سطوح مختلف آسیب برای هر پل را تخمین زد. قابلیت استفاده از پل ها پس از زلزله نیاز به بازرسی دیداری و برآورد خسارات وارده را دارد. یک پل با آسیب کمی حتی می تواند باعث بسته شدن جزئی یا کل از یک یا هر چند مسیر مرتبط با آن شود. بنابراین برای هر سطح خرابی می توان فرض کرد که مسیرهای مرتبط با آن پل یا نقطه تقاطع آنها دچار انسداد و در پی آن اختلال در عملکرد شبکه شود.

بدین ترتیب، احتمال ترکیبی از انسداد مسیر ناشی از توسعه آوار ساختمانی (P_i)، خسارت لرزه ای وارده به پل ها (P_j) و بدنه راه (P_k) را می توان توسط رابطه (۷) بیان کرد.

$$P_{(MC)} = 1 - \left[\prod_{i=1}^n (1 - P_i(MC)) \right] \times \left[\prod_{j=1}^n (1 - P_j(MC)) \right] \times \left[\prod_{k=1}^n (1 - P_k(MC)) \right] \quad (7)$$

۳. مطالعه موردی

در این تحقیق شهر بابل با توجه به شرایط لرزه خیزی نسبتاً شدید و همچنین جمعیت شهری قابل توجه آن برای نشان دادن

کاربرد مدل پیشنهادی انتخاب شده است. در ادامه ابتدا به معرفی این شهر و ارائه مشخصات لرزه ای آن و سپس به شرح عناصر شبکه حمل و نقل شهری و سایر عوامل تأثیرگذار بر روی عملکرد این شبکه و نحوه تأثیرگذاری آنها پرداخته شده است. در این مطالعه از بین آن مولفه ها تأثیرگذارترین آنها یعنی ساختمان ها و پل ها برای بررسی اخلاص عملکردی شبکه حمل و نقل شهری بابل در نظر گرفته شده است.

۳-۱. مشخصات شهری و لرزه ای ساختگاه شهر بابل

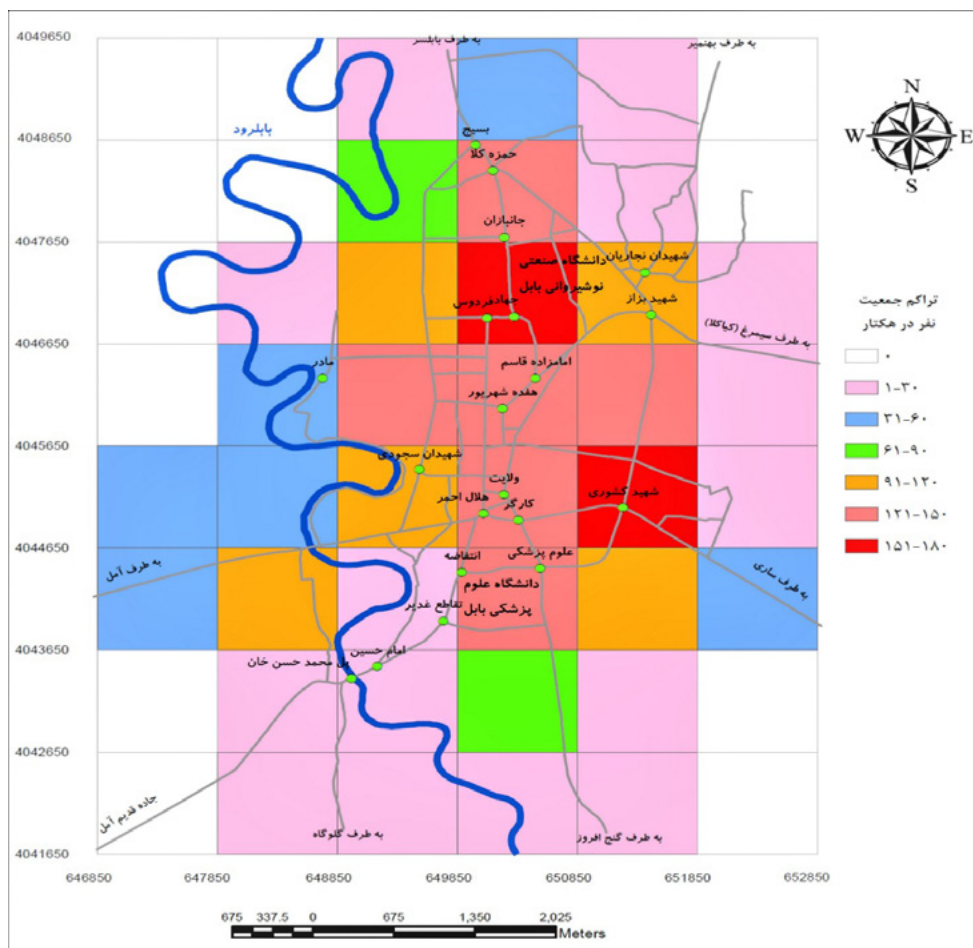
شهرستان بابل پرجمعیت ترین شهرستان استان مازندران با مساحت ۱۵۷۸٫۱ کیلومتر مربع است. در سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت شهر بابل ۳۰۵٫۵۷۸ نفر و جمعیت شهرستان بابل ۵۳۱٫۹۳۰ نفر برآورد شده است. [۱۴]

با توجه به نقشه پراکندگی جمعیت در شکل (۱۱) مناطق اطراف میدان های کشوری و باغ فردوس بیشترین میزان تراکم جمعیت بوده و مناطق پیرامونی این شهر کمترین تراکم جمعیت را دارا هستند.

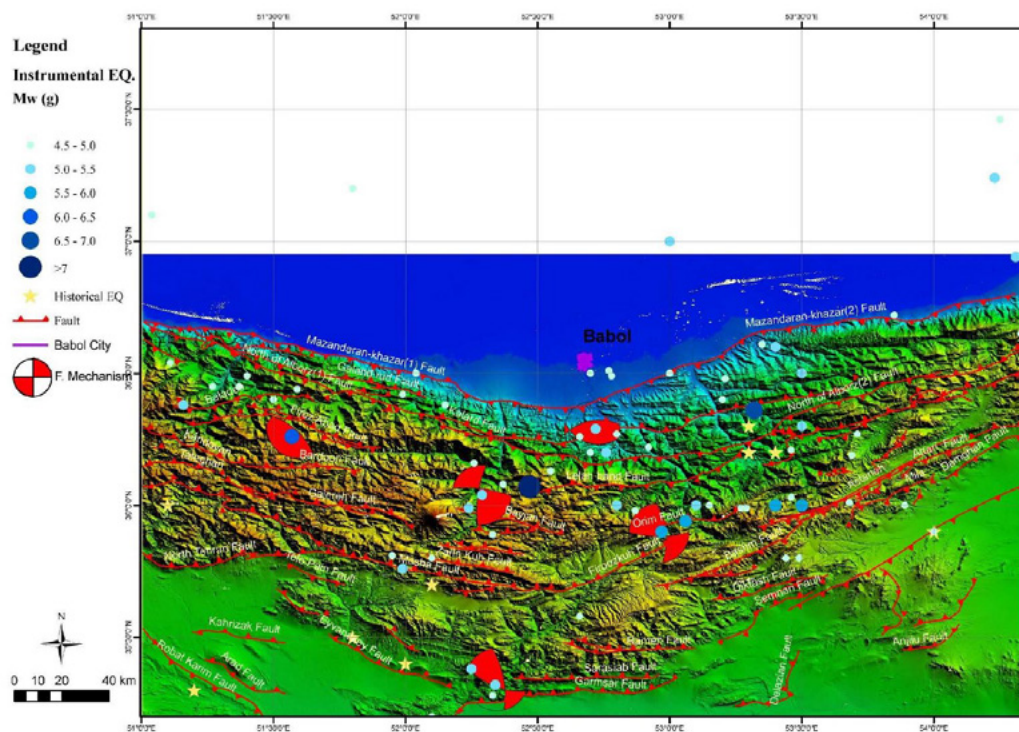
شرایط لرزه ای زمین شناسی بابل تحت تأثیر شرایط صفحات تکتونیکی ایران در خاورمیانه قرار دارد. مهمترین و اصلی ترین گسل های اطراف شهر بابل عبارتند از: خزر، شمال البرز، کندوان، مشا، شمال تهران، آستانه، آتاری [۱۶] که در شکل (۱۲) به نمایش درآمده اند.

برای تحلیل خطرپذیری ناشی از خطر زمین لرزه در یک منطقه، داده های لرزه خیزی و روابط کاهندگی جنبش قوی زمین مورد نیاز است. عدم قطعیت های مربوط به روابط کاهندگی امواج لرزه ای از مهمترین عدم قطعیت ها در تجزیه و تحلیل خطر زلزله هستند. مطالعات گسترده ای در این خصوص در نقاط مختلف جهان انجام شده که این مطالعات منجر به نتایج گسترده متفاوتی از حداکثر شتاب زمین به علت استفاده از پایگاه داده های مختلف و روابط کاهندگی تجربی شده است. بنابراین انتخاب یک رابطه کاهندگی برای منطقه ای خاص بسیار وابسته به ویژگی های زمین شناسی و تکتونیکی آن منطقه بوده و استفاده از هر رابطه ای بدون توجه به این ویژگی ها ممکن است منجر به محاسبه مقادیر نادرست شود. در این مدل ۲ روابط کاهندگی مناسب پیشنهاد شده توسط کمپیل و بزرگنیا (۲۰۰۶) [۲۳] و آمبراسیس و داگلاس (۲۰۰۵) [۲۴] به کار برده شده که با توجه به نوع گسل ها و خاک منطقه مورد مطالعه و نزدیکی آن با نوع گسل ها و خاکی که در مقالات مرتبط با روابط کاهندگی بیان شده و با منطقه مورد مطالعه تطابق قابل قبولی دارند.

به منظور انجام تجزیه و تحلیل پاسخ یک بعدی سایت از نرم افزار دیپ سویل^{۲۰} استفاده می شود. دیپ سویل یک برنامه تجزیه و تحلیل پاسخ یک بعدی سایت است که می تواند هر ۲ مورد (الف) یک بعدی غیرخطی و (ب) تجزیه و تحلیل خطی معادل یک بعدی را انجام دهد. دیپ سویل توسط پروفیسور یوسف^{۲۱} هاشاش با همکاری چندین دانشجوی کارشناسی ارشد و کارشناسی در دانشگاه ایلینوی توسعه داده شد. (هاشاش و پارک ۲۰۱۱) [۱۷].



شکل ۱۱. نقشه پراکندگی جمعیت شهر بابل [۱۵]



شکل ۱۲. گستره مورد بررسی به شعاع ۱۵۰km شهر بابل [۱۶]

برای هر لایه خاک در پروفیل‌های خاک، وزن کل واحد، ضخامت، سرعت موج برشی و روابط G/G_{max} به عنوان توابع کرنش برشی و درصد میرایی^{۲۳} به عنوان ورودی با منحنی‌های نقاط گسسته که فقط برای تجزیه و تحلیل خطی معادل قابل استفاده است، ارائه می‌شود. در مطالعه خاک‌های رسی از منحنی‌های G/G_{max} و میرایی پیشنهاد شده توسط وستیک و دابری^{۲۴} (۱۹۹۱) و برای لایه‌های آبرفتی از منحنی‌های سید و ادريس^{۲۵} (۱۹۹۱) برای لایه‌های رسی استفاده می‌شود. [۱۸]

امواج لرزه‌ای که از سمت لایه‌های زیرین آبرفتی حرکت می‌کنند و به سطح می‌رسند، باعث تغییر در مشخصات فرکانسی و دامنه خاک می‌شوند و بنابراین سبب تغییر شتاب و نمودارهای مختلف فوریه نشان داده شده با حرکت زمین لرزه‌ای می‌شوند.

برای تحلیل بزرگنمایی شتاب منطقه مورد بررسی^{۲۳} شتاب‌نگار از پایگاه داده‌های موجود ملی و بین‌المللی انتخاب شده است. پس از تحلیل ساختگاه با نرم افزار دیپ‌سویل دامنه شتاب افقی طیف فوریه سنگ بستر با خصوصیات دینامیکی آبرفت یا خصوصیات هندسی سطح ترکیب شده و طیف فوریه تازه به دست آمده را تشکیل می‌دهند. سرانجام تابع تقویت با تقسیم طیف فوریه سطح بر طیف فوریه سنگ بستر به دست می‌آید. با توجه به

نسبت‌های بزرگ‌نمایی^{۲۶} آبرفتی، می‌توان با ضرب نسبت متوسط تشدید آبرفتی در مقادیر پراکندگی و شتاب‌های بستر مربوط به دوره‌های مختلف بازگشت مقادیر شتاب حداکثر زمین را برای دوره‌های مختلف بازگشت محاسبه کرد. جزئیات مربوط به این محاسبه با وارد کردن مقادیر شتاب سنگ بستر و نسبت تقویت آبرفت حاصل در فرآیند محاسبه در جدول یک گزارش شده است. [۱۶]

با توجه به اطلاعات نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی ساختگاه و هم روابط کاهندگی به کار گرفته شده برای گستره شهر بابل شتاب حداکثر زمین برای دوره بازگشت‌های مختلف با کمک ضرایب بزرگ‌نمایی به دست آمده و می‌توان آنها را به ۳ محدوده برای هر دوره بازگشت طبق جدول (۲) تقسیم‌بندی کرد و پهنه‌بندی جغرافیایی آن در گستره مورد بررسی در شکل (۱۳) را نمایش داد. [۱۶]

مدل توسعه یافته در این مقاله قابلیت در نظر گرفتن خطر زلزله به ۲ حالت سناریوی زلزله‌ای خاص و کاتالوگی شامل مجموعه‌ای از زلزله‌ها را دارد. در هر ۲ حالت موقعیت مکانی و خصوصیات لرزه‌ای زلزله‌های در نظر گرفته شده با شتاب حداکثر زمین (PGA) روی خاک بستر بیان و با ریزنمایی مشخص شده، مانند آنچه در

جدول ۱. مقادیر شتاب سنگ بستر و نسبت‌های تقویت آبرفتی و شتاب اوج زمین که در فرآیند محاسبه استفاده می‌شود [۱۶]

دوره بازگشت	ایستگاه زلزله	شتاب سنگ بستر	ضریب بزرگنمایی دامنه	ضریب بزرگنمایی متوسط آبرفتی	ماکزیمم شتاب زمین	میانگین ماکزیمم شتاب زمین
۲۵۰۰ ساله	بم	۰.۳۷۳	۲.۴۲	۲.۲۸	۰.۸۵	۰.۷۲
	سانفرناندو ^{۲۷}	۰.۳۶۴	۲.۲۸		۰.۸۳	
	پول ^{۲۸}	۰.۳۳۷	۲.۴۶		۰.۷۷	
	ابر ^{۲۹}	۰.۳۰۷	۲.۰۱		۰.۷	
	دیپوک ^{۳۰}	۰.۲۶۹	۲.۰۳		۰.۶۱	
	نورث‌ریج ^{۳۱}	۰.۲۷۹	۲.۲۹		۰.۶۳	
	آوج ^{۳۲}	۰.۲۹۹	۲.۰۹		۰.۶۸	
۹۵۰ ساله	بم	۰.۲۸۴	۲.۴۷	۲.۳۶	۰.۶۷	۰.۵۸
	سانفرناندو	۰.۲۷۸	۲.۰۵		۰.۶۶	
	پول	۰.۲۶۲	۲.۴۸		۰.۶۲	
	ابر	۰.۲۳۵	۲.۱۱		۰.۵۵	
	دیپوک	۰.۲۰۵	۲.۰۲		۰.۴۸	
	نورث‌ریج	۰.۲۱	۲.۵۷		۰.۵	
	آوج	۰.۲۳۱	۲.۰۲		۰.۵۵	
۴۷۵ ساله	بلده	۰.۲۴	۲.۰۵	۲.۵۲	۰.۶	۰.۵۴
	بم	۰.۲۲۷	۲.۰۵		۰.۵۷	
	تالش	۰.۲۲۳	۲.۴۸		۰.۵۶	
	قائن	۰.۱۹۶	۲.۵۳		۰.۴۹	
	سوزا ^{۳۳}	۰.۱۸۶	۲.۵۷		۰.۴۷	
۱۰۹ ساله	خان زینو ^{۳۴}	۰.۱۰۸	۳.۷۷	۳.۶۹	۰.۴	۰.۳۶
	میمند	۰.۰۹۴	۳.۶۶		۰.۳	
	کلور	۰.۰۸۷	۳.۶۱		۰.۳۲	
	قائن	۰.۱۰۲	۳.۷۱		۰.۳۸	

شکل (۱۳) نشان داده شده، تشدید می‌شود. برای این مطالعه موردی از حالت دوم استفاده شده است.

در این مقاله با توجه به ریزتقسیم‌بندی^{۳۵} انجام شده برای شهر بابل برای هر مختصات جغرافیایی حداکثر شتاب زمین برای دوره بازگشت‌های مختلف به عناصر تأثیرگذار (ساختمان، پل و بدنه راه) با توجه به داده‌های شکل ۱۳ اعمال شده است.

۳-۲. مشخصات ساختمان‌های شهر بابل و تابع آسیب‌پذیری آنها

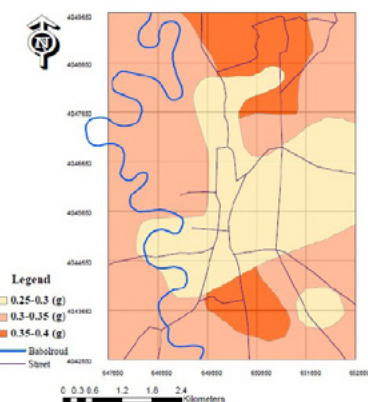
تعداد کل ساختمان‌های مسکونی در شهر بابل حدود ۱۰ هزار بلوک است. شکل (۱۴) نحوه طبقه‌بندی اولیه این ساختمان‌ها از نظر سیستم سازه‌ای، تعداد طبقات و سال ساخت که از عوامل تأثیرگذار در برآورد خسارات لرزه‌ای است را نشان می‌دهد. در شکل (۱۵) پراکندگی ساختمان‌ها از نظر تقسیمات کاربری در گستره مورد بررسی به نمایش درآمده است. [۱۵] شکل (۱۶) تعداد ساختمان‌های مسکونی بر اساس سازه و دوره زمانی ساخت را نشان می‌دهد.

به‌طور کلی، برای برآورد خسارت ساختمان‌ها مطلوب است که از پارامترهای دینامیک مانند پریودهای طبیعی هر ساختمان نسبت به ارتفاع و نوع سازه آن که مشخص‌کننده پاسخ دینامیکی ساختمان در هنگام وقوع زلزله است، استفاده شود؛ اما در ایران چنین پارامترهایی برای ساختمان‌ها در دسترس نیست. وقتی مشخصات نیروی زلزله مانند شتاب مؤثر زمین و شدت زلزله در مقیاس MMI وجود داشته باشد و سازه ساختمان هم مشخص باشد، میزان خسارت را می‌توان به‌طور قطعی برآورد کرد. با توجه به اطلاعات موجود برای برآورد خسارت لرزه‌ای ساختمان‌های شهر بابل طبقه‌بندی جزئی‌تری در ۹ گروه [۱۵] با در نظر گرفتن توأم تقسیمات سازه‌ای، تعداد طبقات و سال ساخت انجام شده که برای هر تیپ ساختمانی با توجه به شکل (۱۶) منحنی شکنندگی خاصی ارائه شده است.

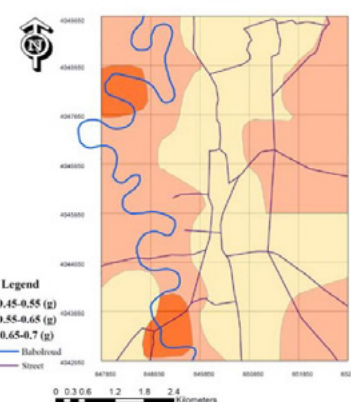
در مدل ارائه‌شده در این مقاله به کمک رابطه معرفی‌شده توسط لیمپولت لینکیم^{۳۶} MMI به شتاب متناظر آن تبدیل

جدول ۲. محدوده شتاب حداکثر در هر دوره بازگشت سالانه

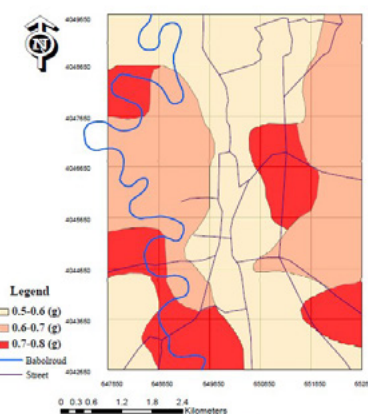
دوره بازگشت	محدوده شتاب حداکثر سطح زمین (PGA)		
۱۰۹ ساله	۰.۲۵g - ۰.۳g	۰.۳۰g - ۰.۳۵g	۰.۳۵g - ۰.۴g
۴۷۵ ساله	۰.۴۵g - ۰.۵۵g	۰.۵۵g - ۰.۶g	۰.۶g - ۰.۷g
۹۵۰ ساله	۰.۵g - ۰.۶g	۰.۶g - ۰.۷g	۰.۷g - ۰.۸g
۲۵۰۰ ساله	۰.۶g - ۰.۷g	۰.۷g - ۰.۹g	۰.۹g - ۱.۱g



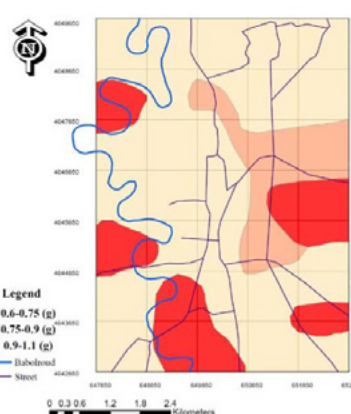
(a) In return period of 109 years



(b) In return period of 475 years



(c) In return period of 950 years



(d) In return period of 2500 years

شکل ۱۳. نقشه نسبت بزرگنمایی شتاب در دوره بازگشت‌های (a) ۱۰۹، (b) ۴۷۵، (c) ۹۵۰ و (d) ۲۵۰۰ ساله [۱۶]

شده (رابطه ۸۹) و نمودارهای MMI اصلاح و سپس استفاده شده اند. [۱۹]
(۸)

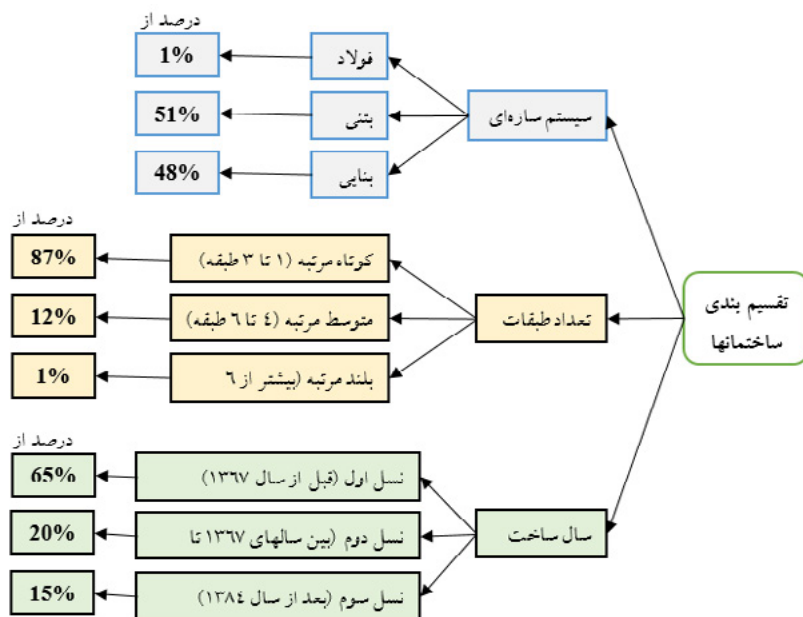
۱. سازه بنایی
۲. سازه فولادی نوع ۱: سازه فولادی ساخته شده بعد از سال ۱۳۸۴

$$MMI=2.33\log(PGA)+0.76 \quad (2<MMI<5)$$

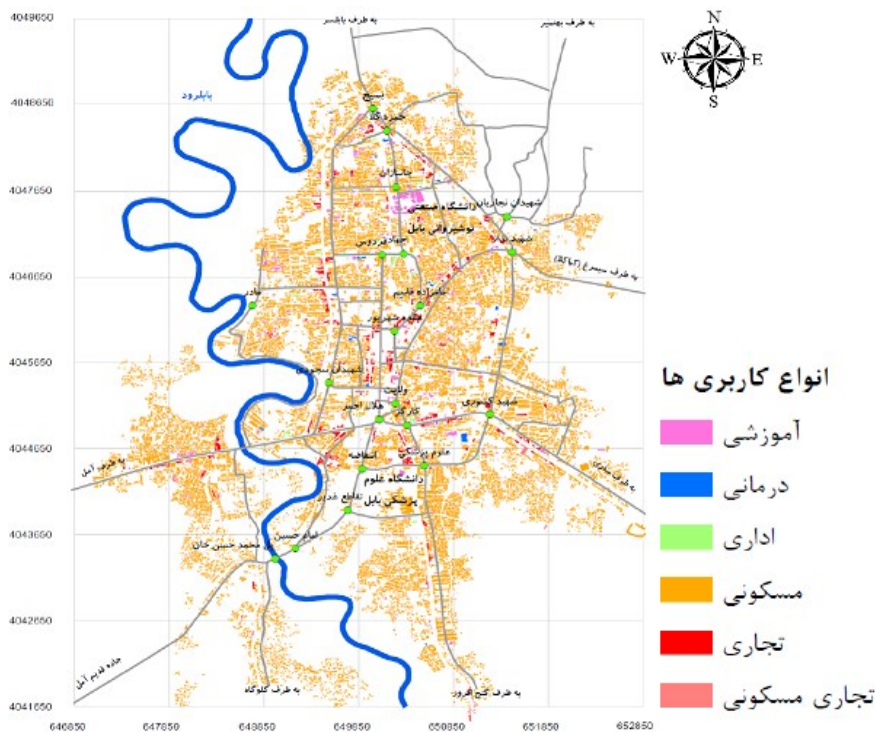
۳. سازه فولادی نوع ۲: سازه فولادی ساخته شده بین سال های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۴ با یک تا ۳ طبقه

$$MMI=2.33\log(PGA)+0.76 \quad (2<MMI<5)$$

۴. سازه فولادی نوع ۳: سازه فولادی ساخته شده بین سال های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۴ با بیش از ۳ طبقه



شکل ۱۴. تقسیم بندی ساختمان ها [۱۵]



شکل ۱۵. پراکندگی ساختمان ها از نظر کاربری در گستره مورد بررسی (شهر بابل) [۱۵]

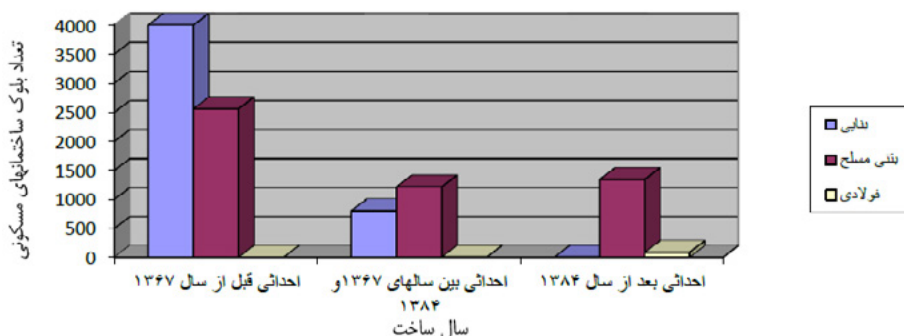
۵. سازه فولادی نوع ۴: سازه فولادی ساخته شده قبل از سال های ۱۳۶۷
۶. سازه بتنی نوع ۱: سازه بتنی ساخته شده بعد از سال ۱۳۸۴
۷. سازه بتنی نوع ۲: سازه بتنی ساخته شده بین سال های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۴ با یک تا ۳ طبقه
۸. سازه بتنی نوع ۳: سازه بتنی ساخته شده بین سال های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۴ با بیش از ۳ طبقه
۹. سازه بتنی نوع ۴: سازه بتنی ساخته شده قبل از سال های ۱۳۶۷

۳-۳. پیشروی آوار ساختمان ها و احتمال انهداد مسیر

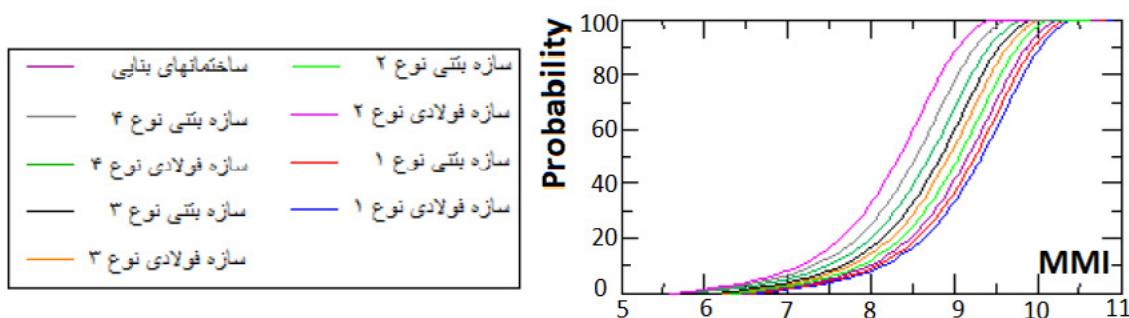
پس از محاسبه شدت خسارات لرزه ای وارده به ساختمان ها باید رابطه ای برای طول پیشروی آوار در هر یک از سطوح خرابی ارائه شود. بدین منظور ماتریسی احتمالاتی از حالات مختلف خرابی و انهداد با توجه به جدول (۳) پیشنهاد داده شده است. به طور مثال اگر خسارت وارده به ساختمان در سطح SD (خرابی

کم) باشد، احتمال رویداد حالات بدون انهداد، انهداد کم، انهداد متوسط و انهداد زیاد به ترتیب ۲۰٪، ۶۰٪، ۱۰٪ و ۱۰٪ است. برای ساختمانی آسیب دیده ۲ فاکتور عرض راه و ارتفاع سازه نقش مهمی در انهداد مسیر مجاورش دارند. بدیهی است که این احتمال انهداد با عرض راه نسبت عکس و ارتفاع سازه نسبت مستقیم دارد $(W/H)^{۳۶}$. همچنین آوار و فروریزش ساختمانی به صورت زیر تقسیم بندی میشود: [۲۰]

۱. بدون خرابی
۲. ریزش قسمتی از نما
۳. ترک بین دیوارهای عمود بر هم در گوشه یا بین دیوار و کلاف یا بین دیوار و سقف و ریزش نما با وسعت کم
۴. شکست پنجره ها
۵. خرابی جزئی در خریشته و جان پناه
۶. ریزش نما با وسعت زیاد
۷. ریزش قسمت هایی از سقف
۸. خرابی دیوار و خرابی در اطراف بازشوها
۹. خرابی خریشته و جان پناه
۱۰. خرابی قسمتی از ساختمان



شکل ۱۶. تعداد ساختمان های مسکونی براساس سازه و دوره زمانی ساخت [۱۵]



شکل ۱۷. منحنی شکنندگی برای تیپ های مختلف ساختمانی در گستره مورد بررسی [۱۵]

جدول ۳. ماتریس احتمالاتی انهداد و خرابی ساختمان [۲۰]

NC		بدون انهداد	انهداد کم	انهداد متوسط	انهداد زیاد
		SC	MC	HC	
بدون خرابی	ND	۱۰۰	۰	۰	۰
خرابی کم	SD	۲۰	۶۰	۱۰	۱۰
خرابی متوسط	MD	۰	۳۰	۵۵	۱۵
خرابی زیاد	HD	۰	۲۰	۳۰	۵۰

۱۱. خرابی کامل

۱۲. طبقه نرم

۱۳. خرابی پن‌کیکی

در مورد نحوه فروریزش آوار ساختمانی پژوهشی توسط دکتر ذوالفقاری و همکاران [۲۰] انجام شده که می‌توان با کمک آن برای هر سطح آسیب لرزه‌ای ساختمانی و هر تیپ ساختمانی به طور مجزا احتمال وقوع هر یک از ۱۳ مورد بالا را تخمین زد. پس اعداد جدول (۳) می‌بایستی با توجه فاکتورهای عرض مسیر و ارتفاع ساختمان مجاور هر مسیر و هم احتمال وقوع هر یک از نحوه‌های ۱۳ گانه فروریزش آوار اصلاح شوند. برای نمونه احتمال وقوع هر یک از نحوه‌های ۱۳ گانه فروریزش آوار برای تیپ ساختمانی خاص (سازه فولادی نوع یک: سازه فولادی ساخته شده بعد از سال ۱۳۸۴) در ۲ سطح خرابی متوسط و زیاد در جدول (۴) آمده است.

پس از آنالیز لرزه‌ای شهر بابل به کمک مدل مبتنی بر نظریه بیزی توسعه یافته برای حالات مختلف انسداد و دوره بازگشت‌های مختلف زلزله با توجه به رویدادهای لرزه‌ای معرفی شده، احتمال انسداد هر مسیر ناشی از ساختمان‌های اطراف آن حاصل خواهد شد. شکل (۱۸) احتمال اینکه خرابی هر بلوک ساختمانی برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله باعث انسداد متوسط مسیر مجاورش شود را برای شهر بابل نشان می‌دهد.

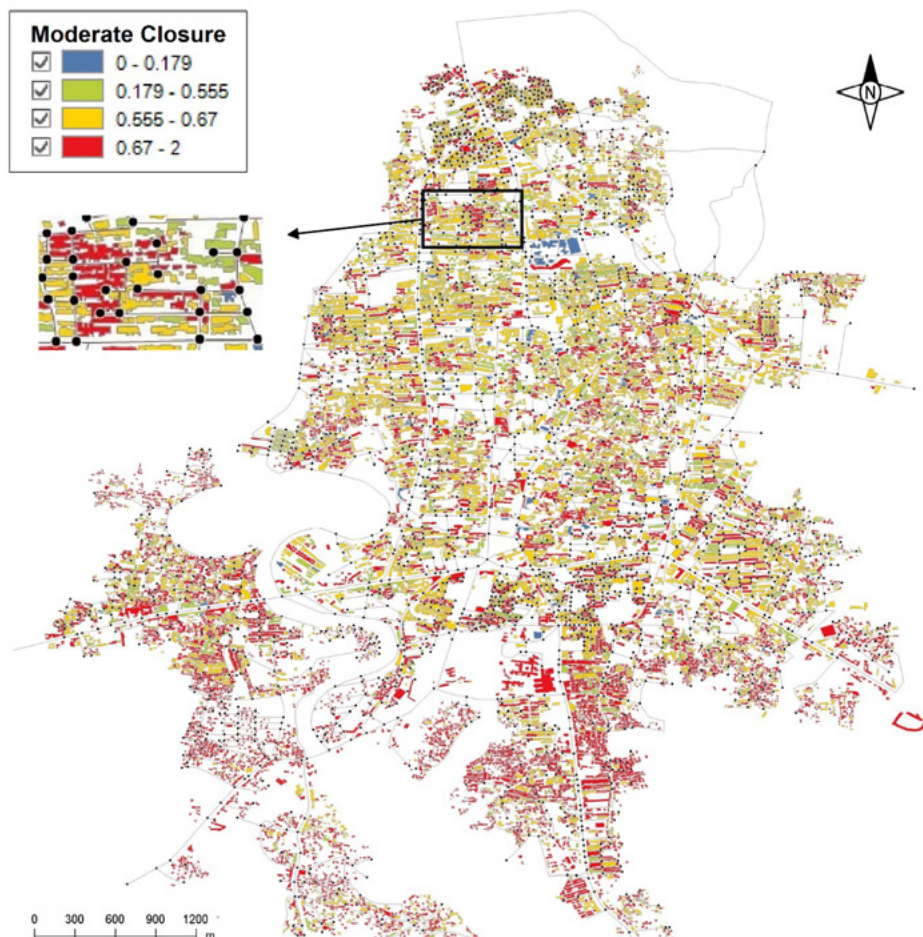
۳-۳. مشخصات پل‌های شهر بابل و تابع آسیب پذیری آنها

شهر بابل دارای ۴ پل بزرگ است که موقعیت مکانی آنها در شکل (۱۹) نشان داده شده است.

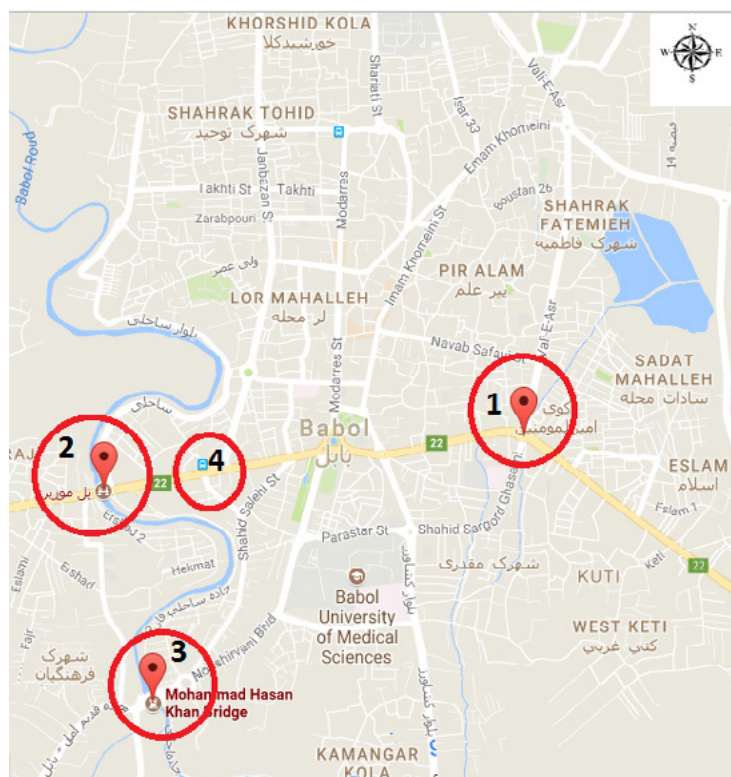
۱. پل شهید کشوری در قسمت شرقی شهر برای کمک به ترافیک این ناحیه و یکی از محورهای ارتباطی با مرکز استان مازندران بنا شده است.
۲. پل موزیرج در قسمت غربی که به منظور محور ارتباطی جدید با شهر آمل بر روی بابلرود احداث شده است.
۳. پل کناری پل تاریخی محمدحسن خان بر روی رودخانه بابلرود ساخته شده و علاوه بر جاده قدیمی شهر بابل و آمل، محور ارتباطی بخش‌های گناب، بندپی شرقی و بندپی غربی با شهر بابل هم به شمار می‌آید.
۴. پل روگذر جدیدالحداث برای کمک به ترافیک قسمت غربی و شمال غربی این شهر جنب ایستگاه آمل با توجه به پراکندگی این پل‌ها در صورت وقوع رویداد لرزه‌ای و خرابی آنها علاوه بر اختلال در عملکرد شبکه حمل و نقل درون شهری، بر روی شبکه ارتباطی بین شهری هم تأثیرگذار خواهد بود و به این دلیل امداد رسانی از شهرهای اطراف به این شهر را دچار وقفه و مشکل خواهد کرد.

جدول ۴. احتمال وقوع پیشروی آوار اصلاح شده [۲۰]

Moderate Damage (1) Type			Heavy Damage (1) Type		
حالات خرابی	احتمال وقوع	احتمال طول پیشروی آوار (ضریبی از ارتفاع ساختمان)	حالات خرابی	احتمال وقوع	احتمال طول پیشروی آوار (ضریبی از ارتفاع ساختمان)
بدون خرابی	۰	۰	بدون خرابی	۰	۰
ریزش قسمتی از نما	۰	۰,۲۵	ریزش قسمتی از نما	۰	۰,۲۵
ترک بین دیوارهای عمود بر هم در گوشه یا بین دیوار و کلاف یا بین دیوار و سقف و ریزش نما با وسعت کم	۰	۰,۰۸	ترک بین دیوارهای عمود بر هم در گوشه یا بین دیوار و کلاف یا بین دیوار و سقف و ریزش نما با وسعت کم	۰	۰,۰۸
شکست پنجره‌ها	۰	۰,۳۳	شکست پنجره‌ها	۰	۰,۳۳
خرابی جزئی در خریشته و جان پناه	۰	۰,۳۳	خرابی جزئی در خریشته و جان پناه	۰	۰,۳۳
ریزش نما با وسعت زیاد	۰,۴۵	۰,۶۷	ریزش نما با وسعت زیاد	۰	۰,۶۷
ریزش قسمت‌هایی از سقف	۰,۰۵	۰,۲	ریزش قسمت‌هایی از سقف (طاق ضریبی)	۰	۰,۲
خرابی دیوار و خرابی در اطراف بازشوها	۰,۲۵	۰,۳۳	خرابی دیوار و خرابی در اطراف بازشوها	۰	۰,۳۳
خرابی خریشته و جان پناه	۰,۲۵	۰,۶۷	خرابی خریشته و جان پناه	۰	۰,۶۷
خرابی یک قسمت از ساختمان	۰	۰,۸۵	خرابی یک قسمت از ساختمان	۰,۴	۰,۸۵
خرابی کامل	۰	۰,۸۵	خرابی کامل	۰,۳	۰,۸۵
طبقه ی نرم	۰	۰,۶۷	طبقه ی نرم	۰,۱۵	۰,۶۷
خرابی پن‌کیکی	۰	۰,۵	خرابی پن‌کیکی	۰,۱۵	۰,۵



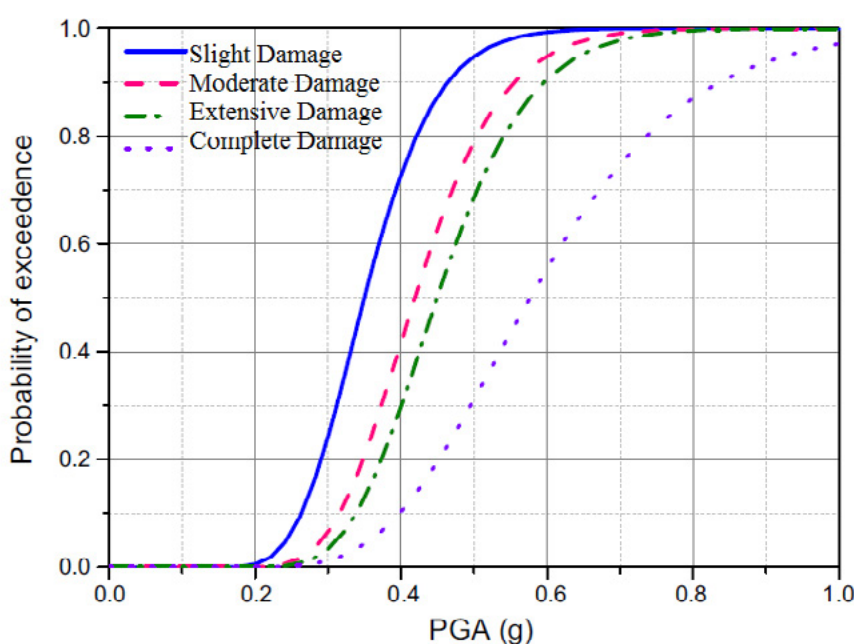
شکل ۱۸. احتمال خرابی هر بلوک ساختمانی برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله برای حالت انسداد متوسط مسیر مجاورش



شکل ۱۹. موقعیت مکانی پل های شهر بابل

جدول ۵. دسته‌بندی کلی پل‌ها

تک دهانه با تکیه‌گاه ساده (SS)	چند دهانه با تکیه‌گاه ساده (MSSS)	پیوسته (MSC)
بتنی	بتنی	بتنی
فلزی	بتنی با مقطع جعبه‌ای	بتنی با مقطع جعبه‌ای
	فلزی	فلزی
	دالی شکل	دالی شکل



شکل ۱۹. منحنی شکنندگی پل‌های پیوسته چند دهانه بتنی [۲۲]

دشواری صورت می‌گیرد، پس فرض می‌شود که در صورت خرابی کم انسداد کامل رخ نمی‌دهد. در حالت خرابی متوسط به بالاتر برای پل‌ها تردد از پل ناممکن خواهد شد؛ به همین علت فقط یک حالت انسداد زیاد (کامل) برای پل‌ها در نظر گرفته شده که احتمال آن ۱۰۰ است.

پس از آنالیز خرابی برای هر بلوک ساختمانی و پل‌های اطراف یک مسیر، با توجه به روش درخت منطقی، ضرب احتمال‌ها در هر شاخه و کمک از قانون بی‌زی نمایش گرافیکی احتمال انسداد مسیرها برای هر حالت انسداد تعریف شده که ناشی از پیشروی آوار عناصر اطراف آن مسیر است (شکل ۲۰).

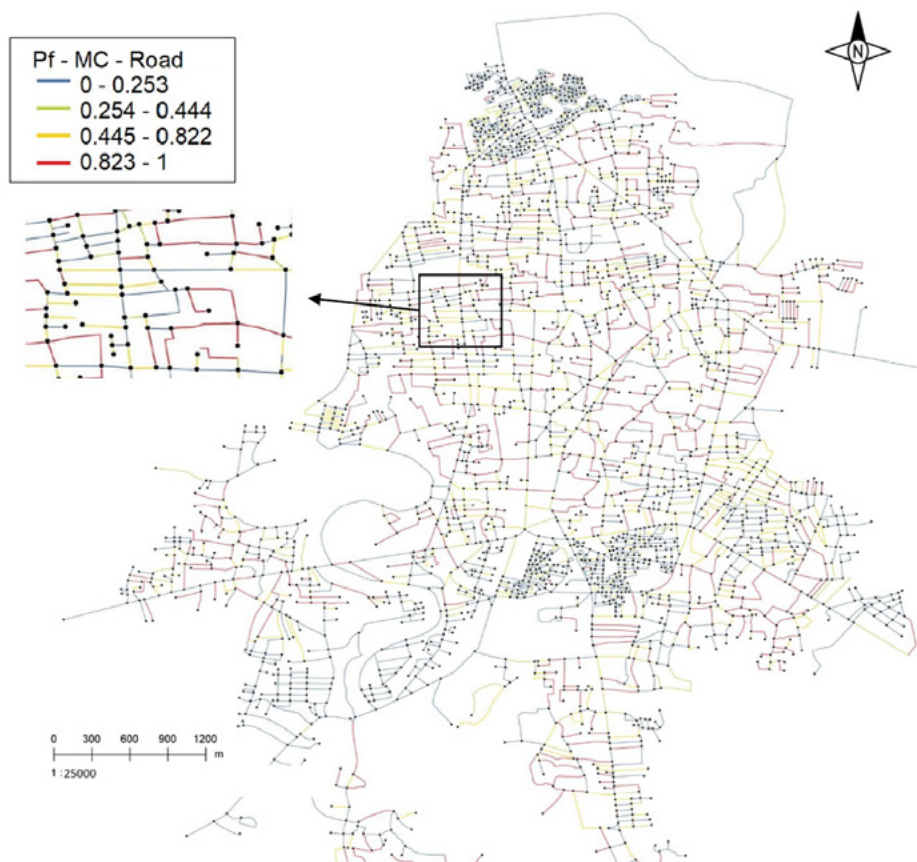
۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم احتمالاتی با کمک نظریه بی‌زی و با توجه به اینکه احتمال انسداد مسیری بر روی مسیر پیش روی آن هم تأثیرگذار است، برای برآورد احتمال انسداد راه‌ها که در تخمین

در مورد آسیب‌پذیری پل‌های شهر بابل مطالعاتی صورت پذیرفته؛ ولی با بررسی‌های صورت‌گرفته بر روی مشخصات سازه‌ای آنها و با قضای مهندسی می‌توان از منحنی شکنندگی ارائه شده برای پل‌های مشابه‌ای که در سایر مناطق ایران احداث شده، استفاده کرد.

با یک تقسیم‌بندی ساده بر اساس تعداد دهانه و شرایط تکیه‌گاهی پل‌ها به ۳ دسته، تک‌دهانه با تکیه‌گاه ساده (SS)، چند دهانه با تکیه‌گاه ساده (MSSS) و چند دهانه پیوسته (MSC) تقسیم‌بندی می‌شوند (جدول ۵) و همچنین بر اساس نوع جنس شاه‌تیر اصلی آن به ۲ دسته بتنی و فلزی تقسیم می‌شوند. [۲۱] پل‌های شهر بابل جزو دسته چند دهانه پیوسته بتنی قرار می‌گیرند که منحنی شکنندگی آن در شکل (۱۹) به نمایش درآمده است.

برای احتمال انسداد مسیر ناشی از خسارت لرزه‌ای وارده به پل‌ها، با توجه به اینکه در حالت خرابی کم امکان تردد از پل به



شکل ۲۰. احتمال انسداد مسیر در حالت انسداد متوسط برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله

مراکز اضطراری جدید (ایستگاه‌های آتش‌نشانی، بیمارستان‌ها، مراکز بهداشتی و مراکز اورژانس) و هم اولویت‌بندی در مقاوم‌سازی عناصر اطراف هر مسیر و اصلاح یا معرفی جاده‌های تازه مفید باشد.

۵. پی‌نوشت

1. Chen & Eguchi
2. Kiremidjian et al
3. Viswanath & Peeta
4. Jankowski & Richard
5. Bono & Gutiérrez
6. Jenelius & Mattsson
7. Bayesian
8. Posterior
9. Likelihood
10. Prior
11. Marginal
12. Chain Rule
13. Peak Ground Acceleration
14. Peak Ground Velocity
15. Peak Ground Displacement
16. Permanent Ground Displacement
17. Fragility Curves
18. Extended Debris
19. DEEPSOIL

عملکرد شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری پس از وقوع زلزله کاربرد دارد، ارائه شده است. این رویکرد اثرات هر ۲ آسیب ساختمان و همچنین آسیب‌های پل در هر مسیر را در نظر می‌گیرد. مدل مبتنی بر GIS توسعه یافته می‌تواند عناصر اطراف هر مسیر شامل ساختمان‌ها و پل‌ها را با کمک آنالیزهای جغرافیایی برای شهر بابل شناسایی کرده و مورد بررسی قرار دهد. نتایج اولیه برای شهر بابل نشان می‌دهد که صدمه به سازه‌های اطراف هر مسیر و پیشروی آوار آنها در مسیرهای مجاورش می‌تواند یک مسئله مهم برای اختلال در عملکرد شبکه حمل‌ونقل درون‌شهری به عنوان یکی از شریان‌های حیاتی شهر باشد. ساختمان‌های قدیمی و تراکم در بافت قدیم شهر از مهمترین علل اصلی چنین نتایجی است.

یکی از کاربردهای چنین مطالعه‌ای قابلیت استفاده از آن برای یافتن مسیر بهینه بین نقاط شهری خواهد بود. این نقاط می‌توانند مناطق آسیب دیده نیازمند کمک و مراکز امدادی باشند. کارایی پاسخ اضطراری در ساعت‌ها و روزهای پس از وقوع زلزله توسط مراکز امدادی به طور مستقیم به عملکرد شبکه راه‌های درون‌شهری و یافتن مسیرهای بهینه پس از وقوع زلزله مربوط می‌شود. بنابراین مشابه این مطالعات می‌تواند به مقامات تصمیم‌گیرنده و مدیران بحران کمک کند تا با شناخت از شهر، تصمیم‌گیری و اقدام به موقع و مناسب از خسارات بیشتر پس از زلزله جلوگیری کنند. چنین مطالعاتی همچنین می‌تواند در فرآیند انتخاب سایت برای

- for Earthquake Response. Transportation Research Board, 1-10.
- 9 . P Jankowski, L Richard (1994). Integration of GIS-Based Suitability Analysis and Multicriteria Evaluation in a Spatial Decision Support System for Route Selection. *Environment and Planning Journals B: Urban Analytics and City Science*, 323-340.
 - 10 . F. Bono, E. Gutiérrez (2010). GIS-BASED METHOD TO ASSESS SEISMIC VULNERABILITY OF INTERCONNECTED INFRASTRUCTURE A case of EU gas and electricity networks. Luxembourg: JRC Scientific and Technical Report.
 - 11 . Erik Jenelius, Lars-Göran Mattsson (2006). Developing a methodology for road network vulnerability analysis. Nectar Cluster 1 Seminar, 12th – 13th May 2006, Molde University College. Molde (Norway).
 - 12 . Liang, Chang (2011). Transportation system modeling and applications in earthquake. Illinois: Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign.
 - 13 . Gehl, Pierre (2017). Bayesian Networks for the Multi-Risk Assessment of Road Infrastructure. London: Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering EPICentre - Earthquake and People Interaction Centre.
 - 14 . (۱۳۹۵). سرشماری عمومی نفوس و مسکن. بابل: مرکز آمار ایران. Retrieved from <https://fa.wikipedia.org>
 - 15 . بابل، د. ص. (۱۳۹۳). گزارش آسیب پذیری و مدیریت بحران شهر بابل. بابل: اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران
 - 16 . H.R. Tavakoli, M. T. (2016). Site effect microzonation of Babol, Iran. *Geomechanics and Engineering*, 821-845.
 - 17 . Hashash, Y.M.A., Groholski, D.R., Phillips, C.A., Park, D. and Musgrove, M. (2011), DEEPSOIL 5.0, User Manual and Tutorial; 107 p.
 - 18 . Seed, R.B., Dickenson, S.E. and Mok, C.M. (1991), "Seismic response analysis of soft and deep cohesive sites: A brief summary of recent findings", *Proceedings of CALTRANS First Annual Seismic Response Workshop*, Sacramento, CA, USA, December.
 - 19 . Linkimer, Lipolt (2008). "Relationship between Peak Ground Acceleration and Modified Mercalli Intensity". University of Arizona.
 20. Youssef M.A
 21. Hashash and Park
 22. Damping (%)
 23. Vucetic and Dobry
 24. Seed and Idriss
 25. Amplification Factor
 26. San Fernando
 27. Poul
 28. Abbar
 29. Deyhok
 30. Northridge
 31. Avaj
 32. Suza
 33. Khan zinu
 34. Micro zonation
 35. Lipolt Linkimer
 36. Weight of Road and Height of Building

۶. مراجع

- ۱ . پورمحمدی، م. (۱۳۸۷). آسیب پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش. جغرافیا و توسعه ۱۱۸.
- 2 . Hosseini, M. (2008). A RISK MANAGEMENT MODEL FOR INTER-CITY ROAD SYSTEMS. The 14 World Conference on Earthquake Engineering (p. 2). Beijing: China.
- 3 . Chang, Liang (2010). Transportation system modeling and applications in earthquake. Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- ۴ . مهیمینی، ا. ش (۱۳۸۴). مدیریت بحران شبکه حمل و نقل در هنگام زلزله. تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.
- 5 . Chen, Y., & Eguchi, a. R. (2003). Post-earthquake road unblocked reliability estimation based on analysis of randomness of traffic demands and road capacities. Sixth U. S. Conf. and Workshop on Lifeline Earthquake Engineering, (p. 3). Reston: ASCE.
- 6 . Anne Kiremidjian, James Moore , Yue Yue Fan , Ozgur Yazlali , Nesrin Basoz & Meredith Williams(2007). Seismic Risk Assessment of Transportation Network Systems. *Earthquake Engineering*, 371-382.
- 7 . Pamela Murray-Tuite, Hani Mahmassani (2004). Methodology for Determining Vulnerable Links in a Transportation Network. *Transportation Research Board*, 88-96.
- 8 . Kannan Viswanath, Srinivas Peeta (2007). Multicommodity Maximal Covering Network Design Problem for Planning Critical Routes

۲۰. محمد رضا ذوالفقاری، میثم مغیثی (۱۳۹۰). مدل سازی احتمالاتی انسداد شبکه حمل و نقل درون شهری پس از وقوع زلزله، مطالعه موردی منطقه ۳ شهری تهران. تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
21. Reginald DesRoches, J. P. (2008). Seismic Risk Assessment of the Transportation Network of Charleston, South Carolina. The Sixth National Seismic Conference on Bridges & Highways. Charleston, South Carolina.
22. Araliya Mosleh, M. S. (2016). Seismic fragility analysis of typical pre-1990 bridges due to near and far-field ground motions. International Journal of Advanced Structural Engineering, 1-9.
23. Kenneth W. CAMPBELL and Yousef BOZORGNIA (2006). Campbell-Bozorgnia NGA Empirical Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and SA at Selected Spectral Periods Ranging from 0.01–10.0 Seconds. C-B NGA Report (PEER).
24. N. N. Ambraseys, J. Douglas, S. K. Sarma & P. M. Smit (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. Bulletin of Earthquake Engineering volume 3, pages1–53.

ارزیابی تاب‌آوری سیستم اجتماعی-اکولوژیک در برابر کاهش آب قابل دسترس

مطالعه موردی: روستای هرچگان

شهباز مهربانی: دانشجوی دوره دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

محمد رضا یزدانی*: دانشیار، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. Email: M.yazdani@semnan.ac.ir

مهدی قربانی: دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

خشک‌سالی و به دنبال آن بحران کم‌آبی از مهمترین بلایای طبیعی هستند که به دلیل دامنه وسیع‌تر آن نسبت به دیگر بلایا پیچیدگی بیشتری دارند. به طوری که در یک دوره ۷ ساله تا پایان فروردین سال ۱۳۹۵، ۹۰ درصد جمعیت و ۸۱/۳ درصد وسعت استان چهارمحال و بختیاری تحت تأثیر این بحران قرار گرفته است. از این رو در این پژوهش میزان تاب‌آوری سیستم اجتماعی-اکولوژیک روستای هرچگان در مقابل بحران کم‌آبی در استان ارزیابی شد و به منظور انجام ارزیابی تاب‌آوری از دستورالعمل انجمن تاب‌آوری دانشگاه استکهلم سوئد استفاده شد. جهت گردآوری اطلاعات از پرسش‌نامه محقق‌ساخته، مصاحبه و فیش‌برداری متناسب با شرایط اجتماعی و اقتصادی جامعه محلی هرچگان و شرایط اکولوژیکی آن استفاده شد. به منظور تحلیل شبکه روابط از روش تحلیل شبکه و نرم‌افزار UCINET 6 استفاده شد و نتایج نشان داد که در سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان مسئله اصلی کاهش سطح آب قابل دسترس است که از جمله دلایل اصلی آن کاهش میزان آب ورودی به منابع آبی و هدررفت آب به دلیل نبود تجهیزات ذخیره آب است. نتایج خط تاریخی و ترسیم چرخه سازگاری نشان داد که سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان در فاز امگا (Ω) یا فشار قرار دارد. در نهایت نتایج ارزیابی نشان داد که مناسب‌ترین استراتژی‌ها جهت مدیریت تاب‌آور در سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان شامل حفظ و تقویت وضع موجود عملکردی اکوسیستم روستای هرچگان، حفظ و تقویت ساختار و ماهیت روستایی روستای هرچگان، تکمیل سیستم آبیاری روستا و تقویت یادگیری اجتماعی ساکنان روستاست.

کلمات کلیدی: سیستم اجتماعی-اکولوژیک، تاب‌آوری، خشک‌سالی

Resilience Assessment in Social-Ecological Systems against Available Water Depletion (Case Study: Harchegan Village)

Shahbaz Mehrabi¹, Mohammad Reza Yazdani ^{*2}, Mehdi ghorbani³

Abstract:

Drought and subsequent water deficit crisis are one of the most important natural disasters, due to their wider scope than other disasters. On the other hand, 90 percent of the population and 81.3 percent of the Chaharmahal and Bakhtiari province were affected by a 7-year period until the end of March 2016. Therefore, in this study, the rate of resilience of the village's socio-ecological system against the crisis of dehydration and the problems in the province in general were evaluated. Guidelines for the evaluation of resilience were used by the Stockholm University of Sweden Resilience Society guidelines. A researcher-made questionnaire, interview, and checklist tailored to the socio-economic conditions of each local community and its ecological ecosystem were used for data collection. UCINET 6 software was used to analyze network relationships. The results showed that in the socio-ecological system of all, the main issue of water level reduction is accessible. One of the main reasons is the decrease in water intake and water loss due to lack of water storage facilities. The results of the historical line and the outline of the adaptation cycle showed that everyone's socio-ecological system is in the omega-phase (Ω) or pressure. Finally, the results showed that the most appropriate strategies for resilience management in socio-ecological systems include maintaining and enhancing the functional status of any village ecosystem, preserving and strengthening the rural structure and nature of any village, completing the village irrigation system, and Enhancing the social learning of the villagers.

Key Words: Social-Ecological Systems, Resilience, Drought

1-PhD Student of combat Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Email: sh.mehrabi@semnan.ac.ir

2-Associate Professor, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran, Email: M.yazdani@semnan.ac.ir

3-Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Tehran, Iran, Email: mehghorbani@ut.ac.ir

در طول ۵۰ سال گذشته فعالیت‌های بشر سیمای اکوسیستم‌ها را بیش از هر دوره دیگری تغییر داده که این تغییرات نسبت به گذشته هم سریع‌تر و هم شدیدتر است. تغییرات رخ داده در واقع نیاز به درک بهتر از چگونگی مدیریت و چگونه سازگار شدن را آشکار می‌کند. در روش‌های سنتی مدیریت اکوسیستم محیط به عنوان یک مدل ثابت در نظر گرفته می‌شود که این امر باعث می‌شود تغییرات تدریجی دیده نشود؛ بنابراین نتیجه آن آسیب‌پذیرتر شدن اکوسیستم است. از طرفی هم راه‌حل‌هایی که مشکلات را به صورت مجزا در نظر می‌گیرند، گرچه ممکن است در کوتاه‌مدت موفق باشند، اما در بلندمدت بازخوردهای منفی دارند. برخلاف آن روشی که در مدیریت سیستم‌های طبیعی تأثیرات اکولوژیکی و اجتماعی را با هم در نظر می‌گیرد، می‌تواند تاب‌آوری سیستم را نسبت به آشوب‌ها و ظرفیت آن برای سازگاری با تغییرات را افزایش دهد. در سیستم تاب‌آور در واقع هدف رسیدن به درآمدی پایدار از سیستم است؛ در حالی که در روش‌های سنتی حداکثر درآمد در کوتاه‌مدت مطرح است. بنابراین با ارزیابی تاب‌آوری در یک سیستم می‌توان علاوه بر شناخت عناصر کلیدی مؤثر بر اکوسیستم، راهکارهای مدیریتی مناسب برای داشتن درآمد پایدار را ارائه کرد. واژه تاب‌آوری اغلب به مفهوم «بازگشت به گذشته»^۳ به کار می‌رود که از ریشه لاتین Resilio به معنای «پرش به گذشته»^۴ گرفته شده است. این اصطلاح را نخستین بار هولینگ^۵ در سال ۱۹۷۳ میلادی به عنوان مفهوم اکولوژیکی مطرح کرد. سپس ادگر^۶ (۲۰۰۰) در نظام‌های اجتماعی، کارپنتر^۷ (۲۰۰۱) در نظام‌های انسانی-محیطی، برکیس و همکاران^۸ (۲۰۰۳) در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک، برنثو^۹ و همکاران (۲۰۰۳) در مدیریت بحران کوتاه‌مدت و تیمرمن^{۱۰} (۱۹۸۱) در پدیده‌های بلندمدت مانند تغییرات اقلیمی به کار گرفتند [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶]. مفهوم تاب‌آوری مفهومی بین رشته‌ای است که در حوزه علوم اکولوژیک، روانشناسی، علوم اجتماعی، اقتصادی و سایر علوم مطرح می‌شود. در رابطه با تاب‌آوری تعاریف متعددی ارائه شده که از جمله آنها می‌توان به تعاریف زیر اشاره کرد. نقطه ثقل یا مرکز تفکر تاب‌آوری سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک است [۷]. مسائل مدیریت منابع طبیعی تنها اکولوژیکی یا اجتماعی نیست. بلکه عناصر متعدد اکولوژیکی و اجتماعی را دربرمی‌گیرد. سیستم‌هایی که در آنها عناصر فرهنگی، سیاسی، اجتماعی، اقتصادی، اکولوژیکی، تکنولوژیکی و سایر عناصر درگیر هستند را سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک می‌نامند [۷]. سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک بر چشم انداز "انسان در طبیعت" تأکید دارد که در آن اکوسیستم‌ها با جوامع انسانی کامل می‌شوند. زیستن در بستر مخاطره‌آمیز طبیعی لزوماً به معنای خسارت‌بار بودن و آسیب‌پذیری نیست؛ بلکه فقدان تاب‌آوری، میزان شناخت و ادراک جمعیت مستقر از درجه، نوع و نحوه مخاطره‌آمیز بودن خسارت ایجاد می‌کند [۸]. از همین رو تاب‌آوری سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد: توانایی تحمل آشوب‌های مترقبه و غیر مترقبه بدون از هم گسیختگی کارکردها و ساختارهای اجتماعی،

اقتصادی و اکولوژیکی یک سیستم در گذر زمان [۸]. به همین دلیل در سطح جهانی تغییرات چشمگیری در نگرش به مخاطرات دیده می‌شود؛ به طوری که رویکرد غالب از تمرکز ضعیف بر کاهش آسیب‌پذیری به افزایش تاب‌آوری در مقابل سوانح تغییر یافته است [۹]. آشوب به طور کلی می‌تواند به هر چیز که باعث شکست در یک سیستم می‌شود، اطلاق شود. آشوب‌ها در سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک می‌توانند شامل خشک‌سالی، آتش‌سوزی، رکود اقتصادی، انقلاب و مواردی از این قبیل شوند. از میان دامنه گسترده‌ای از مخاطرات که جوامع انسانی در معرض آن قرار دارد، خشک‌سالی و به دنبال آن بحران کم‌آبی از مهمترین بلایای طبیعی است که زیان‌های بسیاری را بر بخش کشاورزی و منابع آبی وارد می‌سازد [۱۰]. به همین دلیل بحران کم‌آبی به لحاظ اینکه محدوده وسیع‌تر جغرافیایی را دربرمی‌گیرد، پیچیده‌تر از دیگر بلایای طبیعی است و بنابراین جمعیت بیشتری را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۵]. بحران آب که در تعاریف به وضعیتی در یک حوزه آبخیز اطلاق می‌شود که میزان آب در دسترس کمتر از میزان تقاضای آب در آن منطقه است [۱۶]، منوط به استان‌های واقع در اقلیم خشک و نیمه خشک نمی‌شود، بلکه دامن بسیاری از استان‌های کشور (حتی استان‌های پرآب و سرچشمه‌های رودهای دائمی که از مناطق بیابانی می‌گذرند) را گرفته است که از جمله این استان‌ها می‌توان به استان چهارمحال و بختیاری اشاره کرد. استان چهارمحال و بختیاری با جمعیتی بالغ بر ۸۹۱۹۹۲ نفر [۱۷] در ۹ شهرستان و محدوده‌ای با وسعت ۱۶ هزار و ۴۰۳ کیلومتر مربع واقع شده است. بر اساس آمار و اطلاعات موجود در این استان بیش از ۹۶ درصد مصارف آب بخش‌های شرب و صنعت از منابع آب زیرزمینی و بیش از ۷۰ درصد از مصارف آب کشاورزی هم از همین منابع آب تأمین می‌شود [۱۸]. بنابراین این وابستگی به آب زیرزمینی برای استان چهارمحال و بختیاری که دارای رودخانه‌های فراوانی است، عمدتاً به دلیل حفر بیش از حد چاه‌های عمیق و نیمه عمیق (بالغ بر ۴ هزار حلقه چاه) در سال‌های گذشته است که حاصل آن افت بیش از حد سطح ایستابی در عمده دشت‌ها و بحرانی شدن دشت‌های استان است؛ به نحوی که دشت‌های مهمی همچون بروجن-فرادنبه، سفیددشت، خان میرزا و شهرکرد به ترتیب در سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۵ به عنوان دشت‌های ممنوعه اعلام شدند [۱۸] و این روند ادامه یافت تا اینکه در سال ۱۳۹۳ دشت کیار و سال ۱۳۹۴ دشت‌های گندمان-بلداجی، فلارد و لردگان به آنها پیوستند [۱۹]. با توجه به اهمیت اکولوژیکی این استان تاکنون طرح‌های مختلفی به منظور حفظ و احیای اراضی غنی از لحاظ اکولوژیکی، اراضی در حال تخریب و تخریب‌شده توسط سازمان‌های مختلف انجام شده یا در حال انجام است. متأسفانه بیشتر طرح‌های انجام‌شده در قالب سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک طرح نشده و در واقع طرح‌ها عموماً دید یک‌جانبه داشته و توجهی به ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی جوامع محلی نشده است. بنابراین با توجه به اهمیت اکولوژیک و راهبردی استان چهارمحال و بختیاری و وقوع خشک‌سالی‌های اخیر که در یک دوره ۷ ساله تا پایان فروردین ماه

سال ۱۳۹۵، ۹۰ درصد جمعیت و ۸۱/۳ درصد وسعت استان تحت تأثیر آن قرار گرفته‌اند [۲۰] و روند افزایشی ممنوعه شدن دشت‌ها در این پژوهش محقق به دنبال آن است که میزان تاب‌آوری سیستم اجتماعی-اکولوژیک روستای هرچگان را در برابر بحران کم‌آبی به‌طور خاص و مسائل موجود در استان به‌صورت کلی ارزیابی و راهکارهای بهبود مدیریتی را ارائه دهد.

معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده سیستم اجتماعی روستای هرچگان بین مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و ۳۲ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی قرار دارد. این محدوده با مساحت ۷۶۶ هزار و ۸۷۵ متر مربع دارای ۲ هزار و ۲۲۳ نفر جمعیت (طرح هادی، ۱۳۹۳) و ۵۶۰ خانوار است. روستای هرچگان در دهستان حومه بخش مرکزی شهرستان شهرکرد واقع شده است. تصویر (۱) محدوده جغرافیایی سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان را نشان می‌دهد.

روش انجام پژوهش

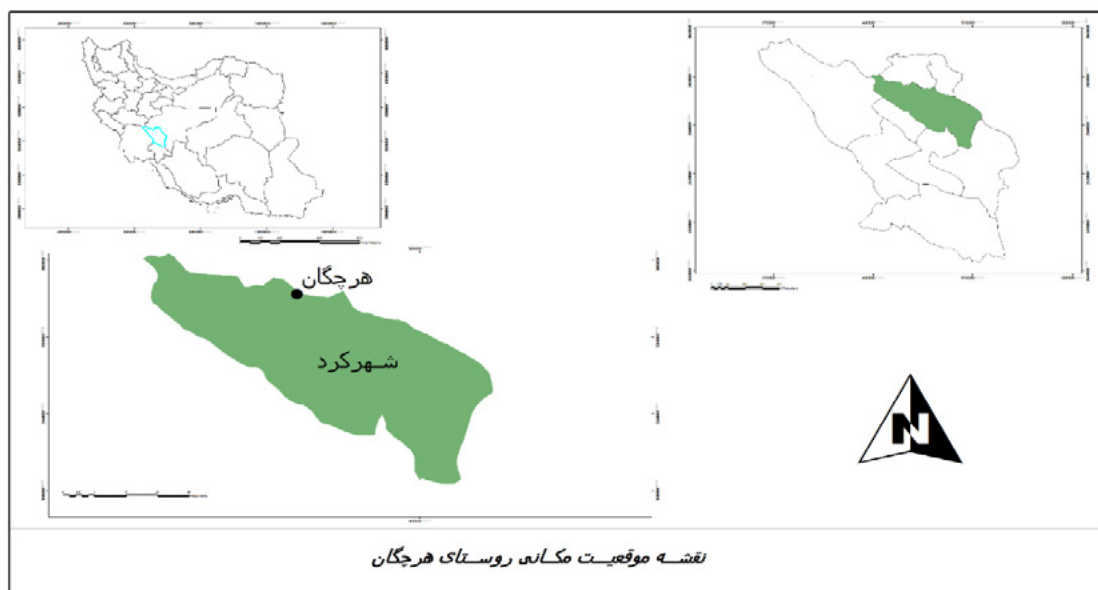
به‌منظور انجام ارزیابی تاب‌آوری از دستورالعمل انجمن تاب‌آوری دانشگاه استکهلم سوئد استفاده شد [۱۰]. مراحل ارزیابی بر اساس این دستورالعمل شامل ۵ مرحله و ۱۵ گام است. ۵ مرحله اصلی پژوهش شامل توصیف سیستم اجتماعی-اکولوژیک، ارزیابی پویایی سیستم اجتماعی-اکولوژیک، بررسی وضعیت حکومتی سیستم اجتماعی-اکولوژیک و ارزیابی است. جهت گردآوری اطلاعات برای انجام مراحل ارزیابی از پرسش‌نامه محقق‌ساخته متناسب با شرایط اجتماعی و اقتصادی جامعه محلی هرچگان و شرایط اکولوژیکی اکوسیستم آن استفاده شد و برای استخراج اطلاعات مربوط به دانش بومی اهالی روستا از مصاحبه و فیش‌برداری استفاده شد. به‌منظور تحلیل شبکه روابط مرتبط با مسائل و

مشکلات روستا و کاهش آب قابل دسترس از روش تحلیل شبکه و نرم‌افزار UCINET 6 استفاده شد [۱۱]. این نرم‌افزار به دلیل قابلیت بالا در تجزیه و تحلیل داده‌های شبکه‌های اجتماعی و مجهز بودن به ابزار نمایش NetDraw بسیار در مطالعات تحلیل شبکه مورد توجه است. از جمله مهمترین پژوهش‌های تحلیل شبکه که در آنها از نرم‌افزار UCINET 6 استفاده شده، می‌توان به مطالعات قربانی و همکاران (۱۳۹۳) با عنوان مدیریت منابع طبیعی در مقیاس محلی، سرمایه اجتماعی و قدرت اجتماعی در شبکه ذی‌نفعان محلی [۱۲]، ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۳) با عنوان تحلیل شبکه اجتماعی ذی‌نفعان محلی در برنامه عمل مدیریت مشارکتی منابع آب (مطالعه موردی: رودخانه جاجرود در حوزه آبخیز لتیان-روستای در بندسر) [۱۳] اشاره کرد. در نهایت جهت ترسیم مدل چارچوب مفهومی ارزیابی و تدوین استراتژی تصمیم‌گیری مبتنی بر نظارت تاب‌آورمحور از تلفیق نتایج نهایی مربوط به هریک از گام‌های ۱۵ گانه استفاده شد. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات در قالب پرسش‌نامه محقق‌ساخته از ساکنان بالای ۱۵ سال روستا (۱۶۰۶) استفاده شد. روایت صوری و محتوایی پرسش‌نامه پژوهش با نظر کارشناسان تأیید شد و پایایی پرسش‌نامه بر اساس روش آلفای کرونباخ ۰٫۹۳، ارزیابی شد.

یافته‌های پژوهش

• توصیف سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان

در توصیف سیستم اجتماعی-اکولوژیک نخستین گام تعریف مرز است. تعریف مرزهای اجتماعی-اکولوژیک سیستم مورد ارزیابی شامل مرز فضایی (اکولوژیک)، مرز زمانی و مرز سیستم اجتماعی می‌شود و روش پذیرفته‌شده خاصی برای تعیین این گونه مرزها وجود ندارد. در ارزیابی تاب‌آوری، انعطاف‌پذیری در تعیین مرزها که با عمیق‌تر شدن شناخت و آگاهی محقق از سیستم اجتماعی-اکولوژیک اتفاق می‌افتد، امری مهم و بنیادی



تصویر (۱): نقشه موقعیت مکانی سیستم اجتماعی-اکولوژی روستای هرچگان

است. در تعیین مرز فضایی (اکولوژیک) روستای هرچگان از سامان عرفی استفاده شد. سامان عرفی روستا مرز طبیعی با روستاهای مجاور است که حدود بهره‌برداری ساکنان روستای هرچگان را از منابع نشان می‌دهد. به منظور تعیین مرز اجتماعی از مرز محدوده مسکونی روستا و افراد ساکن در روستا استفاده شد که بر طبق آخرین سرشماری (سال ۱۳۹۵) شامل ۲ هزار و ۱۱۴ نفر است. بر اساس اطلاعات موجود مرز زمانی دوره‌ای ۹۷ ساله انتخاب شد که از سال ۱۳۰۰ شروع می‌شود. گام دوم در توصیف سیستم اجتماعی اکولوژیک روستای هرچگان تعریف مسائل و مشکلات اصلی آن است. ارزیابی تاب‌آوری حول یک یا چند مسئله اصلی می‌چرخد و این بدان خاطر است که بتوان به درجه‌ای از تمرکز در ارزیابی رسید. جدول (۱) مهمترین مسائل و مشکلات روستای هرچگان را نشان می‌دهد که به منظور شناسایی مهمترین مسائل از پرسش‌نامه باز استفاده شد. پرسش‌نامه در میان ساکنان روستا و کارشناسان توزیع شد. همان‌طور که جدول (۱) نشان می‌دهد، علاوه بر معرفی مهمترین مسائل مشخصه‌های بالارزش روستا، افراد تحت تأثیر،

اثرات اجتماعی و محیطی، نحوه مدیریت مسئله و تعیین زمان تقریبی ارزیابی و حل مسئله ارائه شده است.

در ادامه‌ی توصیف سیستم اجتماعی-اکولوژیک روستای هرچگان آشوب‌های این سیستم بررسی شد. آشوب‌ها به‌طور کلی به ۲ گروه تدریجی (Pulse) و ناگهانی (Press) تقسیم می‌شوند [۷]. جدول ۲ مهمترین آشوب‌ها را در سیستم اجتماعی-اکولوژیک هرچگان نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، اصلی‌ترین آشوب‌ها حول میزان دسترسی به آب می‌چرخد و از این‌رو مسئله اصلی در این پژوهش کاهش میزان آب قابل دسترس در نظر گرفته شد.

• **ارزیابی پویایی سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان**
سیستم‌های اجتماعی-اکولوژی هر ۲ تغییرات سریع و تدریجی را تجربه می‌کنند. مدیریت تاب‌آور محور نیازمند آگاهی از چرخه‌های تغییر، میزان آسیب‌پذیری و فرصت‌هایی است که چرخه‌های تغییر را به سیستم معرفی می‌کنند. در این ارتباط مدل چرخه سازگاری [۱۴] می‌تواند فهم چگونگی تغییر یک

جدول (۱): مسائل و مشکلات اصلی روستا

مشکلات	مشخصه‌های تحت تأثیر بالارزش روستا	افراد تحت تأثیر	اثرات اجتماعی و محیطی	نحوه مدیریت (فعال/غیرفعال)	تعیین زمان تقریبی ارزیابی و حل مشکل
کاهش سطح آب قنات، خشک شدن چشمه‌ها و چاه‌ها	کاهش آب قابل دسترس	همه ساکنان روستا	تبدیل اراضی آبی به زمین‌های رها شده، به دلیل منفصل بودن خاک افزایش طوفان‌های گردوغبار، کاهش سطح تولید اراضی زراعی-باغی، افزایش تعداد بیکاران در روستا و افزایش روند مهاجرت ساکنان روستا	مدیریت به صورت سلیقه‌ای و دوره‌ای است.	در صورت فراهم شدن منابع مالی و توجیه ساکنان برای استفاده از سیستم تحت فشار آبیاری در یک دوره ۳ ساله قابل انجام است.
عدم لایروبی قنات به علت هزینه بالا	کاهش سطح زیر کشت کاهش تولید	کشاورزان	کاهش درآمد، رفاه اجتماعی و مهاجرت به شهر، تبدیل شدن تولیدکنندگان در روستا به مصرف‌کنندگان در شهر نافع و شهر کرد، تبدیل اراضی آبی به دیوم، رها شدن اراضی و بلند شدن ذرات گردوغبار	در صورت وجود منبع مالی توسط کشاورزان مدیریت می‌شود.	مشکل مشخص است و در صورت وجود منبع مالی کمتر از ۲ ماه قابل لایروبی است.
نبود کانال انتقال آب از سرچشمه به زمین‌های کشاورزی	بالا رفتن پرتی آب	کشاورزان	موارد فوق به دلیل نرسیدن آب به اراضی و رها شدن اراضی	در سطح داخل روستا به صورت محدود	کمتر از ۲ سال
نبود مجتمع دامپروری	کاهش تولید گوشت و مواد لبنی روستا	دامداران	فشار بر روی مراتع به دلیل نبود هزینه خرید علوفه، رفتن دام به سمت مراتع اصفهان و فشار بر مراتع اصفهان، ترک دامداری و کارگر شدن دامداران در شهرهای شهرکرد، اصفهان و عسلویه	مدیریت نمی‌شود	کمتر از یک سال
یکپارچه نبودن اراضی	افزایش آب مصرفی-کاهش میزان تولید	کشاورزان	کاهش آب قابل دسترس کشاورزان، دیمزار شدن اراضی آبی، برداشت محصول حداقل، فقر و مهاجرت	مدیریت نمی‌شود	کمتر از ۵ سال

جدول (۲): آشوب‌های سیستم اجتماعی-اکولوژیک هرچگان

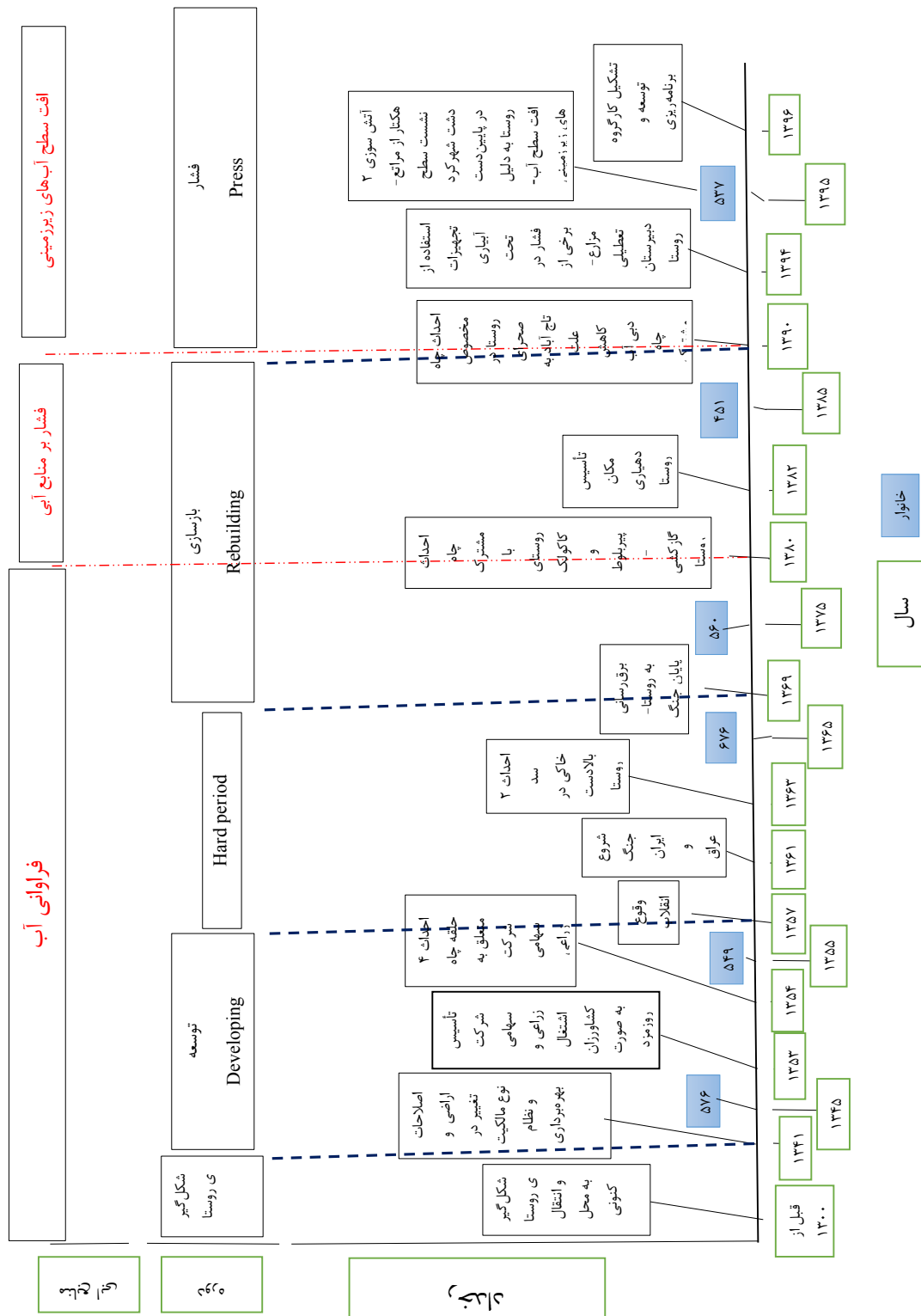
نحوه مدیریت (فعال / غیرفعال)	هرگونه تغییر در سال‌ها یا دهه‌های گذشته	مهمترین عناصر تحت تأثیر	Pulse or Press	آشوب‌های گذشته و حال
غیرفعال (به صورت موردی و شخصی اقدام به مجهز کردن اراضی به سیستم آبیاری تخت فشار)	در سال‌های گذشته به دلیل فراوانی آب جوی‌های آب تا سرحد اراضی قابل شخم کشیده شده بود.	میزان تولید محصولات غذایی- میزان درآمد کشاورزان	press	تبدیل اراضی آبی به اراضی دیم
غیرفعال-رها شدن خشک شده و تلاش برای حفر چاه تازه در مکانی دیگر	به مرور زمان آب چاه نیمه عمیق که ۲۰ متر عمق داشت خشک شد. سپس چاه مشترک با ۸۰ متر عمق حفر شد که در سال ۱۳۹۰ به مشکل برخورد و آب آن کم شد. بنابراین یک چاه تازه ۷۰ متری در سال ۱۳۹۰ احداث شد.	تولید محصولات کشاورزی-	press	خشک شدن چاه‌های نیمه عمیق روستا
غیرفعال-هیچ گونه برنامه و فعالیت عملیاتی برای بررسی دلایل خشکیدگی و راهکارهای بازگشت احتمالی انجام نشده است.	در سالیان دور (۱۳۷۲) حدود ۴۰ چشمه کوچک و بزرگ در سطح روستا فعال بوده است. در حال حاضر ۷ چشمه فعال در سطح روستا است.	رها شدن اراضی آبی-تولید محصولات کشاورزی و باغی	press	خشکیدگی چشمه‌ها
غیرفعال-برخی اوقات به صورت انفرادی آبرسانی به باغات و ایجاد منبع ذخیره آب	بسیاری از زمین‌های زراعی و باغی در دهه اخیر به دلیل نرسیدن آب رها شده است و دیگر به زیر کشت نمی‌رود.	کاهش سطح زیر کشت-کاهش تولید محصولات زراعی-باغی	pulse	کاهش آب قابل دسترس در بخش کشاورزی
غیرفعال-برای بازگشت ساکنان مهاجرت کرده برنامه خاصی مورد نظر متولیان نیست.	دبیرستان روستا تعطیل شده که دلیل آن مهاجرت ساکنان روستا و نداشتن دانش آموز است. بانک موجود در روستا در حال تعطیلی است؛ چرا که کارکرد خود را به دلیل نداشتن مشتری از دست داده است.	کاهش نیروی جوان و فعال روستا	pulse	مهاجرت ساکنان از روستا
آشوب‌های آینده				
با توجه به وسعت سطوح درگیر مسئله بحران آب در استان چهارمحال و بختیاری حل مسئله کاهش آب قابل دسترس نواحی کوچک تر مثل روستای هرچگان چندان در اولویت نیست. با توجه به فراوانی آب در طول ادوار تاریخی در استان چهارمحال و بختیاری کاهش منابع آبی ساکنان این استان را با چالشی نو روبه رو کرده و اهالی به خاطر نداشتن سابقه بی‌آبی چندان با شرایط تازه سازگاری ندارند. از این رو پرخاش و کشمکش نخستین واکنشی است که به این بحران نشان می‌دهند.	در گذشته نه چندان دور که فراوانی آب وجود داشته، هیچ گونه درگیری بر سر تقسیم آب گزارش نشده؛ اما در سال ۱۳۹۶ بر سر تقسیم آب درگیری ایجاد شده است.	press	نزاع و کشمکش درونی بر سر منابع آبی	
	با تبدیل شدن اراضی آبی به دیمزار و مطلوبیت پایین تر آنها نسبت به اراضی دیم سابق این اراضی رها شده و با توجه به نداشتن پوشش خاک در آینده پتانسیل تبدیل شدن به محل منشأ ریزگردها را دارد.	Pulse	تبدیل دیمزارها به مناطق برداشت گردوغبار	

از: رشد^۱، حفظ و نگهداری^۲، سقوط^۳ و بازسازی^۴. به طور کلی چرخه سازگاری، چگونگی برقراری، توسعه، ثبات و بازسازی یک سیستم را توصیف می‌کند. اغلب بعد از بازسازی چرخه تازه مشابه چرخه قبلی اما برخی اوقات با مسیر متفاوت ظاهر می‌شود. انتقال

سیستم در طول زمان را آسان کند. ترسیم مدل چرخه سازگاری نخستین گام در ارزیابی پویایی سیستم اجتماعی-اکولوژی است. اغلب سیستم‌های پویا که در طول زمان تغییر می‌کنند، از الگوی چرخه‌ای ۴ فازه پیروی می‌کنند که این فازها به ترتیب عبارتند

بین فازهای چرخه سازگاری همیشه از الگوی یکسانی پیروی نمی‌کند. با این وجود، ۴ فاز چرخه سازگاری، رفتار، ساختار، ویژگی و مشخصه‌های انواع مختلف سیستم‌ها را بیان می‌کنند. در چرخه سازگاری دوره رشد و حفاظت به‌عنوان Fore loop و دوره سقوط و بازسازی به‌عنوان Back loop شناخته می‌شوند. تغییرات در Fore loop تدریجی و قابل پیش‌بینی و در Back loop سریع

و غیرقابل پیش‌بینی هستند. چارچوب چرخه سازگاری را باید با مراجعه به خط تاریخی سیستم اجتماعی-اکولوژیک و آشوب‌های سیستم ترسیم کرد. در ادامه ابتدا خط تاریخی سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان ارائه شده است (تصویر ۲). براساس خط تاریخی شکل‌گیری روستا رخدادهای دوره ۱۳۰۰ تا ۱۳۹۶ در سطح روستا ترسیم شده است. با توجه به نوع رخدادهای روند تاریخی روستا به ۵



• ارزیابی روابط متقابل سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان

تاب‌آوری سیستم‌های اجتماعی-اکولوژی با سیستم‌های بزرگ‌تری که درون آنها قرار گرفته‌اند و سیستم‌های کوچک‌تری که در بر می‌گیرند، ارتباط دارند و از آنها تأثیر می‌پذیرند. پانارچی واژه‌ای است که برای یک مدل سلسله مراتبی سیستم‌های به هم متصل در چرخه سازگاری با روابط مقیاسی استفاده می‌شود. به طور مثال منابع حافظه سیستم مثل بانک بذر، مرجان‌های آبی، دانش و سنت که اغلب توسط سیستم‌های با مقیاس بزرگ‌تر حفظ می‌شوند، می‌توانند به سیستم مرکزی بعد از وقوع یک آشوب کمک کنند تا عناصر بارزش خود را حفظ کند و بازسازی آن راحت‌تر شود. با این وجود، حافظه سیستم می‌تواند زمانی که تغییر مطلوب است، سیستم مرکزی را متوقف کند. در این مواقع نوآوری نیازمند قطع ارتباطات با سیستم بزرگ‌تر و دامنه تغییرات برای ایده‌های متنوع و شرایط تازه است. این منبع اغلب در زیرسیستم‌های کوچک‌تر وجود دارد. از نگاه مدیریتی عدم دخالت در تغییر چرخه سازگاری در مقیاس‌های کوچک‌تر می‌تواند تاب‌آوری سیستم مرکزی را تقویت کند؛ به مانند روشی که به آتش‌سوزی‌های کوچک در جنگل اجازه داده می‌شود تا به صورت طبیعی مواد علوفه‌ای و کاه‌وکش را بسوزانند که به حفظ قطعات جنگل با پایه‌های

دوره شکل‌گیری اولیه، توسعه فیزیکی و زیرساختی، دوره بحرانی، دوره بازسازی و فشار تقسیم شد. منابع آبی روستا در این دوران ۳ مرحله فراوانی آب (از ابتدای تشکیل روستا تا سال ۱۳۸۰)، فشار بر منابع آبی (از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰) و افت سطح آب‌های زیرزمینی (از سال ۱۳۹۰ تاکنون) را طی کرده است.

بر اساس نتایج حاصل از ترسیم خط تاریخی شکل‌گیری روستا سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان در حال حاضر در وضعیت فشار قرار دارد که این وضعیت در چرخه سازگاری با علامت امگا (Ω) نشان داده می‌شود. جدول ۳ چرخه سازگاری سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان را نشان می‌دهد. دوره فشار در چرخه سازگاری سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان با ویژگی‌های زیر خود را نشان می‌دهد: افزایش روند مهاجرت قشر جوان، تعطیل شدن بانک و دبیرستان روستا، کاهش حوزه نفوذ روستا، کاهش تولید محصولات زراعی و باغی، کاهش تعداد دامداران روستا، خشک شدن ۴ چاه نیمه عمیق، خشک شدن یک قنات روستا، خشک شدن ۱۷ چشمه روستا، کاهش میزان آب کشاورزی و کاهش سطح اراضی زراعی و باغی، تبدیل اراضی آبی به دیمزار، رها شدن دیمزارها، افزایش تعداد روزهای همراه با گردوغبار و مهاجرت دامداران از روستا. مراحل رشد و توسعه (r) و حفظ و نگهداری (K) این سیستم با ویژگی‌های ارائه شده در جدول طی شده است.

جدول (۳): فاز ۴ گانه چرخه سازگاری سیستم اجتماعی-اکولوژیک روستای هرچگان

α مرحله بازسازی: این مرحله زمانی آشکار می‌شود که سیستم نتواند در مرحله فشار ساختار و عملکرد خود را حفظ کند. بنابراین برای حفظ ماهیت سیستم نیاز به بازسازی است.	K افزایش حوزه نفوذ روستا تأسیس بانک برای خدمات‌دهی مرکزیت پخش سوخت برداشت محصولات زراعی و باغی در سطح رضایت‌بخش رونق اقتصادی در سطح روستا ثبات در انتخابات شورا ثبات در وجود دهیار
r احداث چاه آب افزایش سطح اراضی زیر کشت افزایش میزان محصولات باغی و زراعی احداث سد خاکی پوشش گیاهی مرتعی خوب برای دام افزایش تعداد دام و محصولات دامی فراوانی آب‌های سطحی و زیرزمینی	Ω افزایش روند مهاجرت قشر جوان تعطیل شدن بانک روستا تعطیل شدن دبیرستان روستا کاهش حوزه نفوذ روستا کاهش تولید محصولات زراعی و باغی کاهش تعداد دامداران روستا
انتقال مکان روستا به محل تازه افزایش تعداد خانوار لوله‌کشی آب برق‌رسانی گازکشی دهیار شورای روستا تأسیس دهیار تأسیس مراکز آموزشی	خشک شدن ۴ چاه نیمه عمیق خشک شدن یک قنات روستا خشک شدن ۱۷ چشمه روستا کاهش میزان آب کشاورزی و کاهش سطح اراضی زراعی و باغی تبدیل اراضی آبی به دیمزار رها شدن دیمزارها افزایش تعداد روزهای همراه با گردوغبار مهاجرت دامداران از روستا

جدول (۴): موقعیت قرارگیری سیستم‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر سیستم مرکزی هرچگان در چرخه سازگاری

سیستم	موقعیت در چرخه سازگاری	نشانه‌های موقعیت قرارگیری در چرخه سازگاری	اثرات بر سیستم مرکزی
سیستم‌های در مقیاس بزرگ‌تر	Ω	اجتماعی (افزایش نرخ بیکاری در استان - افزایش مهاجرت از روستا به شهرها و از استان به استان‌های مجاور - افزایش بی‌اعتمادی در سطوح روستاها نسبت به سازمان‌های دولتی در نتیجه شکست طرح‌های تعریف شده بالاخص در حوزه منابع طبیعی - کاهش سطح رفاه) اکولوژیکی (تغییر رژیم بارش و کاهش میزان بارش برف در ارتفاعات استان - پیدایش علائم ایجاد طوفان‌های گردوغبار در سطح استان - افزایش تعداد گونه‌های گیاهی در حال انقراض (کلوس) - افزایش تعداد دشت‌های ممنوعه (از ۹ به ۱۱))	اجتماعی (مهاجرت قشر جوان برای پیدا کردن شغل - کاهش تعداد نیروی فعال - تعطیلی دبیرستان و بانک روستا) - اکولوژیکی (رها شدن اراضی دیم و تبدیل آن به منطقه مستعد منشأ گردوغبار - کاهش میزان آب چشمه‌ها، قنوات و خشک شدن چاه‌ها که باعث تبدیل اراضی آبی به دیم شده که نتیجه آن کاهش سطح تولیدات زراعی و خشک شدن باغات است.)
سیستم مرکزی	Ω	افزایش روند مهاجرت قشر جوان تعطیل شدن بانک روستا تعطیل شدن دبیرستان روستا کاهش حوزه نفوذ روستا کاهش تولید محصولات زراعی و باغی کاهش تعداد دامداران روستا خشک شدن ۴ چاه نیمه عمیق خشک شدن یک قنات روستا خشک شدن ۱۷ چشمه روستا کاهش میزان آب کشاورزی، سطح اراضی زراعی و باغی تبدیل اراضی آبی به دیمزار رها شدن دیمزارها افزایش تعداد روزهای همراه با گردوغبار مهاجرت دامداران از روستا	-
سیستم‌های در مقیاس کوچک‌تر	Ω	کشاورزان (سطح زیر کشت کاهش یافته است - کاهش دبی آب‌های سطحی و زیرزمینی روستا - مهاجرت قشر جوان با انرژی بالا برای فعالیت کشاورزی - رها شدن اراضی دیم) دامداران (کاهش تعداد دام به دلیل کاهش منابع آبی و منابع تهیه علوفه و افزایش قیمت علوفه - تمایل به ایجاد مجتمع دامداری - به دلیل عدم تأمین علوفه توسط مراتع روستا مهاجرت به مراتع استان‌های دیگر)	کاهش میزان تولیدات زراعی و باغی سیستم مرکزی - کاهش میزان درآمد ساکنان روستا - کاهش میزان تولیدات دامی روستا -

تاب‌آوری خاص ضرورت دارد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۵ وضعیت ارزیابی تاب‌آوری سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان با توجه به مسئله اصلی که کاهش منابع آب قابل دسترس است، در فاز فشار قرار دارد که آستانه گذران در زمانی است که این کاهش منابع آب قابل دسترس از بخش کشاورزی به شرب برسد و آب روستا جیره‌بندی شود. ادامه این وضعیت با شواهد و روندهای اجتماعی، اکولوژیکی و مدیریتی آسیب‌پذیری این سیستم را افزایش می‌دهد.

• بررسی وضعیت حکمرانی سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان

جامعه از قوانین بی‌شماری تشکیل شده که برخی رسمی و برخی غیررسمی هستند. این قوانین منتج به روش‌هایی می‌شوند

مسئله پتانسیل حوادث آتش‌سوزی فاجعه‌بارتری دارند، کمک می‌کند. در هر سطحی آگاهی از وضعیت موجود یا فاز موجود در چرخه سازگاری سیستم‌های متصل به هم می‌تواند فرصت‌ها و چالش‌های بالقوه سیستم مرکزی را آشکار کند. جدول ۴ موقعیت سیستم‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر از سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بر اساس نشانه‌های ارائه شده هر ۲ نوع سیستم‌ها در موقعیت فشار یا Ω قرار دارند. قرارگیری در این موقعیت باعث شده که سیستم مرکزی هم تحت تأثیر قرار گیرد و فشارهای زیادی را متحمل شود. تاب‌آوری خاص اشاره به تاب‌آوری از چه و برای چه دارد (به‌طور مثال تاب‌آوری تولید محصولات در برابر خشک‌سالی) و در جایی که اثر آستانه شناسایی شده و یا مشکوک است، ارزیابی

که به وسیله آنها مردم با اکوسیستم‌های اطراف خود رابطه برقرار می‌کنند و این روابط تشکیل سازمان‌ها را می‌دهند. سازمان‌های رسمی قوانینی از قبیل قانون اساسی، قوانین سازماندهی بازارها و حقوق شهروندی را تدوین کرده و سازمان‌های غیررسمی شامل قوانینی هستند که ارزش‌های رفتاری، اجتماعی، خانوادگی و جامعه را بیان می‌کنند. در این پژوهش نوع و شدت روابط در مدیریت منابع آب سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان به عنوان یکی از شاخص‌های بررسی وضعیت حکمرانی سیستم بررسی شد. مدیریت تاب‌آوری نیازمند همکاری میان ذی‌نفعان در سیستم

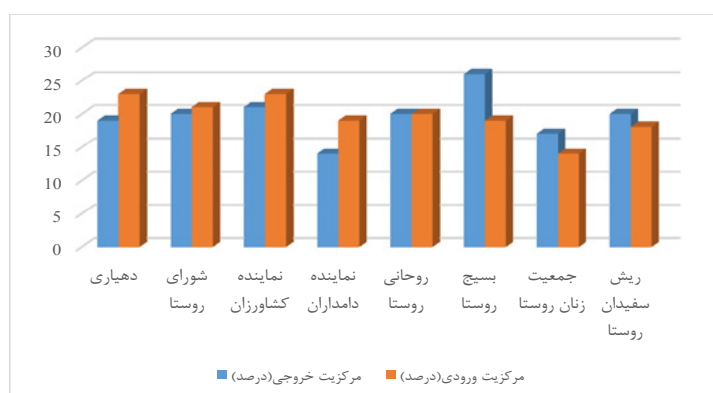
اجتماعی-اکولوژی است. این همکاری می‌تواند به وسیله آگاهی از ارتباطات اجتماعی میان ذی‌نفعان توسط شبکه‌های اجتماعی آسان شود. در اینجا تمرکز روی تعداد ارتباطات بین کنشگران و درجه مرکزیت آنهاست. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۶ از کل پیوندها ۳۶ پیوند معادل ۴۴,۲۸ درصد در دامنه ارزش ۳ تا ۵ قرار دارند که به معنای همکاری در سطح پیگیری، تقسیم کار، تأمین نیروی انسانی و منابع مالی هستند. در الگوی تحلیل شبکه برای سنجش قدرت دست‌اندرکاران از شاخص‌های مرکزیت استفاده می‌شود. کنشگران قدرتمندتر

جدول (۵): خلاصه نتایج ارزیابی تاب‌آوری خاص سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان

ارزیابی تاب‌آوری خاص سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان	
مسئله	تاب‌آوری سیستم اجتماعی-اکولوژیک هرچگان در برابر کاهش منابع آب قابل دسترس
موقعیت سیستم مرکزی در چرخه سازگاری	ورود به فاز Ω در چرخه سازگاری که این فاز را مرحله سقوط (Release) می‌نامند.
شواهد	افزایش روند مهاجرت قشر جوان تعطیل شدن بانک روستا تعطیل شدن دبیرستان روستا کاهش حوزه نفوذ روستا کاهش تولید محصولات زراعی و باغی کاهش تعداد دامداران روستا خشک شدن ۴ چاه نیمه عمیق خشک شدن یک قنات روستا خشک شدن ۱۷ چشمه روستا کاهش میزان آب کشاورزی و سطح اراضی زراعی و باغی تبدیل اراضی آبی به دیمزار رها شدن دیمزارها افزایش تعداد روزهای همراه با گردوغبار مهاجرت دامداران از روستا
آستانه گذر (Tipping point)	کاهش منابع آب شرب روستا (خشک شدن چاه آب کنونی شرب روستا- جیره‌بندی شدن در فصول گرم سال و اجبار در انتقال آب شرب از منابع آبی دیگر)
روند اجتماعی	۳ گروه در برخورد با مسئله اصلی در این سیستم وجود دارند. گروهی که برای حل مسئله و سازگاری با شرایط موجود اقدامات عملی مانند استفاده از سیستم آبیاری تحت فشار و ذخیره آب انجام داده‌اند. گروهی که با کاهش منابع آبی اراضی باغی و زراعی را رها کرده؛ به شهرهای اطراف مهاجرت کرده‌اند و فقط برای تفریح به روستا می‌آیند. گروهی که به مسائل اصلی بی‌تفاوت هستند و تغییر را به راحتی نمی‌پذیرند.
روند اکولوژیکی	رژیم بارش در سطح استان تغییر و میزان بارش برف کاهش یافته که نتیجه آن کاهش منابع آبی چشمه‌ها و قنات روستاست. با رها شدن دیمزارها سطح خاک لخت شده و نفوذ آب کاهش یافته است. همچنین سطح مراتع با کیفیت بالا در سطح محدوده عرفی روستا کاهش یافته است.
روند مدیریتی	مدیریت منابع آبی مدیریتی در گفتار و برنامه‌ریزی نگران است که همزمان با تأمین بودجه مقطعی و عجولانه عمل می‌کند. روند هم حاکی از نبود مدیریتی فعال و مستمر در تأمین منابع آبی این سیستم است.

جدول (۶): فراوانی شدت روابط در شبکه همکاری مدیریت منابع آب روستای هرچگان

سطح همکاری	ارزش پیوند	تعداد پیوندها	جمع پیوندها
بدون همکاری و روابط تعریف شده	۰	۲	۲۰
همکاری محدود در سطح اطلاع رسانی و نظرخواهی شفاهی	۱	۶	
همکاری در سطح برگزاری جلسه	۲	۱۲	
همکاری در سطح پیگیری مسئله و تقسیم کار برای حل مسئله	۳	۲۲	۳۶
همکاری در سطح تأمین نیروی انسانی و قبول مسئولیت اجرایی برای حل مسئله	۴	۹	
همکاری در سطح تأمین منابع مالی	۵	۵	
تعداد کل پیوندها			۵۶



تصویر (۳): نمودار شاخص‌های مرکزیت ورودی و خروجی بین عوامل مرتبط با مدیریت منابع آب در روستای هرچگان

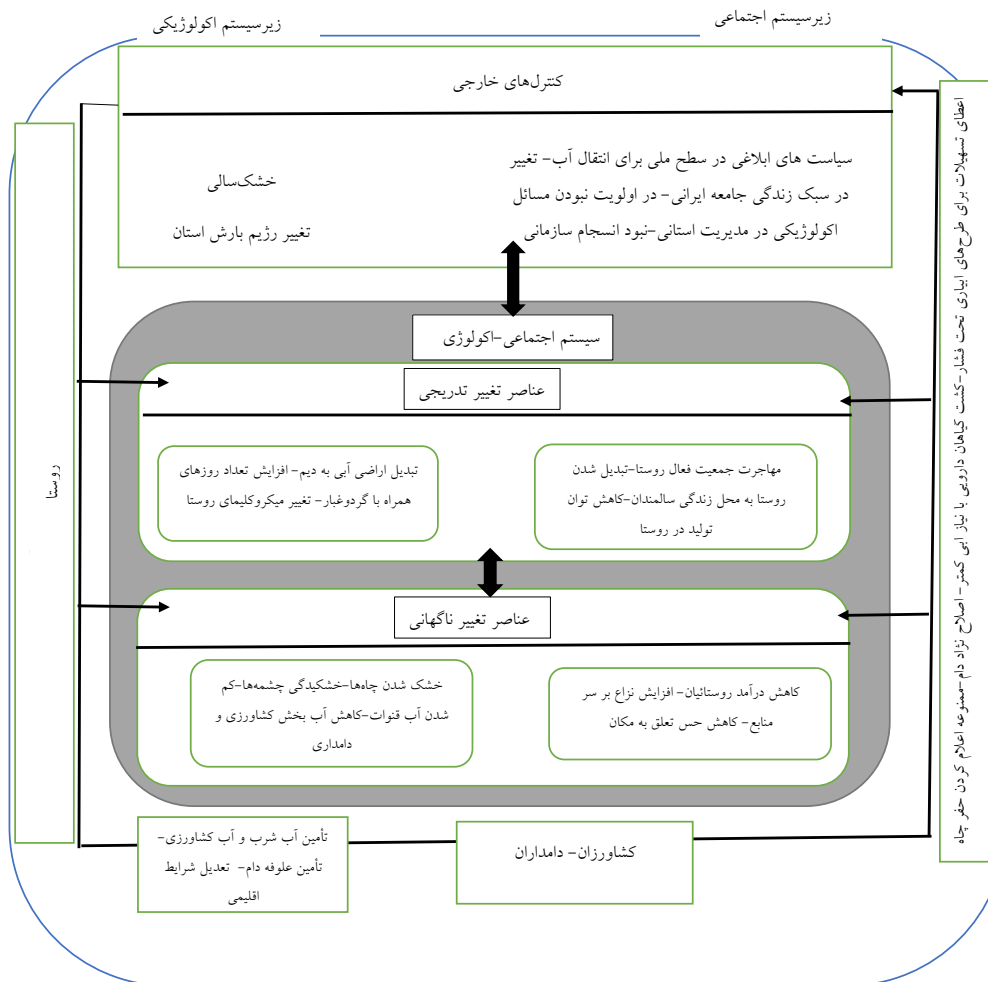
تشکیل مدل مفهومی فرآیندی تکراری و نیازمند چندین مرحله ویرایش است. در این روش پژوهش فرآیند سنتز ارزیابی و ساخت مدل مفهومی فرآیندی به شدت فرموله شده نیست. بنابراین بایستی دانش و فهم حاصل شده در سرتاسر ارزیابی را ترسیم کرد.

با استفاده از نتایج مراحل فازهای پنج‌گانه نمودار دوم که آستانه‌ها و روابط متقابل بین آنها را نشان می‌دهد، ترسیم شد (تصویر ۵). مدل آستانه‌ها حول آشوب‌های تدریجی و اصلی سیستم ساخته می‌شود. آشوب‌ها یا متغیرهای تدریجی در چندین مقیاس نمایش داده شده و خطوط روابط متقابل آنها را به هم وصل می‌کند. برای ساخت این مدل به خلاصه اطلاعات ارزیابی که در بخش‌های قبل جمع‌آوری شده، مراجعه می‌شود. مدل آستانه‌ها و روابط متقابل نشان‌دهنده آن است که چگونه عبور از یک آستانه می‌تواند جرقه‌ای برای عبور دیگر آستانه‌ها باشد.

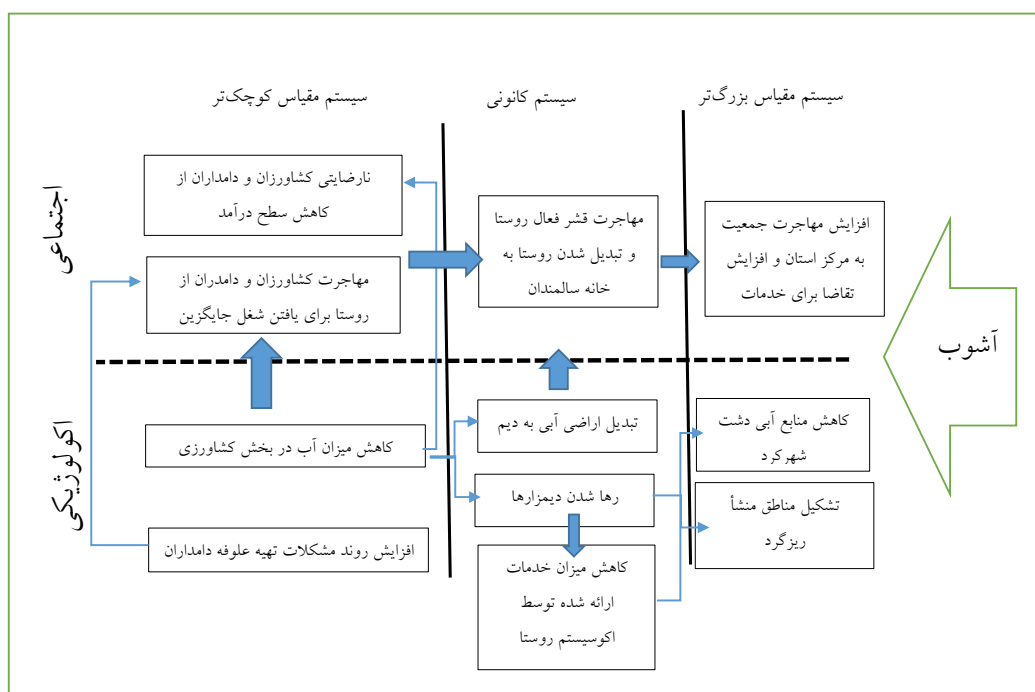
اتخاذ تصمیمات راهبردی و مداخلات مدیریتی، در نتیجه یافته‌های حاصل از ارزیابی تاب‌آوری بستگی به شناخت از پویایی سیستم و متغیرهای کلیدی آن دارند که برای هر سیستم اجتماعی-اکولوژی منحصر به فرد است. با توجه به مدل مفهومی و مدل آستانه‌های سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان، استراتژی، اقدامات و موانع مدیریت تاب‌آور محور در این سیستم در جدول ۷ ارائه شد.

بر اساس میزان روابطی که با سایر کنشگران در شبکه دریافت یا ارسال می‌کند، قدرت شبکه را در دست می‌گیرند و سایر کنشگران را تحت کنترل خود قرار می‌دهند. تصویر ۳ نمودار نتایج میزان مرکزیت درجه ورودی و خروجی را بر اساس پیوندهای همکاری در عاملان مرتبط با مدیریت منابع آب در درون روستای هرچگان نشان می‌دهد. مرکزیت درجه تعداد ارتباطات مستقیمی است که یک کنشگر با سایر کنشگران در یک شبکه دارد. مرکزیت درجه ورودی تعداد دریافت رابطه ورودی یک کنشگر و مرکزیت درجه خروجی تعداد رابطه خروجی یک کنشگر است [۲۱]. بر اساس نتایج بالاترین میزان درجه ورودی (۲۳ درصد) مربوط به دهیاری و نماینده کشاورزان است. یک کنشگر با سطوح بالای مرکزیت درجه ورودی در صورتی که موضوع مورد تحقیق در شبکه، جنبه‌های مثبت و همکاری باشد، فردی است که اقتدار بیشتری نسبت به دیگران داشته و سایرین وابستگی بیشتری به او دارند. مرکزیت درجه خروجی بسیج روستا (۲۶ درصد) بیشترین میزان را در شبکه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. بنابراین می‌توان گفت که بسیج روستا به عنوان کانون و منبع ارتباط و مشاوره از دید سایر عوامل بوده و می‌تواند به عنوان یک ظرفیت مناسب و کنشگر کلیدی برای توسعه سیستم مبتنی بر همکاری در مدیریت منابع آبی در نظر گرفته شود.

نتایج هر یک از مراحل پنج‌گانه به عنوان یافته‌های پایه برای تشکیل ۲ نمودار مفهومی استفاده شد. تصویر ۴ نمودار مدل اجتماعی-اکولوژی هرچگان را نشان می‌دهد.



تصویر(۴): مدل مفهومی سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان



تصویر(۵): مدل مفهومی آستانه‌های سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان

جدول (۷): استراتژی و اقدامات مدیریت تاب‌آور محور در سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان

استراتژی‌ها	اقدامات	موانع
حفظ و تقویت وضع موجود عملکردی اکوسیستم روستای هرچگان	احیای تنوع زیستی گیاهی و جانوری روستا با مراجعه به اطلاعات موجود در مطالعات و حافظه دانش بومی روستاییان پرهیز از انجام پروژه‌های بدون مطالعه و شتاب‌زده در اراضی مرتعی روستای هرچگان بازنگری طرح مرتعداری روستای هرچگان برنامه‌ریزی اراضی مرتعی بر پایه طرح مرتعداری بازنگری شده	وجود دام بیش از ظرفیت مرتع و چرای زودرس وجود طرح‌های شکست‌خورده منابع طبیعی و بی‌اعتمادی ساکنان روستا به پروژه‌های تعریف‌شده از سوی سازمان‌های متولی عدم توجه مسئولان متولی به برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و اکتفا کردن به انجام پروژه‌های کوتاه‌مدت به خاطر ارائه گزارش و بالا بردن بازده کاری در دوره مسئولیت بلندمدت بودن روند تصویب طرح مرتعداری و هزینه بالای آن برای مرتعداران اخذ هزینه‌های بالا تهیه طرح مرتعداری توسط نظام مهندسی استان عدم آشنایی مرتعداران با اهمیت و ضرورت تهیه طرح مرتعداری
حفظ و تقویت ساختار و ماهیت روستایی روستای هرچگان	توسعه و ترویج فعالیت‌های متناسب با پتانسیل موجود در روستا جلوگیری از ورود المان‌های شهری به داخل روستا تقویت حس تعلق به مکان در روستاییان از طریق جذابیت محیط روستا	برنامه‌ریزی از بالا به پایین برای روستا و عدم توجه به پتانسیل‌ها و فرصت‌های موجود در روستا نبود قوانین در جلوگیری از ساخت‌وسازهای خارج از ساختار و ماهیت اصلی روستا کاهش جذابیت‌های روستا به دلیل اختلال در کارکرد اکوسیستم روستا
تکمیل سیستم آبیاری روستا	جلوگیری از پرت آب قنوات روستا از طریق تجمیع و انتقال آب قنوات به استخر ذخیره آب تقویت سیستم انتقال آب از مادرچاه به مزرعه محدود کردن حفر چاه‌های روستا به چند مادرچاه اصلی کارشناسی‌شده تغییر الگوی کشت در اراضی شیب‌دار و مسطح صحرای روستا (رعایت اصول کشت دیم در اراضی شیب‌دار و ترجیح کشت به گونه‌های بومی مرتعی و درختچه‌ای)، ترویج کشت گونه‌های چندساله با قدرت ریشه‌دوانی بالا در اراضی مسطح به منظور کاهش میزان آب مصرفی با توجه به وجود مجتمع‌های گلخانه‌ای در روستاهای اطراف، ترویج کشت گلخانه‌ای در سطح روستا	هزینه بالای ساخت استخر ذخیره آب عدم تمایل ساکنان به انجام کشت‌های مشارکتی همراه با سیستم آبیاری مشارکتی نبود آمادگی ذهنی پذیرش تغییر در بین کشاورزان قدیمی روستا
تقویت یادگیری اجتماعی ساکنان روستا	تغییر در طرز نگرش روستاییان به تغییر در الگوی کشت و شکستن دیوار حفاظتی تولیدکنندگان روستا با برگزاری دوره‌های آموزشی متناسب، ساده و شفاف پرهیز از نسخه‌پیچی کلی و دوره‌های دیکته‌شده در روستا	بودجه‌مداری برگزاری دوره‌های آموزشی در روستا (با تأمین بودجه و در خارج از زمان مناسب) برگزاری دوره‌های آموزشی نمایشی و مقطعی

بحث و نتیجه‌گیری

با افزایش تنش‌های آبی در سطح کشور و استان چهارمحال و بختیاری در این پژوهش به ارزیابی تاب‌آوری سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان در مقابل بحران کاهش آب قابل دسترس پرداخته شد. سیستم اجتماعی-اکولوژی به معنای انسان در طبیعت در نظر گرفته شد. زیرا که جامعه محلی هرچگان بر سیستم اکولوژی تأثیر می‌گذارد و تأثیر می‌پذیرد. مرز اجتماعی محدوده روستا و مرز اکولوژی سامانه عرفی روستا در نظر گرفته شد و به‌منظور ارزیابی تاب‌آوری از چارچوب ارزیابی تاب‌آوری دانشگاه استکهلم سوئد استفاده شد که متناسب با شرایط اجتماعی و اکولوژی محدوده مورد مطالعه واسنجی شد. نتایج در این ارتباط

نشان داد که در سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان مسئله اصلی کاهش سطح آب قابل دسترس است که از جمله دلایل اصلی آن کاهش میزان آب ورودی به منابع آبی و هدررفت آب به دلیل نبود تجهیزات ذخیره آب است. در ادامه به‌منظور ارزیابی پویایی سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان خط تاریخی این سیستم در دوره‌ای ۷۰ ساله ترسیم و رخدادها در طول این دوره همراه با رشد جمعیت و مسائل مربوط به منابع آب بررسی شد. نتایج نشان داد که منابع آبی این سیستم ۳ دوره را طی کرده و اکنون در دوره افت سطح آب‌های زیرزمینی قرار دارد. با نتایج خط تاریخی و ترسیم چرخه سازگاری، سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان در فاز امگا (Ω) یا فشار قرار دارد. از شواهد این فاز می‌توان به مهاجرت

منابع

1. Adger, W. N., (2000). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography* 24, 3, 347-364.
2. Berkes, F., Colding J., & Folke, C., (2003). *Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change*. Cambridge: Cambridge University Press.
3. Bruneau, M., Chang, S., Eguchi, R., Lee, G., O'Rourke, T., Reinhorn, A., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W., von W., (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra* 19, 733- 752.
4. Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J., Abel, M., (2001). From metaphor to measurement: Resilience of what to what? *Ecosystems* 4, 765-781.
5. Holling, C. S., (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematic* 4, 1-23.
6. Timmerman, P., (1981). Vulnerability, resilience and the collapse of society: A review of models and possible climatic applications. *Institute for Environmental Studies, Canada: University of Toronto*.
7. Resilience Alliance, (2010), *Assessing Resilience in social-ecological systems, workbook for scientists, version2*, p53.
۸. پورطاهری، مهدی، رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا و کاظمی، نسرين، (۱۳۹۲). نقش رویکرد مدیریت ریسک خشکسالی در کاهش آسیب‌پذیری اقتصادی، اجتماعی کشاورزان روستایی (از دیدگاه مسئولان و کارشناسان): مطالعه موردی دهستان سولدوز آذربایجان غربی. پژوهش‌های روستایی. سال چهارم، شماره یکم، بهار، ۲۲-۱.
9. Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., Webb, J., (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters". *Global Environmental Change*, 1-9.
۱۰. پیرمردیان، نادر، شمس‌نیا، سید امیر و بوستانی، فردین، (۱۳۸۷). ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش در استان فارس، مجله دانش نوین کشاورزی. سال چهارم، شماره سیزدهم.
۱۱. قربانی، مهدی، آذرینوند، حسین، مهرابی، علی اکبر، باستانی، سوسن، جعفری، محمد و نایی، هوشنگ، (۱۳۹۱)، تحلیل شبکه اجتماعی: رویکردی نوین در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی مدیریت مشارکتی منابع طبیعی، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۵، شماره ۴-۵۵۳-۵۶۸.
۱۲. قربانی، مهدی، راسخی، ساره، سلیمی، جمیله و روغنی، ربانه، (۱۳۹۳)، مدیریت منابع طبیعی در مقیاس محلی، سرمایه اجتماعی و قدرت اجتماعی در شبکه ذی‌نفعان محلی، پژوهش‌های روستایی، دوره ۵، شماره ۴، ۷۷۹-۸۰۸.
۱۳. ابراهیمی، قربانی، مهدی، سلاجقه، علی و محسنی ساروی، محسن، (۱۳۹۳)، تحلیل شبکه اجتماعی ذی‌نفعان محلی در برنامه عمل مدیریت مشارکتی منابع آب (مطالعه موردی: رودخانه جاجرود در حوزه آبخیز لتیان- روستای دربندسر)، نشریه علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال هشتم، شماره ۲۵، ۴۷-۵۶.
14. Gunderson, L. and C. S. Holling. (eds.), (2002), *Panarchy: Understanding transformations in human and*

جمعیت فعال روستا، کاهش آب قنوات و چشمه‌ها، خشک شدن چاه‌های قدیمی روستا، تبدیل اراضی آبی به دیمزار، رها شدن دیمزارهای قدیمی و در نهایت کاهش سطح تولیدات زراعی و دامی اشاره کرد. نتایج نشان داد که آستانه گذر و یا نقطه بحرانی سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان در مسئله کاهش میزان آب قابل دسترس زمانی اتفاق می‌افتاد که منابع آب برای مصرف شرب با مشکل مواجهه شود؛ به طوری که آب در فصول گرم سال جیره‌بندی شود و یا برای دسترسی به آب شرب مجبور به انتقال آب از منابع دیگر شوند. نتایج همچنین نشان داد که روندهای اجتماعی، اکولوژی و مدیریتی سیستم در وضعیت تاب‌آورمحور نیست. در بعد اجتماعی در برخورد با مسئله اصلی روستا ۳ گروه عمده وجود دارند؛ گروهی که برای حل مسئله اقدامات عملی انجام داده‌اند، گروهی که از روستا مهاجرت کرده و گروهی که نسبت به مسائل بی‌تفاوت هستند. در بعد اکولوژیکی با کاهش سطح مراتع باکیفیت و رها شدن دیمزارهای روستا طوفان‌های همراه با گردوغبار افزایش یافته است. در بعد مدیریتی فعالیت‌ها محدود به تصمیمات مقطعی و بودجه‌محور است. در واقع مدیریت فعالی در رابطه با مسئله اصلی سیستم صورت نمی‌گیرد. نتایج تحلیل شبکه دست‌اندرکاران مدیریت منابع آب روستا در محدوده روستا نشان‌دهنده آن است که شدت روابط همکاری در مسئله اصلی سیستم در سطح قابل قبول (۶۴،۲۸) قرار دارد. در بین دست‌اندرکاران نماینده کشاورزان، دهیار و بسیج روستا نقش بسزایی در بهبود شرایط و جلب مشارکت ساکنان در حل مسئله سیستم دارند. در نهایت نتایج ارزیابی نشان داد که مناسب‌ترین استراتژی‌ها جهت مدیریت تاب‌آور در سیستم اجتماعی-اکولوژی هرچگان شامل حفظ و تقویت وضع موجود عملکردی اکوسیستم روستای هرچگان، حفظ و تقویت ساختار و ماهیت روستایی روستای هرچگان، تکمیل سیستم آبیاری روستا و تقویت یادگیری اجتماعی ساکنان روستا هستند.

پی‌نوشت

1. Resilience
2. Disturbances
3. Bouncing Back
4. To Jump Back
5. Holing
6. Adger
7. Carpenter
8. Berkes
9. Bruneau
10. Timmerman
11. Adaptive cycle model
12. Exploitation
13. Conservation
14. Release
15. Reorganization

natural systems. Washington, D.C., Island Press.

15. Wilhite, D.A., Svoboda, M. D., & Hayes, M. J., (2007). Understanding the complex impacts of drought: a key enhancing drought mitigation and preparedness. Water resource management 21, 763-774.

۱۶. پوراصغر، سنگاچین، (۱۳۷۹). چالش‌های مدیریت منابع آب کشور، مجله برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. شماره ۶۴ و ۶۵.

۱۷. سرشماری نفوس و مسکن، (۱۳۹۰). مرکز آمار و اطلاعات ایران.

۱۸. موسوی، سید عمار، صمدی بروجنی، حسین، نوری امام‌زاده‌ای، سید محمدرضا، (۱۳۹۲). نخستین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی. انجمن آبیاری و زهکشی ایران، اصفهان.

۱۹. شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری، (۱۳۹۰). آمار و اطلاعات آب‌های سطحی و زیرزمینی استان چهارمحال و بختیاری.

۲۰. سازمان هواشناسی ایران، (۱۳۹۵). مرکز ملی پایش و هشدار خشک‌سالی.

21. Hanneman, R., (2001), Introduction to Social Network Methods. Department of sociology at the University of California.

توسعه الگوریتم ابتکاری مبتنی بر شمارش کامل به منظور بهینه‌سازی دوسطحی مساله طراحی شبکه هاب لجستیکی در زنجیره تأمین امداد و بلایا (مستخرج از رساله دکتری با همین عنوان)

انسبیه تکی: دانشجوی دکتری، مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

سید حبیب اله میرغفوری*: دانشیار، مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، صفاییه، دانشگاه یزد، یزد، ایران

علی مروتی شریف آبادی: دانشیار، مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، صفاییه، دانشگاه یزد، یزد، ایران

سید حیدر میرفخرالدینی: دانشیار، مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، صفاییه، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده:

در این تحقیق یک مدل ریاضی دوسطحی جدید به منظور طراحی شبکه هاب لجستیکی در زنجیره تأمین امداد و بلایا ارائه شده است. مدل سطح رهبر به مکان‌یابی هاب‌ها و تعیین وسایل نقلیه مورد استفاده می‌پردازد. تابع هدف این مدل به کمینه‌سازی هزینه‌های احداث هاب‌ها، هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های مربوط به ایجاد زیرساخت جهت توسعه شبکه هاب لجستیکی می‌پردازد. در مدل سطح پیرو اقدام به تعیین مسیرهای بهینه برای ارسال محصولات به متقاضیان با هدف کمینه‌سازی زمان ارائه خدمت می‌کند. با توجه به اینکه حل مدل‌های دوسطحی در حالتی که مدل سطح پیرو دارای ساختار MIP باشد، به عنوان یک مسئله دشوار در تحقیق در عملیات شناخته شده و همواره برای آن روش حل مشخصی وجود ندارد، در این پژوهش یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر شمارش کامل جهت حصول پاسخ‌ها با کیفیت بالا ارائه شده است. مطابق با نتایج محاسباتی می‌توان مشاهده کرد که الگوریتم توسعه‌یافته قادر به تولید پاسخ‌هایی موجه بوده و البته از نظر کیفیت پاسخ‌ها هم سطح قابل قبولی دارد. استفاده از نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی مورد استفاده سازمان‌های متولی مدیریت بحران قرار گیرد.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی دوسطحی، مکان‌یابی هاب، شبکه لجستیکی، الگوریتم ابتکاری مبتنی بر شمارش کامل، زنجیره تأمین امداد و بلایا

Development of an Innovative Algorithm Based on Complete Counting for Bilateral Optimization Problem Design of Hub Logistics Network in Relief and Disaster Supply Chain

Ensiyeh taki¹, Seyed Habib Allah Mirghafoori^{2*}, Ali morovati Sharifabadi³, Seyed Heydar Mirfakhred-dini⁴

Abstract

In this study, a new two-level mathematical model is presented in order to design a logistics hub network in the supply chain of disasters and disasters. The leader level model uses the location of hubs and the determination of vehicles used. The objective function of this model is to minimize the cost of building hubs, transportation costs, and infrastructure costs to develop a logistics hub network. In the follow-up model, it determines the optimal routes for sending products to applicants with the aim of minimizing service delivery time. Given that solving two-tier models in the case where the follow-up model has an MIP structure, it is known as a difficult problem in research in operations and there is not always a definite solution for it, in this research an innovative algorithm based on complete counting. It is provided with high quality answers. According to the computational results, it can be observed that the developed algorithm is able to produce justified answers and of course it has an acceptable level in terms of the quality of the answers. Using the results of this research can be used as a management tool by crisis management organizations. Keywords: Locating-Routing

1 - ph.d student, industrial management, Yazd university, Isfahan

2 - Associate Professor, Industrial Management, Yazd University

3 - Associate Professor, Industrial Management, Yazd University

4 - Associate Professor, Industrial Management, Yazd University

۱- مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین امداد و بلایایی از مهمترین زیرشاخه های مدیریت زنجیره تأمین است که در سالیان گذشته مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است [۱]. این موضوع با عناوین دیگر از جمله مدیریت زنجیره تأمین بحران هم شناخته می شود [۲]. در این مسئله سعی می شود ساختار جریان های فیزیکی و اطلاعاتی به نحوی در ساختار مورد نظر بررسی شود که اهدافی نظیر کمینه سازی هزینه های عملیاتی، بیشینه سازی سطح تأمین تقاضا، کمینه سازی زمان انجام خدمات و بیشینه سازی سطح تعادل در تأمین نیازها برآورده شود [۳]. اما به منظور ایجاد ساختاری مناسب جهت خدمت رسانی باید به تصمیمات استراتژیک و هزینه بر توجه ویژه کرد؛ چرا که این تصمیمات تأثیر بسیار زیادی بر حصول نتایج نهایی دارند. یکی از مهمترین تصمیمات استراتژیک در حوزه مدیریت زنجیره تأمین بلایات تعیین مکان مناسب احداث تسهیلات و البته تعیین بهینه سطح ارتباطات بین مکان ها و میزان کالاهای ارسالی به هر نقطه متقاضی توسط این مکان هاست [۴]. بنابراین ارائه یک ساختار جامع برای بررسی و تعیین مکان های بهینه مراکز ارائه خدمت در قالب مراکز تأمین، دسته بندی و توزیع ضروری به نظر می رسد. اما مرکزی که بتواند تمام امور لازم مانند دسته بندی و ارسال سفارشات را به طور چندانگانه و همزمان انجام دهد می تواند تا حد بسیاری باعث ایجاد سهولت در امر خدمت رسانی شود [۵]. در ادبیات موضوع این نوع مراکز به عنوان هاب های لجستیکی شناخته می شوند [۶]. هاب های لجستیکی دارای کاربردهای فراوانی بوده و می توانند به طور همزمان علاوه بر ایجاد سهولت در زنجیره امداد و بلایا در ساختارهای لجستیک تجاری هم مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین تعیین محل احداث این هاب ها تصمیمی بنیادی است که باید توسط مدیریت سطح کلان کشور صورت پذیرد [۷]. این در حالی است که سایر تصمیمات مربوط به مدیریت زنجیره امداد و بلایا تنها توسط سازمان های مسئول مانند هلال احمر و سازمان مدیریت بحران اتخاذ می شود. به عبارت دیگر، در طراحی ساختار لجستیکی امداد و بلایا با استفاده از هاب های لجستیکی ۲ تصمیم گیرنده مختلف وجود دارد که در یک ساختار سلسله مراتبی با یکدیگر در تعامل هستند. سطح نخست که مربوط به مدیریت سطح کلان کشور بوده و با نگاهی به کاربردهای مختلف لجستیکی سعی بر تعیین محل بهینه آن ها داشته تا بتوان در تمامی امور حمل و نقل از آن ها استفاده کرد. در سطح دوم هم سازمان های متولی مدیریت امداد وجود دارند که بر اساس تصمیمات اتخاذ شده در سطح نخست برای تعیین مکان هاب ها اقدام به تصمیم گیری در مورد تعیین محل تسهیلات خود می کنند. در حقیقت در این مسئله یک ساختار برنامه ریزی دوسطحی وجود دارد و نیاز است که برای بهینه سازی آن از مدل های بهینه سازی برنامه ریزی دوسطحی استفاده شود. بدین منظور در این پژوهش مسئله طراحی زنجیره تأمین امداد و بلایا در قالب یک مدل برنامه ریزی دوسطحی بدین صورت بررسی می شود که در سطح رهبر دلت تصمیمات مربوط به هاب های لجستیکی را اتخاذ خواهد کرد و در سطح پیرو سازمان های مسئول مدیریت بحران اقدام به تعیین محل تسهیلات و تعیین مسیرهای حرکت ناوگان امدادی در صورت وقوع فاجعه خواهند کرد.

در ادامه ساختار مقاله بدین صورت است که در بخش دوم مرور ادبیات تحقیق انجام خواهد شد و سپس در بخش سوم مدل ریاضی مسئله و روش حل تشریح می شود. نتایج محاسباتی حاصل

از حل مسئله به کمک الگوریتم ابتکاری تحقیق در بخش چهارم و در نهایت جمع بندی و ارائه پیشنهادات آتی در بخش پنجم مقاله تشریح خواهد شد.

۲- مروری بر پیشینه تحقیق

طبق بررسی های انجام شده اکثر پژوهش های ارائه شده در رابطه با مدیریت زنجیره تأمین در شرایط بحران به ارائه ساختارهای مدیریتی برای رده های مختلف زنجیره تأمین مانند مراکز تأمین، مراکز توزیع اولیه، مراکز توزیع ثانویه، پناهگاه ها و مراکز انتقال آوار پرداختند تا از این طریق بتوانند ساختار مدیریت جریان کالاها بهبود دهند. در این راستا [۸] مسئله طراحی شبکه لجستیک بشردوستانه ی ۲ رده ای شامل انبارهای مرکزی چندانگانه و مراکز توزیع محلی را ارائه دادند. آن ها همچنین یک رویکرد جدید برنامه ریزی امکانی-احتمالی در مرحله ای مبتنی بر سناریو را هم توسعه دادند. این پژوهش نیاز اساسی برای طراحی شبکه امداد را در شهر تهران در آماده سازی برای زمین لرزه های بالقوه جهت مقابله با مشکلات لجستیکی اساسی در مراحل قبل و بعد از وقوع بلایا را موجب می شود. ماهارajan و هاناثوکا [۹] در پژوهشی به توسعه مدلی ریاضی برای تعیین مکان موقت هاب های لجستیکی برای پاسخ به بلایا و همچنین ارائه روشی جدید برای تعیین وزن اهداف در یک مسئله بهینه سازی چندهدفه پرداختند. علاوه بر این یک سیستم رتبه بندی فازی تحت شرایط تصمیم گیری گروهی برای تعیین اهمیت اهداف زمانی که تصمیم گیرندگان چندانگانه وجود دارد، پیشنهاد شده است. [۱۰] به طراحی زنجیره تأمین مواد خونی در شرایط بحران پرداختند که به منظور برخورد با عدم قطعیت پارامترهای ورودی از مدل برنامه ریزی تصادفی دومرحله ای استفاده کردند. در این مدل ۲ سطح زنجیره شامل مراکز تأمین مواد خونی و مراکز توزیع به آسیب دیدگان در نظر گرفته شده است. [۱۱] مسئله طراحی زنجیره تأمین اورژانسی را به عنوان یک مدل چندهدفه پایدار مورد مطالعه قرار دادند که در آن سطوح تأمین مواد، مراکز توزیع سراسری و مراکز توزیع محلی به عنوان ۳ سطح اصلی زنجیره در نظر گرفته شده است. [۱۲] مکان بهینه تسهیلات امدادی شامل مراکز ذخیره مواد غذایی و پناهگاه ها را با استفاده از یک مدل بهینه سازی مورد مطالعه قرار دادند. به صورت مشابه تحقیقات زیادی را می توان ارائه داد که اقدام به توسعه مدل های بهینه سازی با در نظر گرفتن ابعاد مختلف زنجیره در مدیریت بحران کردند؛ اما در این بین استفاده از هاب های لجستیکی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، به طوری که طبق بررسی های انجام شده [۱۳] به توسعه ساختاری مبتنی بر هاب لجستیکی به منظور طراحی زنجیره تأمین امداد و بلایا پرداختند که در آن یک مدل ریاضی ۲ هدفه عددی صحیح مختلط توسعه داده شده است. همچنین به منظور نزدیکی شرایط مسئله به ساختارهای دنیای واقعی پارامتر تقاضا به صورت فازی در نظر گرفته شده که همین موضوع باعث توسعه روش حل مبتنی بر محدودیت های شانس فازی بوده است. [۱۴] هم به صورت مفهومی نقش استفاده از هاب های لجستیکی در مدیریت زنجیره تأمین امداد را بررسی کردند. مطابق



شکل ۱- پراکندگی مراکز وقوع زلزله‌هایی با قدرت بیشتر از ۶ ریشتر در ۳۰ سال گذشته

از هاب‌های لجستیکی بررسی خواهد شد. مدل سطح رهبر برای تعیین مکان هاب‌ها اقدام به تصمیم‌گیری در مورد تعیین محل تسهیلات خود می‌کند. بدین منظور در این پژوهش مسئله طراحی زنجیره تأمین امداد و بلایا در قالب یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی بدین صورت بررسی می‌شود که در سطح رهبر دولت تصمیمات مربوط به هاب‌های لجستیکی را اتخاذ خواهد کرد و در سطح پیرو سازمان‌های مسئول مدیریت بحران اقدام به تعیین محل تسهیلات و تعیین مسیرهای حرکت ناوگان امدادی در صورت وقوع فاجعه خواهند کرد.

۳- بیان مسئله تحقیق

هدف پژوهش حاضر، ارائه یک مدل بهینه‌سازی به منظور مکان‌یابی هاب‌های لجستیکی با تمامی کارکردها و مشخصات آن نوع تسهیلات و هم‌ویژگی‌های یک شبکه مبتنی بر هاب به منظور استفاده در شرایط وقوع بحران در قالب زنجیره تأمین امداد و بلایا است. پیش از تشریح ساختار اصلی تحقیق نیاز است که به بررسی چند نکته مهم پرداخته شود. نکته اول شالوده تفکری حمایت‌کننده از پیاده‌سازی چنین طرحی در کشور است. شرایط لجستیکی موجود در امدادرسانی به مناطق بحران‌زده بیانگر چرایی و چگونگی اجرای شبکه لجستیک در کشور و الزامات و نیازمندی‌های طرح گفته‌شده در پهنه مورد بررسی است.

طراحی شبکه لجستیک امداد کشور طرحی مهم و تأثیرگذار در منطقه، کشور و حتی در مقیاس بین‌المللی و خاورمیانه است. چرا که این منطقه بنا به علت ویژگی‌های ژئوپلیتیک، ژئواکونومیک و موقعیت خاص خود از منظر لجستیکی بسیار دارای اهمیت است. توسعه ساختار لجستیک امداد علاوه بر بهبود شرایط موجود در امر خدمت‌رسانی تأثیر بسیار زیادی بر شبکه لجستیک کل کشور و

با نتایج به‌دست‌آمده از مقاله مذکور می‌توان گفت که استفاده از تسهیلات هاب می‌تواند بین ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش هزینه در پی داشته باشد. علاوه بر آن، زمان ارائه خدمت هم بین ۲۰ تا ۳۰ درصد بهبود پیدا خواهد کرد. [۱۵] با استفاده از مدل‌های چندشاخصه اقدام به ارزیابی هاب‌های لجستیکی مختلف در شرایط هنگام به هنگام پرداختند. مطابق با نتایج حاصله می‌توان گفت که هاب‌های لجستیکی با ظرفیت استفاده از چندسیستم حمل‌ونقل به مراتب تأثیرگذاری بیشتری نسبت به سایر انواع هاب‌ها در بهبود جریان کالا در زنجیره امداد و بلایا خواهند داشت. در یک جمع‌بندی می‌توان گفت که استفاده از هاب لجستیکی باعث بهبود در هزینه، زمان و همچنین جریان محصولات جهت رسیدن به متقاضیان خواهد شد. اما مقالات یادشده تصمیمات مربوط به مکان‌یابی هاب‌های لجستیکی و سایر امور زنجیره را متعلق به یک سطح تصمیم‌گیری در نظر گرفتند. این در حالی است که در شرایط دنیای واقعی اتخاذ تصمیمات نهایی برای ایجاد هاب‌های لجستیکی مربوط به بالاترین سطح مدیریت یعنی دولت بوده و سایر امور مربوط به تأمین احتیاجات در هنگام بحران به عهده سازمان‌های مسئول است. بنابراین همواره ۲ سطح تصمیم‌گیرنده حضور دارند که البته دارای ساختار تعاملی سلسله‌مراتبی در قالب رهبر (دولت) و پیرو (سازمان‌های مسئول مدیریت بحران) است. البته در سایر مسائل این حوزه از کاربردهای برنامه‌ریزی دوسطحی استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به تحقیق [۱۶] اشاره کرد که در آن یک مدل چندهدفه بهینه‌سازی دوسطحی برای مکان‌یابی مراکز توزیع امداد در لجستیک بشردوستانه ارائه شده است.

در این تحقیق با استفاده از مفهوم برنامه‌ریزی دوسطحی مدلی جدید به منظور مدیریت تسهیلات و جریان کالا با استفاده

استراتژی‌های کلان حمل و نقل و تجارت بین‌المللی ایران خواهد داشت. اما قبل از اینکه بتوان این طرح را در قالب کردهای عددی برای کل کشور تعریف کرد، نیاز است که به عنوان نمونه در بخشی از کشور که شرایطی ویژه از لحاظ وقوع بحران‌های مربوط به بخش پدافند غیرعامل دارد، پیاده‌سازی شده و در صورت مناسب بودن نتایج حاصله، برای کل کشور توسعه داده شود. طبق نقشه موجود از زلزله‌های موجود در استناد تاریخی که به کمک نرم‌افزار GIS ترسیم شده، می‌توان به وضوح مشاهده کرد که در مناطق جنوب، جنوب غربی و غرب کشور تمرکز بسیاری زیادی وجود دارد. بنابراین پیاده‌سازی نتایج این تحقیق در این بخش‌ها می‌تواند باعث ایجاد شرایطی مناسب به منظور ارزیابی کارکرد مدل پیشنهادی تحقیق به منظور بهبود شرایط موجود باشد.

اصولاً در مسائلی با ویژگی‌های حاضر چند عامل در زمینه‌های واقعی و ریاضیاتی تحقیق بسیار تأثیرگذارند که از آن جمله می‌توان به تعداد، ظرفیت و هزینه احداث تسهیلات اشاره کرد. به‌ویژه در مسائل با رویکرد طراحی شبکه که بر روی مکان‌یابی تسهیلات تأکید دارند، این مورد بیشتر کرد دارد. در مورد تعداد تسهیلات می‌توان چند رویه را اجرا کرد.

با توجه به مسئله مورد بررسی در این تحقیق که طراحی شبکه هاب لجستیکی در شبکه امداد بلایا با در نظر گرفتن مسائل مسیریابی و مدیریت موجودی است، می‌توان گفت که تسهیلات هاب مورد نظر بر اساس مدل‌های هاب حداکثر پوشش مکان‌یابی خواهند شد. اما جهت ایجاد ارتباط مناسب بین مسائل مکان‌یابی هاب در سطح اول و مسائل مسیریابی و مدیریت موجودی در سطح دوم از ۲ رویکرد مجزا استفاده می‌شود. در رویکرد نخست در قالب یک مسئله کلاسیک ابتدا تسهیلات هاب با در نظر گرفتن تابع یا توابع هدف و همچنین محدودیت‌های مشخص انجام شده و تمامی مشخصه‌های لازم مانند سطح ظرفیت، میزان انتقال کالا و غیره تعیین می‌شود. اما در رویکرد دوم در قالب یک مسئله برنامه‌ریزی دوسطحی مکان‌یابی تسهیلات هاب به عنوان تصمیم‌گیری سطح رهبر، مسیریابی و مدیریت موجودی به عنوان تصمیمات سطح پیرو در نظر گرفته می‌شود. مشخص است که این رویکرد در قالب یک مسئله تئوری بازی‌هایی شناخته می‌شود. در این بازی ۲ بازیگر حضور دارند که به صورت رهبر و پیرو می‌بایست به بهینه‌سازی ساختار نهایی بپردازند. بدین منظور در ابتدا سطح رهبر بر اساس استراتژی‌های خود ساختاری ابتدایی برای مکان‌یابی مراکز هاب را مشخص می‌کند که این تعیین مکان‌ها در قالب قانون از پیش تعیین شده برای پیرو در نظر گرفته می‌شود. بنابراین پیرو هم بر اساس این قوانین به بهینه‌سازی مسئله خود یعنی مسیریابی و مدیریت موجودی می‌پردازد؛ اما مشخص است که احتمال دارد قوانین ارائه شده از طرف رهبر تا حد زیادی محدودکننده باشد و پاسخی نهایی را از پاسخ بهینه موجود دور کند. برای برطرف‌سازی این مشکل بازیگر سطح رهبر انعطاف‌پذیر بوده و دوباره بر اساس ساختار ارائه شده توسط پیرو به منظور بهبود وضعیت موجود اقدام به تغییر تصمیمات خود خواهد کرد. این موضوع باعث ایجاد یک حالت رفت و برگشتی بین سطوح رهبر و

پیرو می‌شود. این رفت و برگشت‌ها تا جایی ادامه می‌یابد که هر ۲ سطح رهبر و پیرو به نقطه تعادلی برسند که برای برآیند تصمیمات آن‌ها حالت بهتری وجود نداشته باشد. این نقطه تعادل در ادبیات تحقیق تحت عنوان نقطه تعادل استکلبرگ شناخته می‌شود. از نتایج این تحقیق می‌توان در مدیریت توزیع و تأمین کالا در هنگام وقوع بحران به منظور ارتقای سطح خدمات استفاده کرد. این ساختار باعث خواهد شد، هم در سطح زمان ارائه خدمات و در هزینه‌های استراتژیک صرفه‌جویی مناسبی صورت پذیرد. مفروضات مدل ریاضی عبارتند از:

تعداد گره‌های عادی و بالقوه جهت انتخاب به عنوان هاب معلوم هستند؛

- تعداد هاب‌هایی که از هر نوع باید مکان‌یابی شوند، مشخص است؛
- محل تمامی گره‌ها معلوم است؛
- ساختار شبکه کلی مسئله بدون جهت است؛
- شبکه ارتباط دهنده هاب غیرکامل است؛
- هاب‌ها محدودیت ظرفیت ندارند؛
- تخصیص سایر گره‌ها به هاب‌ها به صورت تک‌تخصیصی است؛
- محدودیت بودجه‌ای وجود ندارد؛
- روش‌های حمل و نقل در ۳ دسته‌ی جاده‌ای، ریلی و هوایی بررسی می‌شوند؛
- ارتباط مستقیم بین ۲ گره غیرهاب مجاز است؛
- برای ارتباطات میان‌هابی عامل تخفیف زمانی وجود دارد؛
- حمل و نقل بین‌هابی در ۲ دسته جاده‌ای و سایر روش‌ها بررسی می‌شود.

نمادها مجموعه‌های رهبر

$$\begin{aligned}
 N &= \{i, j\} \quad \text{مجموعه کل گره‌های شبکه} \\
 H &= \{k, l\} \quad \text{مجموعه گره‌های بالقوه برای احداث هاب} \\
 T &= \{t\} \quad \text{مجموعه انواع مختلف تسهیلات هاب} \\
 M &= \{m\} \quad \text{مجموعه روش‌های حمل و نقل (G: روش حمل و نقل جاده‌ای)} \\
 E &= \{e\} \quad \text{مجموعه نوع کالاهای حمل شده} \\
 V &= \{v\} \quad \text{مجموعه انواع مختلف وسایل حمل و نقل جاده‌ای}
 \end{aligned}$$

نمادها مجموعه‌های پیرو

$$\begin{aligned}
 E &= \{i\} \quad \text{مجموعه مراکز تأمین اقلام امدادی} \\
 S &= \{i\} \quad \text{مجموعه پناهگاه‌ها} \\
 V &= \{v\} \quad \text{مجموعه وسایل حمل و نقل که با } v \in V \text{ مشخص می‌شود} \\
 D &= \quad \text{مجموعه انبارهای وسایل حمل و نقل}
 \end{aligned}$$

$$D(v) = \{i\} \quad \text{محل استقرار مجموعه وسایل حمل و نقل } v \in V$$

$$N = \{i, j\} \quad \text{مجموعه کل نقاط در فرآیند توزیع اقلام}$$

$$SB_{ij} = \text{محدوده‌ی زمان خدمت ما بین ۲ گره}$$

$$M = \text{یک عدد به اندازه‌ی کافی بزرگ}$$

متغیرهای تصمیم سطح رهبر

$$HU_k = \text{برابر با ۱ است؛ اگر هاب } k \text{ به عنوان هاب انتهای مسیر در نظر گرفته شود و در غیر این صورت برابر با صفر است.}$$

$$H_k^{mt} = \text{اگر یک هاب از نوع } t \text{ در مکان بالقوه‌ی } k \text{ با پشتیبانی از روش حمل و نقل } m \text{ احداث شود، یک؛ در غیر این صورت صفر}$$

$$\hat{Y}_{ij} = \text{اگر حمل و نقل بین ۲ گره به صورت مستقیم انجام شود، یک؛ در غیر این صورت صفر}$$

$$Y_{ijkl}^m = \text{اگر حمل و نقل بین ۲ گره از طریق پیوند هابی } k \text{ و } l \text{ با استفاده از روش حمل و نقل } m \text{ صورت گیرد، یک؛ در غیر این صورت صفر}$$

$$Z_{kl}^m = \text{اگر پیوند هابی روش حمل و نقل } m \text{ بین ۲ هاب } k \text{ و } l \text{ ایجاد شود، یک؛ در غیر این صورت صفر}$$

متغیر تصمیم سطح پیرو

$$X_{ij}^v = \text{برابر با ۱ است؛ اگر وسیله نقلیه } v \in V \text{ از گره } i \in N \text{ به گره } j \in N \text{ حرکت کند و در غیر این صورت برابر با صفر است.}$$

$$Y_i^v = \text{برابر با ۱ است؛ اگر وسیله نقلیه } v \in V \text{ به گره } i \in E \cup S \text{ تخصیص داده شود و در غیر این صورت برابر با صفر است.}$$

$$Z_v = \text{برابر با ۱ است؛ اگر از وسیله نقلیه } v \in V \text{ استفاده شود و در غیر این صورت برابر با صفر است.}$$

$$Q_i^v = \text{تعداد اقلامی که توسط وسیله نقلیه به گره متقاضی می‌رسد.}$$

$$T_i^v = \text{زمان رسیدن وسیله حمل و نقل به گره}$$

$$X_{ik} = \text{اگر گره } i \text{ به هاب } k \text{ تخصیص یابد، یک؛ در غیر این صورت صفر}$$

$$TFG_{kl}^m = \text{میزان کالای حمل شده بین هاب‌های } k \text{ و } l \text{ از طریق روش حمل و نقل جاده‌ای}$$

$$num_{kl}^v = \text{تعداد وسیله‌ی حمل و نقل مورد نیاز از نوع } v \text{ بین هاب‌های } k \text{ و } l$$

$$ICG_{kl}^m = \text{هزینه جابه‌جایی کالایی بین هاب‌های } k \text{ و } l \text{ از طریق روش حمل و نقل جاده‌ای}$$

$$TFM_{kl}^m = \text{میزان کالای حمل شده بین هاب‌های } k \text{ و } l \text{ از طریق سایر روش حمل و نقل (غیر از روش جاده‌ای)}$$

پارامترهای سطح رهبر

$$P^t = \text{تعداد هاب نوع } t \text{ که باید احداث شود}$$

$$FH_k^{mt} = \text{هزینه ثابت احداث یک هاب لجستیکی از نوع } t \text{ در مکان بالقوه‌ی } k$$

$$f_{ij}^e = \text{جریان کالایی از نوع } e \text{ ما بین ۲ گره}$$

$$\hat{C}_{ij} = \text{هزینه حمل و نقل ما بین ۲ گره در صورت حمل و نقل مستقیم}$$

$$C_{ij}^m = \text{هزینه حمل و نقل ما بین ۲ گره در حمل و نقل بین هابی با استفاده از روش حمل و نقل } m$$

$$HL_{kl}^m = \text{هزینه اتصال شبکه بین هابی با استفاده از روش حمل و نقل } m$$

پارامترهای سطح پیرو

$$C_{ij} = \text{زمان حمل محصولات از گره } i \in N \text{ به گره } j \in N$$

$$S_i = \text{مقدار عرضه اقلام امدادی مرکز تأمین } i \in N$$

$$d_i = \text{تقاضای پناهگاه } i \in S \text{ برای اقلام امدادی}$$

$$b_i = \text{حداکثر زمان رسیدن کالاها به گره متقاضی } i \in S$$

$$Cap_v = \text{ظرفیت وسیله نقلیه } v \in V$$

$$Dt_i = \text{زمان ارائه خدمت در گره}$$

$$cap^v = \text{ظرفیت وسیله‌ی حمل و نقل جاده‌ای نوع } v$$

$$CV^v = \text{هزینه استفاده از وسیله‌ی حمل و نقل جاده‌ای نوع } v$$

$$Size^m = \text{ظرفیت کانتینر مورد استفاده در روش حمل و نقل } m \text{ (غیر از روش جاده‌ای)}$$

$$d_{kl}^m = \text{هزینه تخلیه و بارگیری کانتینر مورد استفاده در روش حمل و نقل } m \text{ (غیر از روش جاده‌ای) در حمل ما بین هاب‌های } k \text{ و } l$$

$$tt_{ij}^m = \text{زمان حمل و نقل بین ۲ گره با استفاده از روش حمل و نقل } m$$

$$ot_k^m = \text{زمان عملیاتی مورد نیاز روش حمل و نقل } m \text{ در هاب } k$$

$$\alpha^m = \text{ضریب تخفیف زمانی بین هابی روش حمل و نقل } m$$

$$ST_{ij} \leq SB_{ij} \quad \forall i, j \in N : i \neq j \quad (۱۹)$$

$$HU_k \leq \sum_{i \in N} X_{ik} \quad (۲۰)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ik} \leq MHU_k \quad (۲۱)$$

$$H_k^{mt} \in \{0,1\} \quad \forall k \in H, m \in M, t \in T \quad (۲۲)$$

$$X_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, k \in H \quad (۲۳)$$

$$(۲۴)$$

$$Z_{kl}^m \in \{0,1\} \quad \forall k, l \in H : k \neq l, m \in M \quad (۲۵)$$

$$Y_{ijkl}^m \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N : i \neq j, k, l \in H \quad (۲۶)$$

$$\hat{Y}_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N : i \neq j \quad (۲۶)$$

$$TFG_{kl}^m \geq 0 \quad \forall k, l \in H : k \neq l, m = \{g\} \quad (۲۷)$$

$$num_{kl}^v \geq 0 \quad \forall k, l \in H : k \neq l, m = \{g\} \quad (۲۸)$$

$$ICG_{kl}^m \geq 0 \quad \forall k, l \in H : k \neq l, m = \{g\} \quad (۲۹)$$

$$TFM_{kl}^m \geq 0 \quad \forall k, l \in H : k \neq l, m \in M \quad (۳۰)$$

$$ICM_{kl}^m \geq 0 \quad \forall k, l \in H : k \neq l, m \in M \quad (۳۱)$$

$$ST_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in N : i \neq j \quad (۳۲)$$

سطح پیرو

$$\min \sum_{v \in V} \sum_{i \in \{k | HU_k = 1\} \cup S} T_i^v \quad (۳۳)$$

Subject to :

$$\sum_{j \in \{k | HU_k = 1\} \cup S} \sum_{i \in D(v)} X_{ij}^v = Z_v \quad \forall v \in V \quad (۳۴)$$

$$\sum_{i \in D(v) \cup \{k | HU_k = 1\}} X_{ij}^v = \sum_{i \in \{k | HU_k = 1\} \cup S} X_{ji}^v \quad (۳۵)$$

$$\forall j \in \{k | HU_k = 1\}, v \in V$$

$$\sum_{j \in D(v) \cup \{k | HU_k = 1\}} X_{ij}^v = Y_i^v \quad (۳۶)$$

$$\forall i \in \{k | HU_k = 1\}, v \in V$$

$$Cap_v Y_i^v \geq Q_i^v \quad (۳۷)$$

$$\forall i \in \{k | HU_k = 1\}, v \in V$$

$$Y_i^v \leq Q_i^v \quad \forall i \in \{k | HU_k = 1\} \cup S, v \in V \quad (۳۸)$$

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} FH_k^{mt} H_k^{mt} + \sum_{k \in K} \sum_{l \neq k} \sum_{m \in M} HL_{kl}^m Z_{kl}^m \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} \sum_{o \in F} f_{ij}^e \hat{C}_{ij} \hat{Y}_{ij} +$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \neq i} \sum_{k \in K} \sum_{l \neq k} \sum_{m \in M} \sum_{e \in E} (C_{ik}^g + C_{kj}^g) Y_{ijkl}^m f_{ij}^e + \sum_{k \in K} \sum_{l \neq k} \sum_{m = \{g\}} ICG_{kl}^g$$

$$+ \sum_{k \in K} \sum_{l \neq k} \sum_{m = \{g\}} ICM_{kl}^m$$

Subject to :

$$\sum_{k,m} H_k^{mt} = P^t \quad \forall t \in T \quad (۲)$$

$$\sum_k X_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \quad (۳)$$

$$\sum_i X_{ik} \leq M \sum_t H_k^t \quad \forall k \in H \quad (۴)$$

$$\sum_t H_k^t \leq M \sum_i X_{ik} \quad \forall k \in H \quad (۵)$$

$$\sum_i X_{ik} \leq MX_{kk} \quad \forall k \in H \quad (۶)$$

$$2Z_{kl}^m \leq H_k^{mt} + H_l^{mt} \quad \forall k, l \in H : k \neq l, m \in M, t \in T \quad (۷)$$

$$2Z_{kl} \leq \sum_{m,t} H_k^{mt} + \sum_{m,t} H_l^{mt} \quad \forall k, l \in H : k \neq l \quad (۸)$$

$$\sum_{l \neq k, m} Z_{kl}^m \geq 1 + M(X_{kk} - 1) \quad \forall k \in H \quad (۹)$$

$$\sum_{k,l,k \neq l, m} Y_{ijkl}^m = 1 - \hat{Y}_{ij} \quad \forall i, j \in N : i \neq j \quad (۱۰)$$

$$\sum_{l \neq k, m} Y_{ijkl}^m - \sum_{l \neq k, m} Y_{jikl}^m = X_{ik} - X_{jk} \quad \forall i, j \in N : i \neq j, k \in H \quad (۱۱)$$

$$Y_{ijkl}^m + Y_{jikl}^m \leq Z_{kl}^m \quad \forall i, j \in N : i \neq j, k, l \in H : k \neq l \quad (۱۲)$$

$$TFG_{kl}^m \geq \sum_{i,j,i \neq j, e} f_{ij}^e Y_{ijkl}^m \quad \forall k, l \in H : k \neq l, m = \{g\} \quad (۱۳)$$

$$num_{kl}^v \geq \frac{TFG_{kl}^m}{cap^v} \quad \forall k, l \in H : k \neq l, m = \{g\}, v \in V \quad (۱۴)$$

$$ICG_{kl}^m = num_{kl}^v CV^v \quad (۱۵)$$

$$\forall k, l \in H : k \neq l, m = \{g\}, v \in V$$

$$TFM_{kl}^m \geq \sum_{i,j} f_{ij}^e Y_{ijkl}^m \quad \forall k, l \in H : k \neq l, m \in M \quad (۱۶)$$

$$ICM_{kl}^m = (TFM_{kl}^m / Size^m) (C_{kl}^m + d_{kl}^m) \quad (۱۷)$$

$$\forall k, l \in H : k \neq l, m \in M$$

$$ST_{ij} = \left[\sum_{k:k \neq i} tt_{ik}^g X_{ik} + \sum_{k,l:k \neq l, t} ot_k^m + (\alpha^m tt_{ij}^m) \right] \quad (۱۸)$$

$$+ ot_l^m + \sum_{k:k \neq j} tt_{kj}^g X_{kj} \left] Y_{ijkl}^m + tt_{ij}^m \hat{Y}_{ij} \quad \forall i, j \in N : i \neq j$$

در روش حمل و نقل جاده‌ای مستقل از نوع روش پشتیبانی شده در هاب‌ها است؛ چرا که ارتباط جاده‌ای مانند سایر روش‌ها (ریلی و هوایی) نیاز به تسهیلات و تجهیزات خاص ارتباطی، تخلیه و بارگیری ندارد. این مسئله در محدودیت (۸) نشان داده شده؛ جایی که با احداث ۲ هاب در ۲ نقطه ارتباط جاده‌ای بین آن ۲ هاب بدون توجه به نوع روش پشتیبانی شده می‌تواند برقرار شود. محدودیت (۹) بیان می‌کند که در صورتی که نقطه‌ای به عنوان هاب انتخاب شود، حتماً به هابی دیگر با ارتباط بین هابی متصل خواهد شد. این مسئله موجب می‌شود تا ارتباط بین هاب‌ها به صورت مناسب برای حمل کالا با کم‌ترین هزینه ممکن برقرار شود. در محدودیت (۱۰) انتخاب ما بین روش حمل و نقل مستقیم و براساس هاب صورت می‌گیرد. محدودیت (۱۱) محدودیت تعادل جریان ما بین گره‌هاست. این محدودیت تعیین‌کننده‌ی این است که کدام ارتباط بین هابی برای حمل و نقل مابین ۲ گره مورد استفاده قرار گیرد. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند که جریان کالایی فقط بر روی پیوندهای هابی احداث شده صورت پذیرد. محدودیت (۱۳) مقدار کل کالای حمل شده در بین ۲ هاب با استفاده از روش حمل جاده‌ای را محاسبه می‌کند. محدودیت (۱۴) تعداد وسیله مورد نیاز از هر نوع را تعیین می‌کند و محدودیت (۱۵) هزینه حمل و نقل جاده‌ای بین هابی را محاسبه می‌کند. در محدودیت (۱۶) مقدار کل کالای حمل شده بین هابی برای سایر روش‌های حمل و نقل (غیر از جاده‌ای) محاسبه می‌شود و در محدودیت (۱۷) هزینه این نوع حمل و نقل ما بین ۲ هاب مشخص می‌شود. محدودیت (۱۸) کل زمان خدمت بین ۲ گره را محاسبه کرده و محدودیت (۱۹) کران مربوط به آن را مشخص می‌کند. محدودیت‌های (۲۰) و (۲۱) تضمین می‌کند که در صورت تخصیص تعدادی از نقاط تقاضا به یک هاب آن هاب به عنوان نقطه انتهایی مسیر در نظر گرفته شود. این محدودیت‌ها نقطه ارتباط بین سطح رهبر و پیرو هستند که در آن هاب‌های انتهایی مسیر که توسط رهبر تعیین می‌شوند، همان مراکز تأمین کالا برای سطح پیرو خواهند بود. محدودیت‌های (۲۲) تا (۳۲) نامنفی، صفر و یک بودن متغیرهای تصمیم مسئله را نشان می‌دهد.

تابع هدف (۳۳) کل زمان رسیدن وسایل حمل و نقل به مراکز تأمین اقلام امدادی و پناهگاه‌ها را نشان می‌دهد. محدودیت (۳۴) بیانگر این است که در صورت اعزام وسیله حمل و نقل، آن وسیله از انباری که در آن مستقر شده به سمت یکی از تأمین‌کننده‌ها شروع به حرکت می‌کند. محدودیت (۳۵) محدودیت تعادل جریان برای مراکز تأمین اقلام امدادی را نشان می‌دهد. محدودیت (۳۶) بیانگر این است که اگر وسیله‌ای به مرکز تأمین اختصاص یابد، قبل از آن فقط انبار محل استقرار وسیله یا یک مرکز تأمین دیگری وجود دارد. محدودیت‌های (۳۷) و (۳۸) رابطه بین ۲ متغیر Q_i^v و Y_i^v را برای هر مرکز تأمین اقلام امدادی و هر پناهگاه نشان می‌دهد که در محدودیت (۳۷) زمانی که Q_i^v مقدار بزرگ‌تر از صفر می‌گیرد، سبب می‌شود که Y_i^v مقدار یک را اختیار کند و در محدودیت (۳۸) زمانی که Q_i^v مقدار صفر را اختیار می‌کند، باعث می‌شود Y_i^v مقدار صفر را انتخاب کند. محدودیت (۳۹) بیانگر این است که اگر

$$\sum_{j \in \{k | HU_k = 1\} \cup S} X_{ji}^v = Y_i^v \quad \forall i \in S, v \in V \quad (39)$$

$$\sum_{v \in V} Q_i^v = d_i \quad \forall i \in S \quad (40)$$

$$X_{ii}^v = 0 \quad \forall i \in N, v \in V \quad (41)$$

$$\sum_{v \in V} Q_i^v \leq S_i \quad \forall i \in \{k | HU_k = 1\} \quad (42)$$

$$\sum_{i \in \{k | HU_k = 1\}} Q_i^v \leq Cap_v Z_v \quad \forall v \in V \quad (43)$$

$$\sum_{i \in S} Q_i^v = \sum_{i \in \{k | HU_k = 1\}} Q_i^v \quad \forall v \in V \quad (44)$$

$$\sum_{v \in V} Z_v \leq V \quad (45)$$

$$T_i^v = 0 \quad \forall i \in D(v), v \in V \quad (46)$$

$$(T_i^v + Dt_i + C_{ij}) - BigM(1 - X_{ij}^v) \leq T_i^v \quad (47)$$

$$\forall j \in \{k | HU_k = 1\}, v \in V, i \in D(v) \cup \{k | HU_k = 1\}$$

$$(T_i^v + Dt_i + C_{ij}) - BigM(1 - X_{ij}^v) \leq T_i^v \quad (48)$$

$$\forall j \in S, v \in V, i \in \{k | HU_k = 1\} \cup S$$

$$T_i^v \leq b_i \quad \forall v \in V, i \in S \quad (49)$$

$$X_{ij}^v, Y_i^v, Z_v \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N, v \in V \quad (50)$$

$$T_i^v, Q_i^v \geq 0 \quad \forall i \in N, v \in V \quad (51)$$

معادله (۱) تابع هدف مسئله است که متشکل از ۶ بخش هزینه‌ای است. در بخش اول هزینه ثابت احداث تسهیلات، در بخش دوم هزینه احداث زیرساخت بین هابی، در بخش سوم هزینه حمل و نقل در صورت حمل مستقیم کالا و در بخش‌های چهارم، پنجم و ششم هزینه حمل و نقل در صورت استفاده از شبکه هابی محاسبه می‌شود. محدودیت (۲) تعداد هاب‌های احداثی از هر نوع با پشتیبانی روش حمل و نقل معین را مشخص می‌کند. محدودیت (۳) بیان می‌کند که هر گره غیرهاب می‌تواند تنها به یک هاب تخصیص یابد. محدودیت‌های (۴) و (۵) رابطه بین ۲ نوع متغیر احداث تسهیل (یعنی تعداد هاب‌های احداثی از هر نوع با پشتیبانی روش حمل و نقل معین و گره غیرهاب تخصیص یافته به یک هاب) را برقرار می‌کند. محدودیت (۶) نشان دهنده این است که یک گره زمانی می‌تواند به یک هاب تخصیص یابد که هاب مورد نظر احداث شده باشد. کارکرد محدودیت (۷) در این است که یک ارتباط بین هابی با استفاده از یک روش حمل و نقل (غیر از جاده‌ای) زمانی می‌تواند برقرار شود که هر ۲ گره مورد نظر به عنوان هاب انتخاب شده و از روش مورد نظر پشتیبانی کنند. این ارتباط

وسيله‌ای به یک پناهگاه اختصاص یابد، قبل از آن پناهگاه فقط یک مرکز تأمین اقلام امدادی قرار گرفته است. محدودیت (۴۰) میزان تقاضای هر پناهگاه را برای اقلام امدادی نشان می‌دهد. محدودیت (۴۱) از ایجاد حلقه در هر گره از شبکه جلوگیری می‌کند. محدودیت (۴۲) حداکثر میزان موجودی اقلام امدادی برای هر مرکز تأمین را نشان می‌دهد. محدودیت (۴۳) بیانگر حداکثر ظرفیت هر وسیله حمل‌ونقل است. محدودیت (۴۴) بیانگر این است که هر وسیله حمل‌ونقل تعداد اقلامی که از مراکز تأمین مختلف بارگیری می‌کند، با تعداد اقلامی که در پناهگاه تخلیه می‌کند، با هم برابر است. محدودیت (۴۵) حداکثر تعداد وسایل حمل‌ونقل در دسترس را نشان می‌دهد. محدودیت (۴۶) بیانگر این است که زمان شروع حرکت هر وسیله حمل‌ونقل از انبار محل استقرارش صفر در نظر گرفته می‌شود. محدودیت‌های (۴۷) و (۴۸) زمان رسیدن هر وسیله حمل‌ونقل به هر مرکز تأمین اقلام امدادی و هر پناهگاه را به ترتیب نشان می‌دهند. محدودیت (۴۹) بیانگر پنجره زمانی برای زمان رسیدن وسایل امدادی به پناهگاه‌ها است. محدودیت‌های (۵۰) و (۵۱) محدوده مقدارگیری متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

۳-۱- روش حل

حل مسئله برنامه‌ریزی چندسطحی به منظور رسیدن به پاسخ‌های بهینه سراسری همواره به عنوان مسئله‌ای پیچیده در علم تحقیق در عملیات مدنظر محققان بوده و تاکنون روشی جامع برای حل آن ارائه نشده است. در حقیقت حل مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی با وجود متغیرهای گسسته در سطح پیرو همواره به عنوان مسئله‌ای باز در تحقیق در عملیات مطرح است؛ اما جهت حصول پاسخ‌های عددی قابل اطمینان هر محقق بر اساس ساختار مسئله خود از الگوریتمی ابتکاری استفاده کرده تا بتواند شرایط موجود در مفهوم روش KKT را شبیه‌سازی و مسئله دوسطحی را به صورت تک سطحی حل کند.

در این تحقیق الگوریتمی ابتکاری مبتنی بر شمارش کامل به منظور حصول پاسخ‌های عددی توسعه یافته است. ساختار این الگوریتم بدین صورت است که در ابتدا تمامی پاسخ‌های ممکن ارائه شده توسط سطح رهبر به عنوان مجموعه پاسخ‌های اولیه در نظر گرفته می‌شود. سپس سطح پیرو به‌ازای هر یک از این پاسخ اقدام به حل مسئله خود کرده و مجموعه پاسخ‌های حاصله به‌ازای هر یک از اعضای مجموعه پاسخ‌های رهبر را به عنوان مجموعه جدیدی ذخیره می‌کند. در نهایت هر یک از پاسخ‌های موجود در مجموعه جدید در مدل سطح رهبر جایگذاری شده و مقدار تابع هدف محاسبه می‌شود. از بین تمامی نتایج موجود پاسخی که دارای بهترین مقدار عددی است، به عنوان پاسخ مطلوب مسئله در نظر گرفته خواهد شد. گام‌های اجرایی این الگوریتم را می‌توان به صورت شبه‌کد زیر ارائه داد.

گام ۱- تولید استراتژی‌های تصمیم مختلف سطح رهبر (تعیین تمام پاسخ‌های موجه ممکن)

گام ۲- ذخیره مقدار متغیرهای تصمیم سطح رهبر به‌ازای هر استراتژی تولید شده در گام یک در مجموعه Strategies
 گام ۳- حل مسئله سطح پیرو به‌ازای مقادیر ثابت شده متغیرهای سطح رهبر بر اساس مجموعه Strategies
 گام ۴- ذخیره مقدار متغیرهای تصمیم تولید شده برای سطح پیرو در گام ۳ در مجموعه Initial Solutions
 گام ۵- جایگذاری هر یک از متغیرهای تصمیم موجود در مجموعه‌های Strategies و Initial Solutions در مدل رهبر و محاسبه (بدون بهینه‌سازی) مدل رهبر به‌ازای هر یک عضو از مجموعه‌ها

گام ۶- انتخاب بهترین پاسخ حاصله بر اساس مقدار تابع هدف مدل رهبر بر اساس ساختار گام ۵ به عنوان پاسخ نهایی موضوع بسیار مهم در اجرای این الگوریتم این است که در کردهای عددی با ابعاد بزرگ نمی‌توان تمامی پاسخ‌های ممکن برای رهبر را تولید کرد. در واقع زمانی که ابعاد مثال‌های عددی رشد کند، تعداد پاسخ‌های موجود سطح رهبر به شدت افزایش یافته و عملاً تولید تمام پاسخ‌های موجه غیرممکن است. بنابراین مطلوب به نظر می‌رسد تنها بخشی از پاسخ‌ها به عنوان استراتژی‌های مورد بررسی در نظر گرفته شود. اما تعیین مجموعه‌ای مناسب از استراتژی‌ها خود به عنوان چالش جدیدی شناخته خواهد شد؛ چراکه در صورت عدم انتخاب چند استراتژی مناسب ممکن است بخشی از فضای پاسخ‌ها که پاسخ بهینه در آن قرار دارد، از دست رفته و عملاً کارکرد الگوریتم غیرقابل ارزیابی باشد. بدین منظور نیاز است که سیاستی مطلوب برای تولید استراتژی‌هایی با کیفیت مدنظر قرار گیرد. بدین منظور در این پژوهش ابتدا با استفاده از یک الگوریتم جست‌وجو محلی مبتنی بر پاسخ، استراتژی‌های مطلوب تولید و سپس گام‌های ۲ تا ۶ الگوریتم اجرا خواهد شد.

۳-۱-۱- الگوریتم جست‌وجوی محلی برای تولید استراتژی‌های سطح رهبر

تلاش می‌کند در طی تکرارهای متوالی یک پاسخ اولیه را از طریق جایگزینی با پاسخ‌های همسایه بهبود ببخشد. اما تعداد پاسخ‌های همسایه یک راه حل غیرقابل شمارش است. بنابراین نقطه قوت یک الگوریتم جست‌وجوی محلی کارا در یافتن پاسخ‌های همسایه مؤثر^۲ است [۱۷]. بدین منظور در این تحقیق ساختاری ابتکاری جهت انجام جست‌وجوهایی با تأثیرگذاری بالا در ایجاد پاسخ‌های متنوع مطابق با رویه زیر ارائه می‌شود.

یک جمعیت P_t با اندازه N (که در آن N تعداد متغیرها را نشان می‌دهد) و یک راه حل $(X_{lit}, X_{2it}, \dots, X_{nit})$ در جمعیت P_t مشخص می‌شود. گفتنی است که n به تعداد متغیرها، i به i -امین راه حل در جمعیت و t به شماره جمعیت اشاره دارد. مجموعه S_{kit} به عنوان مجموعه همسایه‌ها روی k -امین متغیر در راه حل $X_{i,t}$ است، تعریف می‌شود.

$$S_{kit} = \{W_{kit}^+, W_{kit}^-\} \quad ۵۲$$

$$W_{kit}^+ = X_{kit} + c \times (u_{kit} - v_{kit}) \quad ۵۳$$

$$W_{kit}^- = X_{kit} - c \times (u_{kit} - v_{kit})$$

که در آن W_{kit}^- و W_{kit}^+ به ۲ همسایه راه حل X_{kit} اشاره دارد. همچنین $u_{kit} = (u_{1it}, u_{2it}, \dots, u_{nit})$ ، $k = \{1, 2, \dots, n\}$ و $v_{kit} = (v_{1it}, v_{2it}, \dots, v_{nit})$ به ۲ راه حل تصادفی انتخاب شده از جمعیت P_i و c به فاکتور به هم ریختگی که طبق توزیع نرمال $N = (\mu, \sigma^2)$ به دست می آید، اشاره دارد. استفاده از توزیع نرمال مطابق یک روش ارزیابی 2 (ES) است. عملگر جهش در (ES)، از طریق اضافه کردن random noise drawn با استفاده از توزیع نرمالی طبق رابطه (۵۵) بر روی پاسخ های موجود اعمال می شود:

$$X_i' = X_i + N(0, \sigma^2) \quad (55)$$

که در آن X_i به متغیر راه حل اشاره دارد. X_i' یک مقدار جدید از X_i به وسیله اجرای یک عملگر جهش و σ توان جهش نامیده می شود. اما فاکتور به هم ریختگی مورد استفاده در الگوریتم جست و جوی محلی پیشنهادی کمی با (ES) متفاوت است. تفاوت اصلی در این ۲ الگوریتم شامل ۲ بخش زیر است:

شیوه به هم ریختگی متفاوت است. در الگوریتم پیشنهادی ارزش به هم ریختگی طبق $N = (\mu, \sigma^2)$ بوده و در $(u_{kit} - v_{kit})$ ضرب می شود؛ در حالی که در ES فاکتور به هم ریختگی به منظور تولید فرزند جدید به طور مستقیم به مقدار متغیر اضافه می شود. تنظیمات σ هم متفاوت است. در الگوریتم پیشنهادی مقدار σ ثابت است؛ در حالی که در ES مقدار σ بر اساس برخی قوانین موجود در ES تغییر می کند.

در حقیقت استفاده از فاکتور به هم ریختگی در الگوریتم جست و جوی محلی ارائه شده، به عنوان یک معیار تصمیم گیر در نظر گرفته نشده است. اما به هرحال دارای تأثیر کمی در روند بهبود اجرای الگوریتم است. برای فاکتورهای u و v هم بایستی تنظیمات دقیقی را انجام داد. برای فاکتور u می توان به راحتی توجه کرد که باید دارای مقدار بزرگ تر از صفر ($u > 0$) باشد. همچنین در مورد مقدار آن هم باید دقت کرد؛ چرا که مقادیر بسیار

بزرگ باعث می شود که مقدار $(u_{kit} - v_{kit})$ همچنان بسیار بزرگ باشد و باعث تشدید فاکتور به هم ریختگی الگوریتم می شود. از طرفی مقادیر بسیار کوچک آن باعث می شود که مقدار $(u_{kit} - v_{kit})$ هم بسیار کوچک شده و با ضرب شدن فاکتور c در آن مقدار بسیار کوچک تری حاصل و فاکتور به هم ریختگی بسیار کم شود که در نهایت میزان همگرایی الگوریتم هم کم می شود. در مورد پارامتر σ هم می توان به راحتی گفت که باید دارای مقدار بزرگ تر از صفر باشد. به علاوه اگر σ بسیار بزرگ یا بسیار کوچک باشد، پارامتر c تحت تأثیر قرار گرفته و متعاقباً همگرایی الگوریتم تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. پیشنهاد می شود مقادیر σ و μ در بازه $[0, 1]$ باشد.

در هر تولید پاسخ در روند اجرای الگوریتم جست و جوی محلی یک مجموعه از همسایه های k -امین متغیر از پاسخ X_i بر اساس معادلات $(4-17)$ - $(4-19)$ تولید می شود. سپس در مورد اینکه آیا ۲ پاسخ همسایه می توانند به عنوان پاسخ موجود جایگزین شوند یا نه، از یک استراتژی جایگزینی استفاده می شود. در این استراتژی فرض بر این است که ۲ پاسخ موجود هستند؛ راه حل همسایه W و راه حل موجود X به منظور مقایسه پاسخ ها ۳ حالت زیر می تواند رخ دهد:

۱. پاسخ X توسط پاسخ W مغلوب می شود. $(W \succ X)$
۲. پاسخ W توسط پاسخ X مغلوب می شود. $(W \prec X)$
۳. هر ۲ پاسخ X و W توسط دیگری نامغلوب هستند. $(W \nprec X)$

مراحل استراتژی جایگزینی مطابق با شبه کد یک است. مشخص است که با جایگزینی پاسخی موجود با هر پاسخ همسایه دیگر الگوریتم به سمت یافتن پاسخ نهایی همگرا می شود. اگر $X_{it} \prec W_{kit}^+$ یا $X_{it} \succ W_{kit}^-$ باشد، یک راه حل همسایه برای جایگزینی X_{it} انتخاب می شود. این موضوع باعث می شود که میزان همگرایی پاسخ ها افزایش یابد؛ بنابراین در نهایت مجموعه ای از پاسخ های اولیه با کیفیت بالا خواهیم داشت. با توجه به اینکه پاسخ های تولید شده دارای ساختاری موجه هستند، بنابراین می توان از آن ها به عنوان استراتژی های اولیه در سطح رهبر استفاده کرد.

If : $(w_{kit}^+ \succ x_{it} \text{ and } w_{kit}^- \succ x_{it}) \leftrightarrow (x_{it} \leftarrow \text{randomly}(w_{kit}^+ \text{ or } w_{kit}^-))$
 else If : $(w_{kit}^+ \succ x_{it} \text{ or } w_{kit}^- \succ x_{it}) \leftrightarrow (x_{it} \leftarrow \text{dominated}(w_{kit}^+ \text{ or } w_{kit}^-))$
 else If : $(w_{kit}^+ \nprec x_{it} \text{ and } w_{kit}^- \nprec x_{it}) \leftrightarrow (x_{it} \leftarrow \text{randomly}(w_{kit}^+ \text{ or } w_{kit}^-))$
 else If : $(w_{kit}^+ \nprec x_{it}) \leftrightarrow (x_{it} \leftarrow w_{kit}^+)$
 else If : $(w_{kit}^- \nprec x_{it}) \leftrightarrow (x_{it} \leftarrow w_{kit}^-)$
 else : Do_nothing

شبه کد ۱- مراحل استراتژی جایگزینی پاسخ ها

۴- ارزیابی عملکرد مدل تحقیق

در این بخش به منظور بررسی صحت عملکرد مدل ارائه شده، یک مثال های عددی مطابق با ساختار ارائه شده در بخش (۴-۱) تولید خواهد شد و به کمک الگوریتم ابتکاری تحقیق حل می شود. گفتنی است که مدل های تحقیق در رویه الگوریتم ابتکاری با استفاده از حل کننده Cplex ۱۲ در محیط نرم افزار GAMS ۲۴ حل خواهد شد.

۴-۱- ساختار تولید مثال عددی

با توجه به اینکه بررسی دقیق کارایی مدل ریاضی و البته الگوریتم های حل نیازمند حل نمونه های عددی مختلف در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ دارد، بنابراین باید تعداد زیادی مثال عددی طراحی شود. اما این کار نیازمند صرف زمان بسیاری خواهد بود؛ چراکه مقداردهی به تک تک پارامترها باید بر اساس شرایط موجود در دنیای واقعی باشد. از این رو، به منظور صرفه جویی زمانی رویه ای کلی برای تولید نمونه های عددی در نظر گرفته خواهد شد تا بتوان با سرعت بیشتری تمام پارامترهای لازم جهت مثال های عددی را تولید کرد. بدین منظور در ابتدا برای هر مثال کوچک تعداد گره های شبکه به صورت تصادفی از بازه ۱۰ تا ۳۰ انتخاب خواهد شد. در واقع $N_{\alpha\Gamma} = random[10-30]$ برای مثال های متوسط و بزرگ هم $N_{\alpha\Gamma} = random[30-80]$ و در نهایت $N_{\alpha\Gamma} = random[80-200]$ اما برای تعیین گره های بالقوه جهت احداث هاب خواهیم داشت $H_{\alpha\Gamma} = 0.2 \times N_{\alpha\Gamma}$ ، $H_{\alpha\Gamma} = 0.2 \times N_{\alpha\Gamma}$ و $H_{\alpha\Gamma} = 0.2 \times N_{\alpha\Gamma}$ ، تسهیلات هم برای مثال های عددی کوچک برابر با $T_{\alpha\Gamma} = 2$ ، برای مثال های متوسط و بزرگ برابر با $T_{\alpha\Gamma} = 3$ در نظر گرفته خواهد شد. روش های حمل و نقل همواره برابر با $M=2$ (روش زمینی و هوایی) خواهد بود. نوع کالاها برای مثال های عددی در ابعاد کوچک به ترتیب به صورت $E_{\alpha\Gamma} = random[2-5]$ ، $E_{\alpha\Gamma} = random[6-12]$ و $E_{\alpha\Gamma} = random[14-25]$ است. در

مورد انواع وسایل حمل و نقل زمینی هم خواهیم داشت $V_{\alpha\Gamma} = random[2-3]$ ، $V_{\alpha\Gamma} = random[4-6]$ و $V_{\alpha\Gamma} = random[7-10]$ در تولید مقدار پارامترهای ورودی هم $P'_{\alpha\Gamma} = [2-4]$ ، $P'_{\alpha\Gamma} = [5-7]$ و $P'_{\alpha\Gamma} = [5-10]$ هزینه احداث هاب ها برای تمامی مثال ها دارای بازه یکسانی خواهد بود؛ بنابراین $FH_k^m = [1000-2000] \times 10^7$ ریال است. همچنین مقدار پارامتر جریان بین گره ها $f_{ij}^e = [50-100]$ است. هزینه انتقال هر واحد کالا بین هاب ها در بازه $\hat{C}_{ij} = [200-500]$ ریال است. هزینه اتصال هاب ها هم در بازه $HL_k^m = [2000-3000] \times 10^4$ در نظر گرفته می شود. ظرفیت وسایل نقلیه جهت جابه جایی به صورت تصادفی از مجموعه انتخاب $cap^v = \{10, 30, 50\}$ تن می شود. در رابطه با هزینه استفاده از وسایل نقلیه زمینی هم مجموعه هزینه ظرفیت $CV^v \in \{1000, 2000, 3000\} \times 10^4$ ریال در نظر گرفته می شود. ظرفیت کانتینرهای حمل غیرزمینی هم در بازه $Size^m = [50, 100]$ تن است. هزینه تخلیه و بارگیری کانتینرهای هم در بازه $d_k^m = [800-1000] \times 10^4$ ریال است. زمان حمل نقل بین گره ها هم بر اساس تابعی خطی از فاصله اقلیدسی بین آن ها در نظر گرفته می شود. زمان عملیاتی مورد نیاز برای روش حمل و نقل هم در بازه $ot_k^m = [1-3]$ است. سایر پارامترها هم به صورت بازه های زیر در نظر گرفته خواهد شد.

بدین صورت تمامی پارامترها ورودی مسئله در بازه های عددی منطقی مقداردهی شده و می توان به کمک آن ها کردهای عددی را حل کرد.

۴-۲- نتایج عددی

به منظور بررسی عملکرد مدل ارائه شده یک مثال عددی در ابعاد بزرگ (کوشیده شده که بزرگ ترین ابعاد ممکن در نظر گرفته شود) مطابق با تشریحات ارائه شده در بخش (۴-۱) طراحی شده است. مطابق با ساختار الگوریتم ابتکاری ارائه شده، لازم است که ابتدا استراتژی های مربوط به تصمیمات سطح رهبر تولید شود.

C_{ij}	=	زمان حمل محصولات از گره $i \in N$ به گره $j \in N$	ساعت $[10-50]$
S_i	=	مقدار عرضه اقلام امدادی مرکز تأمین $i \in N$	$[5000-20000]$
d_i	=	تقاضای پناهگاه $i \in S$ برای اقلام امدادی	$[200-1000]$
b_i	=	حداکثر زمان رسیدن کالاها به گره متقاضی $i \in S$	ساعت $[100-150]$
Cap_v	=	ظرفیت وسیله نقلیه $v \in V$	تن $[10-50]$

جدول ۱- مجموعه استراتژی های تولید شده برای سطح رهبر

سناریو	اقدامات	قطاع های انتخابی
۱	لینک های مستقیم ایجاد شده	۲-۱-۳۲-۳۶-۴-۱۸-۱۴-۳۳-۳۰-۹-۲۸-۱۲-۲۰-۳۴-۵-۱۱-۲۲
	هاب های احداث شده	۱۱-۱۶-۲۳-۱۰-۲۲-۲۵-۸-۴
	لینک های ایجاد شده بین هاب و مناطق	۵-۱۴-۳۲-۶-۱۸-۲۱-۳۹-۲۹-۱۱-۹-۴۰-۳۱-۲۷-۸-۲۳-۱-۳۶-۷-۲۰-۳۵
	لینک های ایجاد شده بین هاب ها	۴۰-۲۹-۴-۲۰-۳-۲-۲۸

ادامه جدول ۱- مجموعه استراتژی‌های تولیدشده برای سطح رهبر

سناریو	اقدامات	قطاع‌های انتخابی
۲	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۲۶-۳۶-۱۱-۱۳-۵-۱۷-۳-۷-۱-۳۵-۲۱-۳۴-۱۹-۲۴-۳۳-۱۲-۴۰
	هاب‌های احداث‌شده	۱۲-۲۵-۲۹-۲۶-۳۱-۳۲-۶-۱-۵-۳-۳۵-۳۴-۳۰-۳۹-۹-۳۷-۱۳
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۱۷-۲۶-۴-۵-۳۱-۱۹-۲۵-۳۰-۲۷-۱۸-۲۹-۳
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۱۰-۳۶-۲۵-۱۹-۶-۱۲-۳۱-۱۶-۲۰-۲۷-۲۶-۳-۷
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۱۷-۱۹-۳۰-۲۷-۲۹-۲۶-۷-۴۰-۳۲-۳۶-۱۳-۲۳-۱۸-۱۵
۳	هاب‌های احداث‌شده	۷-۲۲-۱۳-۶-۱۸-۲۹-۸
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۳۶-۲-۲۰-۱-۳۵-۱۵-۱۲-۳۹-۴-۲۲-۱۶-۳۰-۲۷-۹-۷-۱۷-۳
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۳۵-۳۴-۲۴-۲۱-۱-۳۷-۸-۲۷-۴-۳۲-۱۱-۳۳-۳۹-۲-۶-۲۲-۳۱-۱۹-۲۰
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۳۴-۱۲-۴۰-۱۶-۹-۲۸-۲-۱۱-۲۴
	هاب‌های احداث‌شده	۲۱-۳۸-۳۵-۸-۳۶-۲۹-۱۵-۴-۶-۲۵-۳۱-۹
۴	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۲۶-۲۰-۱۵-۳۵-۲۸-۲۳-۴۰-۱۳-۳۱-۱۴-۲۱-۱-۱۸-۱۹-۹-۲۵-۳۹
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۳۶-۳۵-۱۱-۵-۳۲-۱۴-۱۰-۲۵-۲-۶-۳۳-۱۸-۸-۲۹-۲۱-۱۲-۳۷-۳۱-۲۶-۳۴
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۲۲-۱۱-۵-۳۴-۲۰-۱۲-۲۸-۹-۳۰-۳۳-۱۴-۱۸-۴-۳۶-۳۲-۱-۲
	هاب‌های احداث‌شده	۴-۸-۲۵-۲۲-۱۰-۲۳-۱۶-۱۱
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۵-۱۴-۳۲-۶-۱۸-۲۱-۳۹-۲۹-۱۱-۹-۴۰-۳۱-۲۷-۸-۲۳-۱-۳۶-۷-۲۰-۳۵
۵	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۴۰-۲۹-۴-۲۰-۳-۲-۲۸
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۲۶-۳۶-۱۱-۱۳-۵-۱۷-۳-۷-۱-۳۵-۲۱-۳۴-۱۹-۲۴-۳۳-۱۲-۴۰
	هاب‌های احداث‌شده	۱۲-۲۵-۲۹-۲۶-۳۱-۳۲-۶-۱-۵-۳-۳۵-۳۴-۳۰-۳۹-۹-۳۷-۱۳
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۱۷-۲۶-۴-۵-۳۱-۱۹-۲۵ ۳۰-۲۷-۱۸-۲۹-۳
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۱۰-۳۶-۲۵-۱۹-۶-۱۲-۳۱-۱۶-۲۰-۲۷-۲۶-۳-۷
۶	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۱۷-۱۹-۳۰-۲۷-۲۹-۲۶-۷-۴۰-۳۲-۳۶-۱۳-۲۳-۱۸-۱۵
	هاب‌های احداث‌شده	۷-۲۲-۱۳-۶-۱۸-۲۹-۸
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۳۶-۲-۲۰-۱-۳۵-۱۵-۱۲-۳۹-۴-۲۲-۱۶-۳۰-۲۷-۹-۷-۱۷-۳
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۳۵-۳۴-۲۴-۲۱-۱-۳۷-۸-۲۷-۴-۳۲-۱۱-۳۳-۳۹-۲-۶-۲۲-۳۱-۱۹-۲۰
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۳۴-۱۲-۴۰-۱۶-۹-۲۸-۲-۱۱-۲۴
۷	هاب‌های احداث‌شده	۲۱-۳۸-۳۵-۸-۳۶-۲۹-۱۵-۴-۶-۲۵-۳۱-۹
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۲۶-۲۰-۱۵-۳۵-۲۸-۲۳-۴۰-۱۳-۳۱-۱۴-۲۱-۱-۱۸-۱۹-۹-۲۵-۳۹
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۳۶-۳۵-۱۱-۵-۳۲-۱۴-۱۰-۲۵-۲-۶-۳۳-۱۸-۸-۲۹-۲۱-۱۲-۳۷-۳۱-۲۶-۳۴
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۲۲-۱۱-۵-۳۴-۲۰-۱۲-۲۸-۹-۳۰-۳۳-۱۴-۱۸-۴-۳۶-۳۲-۱-۲
	هاب‌های احداث‌شده	۴-۸-۲۵-۲۲-۱۰-۲۳-۱۶-۱۱
۸	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۵-۱۴-۳۲-۶-۱۸-۲۱-۳۹-۲۹-۱۱-۹-۴۰-۳۱-۲۷-۸-۲۳-۱-۳۶-۷-۲۰-۳۵
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۴۰-۲۹-۴-۲۰-۳-۲-۲۸
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۲۶-۳۶-۱۱-۱۳-۵-۱۷-۳-۷-۱-۳۵-۲۱-۳۴-۱۹-۲۴-۳۳-۱۲-۴۰
	هاب‌های احداث‌شده	۱۲-۲۵-۲۹-۲۶-۳۱-۳۲-۶-۱-۵-۳-۳۵-۳۴-۳۰-۳۹-۹-۳۷-۱۳
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۱۷-۲۶-۴-۵-۳۱-۱۹-۲۵ ۳۰-۲۷-۱۸-۲۹-۳
۹	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۱۰-۳۶-۲۵-۱۹-۶-۱۲-۳۱-۱۶-۲۰-۲۷-۲۶-۳-۷
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۱۷-۱۹-۳۰-۲۷-۲۹-۲۶-۷-۴۰-۳۲-۳۶-۱۳-۲۳-۱۸-۱۵
	هاب‌های احداث‌شده	۷-۲۲-۱۳-۶-۱۸-۲۹-۸
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۳۶-۲-۲۰-۱-۳۵-۱۵-۱۲-۳۹-۴-۲۲-۱۶-۳۰-۲۷-۹-۷-۱۷-۳
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۳۵-۳۴-۲۴-۲۱-۱-۳۷-۸-۲۷-۴-۳۲-۱۱-۳۳-۳۹-۲-۶-۲۲-۳۱-۱۹-۲۰
۱۰	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۳۴-۱۲-۴۰-۱۶-۹-۲۸-۲-۱۱-۲۴
	هاب‌های احداث‌شده	۲۱-۳۸-۳۵-۸-۳۶-۲۹-۱۵-۴-۶-۲۵-۳۱-۹
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۲۶-۲۰-۱۵-۳۵-۲۸-۲۳-۴۰-۱۳-۳۱-۱۴-۲۱-۱-۱۸-۱۹-۹-۲۵-۳۹
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۳۶-۳۵-۱۱-۵-۳۲-۱۴-۱۰-۲۵-۲-۶-۳۳-۱۸-۸-۲۹-۲۱-۱۲-۳۷-۳۱-۲۶-۳۴
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۲۲-۱۱-۵-۳۴-۲۰-۱۲-۲۸-۹-۳۰-۳۳-۱۴-۱۸-۴-۳۶-۳۲-۱-۲
۱۱	هاب‌های احداث‌شده	۴-۸-۲۵-۲۲-۱۰-۲۳-۱۶-۱۱
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۵-۱۴-۳۲-۶-۱۸-۲۱-۳۹-۲۹-۱۱-۹-۴۰-۳۱-۲۷-۸-۲۳-۱-۳۶-۷-۲۰-۳۵
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۴۰-۲۹-۴-۲۰-۳-۲-۲۸
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۲۶-۳۶-۱۱-۱۳-۵-۱۷-۳-۷-۱-۳۵-۲۱-۳۴-۱۹-۲۴-۳۳-۱۲-۴۰
	هاب‌های احداث‌شده	۱۲-۲۵-۲۹-۲۶-۳۱-۳۲-۶-۱-۵-۳-۳۵-۳۴-۳۰-۳۹-۹-۳۷-۱۳
۱۲	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۱۷-۲۶-۴-۵-۳۱-۱۹-۲۵ ۳۰-۲۷-۱۸-۲۹-۳
	لینک‌های ایجادشده بین هاب‌ها	۱۰-۳۶-۲۵-۱۹-۶-۱۲-۳۱-۱۶-۲۰-۲۷-۲۶-۳-۷
	لینک‌های مستقیم ایجادشده	۱۷-۱۹-۳۰-۲۷-۲۹-۲۶-۷-۴۰-۳۲-۳۶-۱۳-۲۳-۱۸-۱۵
	هاب‌های احداث‌شده	۷-۲۲-۱۳-۶-۱۸-۲۹-۸
	لینک‌های ایجادشده بین هاب و مناطق	۳۶-۲-۲۰-۱-۳۵-۱۵-۱۲-۳۹-۴-۲۲-۱۶-۳۰-۲۷-۹-۷-۱۷-۳

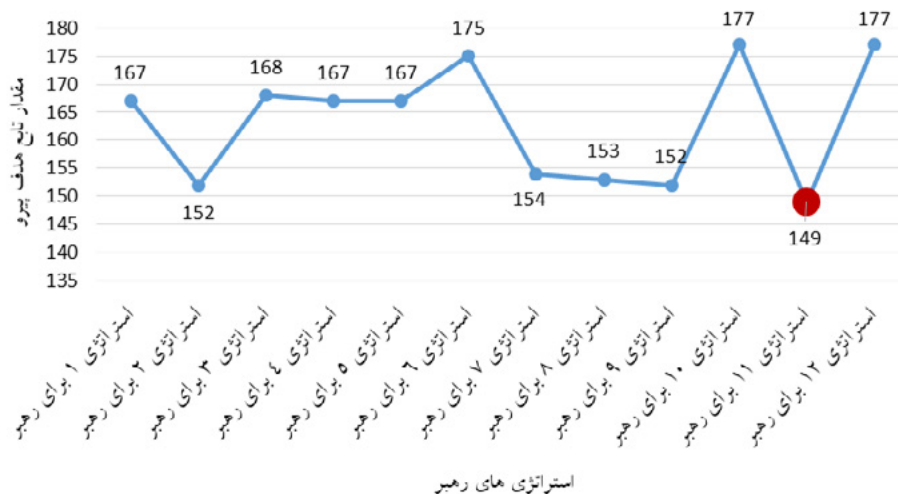
بدین منظور ۱۲ استراتژی برتر انتخاب و مطابق با جدول ۱ ارائه می شود.

این استراتژی ها به عنوان متغیرهای ثابت شده وارد مدل سطح پیرو شده و توسط حل کننده Cplex حل می شود. در جدول زیر مقدار تابع هدف حاصل از حل مدل پیرو پس از ثابت شدن متغیرهای سطح رهبر ارائه شده است.

جدول ۲- مقدار تابع هدف سطح پیرو به ازای هریک از استراتژی های سطح رهبر

استراتژی تولید شده توسط رهبر	مقدار تابع هدف پیرو	استراتژی تولید شده توسط رهبر	مقدار تابع هدف پیرو
۱	۱۶۷	۷	۱۵۴
۲	۱۵۲	۸	۱۵۳
۳	۱۶۸	۹	۱۵۲
۴	۱۶۷	۱۰	۱۷۷
۵	۱۶۷	۱۱	۱۴۹
۶	۱۷۵	۱۲	۱۷۷

همان طور که مشاهده می شود، به ازای استراتژی ۱۱ تابع هدف پیرو دارای کمترین مقدار ممکن است. به کمک نمودار زیر می توان این برتری را به صورت مشخص تری مشاهده کرد.



شکل ۲- مقدار تابع هدف سطح پیرو به ازای استراتژی های رهبر

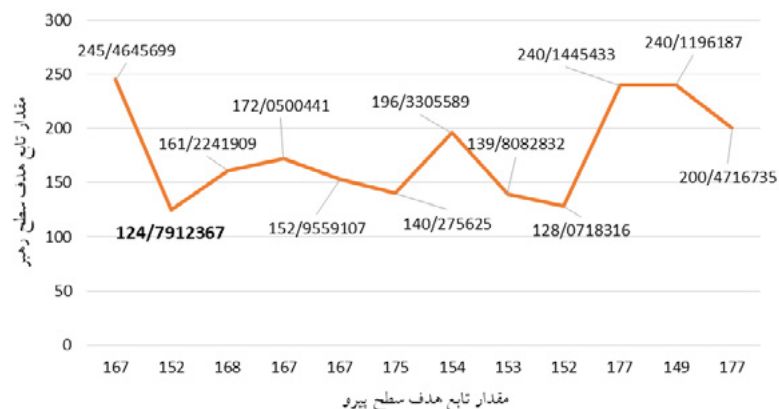
جدول ۳- مقدار تابع هدف سطح رهبر به ازای تصمیمات پیرو

استراتژی تولید شده توسط رهبر	مقدار تابع هدف پیرو	مقدار تابع هدف رهبر	استراتژی تولید شده توسط رهبر	مقدار تابع هدف پیرو	مقدار تابع هدف رهبر
۱	۱۶۷	۲۴۵۴۴۴۵۶۹۹۴	۷	۱۵۴	۱۹۶۳۳۰۵۵۸۸۷
۲	۱۵۲	۱۲۴۷۹۱۲۳۶۶۸	۸	۱۵۳	۱۳۹۸۰۸۲۸۳۱۵
۳	۱۶۸	۱۶۱۲۲۴۱۹۰۸۸	۹	۱۵۲	۱۲۸۰۷۱۸۳۱۵۷
۴	۱۶۷	۱۷۲۰۵۰۴۴۰۵	۱۰	۱۷۷	۲۴۰۱۴۴۵۴۳۳۴
۵	۱۶۷	۱۵۲۹۵۵۹۱۰۶۶	۱۱	۱۴۹	۲۴۰۱۱۹۶۱۸۶۵
۶	۱۷۵	۱۴۰۲۷۵۶۲۵۰۱	۱۲	۱۷۷	۲۰۰۴۷۱۶۷۳۴۵

همان طور که مشاهده می شود، استراتژی ۱۱ با داشتن مقدار ۱۴۹ ساعت برای تابع هدف پیرو دارای بهترین مقدار ممکن است. اما مطابق با گام ها الگوریتم تحقیق نیاز است که دوباره متغیرهای تولید شده برای سطح پیرو در مدل رهبر جایگذاری شده و بهترین مقدار ممکن برای هر ۲ مدل استخراج شود. در جدول زیر، مقدار تابع هدف رهبر به ازای جایگزینی متغیرهای سطح پیرو در آن ارائه می شود.

همان طور که مشاهده می شود، پس از جایگذاری مقدار متغیرهای تصمیم پیرو به ازای هر استراتژی در سطح رهبر، مقدار ۱۲۴۷۹۱۲۳۶۶۸ کمترین عددی تولید شده برای رهبر است. این مقدار تابع هدف به ازای استراتژی ۲ و مقدار تابع هدف سطح پیرو ۱۵۲ است. در حقیقت این مقدار بهترین تصمیم ممکن برای تصمیمات همزمان رهبر و پیرو است. نمودار زیر به صورت واضح برتری استراتژی ۲ به عنوان پاسخ نهایی برای تمامی تصمیمات را نشان می دهد.

بنابراین می توان تصمیم بهینه برای این مثال عددی را بدین صورت ارائه داد که مقدار تابع هدف سطح رهبر برابر با ۱۲۴۷۹۱۲۳۶۶۸ تومان، تابع هدف سطح پیرو برابر با ۱۵۲ ساعت و استراتژی نهایی جهت پیاده سازی استراتژی ۲ است. بدین صورت مشاهده می شود که الگوریتم ارائه شده، قادر به تولید پاسخ های بهینه محلی است. واضح است که تولید پاسخ بهینه سراسری



شکل ۳- مقدار تابع هدف سطح رهبر به ازای هریک از توابع هدف سطح پیرو

جدول ۴- تحلیل حساسیت مدل در حالت استفاده و عدم استفاده از هاب لجستیکی

ردیف	زمان حل (ثانیه)	مقدار تابع هدف در حالت عدم استفاده از هاب	مقدار تابع هدف در حالت استفاده از هاب	میزان بهبود
۱	۱۲۲,۴۲۷	۱۵۷۳۱۸۶۰۰۰	۱۵۷۳۱۸۶۰۰۰	-
۲	۱۲۱,۶۹۱	۱۶۳۱۶۰۷۰۰۰	۱۶۳۱۶۰۷۰۰۰	-
۳	۱۱۰,۵۰۹	۱۱۸۹۵۵۷۰۰۰	۱۱۸۹۵۵۷۰۰۰	-
۴	۱۲۴,۷۷۹	۶۷۶۰۴۲۰۰۰	۶۷۶۰۴۲۰۰۰	-
۵	۱۳۹,۵۱۷	۳۳۵۰۳۱۶۰۰۰	۳۲۰۴۷۹۳۰۰۰	۴,۳۴
۶	۱۳۴,۳۷۲	۲۳۶۰۱۹۹۰۰۰	۲۲۴۹۲۲۸۰۰۰	۴,۷۰
۷	۱۰۱,۰۴۳	۲۹۳۱۹۷۵۰۰۰	۲۸۲۱۱۶۴۰۰۰	۳,۷۸
۸	۱۲۴,۹۹۴	۲۳۷۸۱۳۰۰۰۰	۲۳۰۷۶۴۹۰۰۰	۲,۹۶
۹	۱۲۶,۱۷۹	۱۹۴۸۱۰۱۰۰۰	۱۸۶۵۵۹۹۰۰۰	۴,۲۳
۱۰	۱۱۸,۳۵۲	۴۷۱۶۱۵۴۰۰۰	۴۳۹۴۳۵۰۰۰۰	۶,۸۲

استفاده از هاب همچنان کالاهای را به صورت مستقیم و بدون استفاده از هاب ارسال کند. اما در مثال‌های ۵ تا ۱۰ شرایط متفاوت شده و مدل تصمیم به استفاده از هاب لجستیکی گرفته است. می‌توان مشاهده کرد که میزان بهبود مشخصی در تابع هدف رخ داده است. نمودار زیر مقدار این سطح بهبود را نشان می‌دهد.

۴-۲-۱-۲- حساسیت زمان حل نسبت به تغییر پارامترهای ورودی

مسئله‌ای دیگری که دارای اهمیت زیادی است، تأثیر زمان حل مسئله در مقادیر مختلف پارامترهای ورودی است. در واقع زمان حل مسئله مورد نظر خواه و ناخواه با تغییر پارامترها و متغیرهای مسئله تغییر خواهد کرد و عوامل متعددی باعث ایجاد تغییرات در زمان حل و همچنین پیچیدگی مسئله خواهند شد. هر کدام از این عوامل به نوبه‌ی خود بر زمان حل تأثیر دارند که به بررسی آن پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه مدل مسئله مورد نظر این تحقیق یک مسئله عدد صحیح خطی است، با بزرگ‌تر شدن سائز مسئله زمان حل هم به مراتب افزایش می‌یابد. اما عواملی که بر زمان حل تأثیرگذار هستند، عبارتند از:

۱. مقدار تقاضا
۲. تعداد محصولات
۳. تعداد وسایل نقلیه

نیازمند انجام شمارش کامل تمام استراتژی‌های ممکن برای رهبر است که عملاً غیرقابل انجام است. بنابراین به پاسخ‌های بهینه محلی، اما با کیفیت قابل قبول اکتفا می‌شود.

۴-۲-۱-۲- تحلیل حساسیت

با توجه به اینکه با استفاده از بررسی یک مثال عددی نمی‌توان به صورت دقیق در مورد صحت عملکرد یک مدل اظهار نظر کرد، بنابراین نیاز است که حساسیت مدل به ازای تغییر در برخی از پارامترهای ورودی برای مدل سطح رهبر به صورت شفاف بررسی شود.

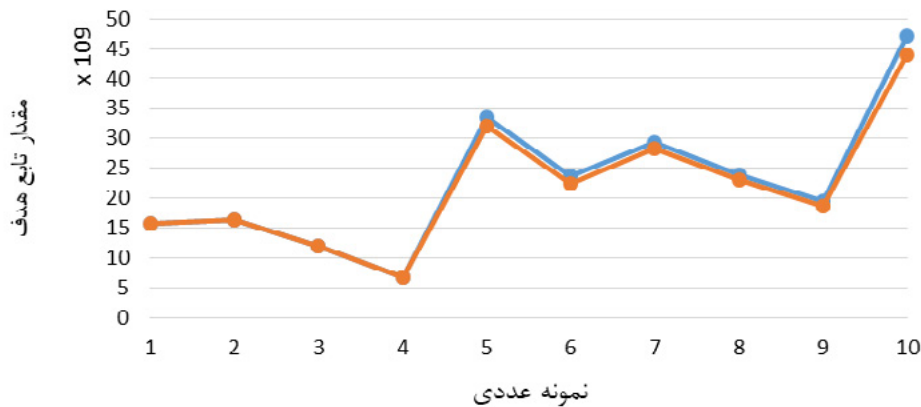
۴-۲-۱-۱- استفاده و عدم استفاده از هاب لجستیکی

در این بخش تعداد ۱۰ مثال عددی در ابعاد کوچک طراحی و سپس به کمک حل‌کننده Cplex حل می‌شود تا مقدار تابع هدف در حالت استفاده از هاب لجستیکی و عدم استفاده از آن بررسی شود. انتظار می‌رود که استفاده از هاب لجستیکی بتواند باعث کاهش هزینه به صورت محسوس شود.

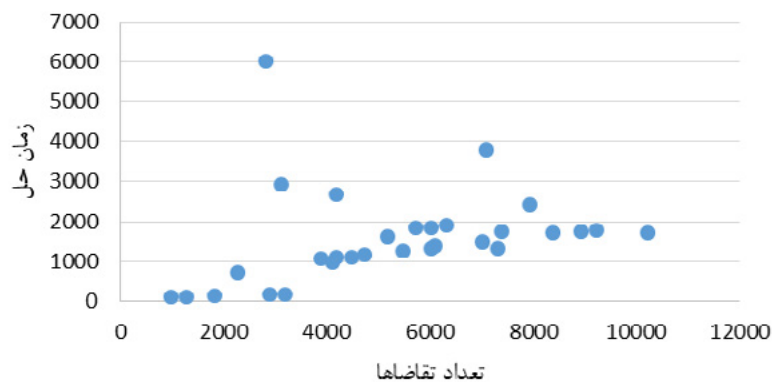
همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار بهبود تابع هدف در مثال‌های یک تا ۴ برابر با صفر بوده که نشان می‌دهد استفاده و عدم استفاده از هاب تأثیری بر مقدار تابع هدف ندارد. البته این موضوع به این دلیل پیش آمده که با توجه به مقدار پارامترهای ورودی مسئله، مدل تصمیم گرفته در صورت وجود و نبود امکان

پس از حل کردهای عددی مختلف با مقدار تقاضا، تعداد محصولات و البته تعداد وسایل نقلیه مختلف نمودارهای زیر روند حساسیت زمان حل مسئله نسبت به تغییر این پارامترها را نشان می‌دهد. به وضوح مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد تقاضاها یا همان محصولات و بالا رفتن سائز مسئله، زمان حل مسئله هم

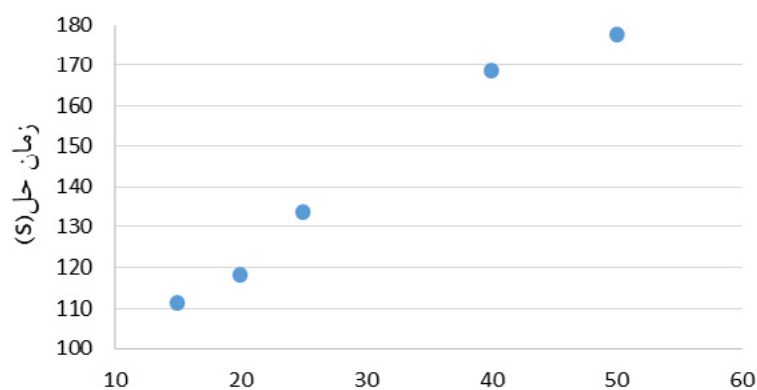
افزایش می‌یابد؛ به طوری که مسئله درسائزهای کوچک به صورت آنی به جواب دقیق می‌رسد و با افزایش تعداد محصولات و نزدیک شدن سائز مسئله به سائز دنیای واقعی زمان حل هم بسیار بالاتر خواهد رفت. در این نمودار مشاهده می‌شود، برای بعضی از مسائل زمان حل بسیار بالا است و دلیل اصلی آن طولانی شدن حل در



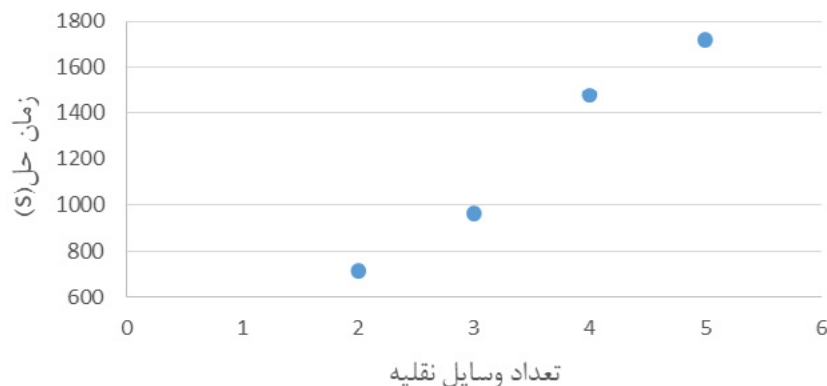
شکل ۴- اختلاف مقدار تابع هدف در استفاده و عدم استفاده از هاب لجستیکی



شکل ۵- تأثیر تعداد تقاضاها بر روی زمان حل



شکل ۶- تأثیر تعداد محصولات بر روی زمان حل



شکل ۷- تأثیر تعداد وسایل نقلیه بر روی زمان حل

تعیین مسیر حرکت وسایل نقلیه به عنوان یک تصمیم تاکتیکی وابسته به تصمیمات مربوط به تشکیل شبکه هاب لجستیکی بوده و بنابراین پس از حل مدل دوم حاصل می شود.

۴. سطح موجودی بهینه در هریک از انبارهای احداث شده چه مقدار باید باشد تا سطح ارائه خدمات به متقاضیان بیشینه شود؟

مدیریت موجودی هم مشابه با مسیریابی پس از حل مدل دوم حاصل می شود. این تصمیمات به صورت مستقیم وابسته به تعیین محل هاب ها بوده و بنابراین به عنوان مدل سطح پیرو ارائه شده است.

۵. استفاده از برنامه ریزی چندسطحی تا چه میزان بر اتخاذ تصمیمات نهایی اثرگذار است؟

استفاده از برنامه ریزی چندسطحی می تواند باعث یکپارچگی تصمیمات و ایجاد تصمیمات بهینه برای هر دوسطحی با توجه به نظرات یکدیگر شود. در صورتی که مدل ها به صورت مستقل حل شوند، نمی توان تضمینی ایجاد کرد که پس از اتخاذ تصمیم در هر سطح، سطح بعدی بتواند نتایج مناسبی را به دست آورد. بنابراین در یک ساختار هماهنگ می تواند نقطه تعادل تصمیمات تحت عنوان نقطه تعادل استکلیبرگ را به دست آورد.

پی نوشت

1. Maharjan and Hanaoka
2. Efficient neighbor solutions
3. evolution strategies

منابع

1. Van Wassenhove, L.N. and A.J. Pedraza Martinez, Using OR to adapt supply chain management best practices to humanitarian logistics. International Transactions in Operational Research, 2012. 19(1-2): p. 307-322.
2. Tatham, P. and M. Christopher, Humanitarian logistics: Meeting the challenge of preparing for and

نزدیکی گپ مورد نظر است که تبدیل به داده ای پرت شده؛ اما بیشتر از یک روند صعودی پیروی می کنند.

در نمودار بالا هم مشاهده می شود که با افزایش تعداد محصولات هم زمان حل مسئله از روندی صعودی پیروی می کند. به همین صورت در حالت افزایش تعداد وسایل حمل و نقل هم می توان مشاهده کرد که زمان حل مسئله به صورت صعودی افزایش می یابد.

بنابراین می توان گفت که مدل ارائه شده به صورت مناسب در برابر تغییر مقدار پارامترهای ورودی مسئله از خود حساسیت نشان می دهد که این موضوع خود دلیلی برای کارکرد مناسب مدل ارائه شده است. در نهایت می توان نتیجه به دست آمده از این تحقیق را در قالب پاسخگویی به ۵ پرسش زیر خلاصه کرد.

۱. چگونه می توان ساختاری مبتنی بر برنامه ریزی دوسطحی

به منظور مکان یابی هاب های لجستیکی و مسیریابی- موجودی مراکز تأمین در زنجیره امداد و بلایا ارائه کرد؟

ابتدا مدلی ریاضی به منظور تعیین مکان هاب ها لجستیکی و ایجاد شبکه انتقال محصولات ارائه شده است. سپس مدلی مستقل به منظور مدیریت موجودی و مسیریابی جهت ارائه خدمت طراحی شده است. با توجه به اینکه تعیین مکان احداث هاب ها تصمیمی استراتژیک و مدیریت موجودی و مسیریابی تصمیمی تاکتیکی است، بنابراین در ساختاری یکپارچه یک مدل برنامه ریزی دوسطحی به گونه ای ارائه شده که سطح اول به ایجاد شبکه هاب لجستیکی و سطح پیرو به تعیین میزان موجودی و مسیریابی می پردازد.

۲. مکان بهینه احداث هاب های لجستیک برای خدمت رسانی به متقاضیان در شرایط بحرانی چگونه تعیین می شود؟

پاسخ به این پرسش در حل مدل نخست تحقیق است که شبکه هاب لجستیکی را طراحی کرده است. همچنین مدل سطح رهبر هم اقدام به تعیین مکان هاب ها کرده است. بنابراین پس از حل این مدل می توان از نتایج آن برای تعیین مکان هاب های لجستیکی استفاده کرد.

۳. چگونه می توان مسیرهای بهینه برای ارائه خدمت به متقاضیان جهت دریافت خدمت در شرایط بحران را مشخص کرد؟

Development, 2019.

15. Maharjan, R. and S. Hanaoka, Fuzzy multi-attribute group decision making to identify the order of establishing temporary logistics hubs during disaster response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2019. 9(1): p. 2-21.
16. Gutjahr, W.J. and N. Dzubur, Bi-objective bilevel optimization of distribution center locations considering user equilibria. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2016. 85: p. 1-22.
17. Aarts, E., E.H. Aarts, and J.K. Lenstra, Local search in combinatorial optimization. 2003: Princeton University Press.
- responding to disasters. 2018: Kogan Page Publishers.
3. Mejia-Argueta, C., et al., Multicriteria optimization approach to deploy humanitarian logistic operations integrally during floods. *International Transactions in Operational Research*, 2018. 25(3): p. 1053-1079.
4. Sarma, D., et al. A multi-objective post-disaster relief logistic model. in *2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*. 2017. IEEE.
5. Hugos, M.H., *Essentials of supply chain management*. 2018: John Wiley & Sons.
6. Maharjan, R. and S. Hanaoka, A multi-actor multi-objective optimization approach for locating temporary logistics hubs during disaster response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2018. 8(1): p. 2-21.
7. Alumur, S. and B.Y. Kara, Network hub location problems: The state of the art. *European journal of operational research*, 2008. 190(1): p. 1-21.
8. Tofighi, S., S. Torabi, and S. Mansouri, Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 2016. 250(1): p. 239-250.
9. Maharjan, R. and S. Hanaoka, A multi-actor multi-objective optimization approach for locating temporary logistics hubs during disaster response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2018.
10. Fahimnia, B., et al., Supply chain design for efficient and effective blood supply in disasters. *International Journal of Production Economics*, 2017. 183: p. 700-709.
11. Cao, C., et al., A novel multi-objective programming model of relief distribution for sustainable disaster supply chain in large-scale natural disasters. *Journal of cleaner production*, 2018. 174: p. 1422-1435.
12. Zhang, J., Z. Wang, and F. Ren, Optimization of humanitarian relief supply chain reliability: a case study of the Ya'an earthquake. *Annals of Operations Research*, 2019: p. 1-22.
13. Maharjan, R. and S. Hanaoka, A credibility-based multi-objective temporary logistics hub location-allocation model for relief supply and distribution under uncertainty. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2019: p. 100727.
14. Zarei, M.H., R. Carrasco-Gallego, and S. Ronchi, On the role of regional hubs in the environmental sustainability of humanitarian supply chains. *Sustainable*

مدل سازی و پهنه بندی زمین لغزش های حوضه لتیان با استفاده از مقایسه آماری ۲ متغیره

ابوالقاسم امیراحمدی*: استاد تمام ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران. amirahmadi1388@gmail.com

جواد جمال آبادی: دکتر ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران.

رفعت دانشفر: دانشجو کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

منطقه مورد مطالعه به دلیل موقعیت جغرافیایی و ویژگی های طبیعی و زمین شناختی اش یکی از مناطق مستعد وقوع زمین لغزش است. در این پژوهش برای انتخاب مهم ترین عامل زمین لغزش در منطقه و همچنین میزان دخالت هر یک از عوامل در زمین لغزش های حوضه لتیان از روش مدل سازی آماری استفاده کرده ایم. لایه های اطلاعاتی استفاده شده شامل لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، ارتفاع، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، گسل، جاده، دریاچه سد و رودخانه است. بیش از ۱۲۰ زمین لغزش و پهنه لغزشی مورد شناسایی قرار گرفته و نقشه پراکنش زمین لغزش ها برای منطقه تهیه شده است. برای تعیین اهمیت و تأثیر نسبی عوامل مؤثر در پهنه بندی خطر زمین لغزش ابتدا میزان همبستگی عوامل توسط ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد؛ سپس از روش وزن دهی یا امتیازدهی استفاده شده و توسط مدل سازی آماری ۲ متغیره زمین لغزش ها با تک تک عوامل به صورت دوتایی بررسی شده است. سپس با استفاده از روش وزن دهی یا امتیازدهی و توسط مدل سازی آماری ۲ متغیره با وزن های به دست آمده عوامل با هم مقایسه شدند تا میزان دخالت این عوامل در ایجاد زمین لغزش ها به دست آید. در انتها نقشه های پهنه بندی تهیه کردیم. بعد با بازدید میدانی انجام شده از حوضه بعد از پهنه بندی و ثبت موقعیت زمین لغزش های جدیدی که در حوضه اتفاق افتاده، موقعیت این زمین لغزش های ثبت شده را با نقشه های پهنه بندی شده تطابق داده ایم که نشان می دهد بیشترین هم پوشانی در طبقات حساسیت خیلی زیاد و زیاد را نقشه پهنه بندی با روش ارزش اطلاعات به دست آمده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد با توجه به شاخص مجموع کیفیت روش ارزش اطلاعات نسبت به روش ارزش اطلاعات برای حوضه لتیان کارا تر است.

کلید واژگان: زمین لغزش، پهنه بندی، لتیان، مقایسه آماری.

Modeling and zoning of landslides in the Letian basin using a bivariate statistical comparison

Abolghasem, Amir Ahmadi^{*1}, Javad, Jamalabadi², Rafat, Daneshfar³

Abstract

The study area is one of the landslide prone areas due to its geographical location and natural and geological features. In this study, we have used statistical modeling to select the most important landslide factor in the region and also the extent of involvement of each factor in landslides in Latian Basin; The information layers used include: lithology, land use, precipitation, altitude, slope, slope direction, vegetation, fault, road, dam lake and river; More than 120 landslides and landslides were identified and landslide distribution maps have been prepared for the area. To determine the relative importance and effect of effective factors and factors in landslide risk zoning, first the degree of correlation of factors was calculated by Pearson correlation coefficient, then the weighting or scoring method was used and by two-variable statistical modeling of landslides, two factors were considered. Then, by weighting or scoring method and by bivariate statistical modeling with the obtained weights, the factors were examined together to obtain the degree of involvement of these factors in landslides. Finally, we have prepared zoning maps. By field visit of the basin after zoning and recording the location of new landslides that have occurred in the basin, we have matched the location of these recorded landslides with zoned maps, the most overlap in the very sensitive and highly sensitive classes is the information map. Achieved, the results show that according to the total quality index, the information value method is more efficient than the information value method for the Latian basin.

Keywords: Landslide, zonation, Latian, Statistical comparison

1-Professor of Geomorphology at Hakim Sabzevari University, Khorasan Razavi, Iran. amirahmadi1388@gmail.com

2-PhD in Geomorphology of Hakim Sabzevari University, Khorasan Razavi, Iran.

3-Student, Master of Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Khorasan Razavi, Iran.

مقدمه

ژئومورفولوژیست ها از همان زمان تکوین و پیدایش دانش ژئومورفولوژی همواره سعی داشته اند با استفاده از فناوری های در دسترس، فرم ها و فرآیندها را در طول زمان و در نظام های فضایی خاصی به مقیاس دلخواه به نمایش بگذارند و اصولاً ژئومورفولوژی از طریق استفاده از مدل و پیش بینی مدل ها می تواند مدیریت بهینه محیط زیست و منابع طبیعی را به عهده بگیرد. آن ها همواره می کوشند حوادث گذشته را در قلمرو اشکال و ناهمواری زمین را بازسازی کرده و با تحلیل و تفسیر وضع موجود حوادث آتی را شبیه سازی و پیش بینی کنند. [۱]

از این رو بررسی، شناسایی، تحلیل و ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی نواحی حساس و مستعد به لغزش یکی از دل مشغولی ها و اهداف اصلی محققان علوم زمین است. این موضوع یعنی ارزیابی و پهنه بندی حساسیت به زمین لغزش، نقش و ارزش و کاربرد بسیاری برای برنامه ریزان محیطی برای انجام اقدامات پیشگیرانه و کاهش اثرات و خسارات دارد. شناخت نواحی مستعد لغزش ها یکی از گام های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه ریزی های توسعه ای و عمرانی است. اگرچه زمین لغزش ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی متعددی رخ می دهند که ارزیابی تأثیر هر یک از این عوامل، نقش بسزایی در پیش بینی احتمال وقوع حرکت های توده ای و پهنه بندی خطر آن ها دارد. [۲] با وجود پیچیدگی حرکات توده ای این حرکات جزو قابل پیش بینی ترین حرکات به شمار می روند و مدیریت پذیری بالایی دارند.

برای تصمیم گیری مناسب و اتخاذ استراتژی های آینده نیاز است هر منطقه از نظر وقوع زمین لغزش و حساسیت به آن ارزیابی شود. حساسیت به زمین لغزش را می توان احتمال وقوع زمین لغزش در هر مکان بر اساس ارتباط بین توزیع زمین لغزش ها و فاکتورهای مؤثر بر آن تعریف کرد. [۳] فرآیندی که طی آن نقاط مختلف منطقه ای از نظر وقوع زمین لغزش در طبقات مختلف قرار می گیرند، پهنه بندی خطر زمین لغزش [۴] نامیده می شود. تاکنون روش های مختلفی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش ارائه شده که این روش ها را می توان به ۲ دسته اصلی روش های کمی و کیفی تقسیم بندی کرد [۵] روش های کیفی بیشتر بر نظر شخصی مبتنی است و در این روش ها بر اساس قضاوت کارشناسان به ارزیابی خطر یا حساسیت می پردازند. [۶] در روش های کمی نظر متخصص کمتر دخیل بوده و بیشتر بر اساس مقادیر عددی حاصل از آنالیز لایه های اطلاعاتی مختلف بنا گذاشته شده اند. [۷] روش های کمی به روش های احتمالاتی، روش هایی که بر اساس قوانین احتمالاتی نیستند (شبکه عصبی، منطق فازی، نوروفازی، ماشین های بردار پشتیبانی) و روش های آماری تقسیم می شود. [۸] روش های آماری هم به ۲ دسته ۲ و چندمتغیره تقسیم بندی می شود. روش های ۲ متغیره شکل اصلاح شده ترکیب کیفی نقشه ها هستند که در آن هر یک از لایه های اطلاعاتی با توزیع زمین لغزش های موجود مقایسه می شود و برای هر طبقه از فاکتورهای مؤثر بر اساس

روابط آماری بین زمین لغزش گذشته و فاکتورهای مؤثر ارزش وزنی اختصاص داده می شود. [۹]

تیری و همکاران (۲۰۰۷) با روش های ۲ متغیره در مقیاس بزرگ نشان دادند که استفاده از متغیرهای پیش بینی نشده جدید برای کالیبره کردن یک مدل آماری ۲ متغیره برای ارزیابی حساسیت به لغزش منطقه ای بزرگ مناسب است. با فرض استفاده از آزمون های آماری خاص اگر تنها چند تا داده لغزش وجود داشته باشد، استفاده از مدل های آماری ۲ متغیره بر اساس دانش و معیارهای عینی برای ارزیابی حساسیت به لغزش بسیار مناسب است. سیبال قوش و همکاران (۲۰۰۷) با پیش بینی های فضایی و مدل سازی حساسیت زمین لغزش به این نتیجه رسید که نتایج حاصل از ارتباطات فضایی ۲ متغیره در بین زمین لغزش ها و عوامل مکانیکی معیارهای تجربی مفید هستند؛ زیرا آن ها با کاهش ذهنیت دانش متخصص اعمال می شود و در منطقه مورد مطالعه پیش بینی های انتخاب شده و وزن از طریق روش پیشنهادی واقعی تر است. پورهایمی (۱۳۹۳) با روش های آماری ۲ متغیره مدل مناسب برای پهنه بندی تهیه کرد. ابتدا لایه پراکنش ۴۴ نقطه لغزشی رخ داده در سطح حوضه به عنوان متغیر وابسته و ۱۰ لایه تأثیرگذار بر وقوع لغزش به عنوان متغیر مستقل تهیه شده؛ سپس از طریق همپوشانی و انطباق نقشه های عامل با نقشه پراکنش لغزش به طور جداگانه و مستقل پهنه بندی خطر زمین لغزش انجام شد و از روش شاخص زمین لغزش Li استفاده شده است. در نتیجه روش ارزش اطلاعاتی به لحاظ داشتن انطباق بیشتر زمین لغزش ها با پهنه خطر بالا و همچنین توانایی تفکیک طبقه های خطر کارایی بهتری نسبت به روش پیشنهادی دارد. از بین تمامی عوامل شیب بیشترین تأثیر را داشته؛ زیرا بیشتر لغزش ها در شیب های بیشتر از ۱۲٪ رخ داده است. فتاحی و همکاران (۱۳۸۲) با ارائه مقاله ای نشان دادند که روش های وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی با دقت هایی در حدود ۹۹٫۷ و ۹۹٫۴ درصد از میان مدل های انتخاب شده برای پهنه بندی در مناطق حوزه آبخیز سد لتیان در البرز مرکزی کاراترین روش ها هستند. بررسی های انجام شده در حوزه آبخیز سد لتیان نشان می دهد که از کل مساحت حوضه حدود ۳۰٫۵ درصد حوضه لغزشی است. آمار زمین لغزش ها در مناطقی که قبلاً حرکت کرده اند، نشان می دهد که این مناطق لغزشی دوباره دچار لغزش شده اند. ضمن اینکه تغییر کاربری اراضی و احداث جاده های دسترسی روستایی از جمله احداث راه جدید گرمابدر به بلده در شمال بر روی دامنه های پرشیب سازند شمشک موجب وقوع چندین لغزش در سال های اخیر شده است.

در این پژوهش برای انتخاب مهم ترین عامل زمین لغزش در منطقه و همچنین میزان دخالت هر یک از عوامل در زمین لغزش های حوضه لتیان از روش مدل سازی آماری استفاده کرده ایم؛ زیرا با روش مدل سازی آماری و همچنین اطلاعات آماری دقیق از حوضه می توان مدلی را طراحی کرد که نزدیک ترین شباهت با حوضه داشته باشد و بهترین تحلیل و تفسیر وضع موجود حوادث آتی زمین لغزش های حوضه را شبیه سازی و پیش بینی کرده و با آن بتوان نواحی مستعد را طبقه بندی کرد. طبقه بندی

روش تحقیق و ابزارها منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز لتیان یکی از زیرمجموعه‌های حوضه آبریز رودخانه جاجرود است که حوضه آبریز رودخانه جاجرود خود زیرمجموعه حوضه آبریز دریاچه نمک محسوب می‌شود. (نقشه شماره ۱)

حوضه آبریز لتیان از لحاظ تقسیمات کشوری در شمال شرقی شهر تهران در حد فاصل طول‌های شرقی ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه و عرض‌های شمالی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه قرار دارد. این حوضه به طور کامل در محدوده فرمانداری شهرستان شمیرانات است و از نظر سیاسی این حوضه با ۵ شهرستان نور، آمل، دماوند، کرج و تهران مرز مشترک دارد. این حوضه از ۲ بخش لواسان و رودبار قصران و ۳ دهستان لواسان بزرگ، لواسان کوچک و رودبار قصران تشکیل شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز سد لار، از غرب به حوضه آبریز کرج، از جنوب به حوضه آبریز شمال تهران و از شرق به حوضه آبریز دماوند محدود می‌شود. [۱۰]

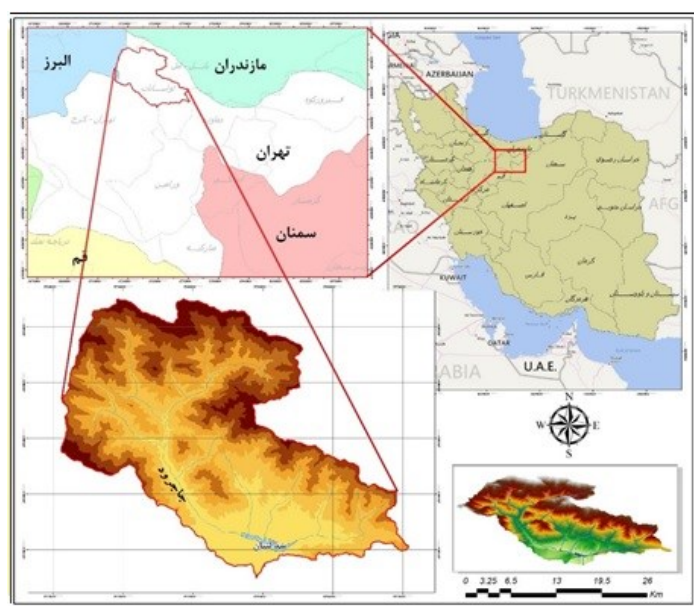
روش حوضه‌بندی:

در ابتدای امر برای مشخص شدن مرز حوضه نیاز به روشی است که بتوان مرز حوضه را به دقت بالا و کمترین خطا که مناسب حوضه باشد، مشخص کرد. برای مشخص کردن مرز حوضه آبریز این تحقیق مناسب‌ترین، دقیق‌ترین، علمی‌ترین و کم‌خطاترین مدل طراحی استفاده شده است.

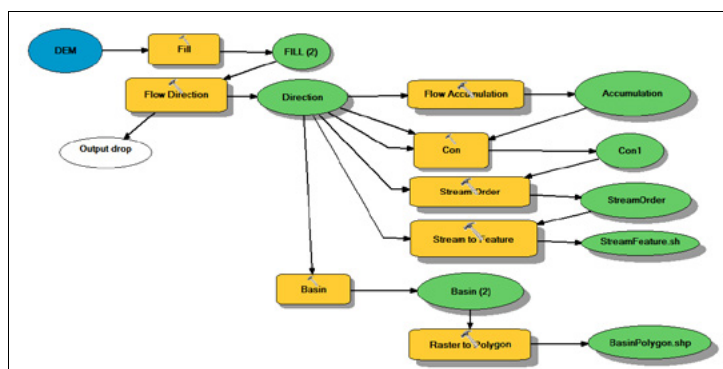
در مدل طراحی شده از DEM ۱۰ متر منطقه در محیط Arc Map ۱۰٫۳ استفاده شده و سپس طبق نمودار (شکل شماره ۱) مراحل اجرا شده و در پایان مرز منطقه مشخص شد. (نقشه شماره ۲)

نواحی مستعد لغزش و پهنه‌بندی خطر آن گامی مهم در ارزیابی خطرات محیطی به شمار رفته و نقش غیر قابل انکاری را در مدیریت حوضه‌های آبریز ایفا می‌کند؛ زیرا زمین‌لغزش‌ها از جمله بلایای طبیعی هستند که سالانه خسارت‌های مالی و جانی زیادی را در کشور ایجاد می‌کنند. تلفات انسانی، تخریب اراضی کشاورزی، باغ‌ها، سازه‌های مهندسی، راه‌های ارتباطی و هدررفت سریع خاک از آثار زمین‌لغزش‌ها به شمار می‌روند. چون شناخت مناطق پرخطر می‌تواند در کاهش خسارت‌ها و تصمیم‌گیری در سیاست‌های توسعه اراضی مؤثر باشد، با این روش‌ها می‌توان کمک بسزایی جهت جلوگیری و کاهش این‌گونه خسارات کرد. پدیده زمین‌لغزش نتیجه عملکرد چندین عامل از جمله لیتولوژی، کاربری اراضی، میزان بارندگی، گسل، ارتفاع، خطوط ارتباطی، خطوط زهکشی، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی و همچنین حاصل تأثیر متقابل این عوامل بر یکدیگر است که در این تحقیق جهت یافتن مهم‌ترین عامل زمین‌لغزش، زمین‌لغزش‌های ثبت شده با لایه‌های مختلف هم‌پوشانی داده شد؛ سپس برای تعیین اهمیت و تأثیر نسبی عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از روش وزن دهی یا امتیازدهی استفاده شده است؛ برای این کار از هر ۱۱ عامل یادشده که مؤثر در زمین‌لغزش منطقه هستند، استفاده شده؛ سپس توسط مدل‌سازی آماری ۲ متغیره با وزن‌های به‌دست‌آمده عوامل را با هم مورد بررسی قرار دادیم تا میزان دخالت این عوامل در ایجاد زمین‌لغزش‌ها را به دست آوریم.

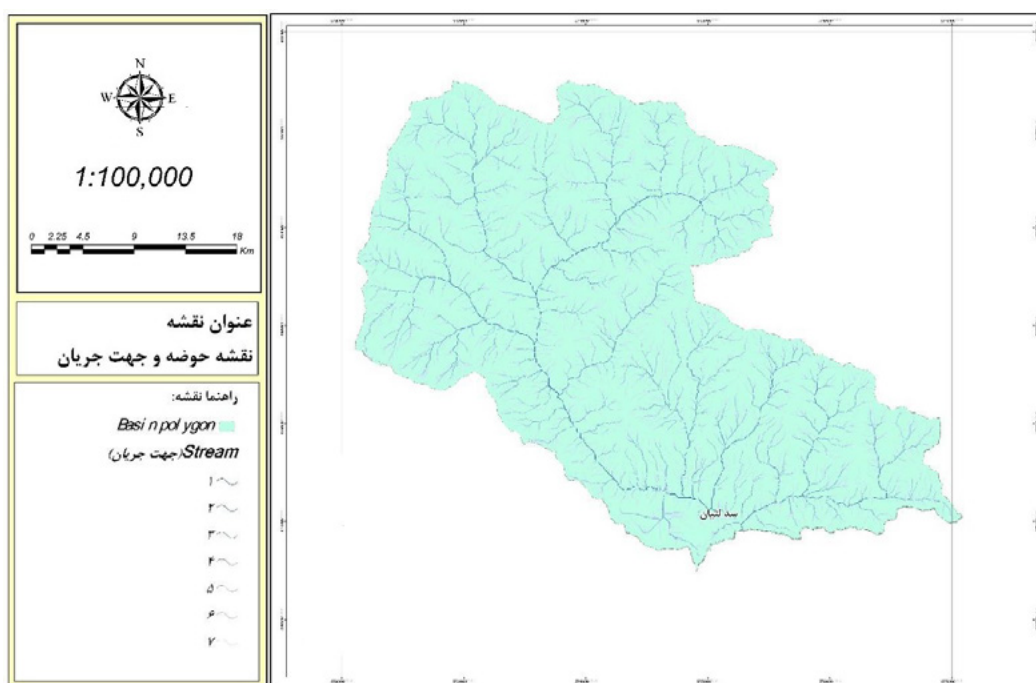
هدف از این تحقیق هم شناخت و تحلیل مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد و تشدید زمین‌لغزش‌ها و همچنین یافتن مهم‌ترین عامل زمین‌لغزش در منطقه و ارتباط عوامل با هم و تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش حوضه لتیان جهت ارائه بهترین راه‌کارهای مدیریتی برای مهار و همچنین پیش‌بینی وقوع آن در مناطق حساس منطقه است.



(نقشه شماره ۱) نقشه موقعیت



(شکل شماره ۱) مدل حوضه‌بندی منطقه



(نقشه شماره ۲) نقشه حوضه و آبراه‌ها

است که نشان می‌دهد ۳,۰۲ درصد از کل سطح این حوضه درگیر لغزش شده است. (نقشه شماره ۳)

تئوری و محاسبات

گام اول: فاکتورهای مؤثر در زمین‌لغزش

پس از تهیه نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه، نقشه فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش تهیه شده است. فاکتورهای مختلف بر اساس ۳ ویژگی مرتبط، در دسترس بودن و مقیاس انتخاب شدند. به همین منظور در این تحقیق ۱۱ فاکتور مرتبط برای تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش انتخاب شد. فاکتورهای انتخاب‌شده عبارتند از: شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از دریاچه سد، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی، بارش، لیتولوژی، پوشش گیاهی و کاربری ارضی.

پس از تهیه نقشه‌های عوامل مؤثر و طبقه‌بندی آن‌ها این نقشه‌ها با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها قطع داده شدند.

زمین‌لغزش‌های حوضه لتیان (تعداد، موقعیت و ویژگی‌ها)

به علت شرایط و ویژگی‌های توپوگرافی حوضه لتیان پدیده‌های لغزشی در تمام حوضه به صورت پراکنده به وقوع پیوسته که آثار باقی‌مانده از این پدیده هنوز هم روی دامنه‌ها قابل مشاهده است؛ زمین‌لغزش‌های حوضه با استفاده از نقشه‌های مبنایی زمین‌شناسی، توپوگرافی، تصاویر هوایی، نقشه‌های زمین‌لغزش مطالعات گذشته حوضه لتیان و بررسی تاریخچه وقوع زمین‌لغزش‌های ثبت‌شده تهیه و سپس به کمک اطلاعات به دست آمده از تفسیر تصاویر Google Earth طی دوره‌های زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ یافته‌های قبلی بررسی و تصحیح و تکمیل شد. بعد هم در محیط ArcMap پردازش‌های لازم انجام شده و نقشه زمین‌لغزش حوضه به دست آمده است. نقشه به دست آمده شامل ۱۲۶ زمین‌لغزش و پهنه لغزشی است که لغزش‌های ثبت شده شامل لغزش‌های منفرد و پهنه لغزشی می‌شوند. بررسی نشان می‌دهد مساحت کل زمین‌لغزش‌های حوضه ۲۲,۲ کیلومتر مربع

در ابتدا برای طبقه‌بندی بر اساس میزان زمین‌لغزش‌ها لازم است تعداد پیکسل‌ها در هر طبقه مشخص شود تا بتوان تشخیص داد که در هر طبقه چه تعداد پیکسل زمین‌لغزشی وجود دارد. برای انجام این عملیات در محیط ArcGIS طبق مسیرهایی که در (شکل شماره ۲) آمده، بر اساس نوع داده‌ها پیش‌رفته‌ایم و برای داده‌هایی که احتیاج به نقشه فاصله است، مانند دریاچه سد، جاده، رودخانه و گسل از روش اول نمودار و برای polygon ها مانند لیتولوژی، هم‌باران، کاربری ارضی از روش دوم و برای داده‌های رستری مانند شیب و جهت شیب از روش سوم پیش‌رفته‌ایم. در انتها هم از داده رستری به دست‌آمده می‌توان تعداد پیکسل‌های هر طبقه و پیکسل‌های زمین‌لغزشی در هر طبقه را به دست آورد.

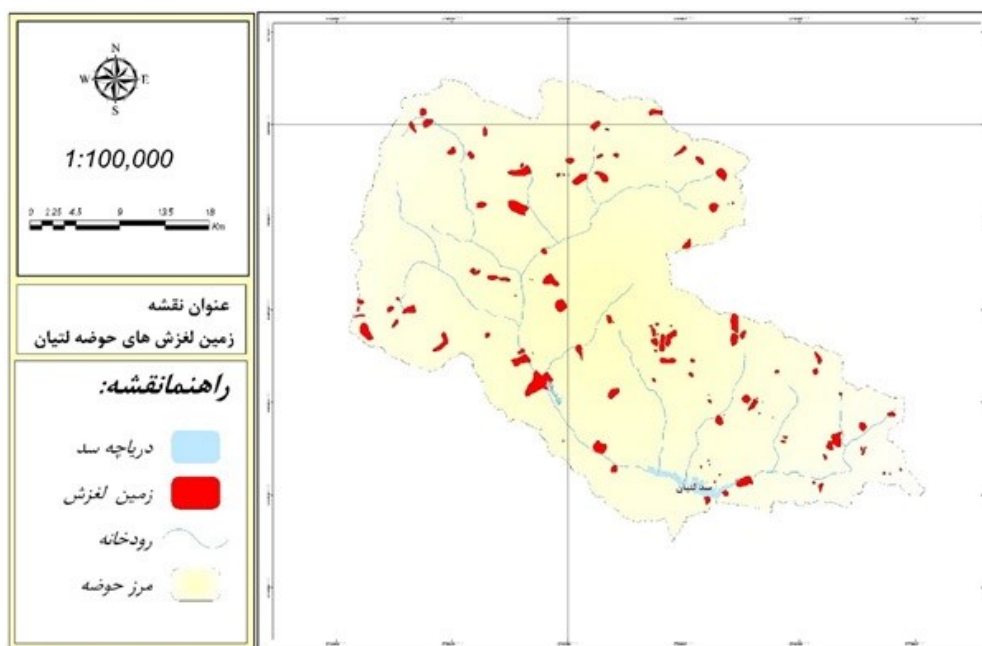
پوشش گیاهی

تخریب و نبود پوشش گیاهی نه تنها باعث شستشوی دامنه‌ها در زمان بارندگی می‌شود، بلکه چون خاک دامنه‌ها در معرض مستقیم هوا قرار می‌گیرند، به آسانی دچار هوازدگی شده و باعث

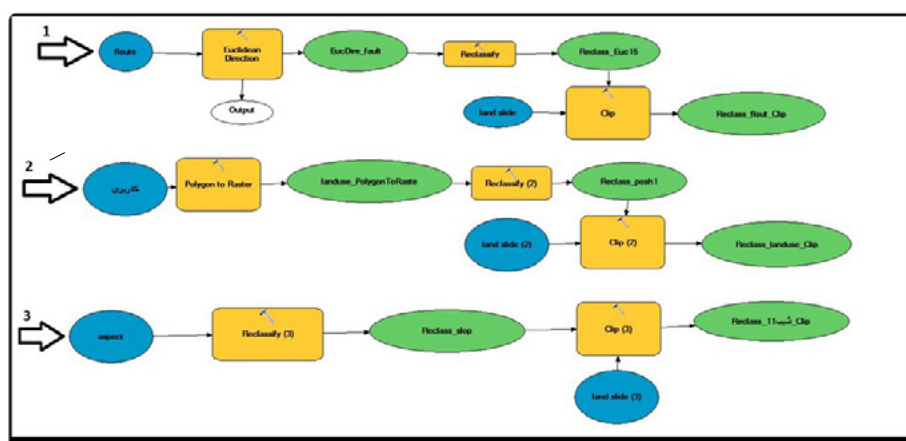
ناپایدار شدن خاک می‌شود که همین امر باعث افزایش احتمال زمین‌لغزش می‌شود؛ حال آنکه وجود پوشش گیاهی می‌تواند برعکس این قضیه عمل کند و در بعضی از شرایط انتخاب نادرست نوع پوشش گیاهی باعث اتفاق افتادن این رخداد می‌شود. نقشه پوشش گیاهی براساس تأثیرنوع پوشش گیاهی و استعداد آن در زمین‌لغزش (نقشه شماره ۴) در ۸ کلاس طبقه‌بندی شده؛ سپس با روی هم قرار دادن نقشه زمین‌لغزش و نقشه پوشش گیاهی با روش دوم نمودار (شکل شماره ۲)، جدول (جدول شماره ۱) خروجی گرفته شده است. بعد هم تعداد پیکسل‌های لغزیده و کل در هر طبقه مشخص شد و در ۸ کلاس (PV) در جدول (جدول شماره ۱) طبقه‌بندی شدند.

فاصله از دریاچه سد

یکی از عوامل مهم در ایجاد زمین‌لغزش وجود رطوبت در منطقه است. ایجاد دریاچه‌های مصنوعی یکی از عواملی است که می‌تواند باعث ایجاد رطوبت دامنه‌های اطراف دریاچه شود؛ همچنان که در منطقه مورد مطالعه دریاچه مصنوعی سد لتیان



نقشه شماره ۳) نقشه زمین‌لغزش‌های حوضه لتیان



(شکل شماره ۲) نمودار نحوه به دست آوردن پیکسل‌های لغزش در هر طبقه

باعث تغییراتی در میزان زمین لغزش‌های منطقه شده است. از این رو دریاچه سد هم یکی از عوامل مؤثر بر زمین لغزش مدنظر محسوب شده است.

نقشه فاصله از دریاچه بر اساس فاصله از سد و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۵) با روش اول نمودار (شکل شماره ۲) تهیه شده؛ سپس از جدول خروجی گرفته شده که تعداد پیکسل‌های لغزیده و پیکسل‌های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۹ کلاس در (جدول شماره ۲) طبقه‌بندی شدند.

کاربری ارضی:

کاربری ارضی یکی از عوامل زمین لغزش است که بر اساس نوع بهره‌برداری از زمین باعث تغییر ثبات در دامنه می‌شود. در این منطقه کاربری‌ها عموماً کشاورزی است که بر اساس میزان مصرف آب در زمین‌ها و وزن پوشش زمین بسته به نوع آن پوشش این درصدها تغییر می‌کند.

نقشه کاربری ارضی بر اساس تأثیر نوع کاربری و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۶) در ۶ کلاس طبقه‌بندی شده

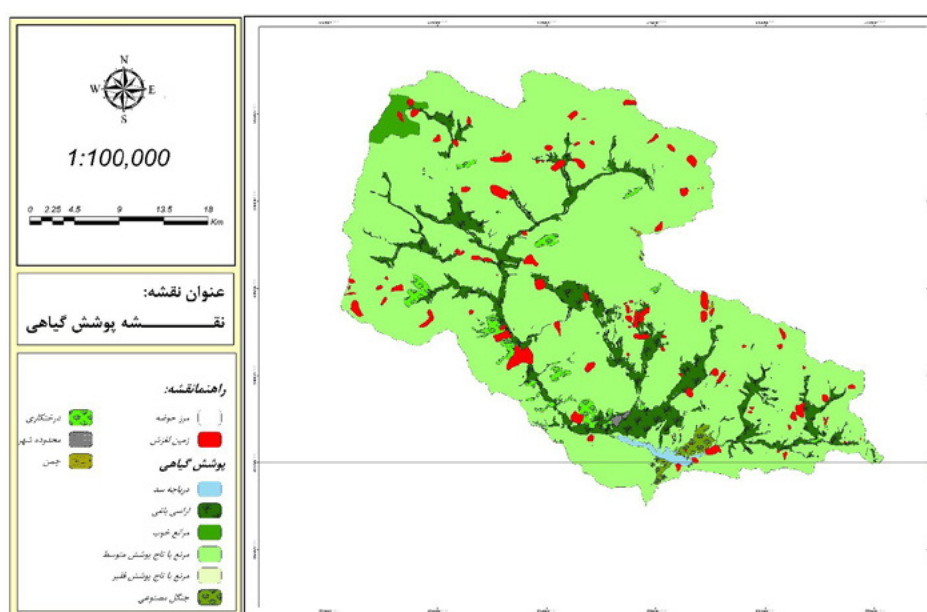
و سپس با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه کاربری ارضی با روش دوم نمودار (شکل شماره ۲) مراحل آن طی و در انتها جدول خروجی گرفته شده است. بعد تعداد پیکسل‌های لغزیده و پیکسل‌های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۶ کلاس (PLU) در (جدول شماره ۳) طبقه‌بندی شدند.

فاصله از رودخانه:

علت اصلی زمین لغزش‌های رخ داده یا زمین لغزش‌هایی که در شرف وقوع هستند، می‌تواند ناشی از مرطوب ماندن دائمی خاک‌ها باشد. همچنین جریان رودخانه اصلی و انشعاب‌های فرعی آن می‌تواند باعث شستشوی خاک‌های پای دامنه‌ها و ناپایدار کردن آن‌ها شود. هرچقدر توده‌های لغزشی از رودخانه فاصله‌ی بیشتری داشته باشد، کمتر تحت تأثیر شستشوی ناشی از حضور رودخانه قرار می‌گیرد و خاک آن خشک باقی می‌ماند. جریان رودخانه اصلی و انشعاب‌های فرعی آن با مرطوب نگه داشتن خاک اطراف رودخانه موجب آبیگری آن می‌شود و در نتیجه تحت تأثیر نیروی ثقل به حرکت درمی‌آیند.

(جدول شماره ۱) جدول نسبت تعداد پیکسل‌های پوشش گیاهی و زمین لغزش‌های هر طبقه

درصد	تعداد پیکسل‌های طبقات پوشش گیاهی	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	کلاس	PV
۴,۷۲	۲۴۵۲۸۵	۲۳۱۴۲	۱	درختکاری شده
۳	۱۲۵۰۱۶	۵۹۱۶	۲	مراعی با تاج پوشش خوب
۰,۹	۷۵۶۹	۳۵۸	۳	چمن
۹,۴	۹۱۷۲۴۳۴	۲۷۵۸۹۶	۴	مراعی با تاج پوشش متوسط
۴,۷۳	۱۱۸۲۴۴۵	۳۲۱۸۴	۵	اراضی باغی
۲,۷	۵۰۶۴۷	۱۲۸۴	۶	دریاچه سد
۲,۵	۷۱۶۶۳	۶۴۹	۷	جنگل مصنوعی
۰	۹۹۴۹	۰	۸	محدوده شهری
۰	۱۱۴۶	۰	۸	مراعی با تاج پوشش فقیر
	۱۰۴۸۱۸۳۶	۳۲۷۳۵۲	مجموع	



(نقشه شماره ۴) نقشه طبقات پوشش گیاهی و زمین لغزش‌ها

۱۰۲

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرین

از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابوالقاسم امیراحمدی
مدل سازی و پیاده‌بندی زمین لغزش‌های حوضه آبریز با استفاده

کل در هر طبقه مشخص شد (جدول شماره ۴) و در ۸ کلاس (PRI) قرار گرفته است.

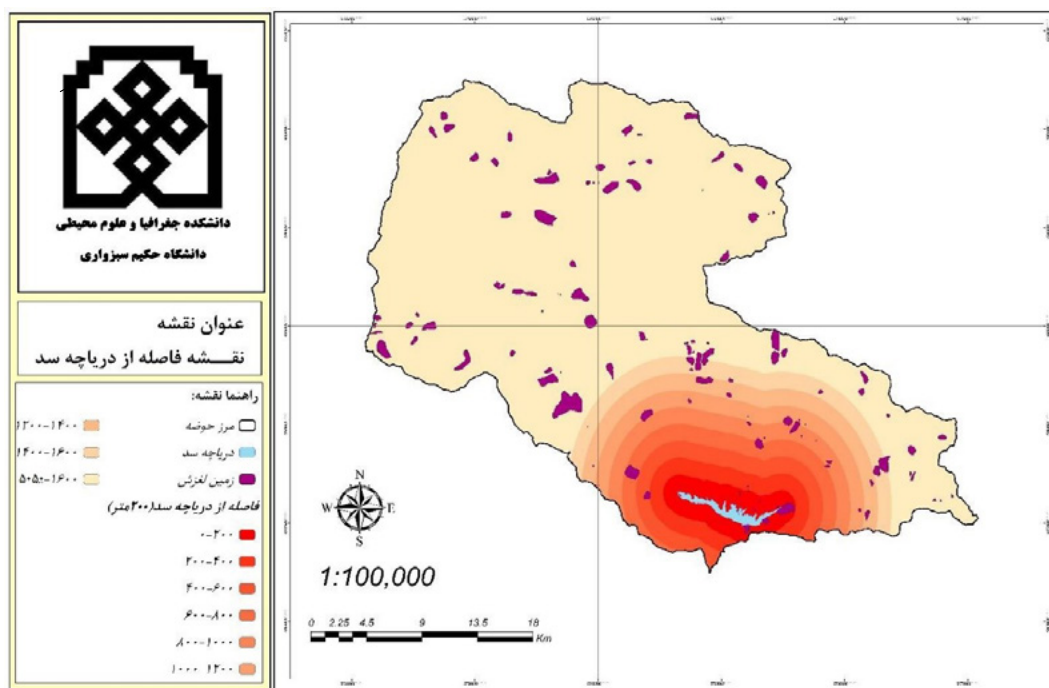
لیتولوژی:

هر یک از سازندها بسته به نحوه، زمان تشکیل و موادی مادری میزان حساسیت متفاوتی نسبت به زمین لغزش دارند. هر

با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه فاصله از رودخانه (نقشه شماره ۷) بر اساس میزان فاصله از رودخانه و استعداد آن در زمین لغزش در ۸ کلاس طبقه بندی با روش اول نمودار (شکل شماره ۲) مراحل آن طی شده و در انتها جدولی را خروجی گرفته ایم. سپس تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های

(جدول شماره ۲) جدول نسبت تعداد پیکسل های فاصله از دریاچه سد و زمین لغزش های هر طبقه

درصد	تعداد پیکسل های طبقات فاصله از دریاچه سد	تعداد پیکسل های زمین لغزش	کلاس	pl
۴.۲۹	۳۴۵۶۰۰	۱۴۸۵۷	۱	۰-۲۰۰
۰.۱۲	۳۱۵۸۵۱	۴۰۲	۲	۲۰۰-۴۰۰
۰.۶۹	۳۶۲۴۴۲	۲۵۲۱	۳	۴۰۰-۶۰۰
۳.۵۵	۳۴۶۵۲۱	۱۲۳۳۲	۴	۶۰۰-۸۰۰
۲.۳۴	۳۵۸۷۰۳	۸۳۹۷	۵	۸۰۰-۱۰۰۰
۲.۵۷	۳۹۳۲۷۴	۱۰۰۹۹	۶	۱۰۰۰-۱۲۰۰
۲.۳۲	۴۲۱۳۷	۹۹۱۷	۷	۱۲۰۰-۱۴۰۰
۴.۳۳	۴۶۵۲۵۳	۲۰۱۵۱	۸	۱۴۰۰-۱۶۰۰
۳.۳۲	۷۴۶۷۹۵۵	۲۴۸۶۷۶	۹	۱۶۰۰-۱۸۰۰
	۱۰۴۸۱۸۳۳۶	۳۲۷۳۵۲	مجموع	



(نقشه شماره ۵) نقشه طبقات فاصله از دریاچه سد و زمین لغزش ها

(جدول شماره ۳) جدول نسبت تعداد پیکسل های کاربری ارضی و زمین لغزش های هر طبقه

درصد	تعداد پیکسل های طبقات کاربری ارضی	تعداد پیکسل های زمین لغزش	کلاس	PLU
۴.۵۷	۹۱۶۲۴۷	۴۱۸۷۷	۱	زراعت آبی
۳.۳۶	۸۳۹۴۰۸۹	۲۸۲۲۳۹	۲	دامنه
۱.۲۰	۲۹۰۱۵۹	۳۴۸۹	۳	مسکونی
۰.۹۵	۱۲۴۰۶۹۶	۱۱۸۲۷	۴	زراعی
۰	۸۴۲	۰	۵	دیم کاری
۰	۲۵۶۸۸	۰	۶	جنگل کاری
	۱۰۸۶۷۷۲۱	۳۳۹۴۲۹	مجموع	

۱۰۳

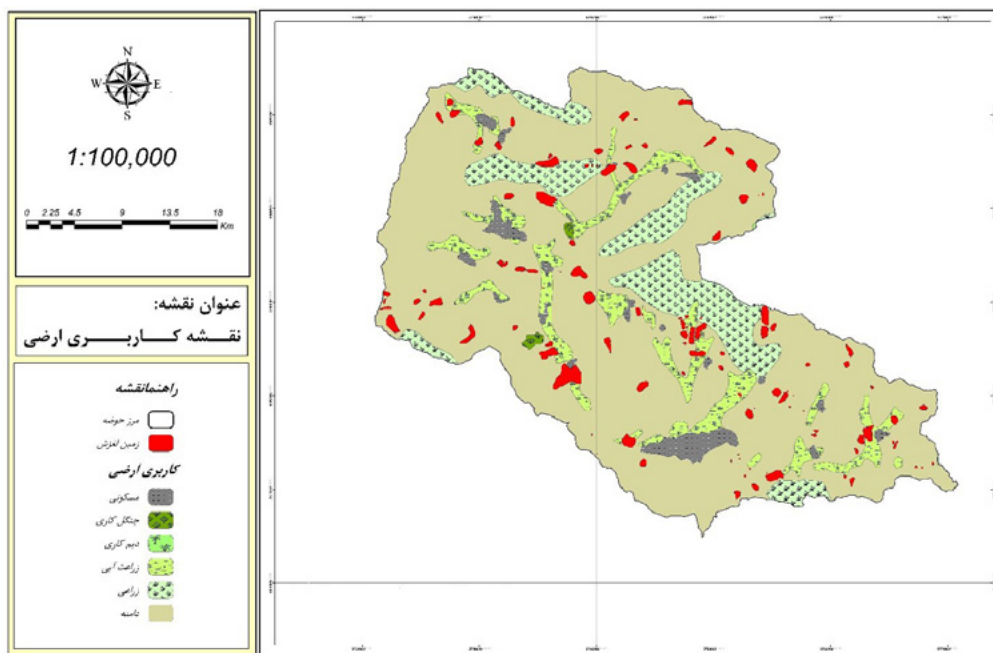
شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



مجله سازی و پهنه بندی زمین لغزش های حوضه تیان با استفاده از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابوالقاسم امیراحمدی



(نقشه شماره ۶) نقشه طبقات کاربری ارضی و زمین لغزش ها

(جدول شماره ۴) جدول نسبت تعداد پیکسل های فاصله از رودخانه و زمین لغزش های هر طبقه

PRi	کلاس	تعداد پیکسل های زمین لغزش	تعداد پیکسل های طبقات فاصله از رودخانه	درصد
۰-۲۰۰	۱	۲۵۴۹۰	۶۳۹۲۶۷	۳.۹۹
۲۰۰-۴۰۰	۲	۲۸۱۶۶	۶۱۲۵۹۹	۴.۶۰
۴۰۰-۶۰۰	۳	۲۵۳۶۲	۵۹۸۵۵۲	۴.۲۴
۶۰۰-۸۰۰	۴	۲۰۵۸۱	۵۸۷۲۱۰	۳.۵۰
۸۰۰-۱۰۰۰	۵	۱۷۲۷۲	۵۶۲۷۲۸	۳.۰۷
۱۰۰۰-۱۲۰۰	۶	۱۳۸۶۸	۵۳۱۲۵۱	۲.۶۱
۱۲۰۰-۱۴۰۰	۷	۱۰۸۶۷	۵۰۶۰۲۳	۲.۱۵
۱۴۰۰-۵۷۳۰	۸	۸۰۴۶۶	۳۰۷۱۳۰۸	۲.۶۲
	مجموع	۳۳۹۴۲۹	۱۰۸۶۷۷۲۱	

۱۰۴

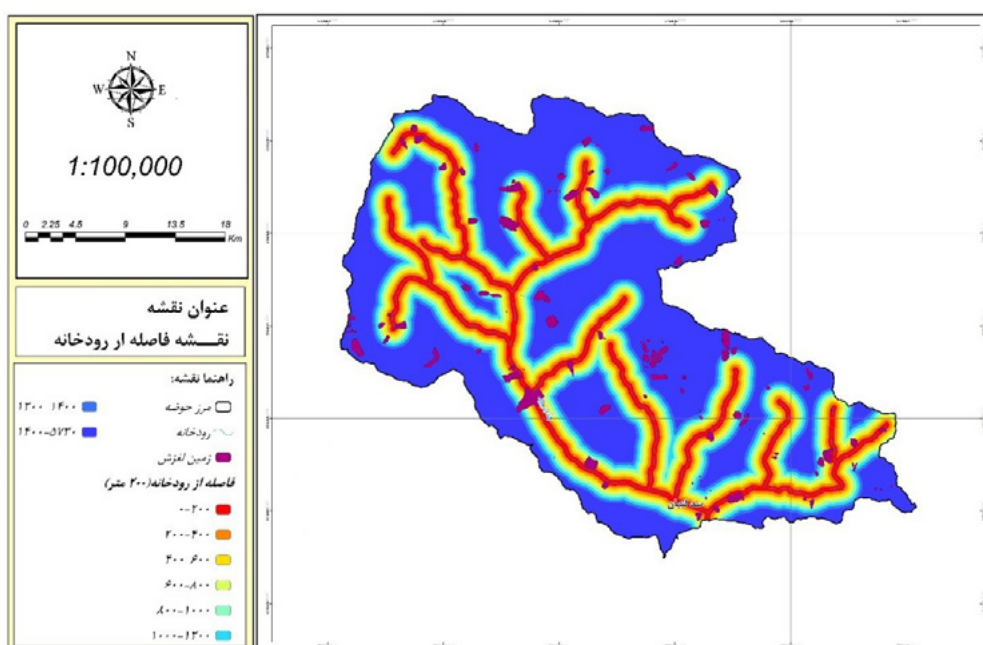
شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرین

مدل سازی و تهیه بندی زمین لغزش های حوضه آبریز با استفاده
از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابوالقاسم امیراحمدی



(نقشه شماره ۷) نقشه طبقات فاصله از رودخانه و زمین لغزش ها

(جدول شماره ۵) جدول نسبت تعداد پیکسل های لیتولوژی و زمین لغزش های هر طبقه

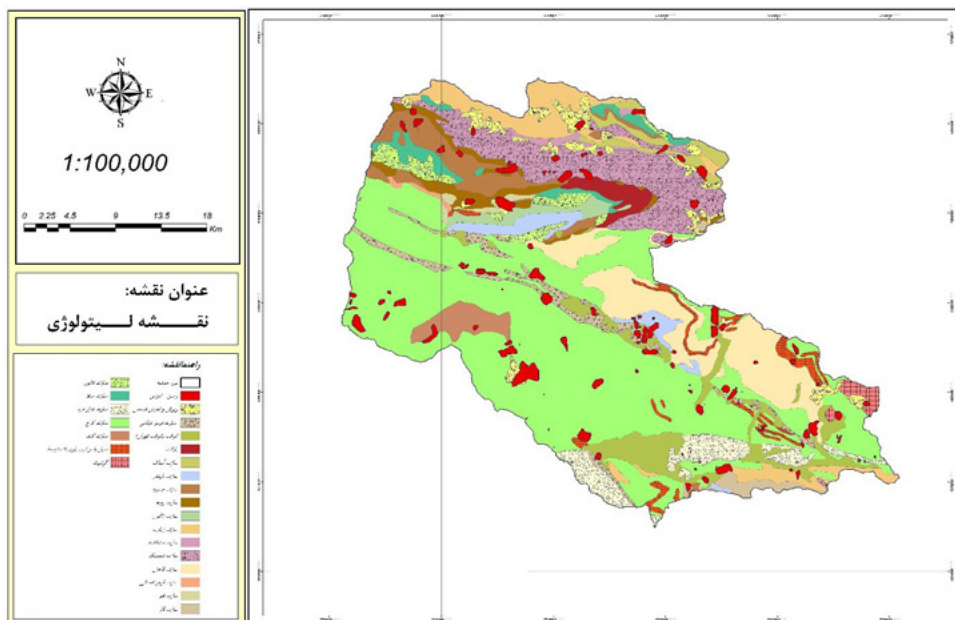
درصد	تعداد پیکسل های طبقات لیتولوژی	تعداد پیکسل های زمین لغزش	کلاس	PLi
۸,۴۶	۴۷۶۲۷	۴۰۳۱	۱	سازند قم
۷,۳۱	۲۷۹۱۹۲	۲۰۴۳۴	۲	سازند روته
۶,۹۱	۶۴۱۳۷۶	۴۴۳۶۵	۳	سازند قرمز فوقانی
۵,۹۶	۱۶۸۹۵۳	۱۰۰۸۰	۴	سازند آبناک
۵,۷۱	۴۲۶۱۴۶	۲۴۳۶۸	۵	سازند جیرود
۴,۶۴	۱۸۹۴۷۶	۸۷۹۸	۶	سازند کند
۴,۳۴	۵۸۲۳۴	۲۵۲۹	۷	سازند سلطانیه
۳,۲۴	۲۴۱۷۰۸	۷۸۳۳	۸	آبرفت (آبرفت تهران)
۳,۲۲	۴۶۵۶۶۹۰	۱۵۰۱۰۶	۹	سازند کرج
۳,۲۲	۱۱۳۳۹۲۲	۳۶۵۴۹	۱۰	سازند شمشک
۲,۹۷	۹۶۰۸۵	۲۸۶۱	۱۱	سازند لار
۲,۵	۲۱۲۹۶۲	۵۳۴۲	۱۲	سازند بایندر
۲,۰۴	۶۲۴۴۵	۱۲۷۸	۱۳	گرانیت
۱,۳۰	۹۷۵۸۵۱	۱۲۷۱۱	۱۴	سازند قاجان
۰,۹۱	۵۳۲۲۹۷	۴۸۷۷	۱۵	سازند زیارت
۰,۷۶	۱۴۰۶۳۲	۱۰۷۱	۱۶	بازالت
۰,۵۲	۱۳۱۱۰۷	۶۸۲	۱۷	سازند زاگون
۰,۴۰	۱۰۱۴۵۴	۴۱۵	۱۸	سیل با ترکیب بازی تا متوسط
۰,۲۱	۱۸۹۶۸۵	۳۹۹	۱۹	سازند میلا
۰,۲۰	۳۵۷۰۱۳	۷۳۶	۲۰	سازند هزار دره
۰	۲۰۲۲۸۷	۰	۲۱	سازند لالون
۰	۲۲۵۷۱	۰	۲۲	سازند قرمز تحتانی
	۱۰۸۶۷۷۱۳	۳۳۹۴۶۵	مجموع	

۱۰۵

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

مجله سازی و پهنه بندی زمین لغزش های حوضه تیان با استفاده
از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابوالقاسم امیراحمدی



(نقشه شماره ۸) نقشه طبقات لیتولوژی و زمین لغزش ها

(جدول شماره ۶) جدول نسبت تعداد پیکسل های فاصله از گسل و زمین لغزش های هر طبقه

درصد	تعداد پیکسل های طبقات فاصله از گسل	تعداد پیکسل های زمین لغزش	کلاس	PF
۳,۹۵	۷۸۱۰۶۲	۳۰۸۷۴	۱	۰-۲۰۰
۴,۴۹	۷۲۱۹۷۹	۳۲۴۲۸	۲	۲۰۰-۴۰۰
۴,۳۴	۶۳۳۰۷۹	۲۷۵۲۰	۳	۴۰۰-۶۰۰
۳,۵۴	۵۹۰۹۲۵	۲۰۹۵۶	۴	۶۰۰-۸۰۰
۳,۰۱	۵۴۱۸۰۶	۱۶۸۰۸	۵	۸۰۰-۱۰۰۰
۲,۰۴	۴۹۹۰۳۵	۱۰۲۱۲	۶	۱۰۰۰-۱۲۰۰
۲,۴۲	۴۳۴۳۶۳	۱۰۵۵۴	۷	۱۲۰۰-۱۴۰۰
۲,۰۲	۲۹۰۶۶۸۹	۷۲۷۱۰	۸	۱۴۰۰-۱۶۰۰
	۱۰۸۶۷۷۲۱	۳۳۹۴۲۹	مجموع	

با روش اول نمودار (شکل شماره ۲) تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های کل در هر طبقه مشخص شده و در (جدول شماره ۶) در ۸ کلاس (PF) طبقه بندی شده است.

بارش

بارندگی بسیار زیاد و بیش از حد باعث شستشوی خاک روی دامنه ها می شود؛ مخصوصاً دامنه هایی که پوشش گیاهی آن از بین رفته است. بارندگی زیادی که در بخش کوهستانی منطقه مورد مطالعه رخ می دهد، باعث ایجاد گسیختگی در دامنه ها می شود و در نتیجه منجر به رخداد زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه می شود.

نقشه هم باران بر اساس تأثیر میزان بارش و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۷) با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه هم باران با روش دوم نمودار (شکل شماره ۲) تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۷ کلاس (PRA) در (جدول شماره ۱۰) طبقه بندی شده است.

چه میزان نفوذپذیری و وجود خلل و فرج، منفصل بودن و... بیشتر باشد، این حساسیت بالاتر می رود و در این نوع سازندها احتمال ایجاد زمین لغزش افزایش می یابد.

نقشه لیتولوژی بر اساس نوع سازند و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۸) در ۲۲ کلاس طبقه بندی شده سپس با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه لیتولوژی با روش دوم نمودار (شکل شماره ۲) تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۲۲ کلاس (PLi) در (جدول شماره ۵) طبقه بندی شده است.

فاصله از گسل

وجود گسل های فعال در حوضه مورد مطالعه نشان دهنده فعال بودن این حوضه از نظر فعالیت های تکتونیکی است. از این رو در صورت فعال شدن هر یک از این گسل ها هنگام زلزله احتمال رخداد زمین لغزش هایی وجود دارد. در عوض هرچقدر توده های لغزشی فاصله ی بیشتری از گسل ها داشته باشند، کمتر تحت تأثیر فعالیت گسل ها قرار می گیرند.

نقشه فاصله از گسل و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۹) با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه فاصله از گسل

۱۰۶

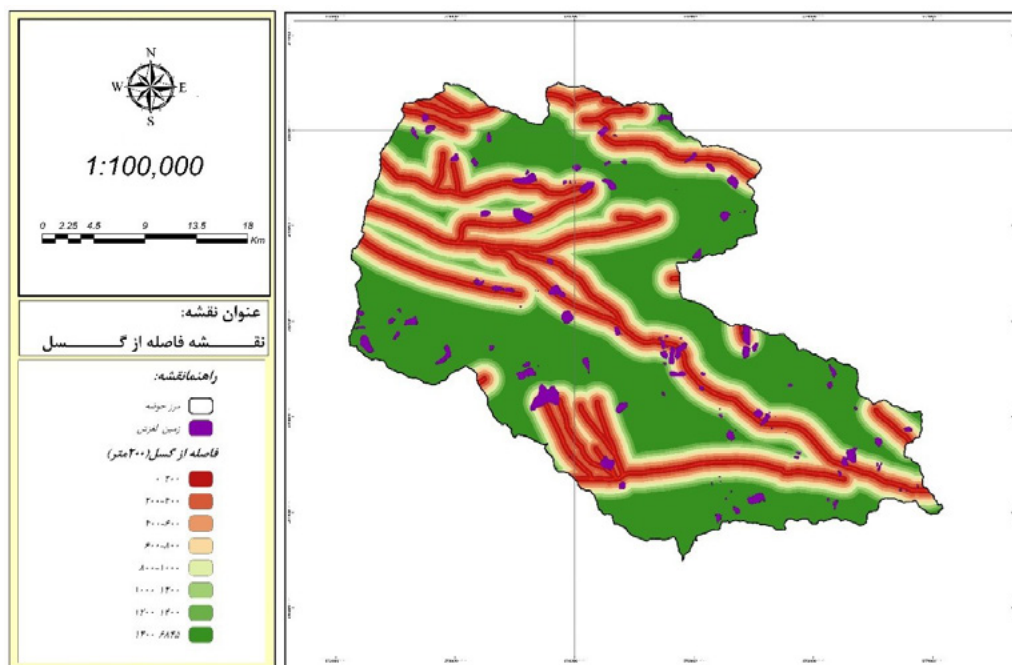
شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرار و تابستان
۱۴۰۱

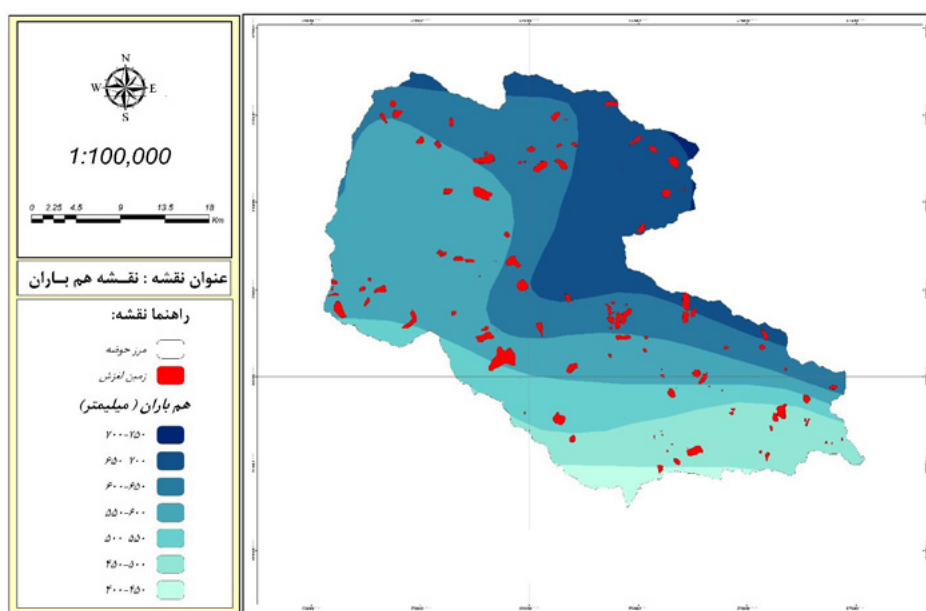
از مقایسه آماری ۲ متغیره / یو ا قاسم امیر احمدی
مجله سازی و تهیه بندی زمین لغزش های حوضه آبریز با استفاده



(نقشه شماره ۹) نقشه طبقات فاصله از گسل و زمین لغزش ها

(جدول شماره ۷) جدول نسبت تعداد پیکسل های هم باران و زمین لغزش های هر طبقه

PRa	کلاس	تعداد پیکسل های زمین لغزش	تعداد پیکسل های طبقات هم باران	درصد
۷۰۰-۷۵۰	۱	۰	۳۲۰۰۱	۰
۶۵۰-۷۰۰	۲	۴۲۲۲۶	۲۰۰۹۳۶۴	۲۰۱
۶۰۰-۵۶۰	۳	۱۰۵۱۷۵	۲۴۹۴۴۸۴	۴۰۲۲
۵۵۰-۶۰۰	۴	۱۲۹۱۱۳	۳۶۴۶۵۵۶	۳۰۵۴
۵۰۰-۵۵۰	۵	۲۴۹۰۲	۱۱۹۱۱۶۳	۲۰۰۹
۴۵۰-۵۰۰	۶	۳۶۰۹۵	۱۲۷۹۳۴۹	۲۰۸۲
۴۰۰-۴۵۰	۷	۱۹۱۸	۲۱۴۸۰۴	۰۰۸۹
	مجموع	۳۳۹۴۲۹	۱۰۸۶۷۷۲۱	



(نقشه شماره ۱۰) نقشه طبقات هم باران و زمین لغزش ها

۱۰۷

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرار و تابستان
۱۴۰۱

مجله سازی و پهنه بندی زمین لغزش های حوضه تیتان با استفاده
از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابوالقاسم امیراحمدی

فاصله از جاده

برش عرضی دامنه‌ها برای ایجاد جاده، سطح اتکا و وزن دامنه را کاهش داده و باعث سست شدن دامنه می‌شود. اگر دامنه به صورت اصولی مقاوم‌سازی نشود و همچنین اگر عامل لغزشی دیگری به دامنه اضافه شود، در این دامنه‌های برش خورده درصد ایجاد زمین لغزش افزایش می‌یابد و همچنین به علت وجود جاده در دامنه وزن اضافه‌ای به دامنه تحمیل می‌شود و همین امر هم موجب ایجاد زمین لغزش می‌شود.

نقشه فاصله از جاده بر اساس فاصله از جاده و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۱۱) با روش اول نمودار (شکل شماره ۲) تعداد پیکسل‌های لغزیده و پیکسل‌های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۸ کلاس (FRO) در (جدول شماره ۸) طبقه‌بندی شده است.

ارتفاع

با افزایش ارتفاع، بارندگی هم بیشتر می‌شود و در نتیجه بارندگی بسیار زیاد و بیش از حد باعث شستشوی دامنه‌ها و ازهم گسیختگی

آن‌ها شود؛ همین‌طور ضربات ناشی از قطرات باران مخصوصاً در نقاطی که فاقد پوشش گیاهی است، می‌تواند ذرات خاکانه‌ها را تخریب کند و در نتیجه با سست کردن، این خاک‌ها را مستعد وقوع زمین لغزش می‌کند. با توجه به اینکه در ارتفاعات بالا فرآیند هوازدگی و تخریب سنگ‌ها بیشتر است؛ در نتیجه مواد و مصالح مورد نیاز برای رخدادهای زمین لغزش را فراهم می‌سازد.

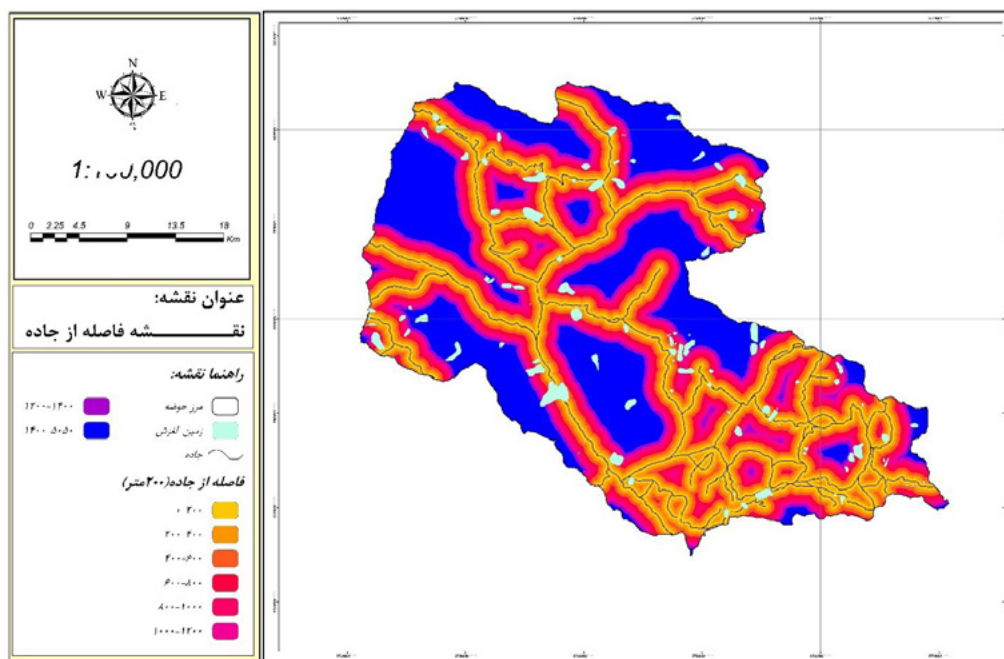
نقشه طبقات ارتفاعی بر اساس میزان ارتفاع و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۱۲) در ۱۳ کلاس طبقه‌بندی و سپس با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه طبقات ارتفاعی با روش سوم نمودار (شکل شماره ۲) آورده شده است. در انتها هم تعداد پیکسل‌های لغزیده و پیکسل‌های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۱۳ کلاس (PE) در (جدول شماره ۹) طبقه‌بندی شده است.

شیب

عامل شیب از عوامل اصلی در انواع حرکات توده‌ای است؛ مخصوصاً در زمین لغزش‌ها بعد از میزان نفوذ عامل شیب عامل

جدول نسبت تعداد پیکسل‌های فاصله از جاده و زمین لغزش‌های هر طبقه (جدول شماره ۸)

درصد	تعداد پیکسل‌های طبقات فاصله از جاده	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	کلاس	PRO
۳,۳۲	۱۱۵۷۴۷۳	۳۸۴۰۱	۱	۰-۲۰۰
۳,۵۲	۹۳۹۲۳۴	۳۳۰۸۷	۲	۲۰۰-۴۰۰
۳,۵۹	۸۰۰۹۷۵	۲۸۷۴۳	۳	۴۰۰-۶۰۰
۳,۷۴	۶۹۰۵۴۷	۲۵۸۳۸	۴	۶۰۰-۸۰۰
۴,۳۶	۶۰۱۸۱۲	۲۶۲۳۷	۵	۸۰۰-۱۰۰۰
۴,۰۱	۵۱۱۲۹۴	۲۰۹۶۱	۶	۱۰۰۰-۱۲۰۰
۲,۴۶	۴۲۲۱۵۰	۱۰۳۸۴	۷	۱۲۰۰-۱۴۰۰
۱,۹۴	۱۹۸۵۴۵۳	۳۸۴۲۱	۸	۱۴۰۰-۵۰۵۰
	۱۰۸۶۷۷۲۱	۳۳۹۴۲۹	مجموع	



نقشه شماره ۱۱) نقشه طبقات فاصله از جاده و زمین لغزش‌ها

۱۰۸

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

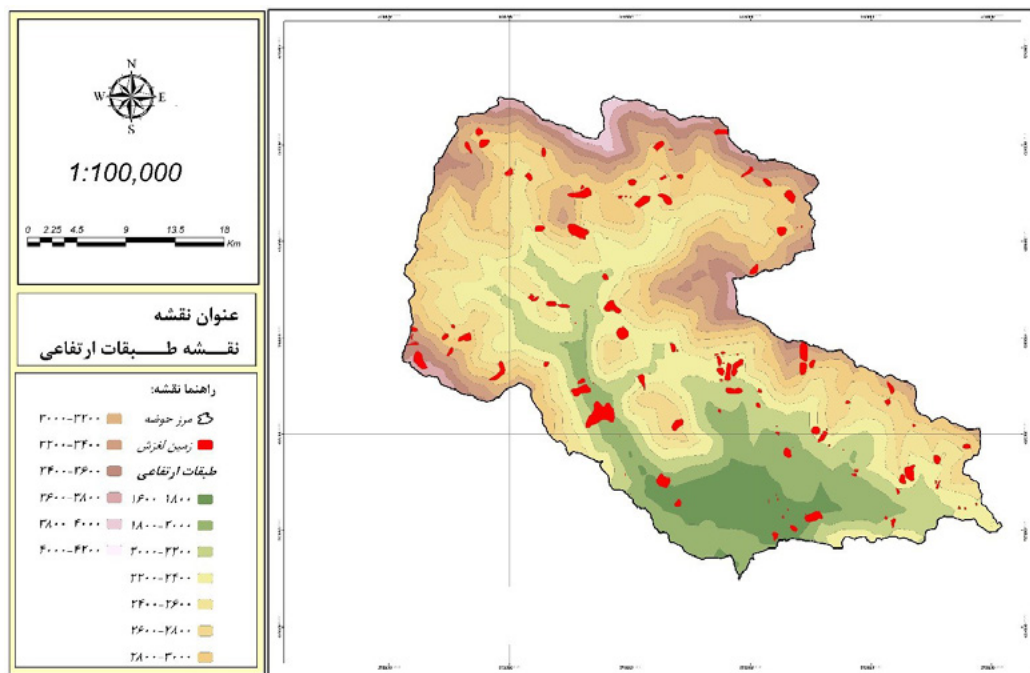
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرین

مدل سازی و پهنه‌بندی زمین لغزش‌های حوضه آبریز با استفاده از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابوالقاسم امیراحمدی

(جدول شماره ۹) جدول نسبت تعداد پیکسل های طبقات ارتفاعی و زمین لغزش های هر طبقه

درصد	تعداد پیکسل های طبقات ارتفاعی	تعداد پیکسل های زمین لغزش	کلاس	PE
۳,۲۴	۵۹۰۳۸۹	۱۹۱۳۱	۱	۱۶۰۰-۱۸۰۰
۴,۱۳	۱۱۲۴۶۷۲	۴۶۴۱۱	۲	۱۸۰۰-۲۰۰۰
۲,۴۵	۱۲۲۸۷۸۴	۳۰۱۲۵	۳	۲۰۰۰-۲۲۰۰
۳,۷۷	۱۵۲۹۴۴۳	۵۷۶۴۶	۴	۲۲۰۰-۲۴۰۰
۲,۲۹	۱۴۹۲۹۷۲	۳۴۱۹۸	۵	۲۴۰۰-۲۶۰۰
۲,۹۷	۱۴۸۱۸۵۱	۴۳۹۴۶	۶	۲۶۰۰-۲۸۰۰
۴,۱۹	۱۲۴۳۱۴۲	۵۲۰۴۱	۷	۲۸۰۰-۳۰۰۰
۳,۱۶	۹۰۵۱۳۵	۲۸۵۹۲	۸	۳۰۰۰-۳۲۰۰
۱,۶	۶۰۸۵۰۳	۹۷۶۲	۹	۳۲۰۰-۳۴۰۰
۲,۱۲	۳۹۱۷۳۸	۸۲۹۶	۱۰	۳۴۰۰-۳۶۰۰
۴,۱	۲۲۹۵۵۶	۹۴۰۷	۱۱	۳۶۰۰-۳۸۰۰
.	۵۸۶۴۸	.	۱۲	۳۸۰۰-۴۰۰۰
.	۲۸۸۸	.	۱۳	۴۰۰۰-۴۲۰۰
	۱۰۸۶۷۷۲۱	۳۳۹۴۲۹	مجموع	



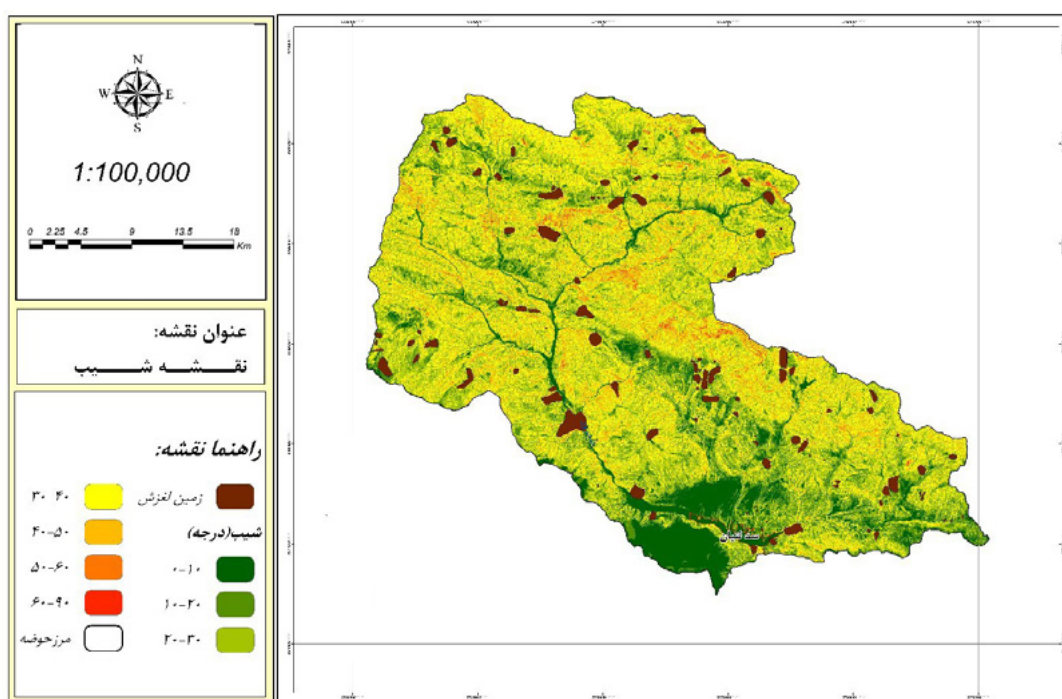
(نقشه شماره ۱۲) نقشه طبقات ارتفاعی و زمین لغزش ها

قرار دادن نقشه زمین لغزش و شیب با روش سوم نمودار (شکل شماره ۲) مراحل طی شده در انتها جدولی را خروجی گرفته است. سپس تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های کل در هر طبقه مشخص شد و در (جدول شماره ۱۰) طبقه بندی شده و در ۷ کلاس (PS) قرار گرفته است.

اصلی این حرکات است. شیب به ۲ صورت طبیعی و مصنوعی (تغییرات انسانی) تغییر می کند. عامل شیب موجب افزایش نیروی ثقل و باعث به حرکت درآوردن توده لغزشی می شود. نقشه شیب بر اساس زاویه شیب و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۱۳) در ۷ کلاس طبقه بندی شده و سپس با روی هم

(جدول شماره ۱۰) جدول نسبت تعداد پیکسل های طبقات شیب و زمین لغزش های هر طبقه

درصد	تعداد پیکسل های طبقات شیب	تعداد پیکسل های زمین لغزش	کلاس	PS
۲,۶۳	۶۳۱۸۳۸	۱۶۶۱۹	۱	۶۰-۹۰
۵,۶۷۴	۹۵۵۳۵۸	۵۴۲۱۰	۲	۵۰-۶۰
۳,۵۴۱	۲۲۵۴۶۳۹	۷۹۸۳۶	۳	۴۰-۵۰
۲,۳۲۵	۲۳۲۵۴۲۰	۵۴۰۶۰	۴	۳۰-۴۰
۱,۸۸۶	۸۴۱۴۱۱	۱۵۸۶۷	۵	۲۰-۳۰
۱,۲۶۳	۸۱۵۲۵	۱۰۳۰	۶	۱۰-۲۰
۲,۶۱۱	۱۸۷۶۵	۴۹۰	۷	۰-۱۰
	۱۰۸۶۷۷۲۱	۳۳۹۴۲۹	مجموع	



(نقشه شماره ۱۳) نقشه طبقات شیب و زمین لغزش ها

آفتاب است. به عبارت ساده تر، آب به تدریج در زمین نفوذ می کند و موجب آبیگری آن می شود؛ سپس خاک دامنه سنگین شده و تحت تأثیر نیروی ثقل در روی دامنه به حرکت در می آید. همچنین عامل دیگری برای رخداد زمین لغزش در این جهت های دامنه انبساط و انقباض خاک ها هنگام روز و شب است که زمینه ی ناپایداری و سست شدن خاک این جهت های دامنه ها را فراهم می کند.

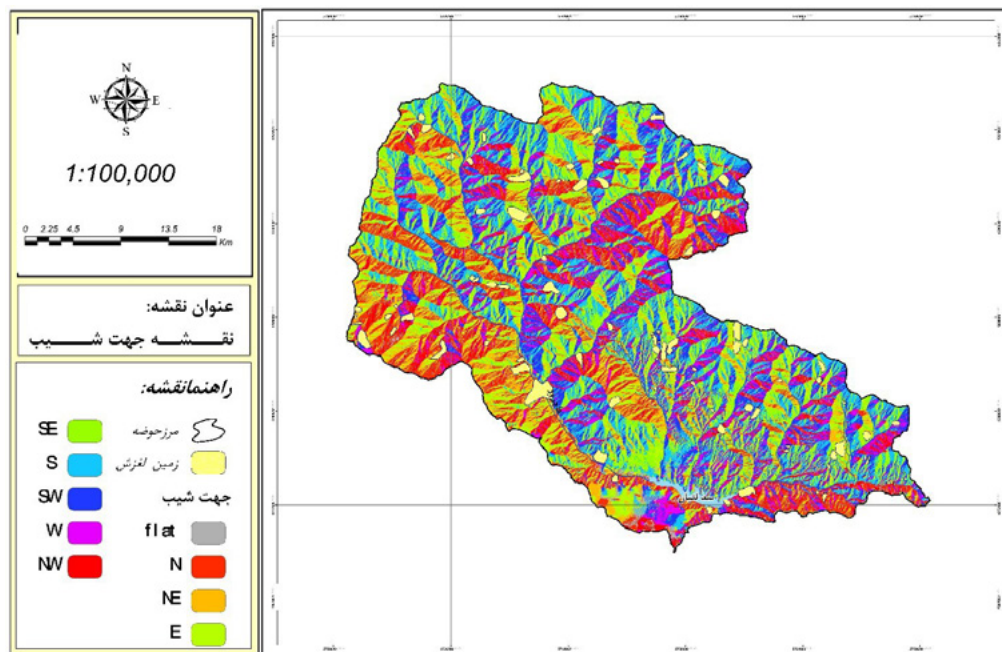
نقشه جهت شیب بر اساس جهت و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۱۴) در ۹ کلاس طبقه بندی شده است. سپس با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و شیب با روش سوم نمودار (شکل شماره ۲) آورده شده، مراحل طی شده و در انتها جدول خروجی گرفته شده است؛ سپس تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های کل در هر طبقه مشخص شد و در (جدول شماره ۱۱) طبقه بندی شده و در ۹ کلاس (PA) قرار گرفته است.

جهت شیب

جهت شیب یکی از عواملی است که تأثیر زیادی در وقوع زمین لغزش ها دارد. با روی هم قرار دادن نقشه موقعیت زمین لغزش ها در حوضه و نقشه ی جهت شیب مشخص شد که همبستگی معناداری بین جهت شیب و وقوع حرکات لغزشی وجود دارد. بیشتر زمین لغزش ها در جهات شمالی شیب دامنه ها و به ترتیب در جهت های شمال شرقی، شمال، جنوب و شمال غربی اتفاق افتاده است. احتمال بالای وقوع زمین لغزش ها در این جهات شیب ها می تواند ناشی از این مسئله باشد که این دامنه ها در نیمکره شمالی آفتاب گیر است و با توجه به کوهستانی بودن منطقه و رقیق بودن هوا در ارتفاعات، خصوصاً در اوایل بهار و اواخر زمستان تابش خورشید باعث ذوب برف ها شده که این امر موجب مرطوب شدن خاک های جهت هایی از شیب می شود که رو به

(جدول شماره ۱۱) جدول نسبت تعداد پیکسل های طبقات جهت شیب و زمین لغزش های هر طبقه

PS	کلاس	تعداد پیکسل های زمین لغزش	تعداد پیکسل های طبقات جهت شیب	درصد
NE	۱	۳۵۳۲۲	۸۰۳۷۶۰	۴,۳۹
N	۲	۲۹۷۱۰	۷۳۵۳۵۳	۴,۰۴
W	۳	۲۵۶۰۹	۶۹۰۵۴۲	۳,۷۱
NW	۴	۲۱۵۹۳	۶۱۴۵۱۰	۳,۵۱
E	۵	۲۶۶۲۴	۸۴۸۶۸۵	۳,۱۴
SW	۶	۲۹۸۵۶	۹۸۰۲۸۱	۳,۰۵
F	۷	۳۶۹۳	۱۶۷۰۹۳	۲,۲۱
SE	۸	۲۳۷۱۳	۱۰۷۹۸۷۶	۲,۲
S	۹	۲۵۹۹۲	۱۱۸۸۸۵۶	۲,۱۹
	مجموع	۳۳۹۴۲۹	۱۰۸۶۷۷۲۱	



(نقشه شماره ۱۴) نقشه طبقات جهت شیب و زمین لغزش ها

گام دوم: مشخص کردن نقش هر پارامتر

در ادامه نقش هر پارامتر در وقوع لغزش ها در حوضه ی سد لتیان مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. برای این کار ابتدا میزان همبستگی هر یک از متغیرها و مشخص کردن مؤثرترین و کم اثرترین عامل را توسط همبستگی آماری در محیط SPSS مشخص شده است. در این تحلیل از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است.

برای تحلیل و ایجاد جدول فراوانی از تعداد پیکسل های هر یک از متغیرها در طبقات مشخص شده، با تعداد پیکسل های زمین لغزش در هر طبقه استفاده شده و سپس آزمون همبستگی پیرسون گرفته شده است.

با توجه به خروجی SPSS ضریب همبستگی پیرسون برای همه متغیرها یک است، مقدار عدد معنی داری (sig) مشاهده شده برای همه متغیرها کوچک تر از ۰,۰۱ و در واقع ($\text{sig} < 0.01$) است که از سطح معنی داری استاندارد ($\alpha = 5\%$) کمتر است. از این رو میان هر یک از این ۲ متغیرها در سطح اطمینان ۹۹ درصد رابطه معنی داری وجود دارد. با توجه به اینکه ضریب همبستگی بین هر یک از ۲ متغیر وابسته و متغیرهای مستقل دارای علامت مثبت است. بنابراین می توان گفت: جهت تغییرات هر یک از این ۲ متغیرها با یکدیگر هم جهت و از نوع مثبت بوده؛ یعنی افزایش میزان دار بودن متغیر مستقل منجر به افزایش متغیر وابسته می شود. (جدول های شماره ۱۲-۲۲)

(جدول ۱۲) ضریب همبستگی پوشش گیاهی با زمین لغزش

پوشش گیاهی	Pearson Correlation	۱	زمین لغزش
	Sig. (۲-tailed)		۱,۰۰۰**
	N	۱۰۸۶۶۱۵۴	۱۰۸۶۶۱۵۴
زمین لغزش	Pearson Correlation	۱,۰۰۰**	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰	
	N	۱۰۸۶۶۱۵۴	۱۰۸۶۶۱۵۴

(جدول ۱۳) ضریب همبستگی فاصله از دریاچه سد با زمین لغزش

فاصله از دریاچه سد	Pearson Correlation	۱	زمین لغزش
	Sig. (۲-tailed)		۱,۰۰۰**
	N	۱۰۴۸۱۸۳۶	۱۰۴۸۱۸۳۶
زمین لغزش	Pearson Correlation	۱,۰۰۰**	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰	
	N	۱۰۴۸۱۸۳۶	۱۰۴۸۱۸۳۶

(جدول ۱۴) ضریب همبستگی کاربری ارضی با زمین لغزش

کاربری ارضی	Pearson Correlation	۱	زمین لغزش
	Sig. (۲-tailed)		0.997**
	N	۳۳۹۴۲۹	۳۳۹۴۲۹
زمین لغزش	Pearson Correlation	0.997**	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰	
	N	۳۳۹۴۲۹	۳۳۹۴۲۹

(جدول ۱۵) ضریب همبستگی فاصله از رودخانه با زمین لغزش

فاصله از رودخانه	Pearson Correlation	۱	زمین لغزش
	Sig. (۲-tailed)		۰,۹۹۳**
	N	۷۱۰۸۹۳۸	۷۱۰۸۹۳۸
زمین لغزش	Pearson Correlation	۰,۹۹۳**	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰	
	N	۷۱۰۸۹۳۸	۷۱۰۸۹۳۸

(جدول ۱۶) ضریب همبستگی لیتولوژی با زمین لغزش

لیتولوژی	Pearson Correlation	۱	زمین لغزش
	Sig. (۲-tailed)		۰,۹۹۰**
	N	۱۰۸۶۷۷۱۳	۱۰۸۶۷۷۱۳
زمین لغزش	Pearson Correlation	۰,۹۹۰**	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰	
	N	۱۰۸۶۷۷۱۳	۱۰۸۶۷۷۱۳

(جدول ۱۷) ضریب همبستگی فاصله از گسل با زمین لغزش

فاصله از گسل	زمین لغزش	
	Pearson Correlation	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰
زمین لغزش	N	۷۱۰۸۹۳۸
	Pearson Correlation	۰,۹۸۳ ^{***}
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰
		N
		۷۱۰۸۹۳۸

(جدول ۱۸) ضریب همبستگی بارش با زمین لغزش

بارش	زمین لغزش	
	Pearson Correlation	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۹۴۶ ^{**}
زمین لغزش	N	۱۰۸۶۷۷۲۱
	Pearson Correlation	۰,۹۴۶ ^{**}
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰
		N
		۱۰۸۶۷۷۲۱

(جدول ۱۹) ضریب همبستگی فاصله از جاده با زمین لغزش

فاصله از جاده	زمین لغزش	
	Pearson Correlation	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۸۰۱ ^{***}
زمین لغزش	N	۷۱۰۸۹۳۸
	Pearson Correlation	۰,۸۰۱ ^{***}
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰
		N
		۷۱۰۸۹۳۸

(جدول ۲۰) ضریب همبستگی ارتفاع با زمین لغزش

ارتفاع	زمین لغزش	
	Pearson Correlation	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۸۰۰ ^{**}
زمین لغزش	N	۱۰۸۸۷۷۲۱
	Pearson Correlation	۰,۸۰۰ ^{**}
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰
		N
		۱۰۸۸۷۷۲۱

(جدول ۲۱) ضریب همبستگی شیب با زمین لغزش

شیب	زمین لغزش	
	Pearson Correlation	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۷۸۰ ^{***}
زمین لغزش	N	۷۱۰۸۹۵۶
	Pearson Correlation	۰,۷۸۰ ^{***}
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰
		N
		۷۱۰۸۹۵۶

(جدول ۲۲) ضریب همبستگی جهت شیب با زمین لغزش

جهت شیب	جهت شیب		زمین لغزش
	Pearson Correlation	۱	۰,۷۵۳**
	Sig. (۲-tailed)		۰,۰۰۰
زمین لغزش	N	۱۰۳۳۵۸۳۲	۱۰۳۳۵۸۳۲
	Pearson Correlation	۰,۷۵۳**	۱
	Sig. (۲-tailed)	۰,۰۰۰	
		N	۱۰۳۳۵۸۳۲

روش آماری ۲ متغیره ارزش اطلاعات:

این روش توسط Yin & Yan در سال ۱۹۸۸ ابداع شد. در این روش با توجه به رابطه متغیرهای مؤثر در رخداد زمین لغزش با پراکندگی زمین لغزش ها اقدام به پهنه بندی خطر زمین لغزش می شود. بر این اساس وزن و سهم هر یک از پارامترها در رخداد زمین لغزش بر اساس رابطه زیر به دست می آید. [۱۱]

$$L_n W_i = L_n \left[\frac{Densclass}{Densmap} \right] = L_n \left[\frac{\frac{Npic(S_i X_i)}{Npic(X_i)}}{\sum \frac{Npic(S_i X_i)}{\sum Npic(X_i)}} \right]$$

Wi: وزن مربوط به طبقه مشخص از یک متغیر
Densclass: تراکم زمین لغزش در طبقه مشخص از یک پارامتر

Densmap: تراکم زمین لغزش در کل محدوده
Npix(Si): تعداد سلول ها یا مساحت زمین لغزش های رخ داده در هر طبقه از پارامتر

Npix(Ni): تعداد سلول ها یا مساحت کل هر طبقه از پارامتر
پس از تهیه نقشه های وزنی مربوط به پارامترهای مؤثر در رخداد زمین لغزش همه آن ها با هم جمع می شود و یک نقشه وزنی تجمعی به دست می آید. وزن های به دست آمده (جدول شماره ۲۳) به هر طبقه اعمال شد و نقشه وزن دهی هر عامل برای هر ۲ مدل به طور جداگانه تهیه شده است. (نقشه های شماره ۱۵-۲۵)

گام سوم: وزن دهی

هر نقشه فاکتور (برای مثال شیب، زمین شناسی و یا کاربری ارضی) به صورت جداگانه با نقشه پراکنش زمین لغزش ها ترکیب شده و زیرگروه های مربوطه بر اساس تراکم زمین لغزش ها امتیازدهی می شوند. [۱۱]

روش آماری ۲ متغیره تراکم سطح

در این روش از طریق روابط زیر برای هر نقشه عامل یا پارامتر تراکم زمین لغزش محاسبه می شود و سپس نقشه های وزنی مربوط به پارامترهای مؤثر در رخداد زمین لغزش تهیه می شود. بعد همه آن ها با هم جمع شده و یک نقشه وزنی تجمعی به دست آمده است. هر چه عدد وزن ها منفی تر باشد، نشان دهنده تأثیر کمتر پارامتر مربوطه در رخداد زمین لغزش و عدد مثبت تر نشان دهنده بیشترین تأثیر است. [۱۱]

$$D_{area} = \frac{Npix(SX_i)}{Npix(X_i)}$$

Darea: تراکم زمین لغزش در هر رده از پارامتر
Npix(SX_i): تعداد پیکسل های زمین لغزش در هر رده از هر پارامتر مشخص
Npix(X_i): تعداد کل پیکسل ها در هر رده از پارامتر مشخص

$$W_{area} = 1000 \left[D_{area} - \frac{\sum Npix(SX_i)}{\sum Npix(X_i)} \right]$$

W_{area}: وزن متغیر هر رده از هر پارامتر [۱۱]

(جدول شماره ۲۳) وزن روش های ۲ متغیر تراکم سطح و ارزش اطلاعات

روش ارزش اطلاعات	روش تراکم سطح	کلاس	P	
۳,۰۲۵	۶۳,۱۶	۱	درختکاری شده	
۱,۵۱۷	۱۶,۱۳۵	۲	مراعات با تاج پوشش خوب	
۱,۵۱۷	۱۶,۱۱۱	۳	چمن	
۰,۹۶۴	-۱,۱۰۸	۴	مرتفع با تاج پوشش متوسط	
۰,۸۷۳	-۳,۹۶۹	۵	اراضی باغی	
۰,۸۱۳	-۵,۸۳۵	۶	دریاچه سد	
۰,۲۹۰	-۲۲,۱۳۱	۷	جنگل مصنوعی	
۰	-۳۱,۱۸۷	۸	محدوده شهری	
۰	-۳۱,۱۸۷	۹	مرتفع با تاج پوشش فقیر	

(جدول شماره ۲۳) وزن روش‌های ۲ متغیر تراکم سطح و ارزش اطلاعات

روش ارزش اطلاعات	روش تراکم سطح	کلاس	P	
فاصله از سد PL	۱۱,۸۰۲	۰,۰۴۳	۱	۰-۲۰۰
	-۲۹,۹۱۴	۰,۰۰۱	۲	۲۰۰-۴۰۰
	-۲۴,۲۳۱	۰,۰۰۷	۳	۴۰۰-۶۰۰
	۴,۴۰۱	۰,۰۳۶	۴	۶۰۰-۸۰۰
	-۷,۷۷۸	۰,۰۲۳	۵	۸۰۰-۱۰۰۰
	-۵,۴۴۹	۰,۰۲۶	۶	۱۰۰۰-۱۲۰۰
	-۷,۹۷۰	۰,۰۲۳	۷	۱۲۰۰-۱۴۰۰
	۱۲,۱۲۵	۰,۰۴۳	۸	۱۴۰۰-۱۶۰۰
	۲,۱۱۲	۰,۰۳۳	۹	۱۶۰۰-۲۶۹۶۶
کاربری ارضی PU	۱۴,۵۱۸	۰,۰۴۶	۱	زراعت آبی
	۲,۴۳۷	۰,۰۳۴	۲	دامنه
	-۱۹,۱۷۳	۰,۰۱۲	۳	مسکونی
	-۲۱,۶۵۴	۰,۰۱۰	۴	زراعی
	-۳۱,۱۸۴	۰	۵	دیم‌کاری
	-۳۱,۱۸۴	۰	۶	جنگل‌کاری
	۸,۶۷۸	۰,۰۴	۱	۰-۲۰۰
فاصله از رودخانه PRi	۱۴,۷۹۱	۰,۰۴۶	۲	۲۰۰-۴۰۰
	۱۱,۱۸۴	۰,۰۴۲	۳	۴۰۰-۶۰۰
	۳,۸۶۲	۰,۰۳۵	۴	۶۰۰-۸۰۰
	-۰,۴۹۴	۰,۰۳۱	۵	۸۰۰-۱۰۰۰
	-۵,۰۸۳	۰,۰۲۶	۶	۱۰۰۰-۱۲۰۰
	-۹,۷۱۲	۰,۰۲۱	۷	۱۲۰۰-۱۴۰۰
	-۴,۹۸۸	۰,۰۲۶	۸	۱۴۰۰-۵۷۳۰
	۵۳,۴۵	۰,۰۸۵	۱	سازند قم
	۴۲,۰۰۳	۰,۰۷۳	۲	سازند روته
	۳۷,۹۸۵	۰,۰۶۹	۳	سازند قرمز فوقانی
	۲۸,۴۷۵	۰,۰۶	۴	سازند آبناک
	۲۵,۹۹۵	۰,۰۵۷	۵	سازند جبرود
	۱۵,۲۴۶	۰,۰۴۶	۶	سازند کند
لیتولوژی PLi	۱۲,۲۴۱	۰,۰۴۳	۷	سازند سلطانیه
	۱,۲۲	۰,۰۳۲	۸	آبرفت (آبرفت تهران)
	۱,۰۴۸	۰,۰۳۲	۹	سازند کرج
	۱,۰۴۵	۰,۰۳۲	۱۰	سازند شمشک
	-۱,۴۱۱	۰,۰۳	۱۱	سازند لار
	-۶,۱۰۳	۰,۰۲۵	۱۲	سازند بایندر
	-۱۰,۷۲۱	۰,۰۲	۱۳	گرانیت
	-۱۸,۱۶۱	۰,۰۱۳	۱۴	سازند قاجان
	-۲۲,۰۲۵	۰,۰۰۹	۱۵	سازند زیارت
	-۲۳,۵۷۱	۰,۰۰۸	۱۶	بازالت
	-۲۵,۹۸۵	۰,۰۰۵	۱۷	سازند زاگون
	-۲۷,۰۹۶	۰,۰۰۴	۱۸	سیل با ترکیب بازی تا متوسط
	-۲۹,۰۸۳	۰,۰۰۲	۱۹	سازند میلا
	-۲۹,۱۲۵	۰,۰۰۲	۲۰	سازند هزار دره
	-۳۱,۱۸۷	۰	۲۱	سازند لالون
	-۳۱,۱۸۷	۰	۲۲	سازند قرمز تحتانی

۱۱۵

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

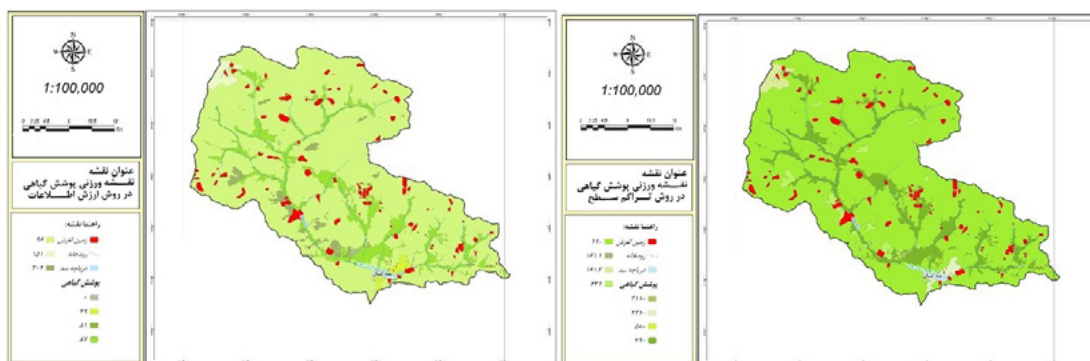
مجله سازی و پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های حوضه تیان با استفاده
از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابوالقاسم امیراحمدی

(جدول شماره ۲۳) وزن روش های ۲ متغیر تراکم سطح و ارزش اطلاعات

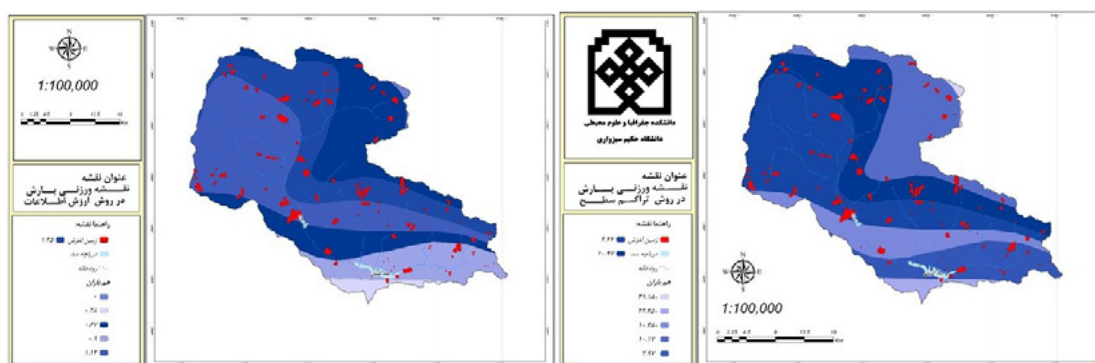
روش ارزش اطلاعات	روش تراکم سطح	کلاس	P	
فاصله از گسل PF	۱,۲۶۷	۱	۰,۰۴	۸,۳۴۱
	۱,۴۱۱	۲	۰,۰۴۵	۱۳۷,۴۲
	۱,۳۹۴	۳	۰,۰۴۳	۱۲,۲۸۳
	۱,۱۳۷	۴	۰,۰۳۵	۴,۲۷۶
	۰,۹۹۵	۵	۰,۰۳۱	-۰,۱۶۵
	۰,۶۵۶	۶	۰,۰۲	۱۰,۷۲۳
	۰,۷۷۹	۷	۰,۰۲۴	-۶,۸۸۹
	۰,۸۰۲	۸	۰,۰۲۵	-۶,۱۷۲
	۰	۱	۰	-۳۱,۱۸۷
	۰,۶۷۴	۲	۰,۰۲۱	-۱۰,۱۷۲
بارش PRa	۱,۳۵۲	۳	۰,۰۴۲	۱۰,۹۷۶
	۱,۱۳۵	۴	۰,۰۳۵	۴,۲۲
	۰,۶۷	۵	۰,۰۲۱	-۱۰,۲۸۱
	۰,۹۰۵	۶	۰,۰۲۸	-۲,۹۷۳
	۰,۵۸۶	۷	۰,۰۰۹	-۲۲,۲۵۸
	۱,۰۶۴	۱	۰,۰۳۳	۱,۹۹
	۱,۱۳	۲	۰,۰۳۵	۴,۰۴۱
	۱,۱۵۱	۳	۰,۰۳۶	۴,۶۹۸
فاصله از جاده PRo	۱,۲	۴	۰,۰۳۷	۶,۲۳
	۱,۳۹۸	۵	۰,۰۴۴	۱۲,۴۱
	۱,۳۱۵	۶	۰,۰۴۱	۹,۸۰۹
	۰,۷۸۹	۷	۰,۰۲۵	-۶,۵۸۹
	۰,۶۲	۸	۰,۰۱۹	-۱۱,۸۳۶
	۱,۰۳۹	۱	۰,۰۳۲	۱,۲۱۷
	۱,۳۲۳	۲	۰,۰۴۱	۱۰,۰۷۹
	۰,۷۸۶	۳	۰,۰۲۵	۶,۶۷۱
	۱,۲۰۹	۴	۰,۰۳۸	۶,۵۰۴
	۰,۷۳۴	۵	۰,۰۲۳	-۸,۲۸۱
	۰,۹۵۱	۶	۰,۰۳	-۱,۵۳۱
	۱,۳۴۲	۷	۰,۰۴۲	۱۰,۶۷۶
	۱,۰۱۳	۸	۰,۰۳۲	-۰,۴۰۲
	۰,۵۱۴	۹	۰,۰۱۶	-۱۵,۱۴۴
ارتفاع PE	۰,۶۷۹	۱۰	۰,۰۲۱	-۱۰,۰۱۰
	۱,۳۱۴	۱۱	۰,۰۴۱	۹,۷۹۲
	۰	۱۲	۰	-۳۱,۱۸۷
	۰	۱۳	۰	-۳۱,۱۸۷
	۰,۸۴۳	۱	۰,۰۲۶	-۴,۸۸۴
	۱,۸۱۹	۲	۰,۰۵۷	۲۵,۵۵۶
	۱,۱۳۵	۳	۰,۰۳۵	۴,۲۲۳
	۰,۷۴۵	۴	۰,۰۲۳	-۷,۹۴۰
	۰,۶۰۵	۵	۰,۰۱۹	-۱۲,۳۲۹
	۰,۴۰۵	۶	۰,۰۱۳	-۱۸,۵۵۳
شیب PS	۰,۸۳۷	۷	۰,۰۲۶	-۵,۰۷۵

(جدول شماره ۲۳) وزن روش‌های ۲ متغیر تراکم سطح و ارزش اطلاعات

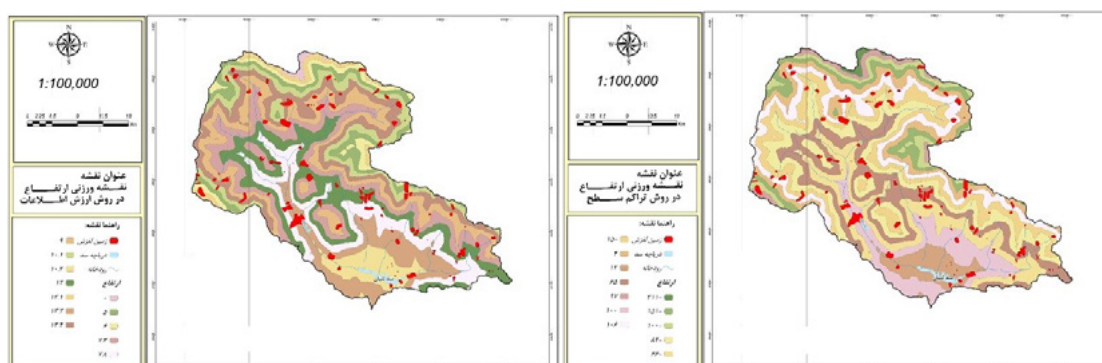
جهت شیب PA	P	کلاس	روش تراکم سطح		روش ارزش اطلاعات
	NE	۱	۰.۰۴۴	۱۲.۷۵۹	۱.۴۱۳
	N	۲	۰.۰۴	۹.۲۱۵	۱.۲۹۹
	W	۳	۰.۰۳۷	۵.۸۹۸	۱.۱۹۲
	NW	۴	۰.۰۳۵	۳.۹۵۲	۱.۱۳۰
	E	۵	۰.۰۳۱	۰.۱۸۴	۱.۰۰۹
	SW	۶	۰.۰۳	-۰.۷۳	۰.۹۷۹
	F	۷	۰.۰۲۲	-۹.۰۸۶	۰.۷۱۱
	SE	۸	۰.۰۲۲	-۹.۲۲۸	۰.۷۰۶
	S	۹	۰.۰۲۲	-۹.۳۲۴	۰.۷۰۱



(نقشه شماره ۱۵) نقشه وزن دهی پوشش گیاه



(نقشه شماره ۱۶) نقشه وزن دهی بارش



(نقشه شماره ۱۷) نقشه وزن دهی ارتفاع

۱۱۷

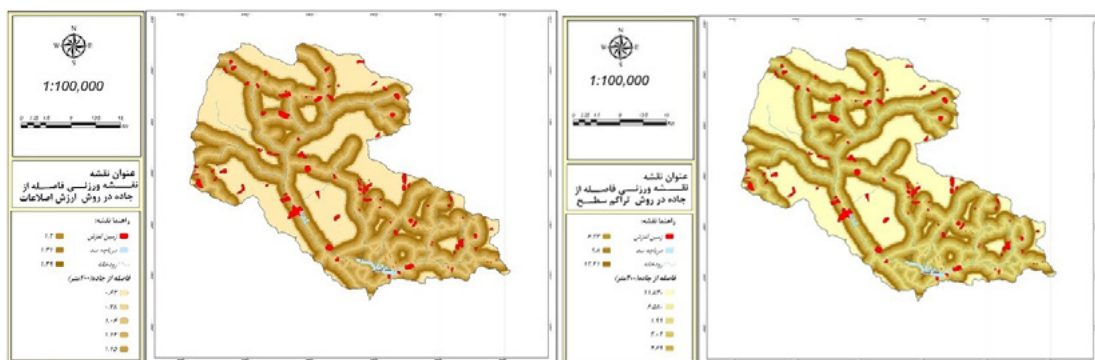
شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

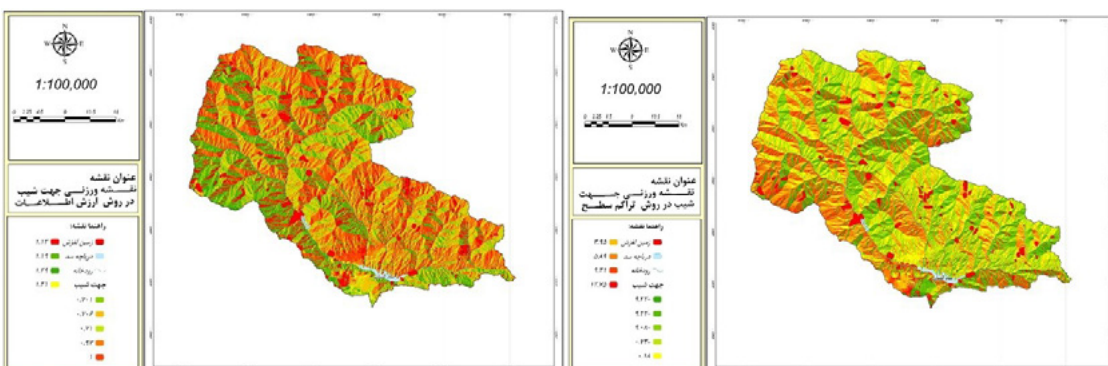
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرار و تابستان
۱۴۰۱

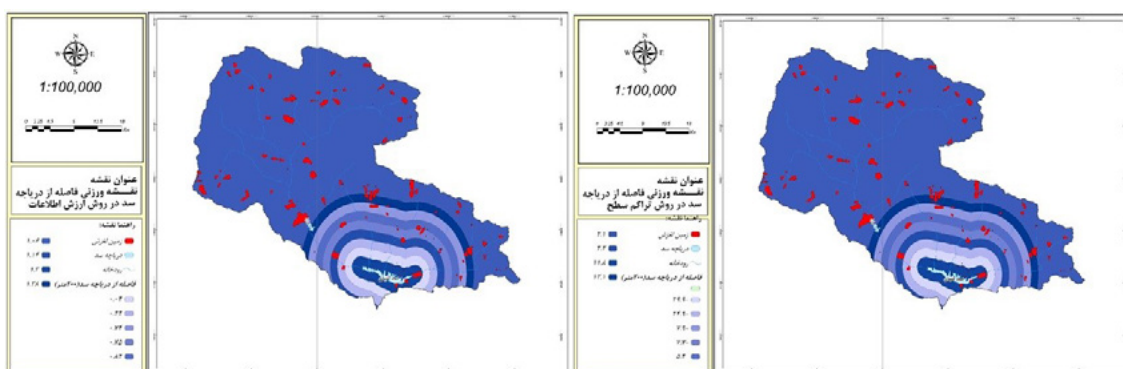
مجله علمی و پژوهشی زمین‌شناسی و مهندسی
از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابوالقاسم امیراحمدی



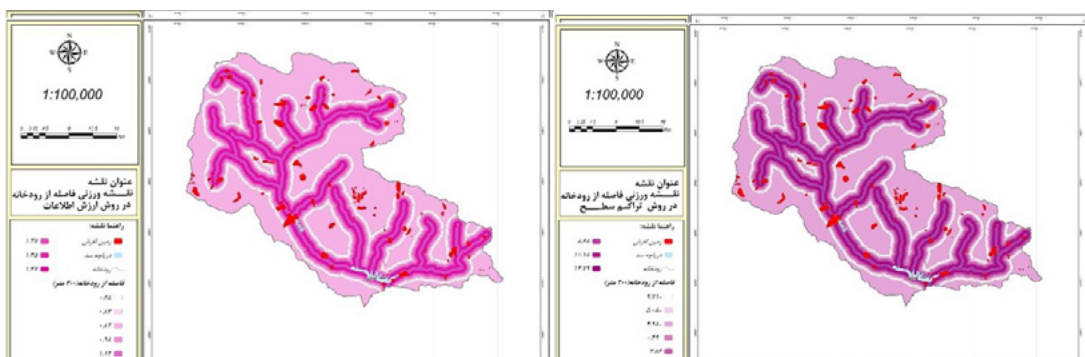
(نقشه شماره ۱۸) نقشه وزن دهی فاصله از جاده



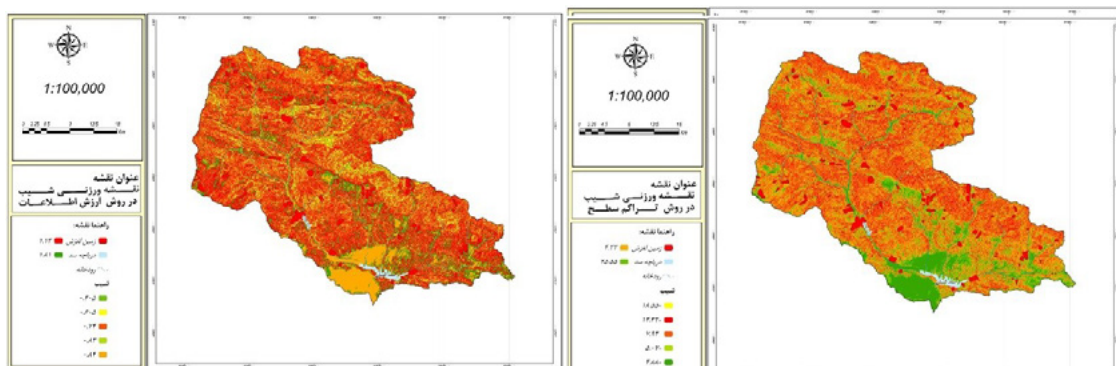
(نقشه شماره ۱۹) نقشه وزن دهی جهت شیب



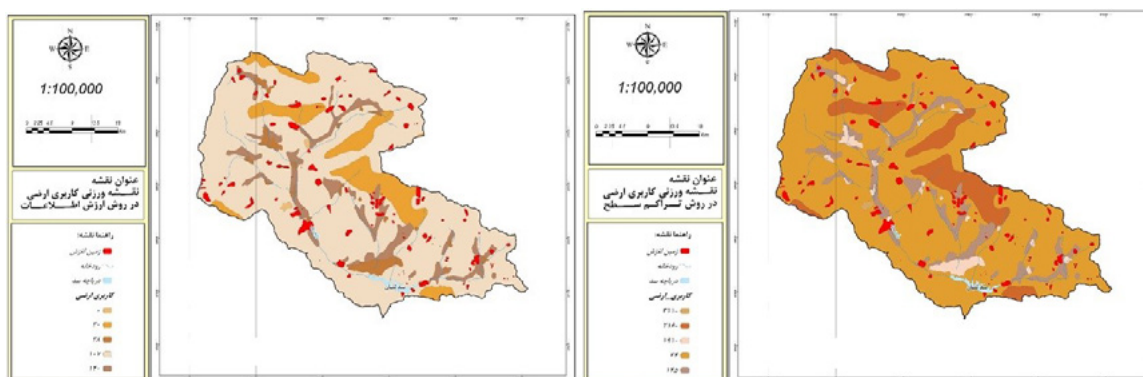
(نقشه شماره ۲۰) نقشه وزن دهی فاصله دریاچه سد



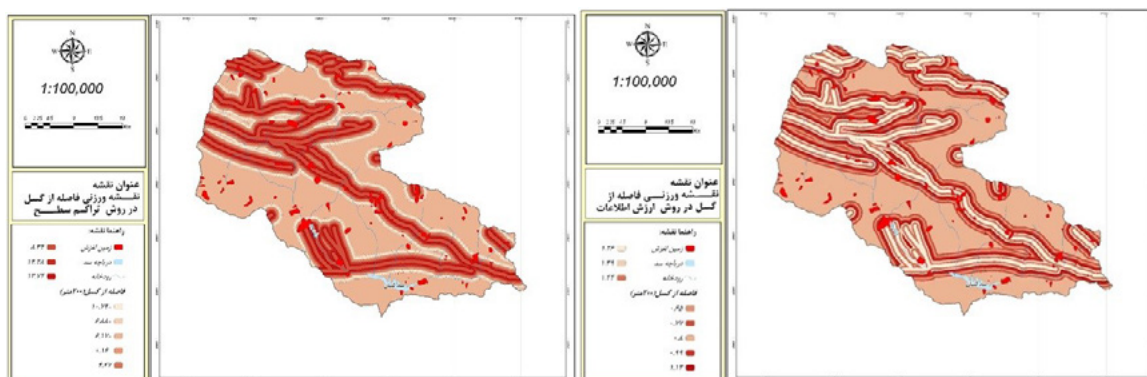
(نقشه شماره ۲۱) نقشه وزن دهی فاصله از رودخانه



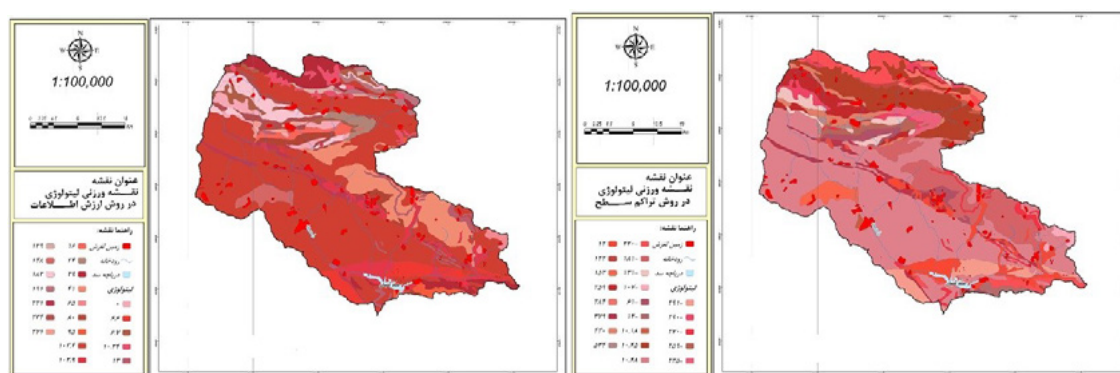
(نقشه شماره ۲۲) نقشه وزن دهی شیب



(نقشه شماره ۲۳) نقشه وزن دهی کاربری ارضی



(نقشه شماره ۲۴) نقشه وزن دهی فاصله از گسل

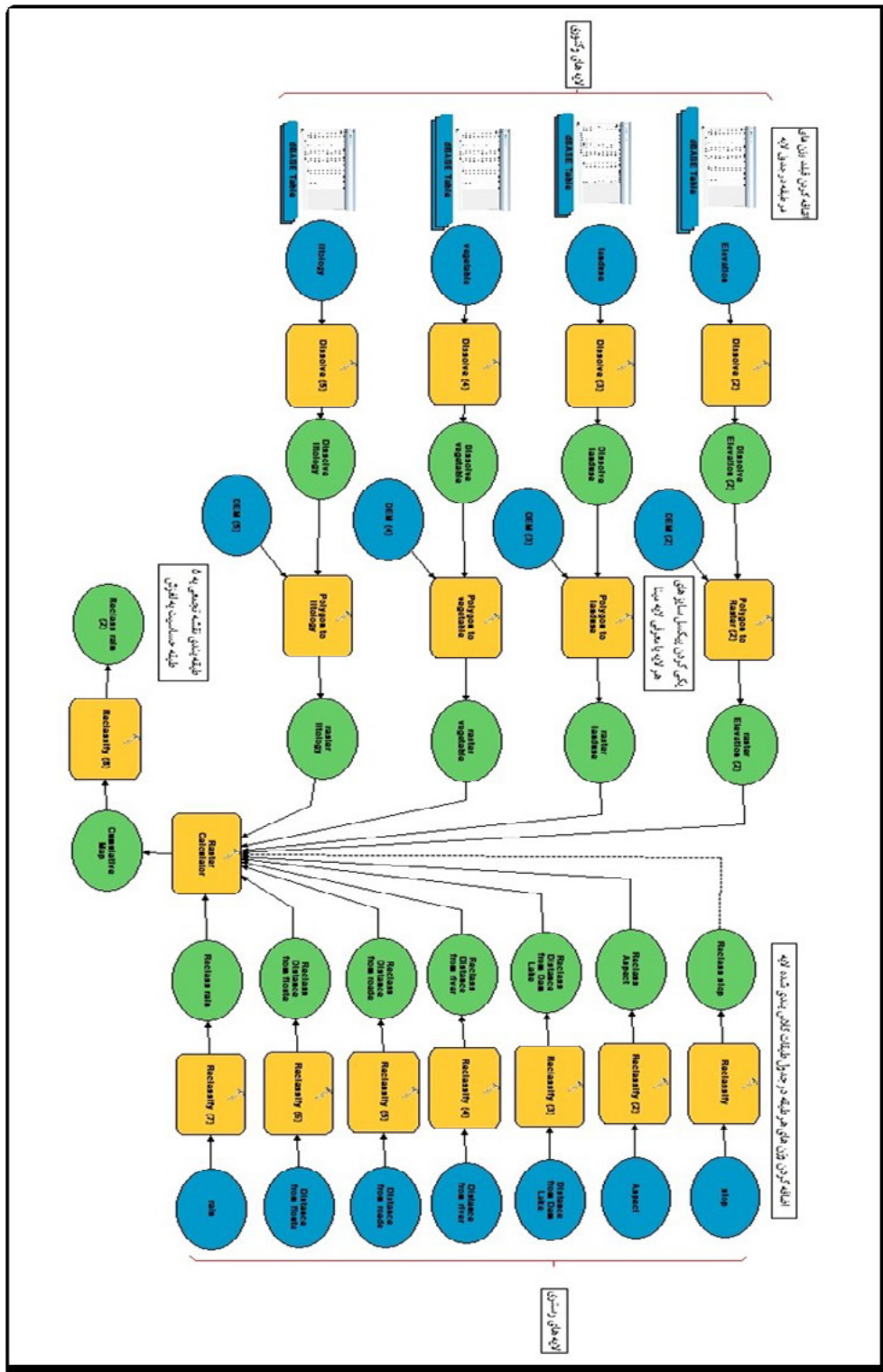


(نقشه شماره ۲۵) نقشه وزن دهی لیتولوژی

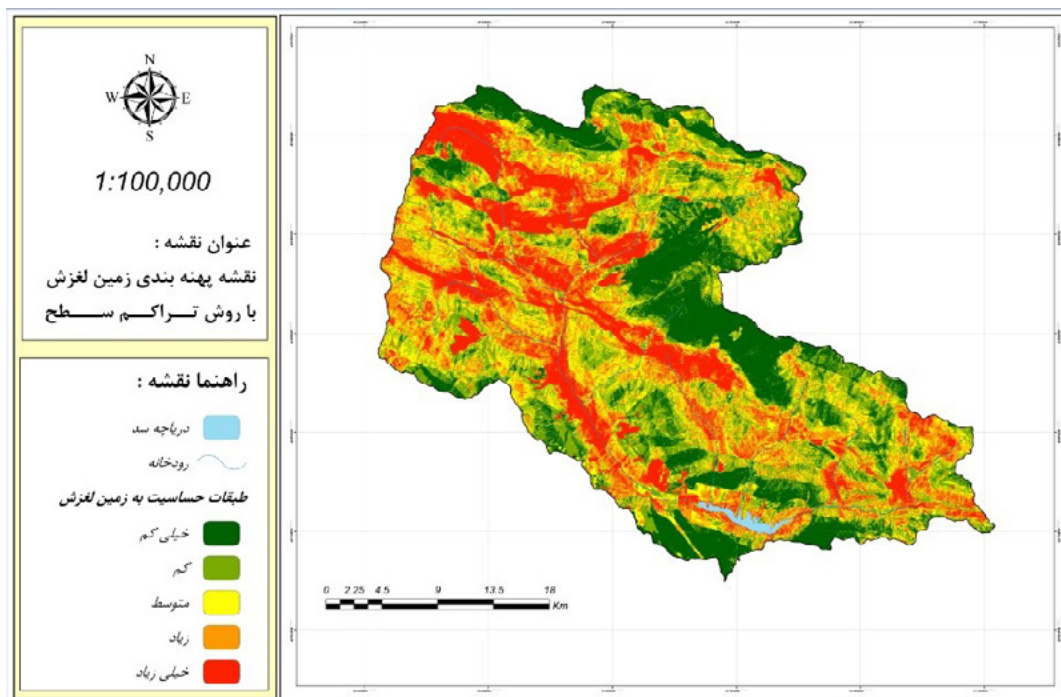
گام چهارم: جمع جبری لایه‌ها و محاسبه نقشه نهایی
برای اعمال وزن برون‌گروهی ابتدا باید برای تمام لایه‌ها وزن
درون‌گروهی را وارد و سپس هر لایه را در وزن برون‌گروهی ضرب
کرد. [۱۹]

برای اعمال وزن‌ها از محیط ArcMap استفاده شده و وزن
داده‌ها با روش نمودار (شکل شماره ۳) اجرا شده است. در انتها

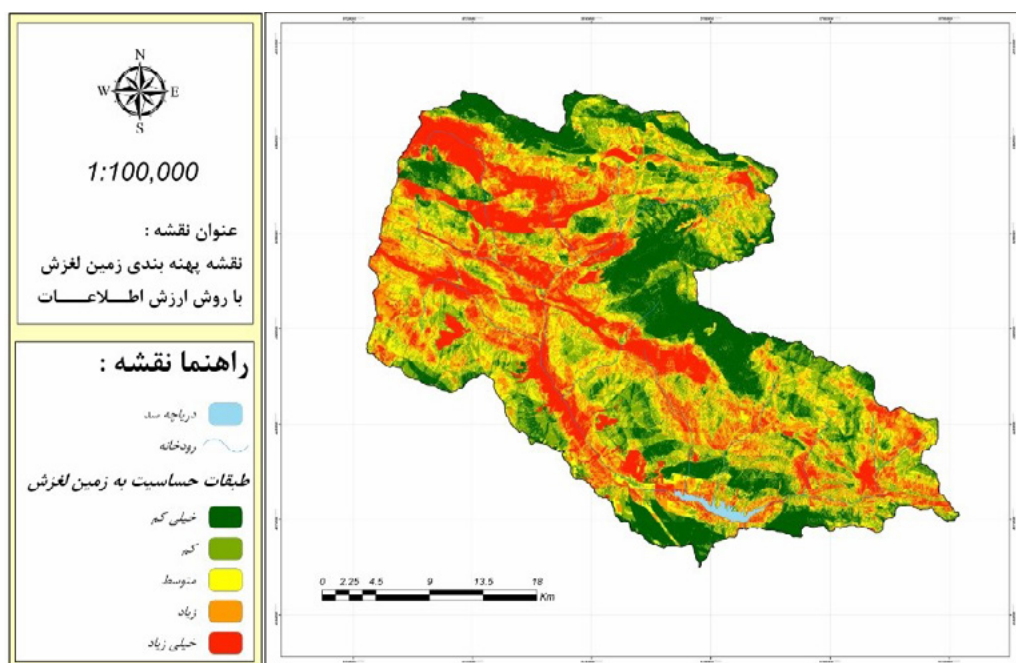
خروجی نقشه پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش تهیه شده
است. در نهایت لایه رستری به دست آمده لایه‌ای است که براساس
وزن‌های اعمال شده پهنه‌بندی شده است. (نقشه شماره ۲۳ و
۲۴)



(شکل شماره ۳) نمودار نحوه اعمال وزن‌ها در لایه‌ها



(نقشه شماره ۲۳) نقشه پهنه‌بندی با روش تراکم سطح



(نقشه شماره ۲۴) نقشه پهنه‌بندی با روش ارزش اطلاعات

نسبت تراکمی برای تعیین مجموع کیفیت که توسط رابطه زیر محاسبه شده است:

$$D_r = \frac{\sum \frac{S_i}{A_i}}{\sum A_i}$$

گام پنجم: ارزیابی و مقایسه روش‌های آماری

به منظور مقایسه بین پهنه‌های خطر (طبقات هر عامل) در هر روش و شاخص‌های مجموع کیفیت Q_s و دقت P برای مقایسه روش‌ها نسبت به همدیگر از شاخص‌های نسبت تراکمی D_r استفاده شده است. شاخص مجموع کیفیت Q_s و دقت P مدل مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی است و شاخص نسبت تراکم D_r دقت تفکیک بین پهنه‌های خطر در هر روش از مدل‌های پهنه‌بندی را معرفی می‌کند. [۱۳]

هرچه تفکیک بین رده های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش از دقت یا بیشترین مطلوبیت برخوردار است. مقدار مجموع کیفیت QS نشان دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش بینی خطر زمین لغزش در منطقه است که توسط رابطه زیر محاسبه شده است: [۱۴]

$$Q_s = \sum (D_r - 1)^2 * S$$

معمولاً مقدار این شاخص برای روش های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می گیرد. اگرچه از نظر تئوری، حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش ها هرچه مقدار مجموع کیفیت QS بیشتر باشد، روش از درستی یا مطلوبیت بیشتری در تفکیک برخوردار است. (جدول شماره ۲۴)

دقت روش هم توسط دقت روش P محاسبه شده که از مساحت سطح لغزش یافته در پهنه های خطر زیاد و خیلی زیاد به مساحت آن پهنه ها توسط رابطه زیر محاسبه شده است: [۱۴]

$$P = K_s / S$$

همان گونه که در جدول زیر مشخص شده، مقدار شاخص مجموع کیفیت QS که بیانگر مقایسه و ارزیابی روش ها نسبت به یکدیگر است. روش ارزش اطلاعات با ۷,۶۳ بیشترین مطلوبیت را نسبت به روش دیگر کسب کرده است یا به عبارت دیگر مطلوبیت بهتری دارد و کمترین مقدار را روش تراکم سطح با ۷,۴ کسب کرده است. دقت (P) در پیش بینی خطر برای پهنه های خطر زیاد و خیلی زیاد در روش های محاسبه شده نشان می دهد، روش تراکم سطح ۰,۶۳۵ دقت بیشتری نسبت به روش دیگر دارد. (جدول شماره ۲۴)

نتیجه گیری

زمین لغزش ها در هرسال خسارات جانی و مالی فراوانی را بر جای می گذارند. به منظور جلوگیری از این خسارات و خطرات

ناشی از زمین لغزش ها ابتدا باید علل وقوع آن را شناخت و برای رسیدن به این شناخت احتیاج به بررسی کامل وضعیت منطقه و عوامل مؤثر در زمین لغزش منطقه است. [۱۵]

بررسی، شناسایی، تحلیل و ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی نواحی حساس و مستعد به لغزش یکی از اهداف اصلی محققان علوم زمین است. ارزیابی و پهنه بندی حساسیت به زمین لغزش، ارزش و کاربرد بسیاری برای برنامه ریزان محیطی برای انجام اقدامات پیشگیرانه به منظور کاهش اثرات و خسارات دارد. شناخت نواحی مستعد لغزش ها یکی از گام های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه ریزی های توسعه ای و عمرانی است. اگرچه زمین لغزش ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی متعددی رخ می دهند که ارزیابی تأثیر هر یک از این عوامل نقش بسزایی در پیش بینی احتمال وقوع حرکت های توده ای و پهنه بندی خطر آن ها دارد.

منطقه مورد مطالعه به دلیل موقعیت جغرافیایی و ویژگی های طبیعی و زمین شناختی که دارد، یکی از مناطق مستعد کشور نسبت به وقوع زمین لغزش است. با توجه به اینکه سد لتیان یکی از مهم ترین منابع تأمین کننده آب کلان شهر تهران است، وقوع حرکات دامنه ای در این حوضه، این منبع مهم را با خطر جدی مواجهه کرده است.

یکی از راه های شناخت مناطق مستعد زمین لغزش و جلوگیری از احتمال ایجاد آن و به دست آوردن بهترین کارایی جهت بهره برداری مناطق، پهنه بندی این مناطق با روش های گوناگون است [۱۶]؛ از جمله روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش استفاده از مدل های آماری است؛ معمولاً در بررسی ها از روش آماری مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق از روش آماری ۲ متغیره ارزش اطلاعات و تراکم سطح استفاده شده است.

جهت ارزیابی توانایی هر یک از مدل های پهنه بندی خطر زمین لغزش از شاخص مجموع کیفیت و دقت روش ها استفاده شده است. (جدول شماره ۲۴) نتایج به دست آمده نشان می دهد،

(جدول شماره ۲۴). جدول شاخص های مجموع کیفیت و دقت

روش پهنه بندی خطر لغزش	حساسیت رده خطر	مساحت لغزش Si (km ^۲)	مساحت هر رده Ai (Km)	نسبت تراکم لغزش Dr	مجموع کیفیت Qs $\sum$	دقت روش P
پهنه بندی تراکم سطح	خیلی کم	۳۶۷,۷	۸۲۱۸۳,۳	۰,۱۴	۷,۴	۰,۰۶۳۵
	کم	۲۲۸۴,۱	۱۸۵۶۲۰,۵	۰,۳۹		
	متوسط	۶۲۴۹,۴	۲۳۲۹۹۶,۱	۰,۸۵		
	زیاد	۷۳۳۴,۹	۱۵۶۴۶۵,۸	۱,۴۹		
	خیلی زیاد	۵۹۷۹,۹	۵۳۱۷۹,۵	۳,۵۹		
پهنه بندی ارزش اطلاعات	خیلی کم	۳۵۸,۱	۸۵۵۶۲,۱	۰,۱۳	۷,۶۳	۰,۰۶۳۲
	کم	۲۱۱۷,۳	۱۷۸۸۱۹,۲	۰,۳۷		
	متوسط	۶۳۲۱,۹	۲۳۳۹۱۱,۴	۰,۸۹		
	زیاد	۷۳۹۱,۲	۱۵۷۹۹۲,۷	۱,۵۱		
	خیلی زیاد	۶۰۱۵,۸۶	۵۳۸۳۹۷,۴	۳,۰۵		

با توجه به شاخص مجموع کیفیت به ترتیب روش ارزش اطلاعات و سپس تراکم سطح برای حوضه لتیان کاراتر هستند. روش ارزش اطلاعات با شاخص کیفیت ۷,۶۳ و دقت روش ۰,۰۶۳۵ روشی مناسب و کارآمد است که در بیشتر شرایط برای حوضه لتیان مطلوب است.

با انطباق نقشه‌های به دست آمده با نقشه زمین لغزش‌ها مشخص شد، روش ارزش اطلاعات به دلیل داشتن انطباق بیشتر با پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد و همچنین توانایی تفکیک طبقات خطر کارایی بهتری نسبت به روش دیگر دارد. همچنین با توجه به نقشه تراکم زمین لغزش‌ها و وزن عوامل به دست آمده به این نتیجه رسیدیم که در بین ۱۱ عامل بررسی شده، عامل لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و دریاچه سد و کاربری ارضی از مؤثرترین عوامل در ایجاد زمین لغزش‌ها هستند.

از نظر لیتولوژی بیشترین زمین لغزش‌ها به ترتیب در سازند کرج، شمشک، قاجان و قرمز فوقانی اتفاق افتاده است؛ زیرا این سه سازند به ترتیبی که گفته شد، بیشترین وسعت را در منطقه دارند. همچنین این سازندها عموماً شامل مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا، آهک، گچ، شیل‌های رسی پ خاکسترهای آتش فشانیه هستند که در اغلب مناطق مرحله فرسایشی شدید و نسبتاً شدید را گذرانده‌اند. این مواد عموماً منفصل و در بعضی از موارد ریزدانه‌اند و در صورت وجود آب حالت الاستیته گرفته و مستعد زمین لغزش هستند. [۱۷، ۱۸]

با توجه به وجود ۱۰ زمین لغزش در اطراف دریاچه که حدود ۴ زمین لغزش آن نسبتاً بزرگ است، عامل این پدیده علاوه بر وضعیت لیتولوژی و تکتونیک می‌توان تغییرات تراز آب دریاچه و فشار آب منفذی هم باشد. به طور کلی عامل زمین لغزش در اطراف دریاچه تغییرات سریع سطح آب دریاچه است؛ به طوری که با کاهش سطح آب دریاچه، سطح ایستابی در توده‌های سنگ و خاک به دلیل نفوذپذیری کم نسبت به سطح آب دریاچه با سرعت بسیار کمتری پایین می‌آید و در نتیجه آن توده سنگ و خاک به حالت اشباع

باقی می‌ماند که همین امر موجب افزایش وزن توده سنگ و خاک شده و باعث لغزش آن به پایین می‌شود.

عامل فاصله از دریاچه سد یکی از عوامل مهم در زمین لغزش حوضه است؛ به صورتی که هر چه به مخزن سد نزدیک‌تر باشیم، میزان تأثیرگذاری آن بیشتر است. همچنین لیتولوژی‌های سست اطراف دریاچه هم در افزایش زمین لغزش بی‌تأثیر نیست؛ وجود لایه‌های توف هوازده و شیب توپوگرافی نسبتاً زیاد بر شدت این پدیده در اطراف سد می‌افزاید. (شکل شماره ۴)

معمولاً شیب‌ها پس از یک لغزش اولیه به یک پایداری مرزی می‌رسند و اگر شکل و ترکیب این شیب‌ها تغییر یابد، موجب ایجاد لغزش‌های بعدی می‌شود. فعالیت‌های انسانی با ساخت وسازه‌های مسکونی و کشاورزی در بالادست دامنه، ایجاد سازه در پایین دست و تغییر سطح اتکای دامنه با گودبرداری سبب نامقاوم شدن دامنه بعد از ایجاد سازه می‌شود که در نتیجه این بارگذاری وزن توده افزایش یافته و نیروی محرک افزایش می‌یابد که با کوچک‌ترین تحریک موجب ایجاد لغزش‌های جدید می‌شود. با توجه نتایج به دست آمده از نقشه‌های پهنه‌بندی حدود ۷۰ درصد مناطق با کاربری کشاورزی آبی در مناطق با خطر زمین لغزش زیاد و خیلی زیاد قرار دارند و همچنین حدود ۳۰ درصد مناطق با کاربری شهری هم در همین پهنه قرار می‌گیرد. در کل بیشتر مناطق با کاربری‌هایی مانند کشاورزی (دیم و آبی) و مسکونی در بازه پهنه‌بندی خطر زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. همچنین با بررسی ضریب همبستگی تمام عامل‌های زمین لغزش، عامل کاربری با به دست آوردن ۰,۹۹۷ درصد سطح اطمینان بعد از پوشش گیاهی و فاصله از دریاچه سد قرار گرفته و در بین ۱۱ عامل یکی از مهم‌ترین عوامل محسوب می‌شود. در ضمن با بازدید میدانی مشخص شد یکی از عوامل مهم در ایجاد این مخاطره ساخت وسازه‌های بدون اصول و در مناطق پرخطر است. به علت بیلاقی بودن حوضه بیشتر دامنه‌های در دسترس حتی با شیب زیاد، حریم رودخانه و در بعضی از موارد بستر رودخانه با کاربری‌های شهری اشغال شده که



(شکل شماره ۴) زمین لغزش در روستا سبوی بزرگ؛ شمال دریاچه سد



(شکل شماره ۵) ساخت و ساز غیر اصولی و کاربری (هتل سازی) نایم در بستر رودخانه در جاده روستای رودک



(شکل شماره ۶) ۲ زمین لغزش کنار رودخانه در جاده گلوکان به حاجی آباد

موقعیت این زمین لغزش های ثبت شده را با هر دو نقشه پهنه بندی تطابق داده شد. از بین نقشه های پهنه بندی بیشترین هم پوشانی در طبقات حساسیت خیلی زیاد و زیاد را نقشه پهنه بندی با روش ارزش اطلاعات به دست آورد. در این نقشه ۷۰ درصد زمین لغزش های در پهنه حساسیت خیلی زیاد و ۲۰ درصد آن در پهنه حساسیت زیاد قرار دارند. (نقشه شماره ۲۵)

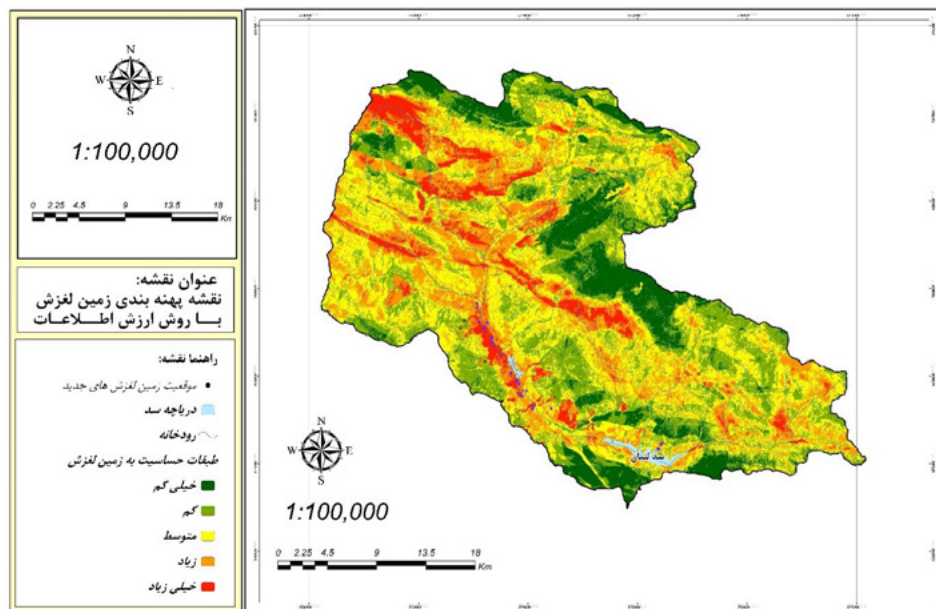
همچنین با بررسی های انجام شده در بازدید میدانی موقعیت مناطقی با وسعت زیاد مشخص شد که فرسایش های شدید شیاری در دامنه هایی با رسوبات دانه درشت منفصل وجود داشت، این مناطق به واسطه شرایطی که داشتند، مستعد زمین لغزش اند. (شکل شماره ۷ و ۸) با تطبیق این مناطق با پهنه های خطر در هر ۲ نقشه پهنه بندی، این مناطق مستعد کاملاً در پهنه حساسیت خیلی زیاد و نقشه پهنه بندی با روش ارزش اطلاعات قرار گرفته اند.

با این تغییرات سریع در حوضه بدون شک عامل کاربری مهم ترین عامل محسوب می شود. (شکل شماره ۵)

به دلیل کوهستانی بودن منطقه در بیشتر موارد جاده به موازات مسیر رودخانه اصلی حرکت کرده است. وجود ۲ عامل تأثیرگذار به موازات هم و با کمترین فاصله باعث شده عامل فاصله از رودخانه و جاده یکی از عوامل مهم تلقی شود و اینکه بیشترین زمین لغزش های حوضه در طبقات اول تا سوم این عوامل قرار گیرند. [۱۹] (شکل شماره ۶)

از نظر پوشش گیاهی هم بیشترین لغزش ها در مرتع با تاج پوشش متوسط اتفاق افتاده که حدود ۸۰ درصد وسعت منطقه را پوشش می دهد و این پوشش گیاهی در دامنه های با شیب بیشتر از ۳۰ درجه است. تلفیق ۲ عامل شیب و پوشش گیاهی با هم میزان تأثیرگذاری بیشتری بر زمین لغزش ها دارد.

با بازدید میدانی انجام شده از حوضه بعد از پهنه بندی و ثبت موقعیت زمین لغزش های جدیدی در حوضه اتفاق افتاده است.



(نقشه شماره ۲۵) نقشه پهنه بندی با روش ارزش اطلاعات به همراه موقعیت زمین لغزش های ثبت شده در حوضه



(شکل شماره ۷) زمین لغزش و فرسایش شیاری در جنب اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان شمیرانات



(شکل شماره ۸) فرسایش شیاری در روستای رودک

۱۲۵

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرار و تابستان

مدل سازی و پهنه بندی زمین لغزش های حوضه لتیان با استفاده
از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابو القاسم امیر احمدی

در مجموع می توان نتیجه گرفت، روش ارزش اطلاعات به دلیل داشتن انطباق بیشتر پهنه های زمین لغزش با پهنه های خطر زیاد و خیلی زیاد و همچنین توانایی تفکیک طبقات خطر مناسب ترین و کارآمدترین روش در بیشتر شرایط نسبت به روش های تراکم سطح برای حوضه آتیان است.

در بررسی میدانی مشخص شد بیشترین مناطق خطر در پهنه هایی قرار دارند که عوامل لیتولوژی، فاصله از سد، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و کاربری ارضی در کنار هم قرار گرفته اند. حوضه آبخیز آتیان دارای پتانسیل بالای زمین لغزش است. زمین لغزش های متعدد این حوضه بدون هیچ تردیدی حاصل سوء مدیریت است و در حالت کلی کنترل زمین لغزش در حال وقوع اغلب امکان پذیر نبوده و در صورت امکان بسیار پرهزینه است؛ اما می توان از وقوع آن در مناطق مستعد پیشگیری کرد که برای پیشگیری از وقوع زمین لغزش ها و بروز خسارات مالی و جانی در منطقه پیشنهاد می شود:

- بانک اطلاعاتی از زمین لغزش های منطقه برای اشراف کامل به مناطق حساس و نظارت بر اجرای هرگونه عملیات عمرانی و تغییر کاربری اراضی با توجه به طبقات خطر زمین لغزش ها تهیه شود. پروژه های توسعه به اراضی با حساسیت پایین اختصاص یابد و مناطق با حساسیت بالا به کاربری های کم خطری مانند فضاهای سبز و باز اختصاص داده شوند؛ همچنین قوانین سخت گیرانه برای جلوگیری از تغییرات کاربری نامناسب تصویب و اجرا شوند.
- به علت آنکه بیشتر جاده ها به دلیل شرایط توپوگرافی منطقه در موازات رودخانه ایجاد شده، در صورت ضرورت داشتن ساخت مسیرهای ارتباطی جدید تدابیر لازم برای پایدارسازی دامنه های سست و ایجاد زهکشی مناسب در این دامنه ها باید اتخاذ شود. همچنین برای ساخت جاده و سازه بر روی سازندهای مستعد زمین لغزش باید حتماً باید مطالعات دقیق انجام شود و مسیریابی و پایدارسازی دقیق و مناسب با اصول صحیح مهندسی انجام شود.
- پوشش گیاهی احیا شده و در کنار استفاده از گیاهان بومی بهترین گیاه بومی شناسایی و اصلاح شود.
- به علت آنکه بیشتر لغزش ها در شیب های بالای ۳۰ درجه اتفاق می افتد، می توان با تراس بندی دامنه های پرشیب کوهستانی تأثیر این عامل را کاهش داد و از بروز این حرکات پیشگیری کرده و همچنین در مناطقی با رسوبات منفصل با استفاده از دیوارهای حائل و گابیون ها از ریزش و لغزش جلوگیری کرد. ایجاد زهکشی مناسب در سازندهایی که نفوذپذیر هستند، ایجاد دیواره های حفاظی مناسب در پایین دامنه و حدفاصل جاده و دامنه برای جلوگیری از ریزش ها و ایجاد بریدگی های شیب بر روی دامنه به موازات جاده و حفر کانال های پهن در کنار جاده در بخش پایین دامنه های شیب دار از دیگر پیشنهادها به حساب می آیند.
- با توجه به این موضوع که بخش عمده حوضه آبخیز آتیان دارای شرایط مساعدی برای زمین لغزش است، باید هرگونه

عملیات عمرانی و تغییر کاربری اراضی با مطالعه دقیق انجام پذیرد. برای جلوگیری از توسعه بی رویه در مناطق حساس نسبت به زمین لغزش می توان پروژه های توسعه را اختصاص به اراضی با حساسیت پایین داد و مناطق با حساسیت بالا را به کاربری های کم خطر به فضاهای سبز و فضای باز اختصاص داد.

- ایجاد زهکشی مناسب در سازندهایی که نفوذپذیر هستند؛ چرا که به علت وجود عواملی چون جاده این آب های نفوذ یافته تخلیه نمی شوند. ایجاد دیواره های حفاظی مناسب در پایین دامنه و حدفاصل جاده و دامنه برای جلوگیری از ریزش ها هم اقدامی مناسب است و در ضمن می توان بریدگی های شیب بر روی دامنه به موازات جاده ایجاد و کانال های پهن در کنار جاده در بخش پایین دامنه های شیب دار حفر کرد.
- آموزش از ارکان اصلی جهت کاهش خطر زمین لغزش ها است؛ زیرا هر چقدر فرهنگ عمومی افراد در این زمینه بالا رود، با قوانین و خطرات و عواملی که مسبب ایجاد زمین لغزش ها است، بیشتر آشنا می شوند و می توانند بهتر از مدیران از محیطی که در آن زندگی می کنند، محافظت کرده و در ترویج این آموزش هم مؤثر باشند.

منابع:

۱. شایان، سیاوش (۱۳۸۵). مدل به عنوان تکنیکی در ژئومورفولوژی، فصل نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۰.
۲. کرم، امیر؛ محمودی، فرج اله (۱۳۸۴). مدل سازی کمی و پهنه بندی زمین لغزش در زاگرس چین خورده؛ حوضه آبریز خون در استان چهارمحال بختیاری، پژوهش های جغرافیایی.
3. Guzzetti, F; Reichenbach, P; Cardinali, M; Galli, M; & F. Ardizzone, 2005. Landslide hazard assessment in the Staffora basin, Northern Italian Apennines, *Geomorphology*, 72, 272 -299 .
4. Sidle, R. C, & H. Sochiai, (2006). Landslides; processes, prediction, and land use, *American Geophysical union*.
5. Ercanoglu, M; Gokceoglu, C; & T. W. Van Asch, 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (Nw Turkey) by multivariate statistical techniques, *Natural Hazards*, 32, 1 - 23.
6. Aleotti, P, & R. Chowdhury, (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 58, 21 - 44.
7. Guzzetti, F; Carrara, A; Cardinali, M; & P. Reichenbach, 1999. Landslide hazard evaluation: a review of Current techniques and their application in a multi - scale study, *Central Italy, Geomorphology*, 1(31- 4), 181 - 216.
8. Kanungo, D. P; Arora, M. K; Sarkar, S; & R. P.

Gupta, 2009. Landslide susceptibility zonation (LSZ) mapping - A review, *J South Asia Disaster studies*, 2, 81 - 105.

9. Van Westen, C. J, 1994. GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. In: Price MF, Heywood DI, Mountain environments and geographic systems, Taylor and Francis publishers, pp135 - 165.

۱۰. قاسمی، نگار (۱۳۹۵). بررسی اثر مدل‌های چرخش عمومی هوا AOGCM بر چگونگی تخصیص منابع آب (مطالعه موردی: حوضه لتیان)، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۱. میر صانعی، رضا؛ مهدویفر، محمدرضا (۱۳۸۵). روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، کارگروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین، پژوهشکده سوانح طبیعی.

۱۲. خواجه شاه‌کویی، علیرضا؛ داوودی، محمود و حسامی، مهدی (۱۳۹۳). مدل‌سازی فضایی و تصمیم‌گیری چند متغیره، دانشگاه گلستان.

۱۳. عطاپور، هادی (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دامنه شمالی مخزن سد لتیان با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، تراکم سطح، شاخص هم‌پوشانی و ارزش اطلاعاتی. نشریه زمین‌شناسی مهندسی، شماره ۳.

۱۴. شیرانی، کورش؛ سیف، عبدالله (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری منطقه پیش‌کوه، شهرستان فریدون‌شهر. نشریه علوم زمین، شماره ۸.

۱۵. قنوتی، عزت‌اله (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۷.

۱۶. کمک پناهی، علی؛ حافظی مقدس، ناصر (۱۳۷۳). روش‌های پهنه‌بندی خطر لغزش، اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین‌لغزش در کشور.

۱۷. سعیدی، آزاده (۱۳۹۲). تأثیر فعالیت‌های جاده‌سازی بر مورفولوژی دامنه‌ها به منظور جلوگیری از مخاطرات محیطی (دره رودخانه‌ی جاجرود از لشکرک تا فشم)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.

۱۸. مهر پویا، پوران (۱۳۷۹). بررسی اجمالی ژئودینامیک دامنه دره جاجرود، تهران؛ دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز.

۱۹. فتاحی اردکانی، محمدعلی؛ مدیریت آبخیزداری استان تهران؛ مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری (۱۳۸۲). ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سد لتیان، مجله زمین‌شناسی مهندسی.

واسنجی جایگاه سازمان‌های مدیریت بحران در افزایش تاب‌آوری شهری (مطالعه موردی: شهرزابل)

محمد پودینه: گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.
غلامرضا میری*: گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران، Email: Gholam-Reza-Miri@yahoo.com
محمودرضا انوری: گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

افزایش دانش و مهارت در برابر مخاطرات توسط سازمان‌های مدیریت بحران و ارتقای توانایی در راستای توسعه راهبردهای کاهش آن ویژگی مهم یک شهر تاب‌آور است که لازمه آن آمادگی و آموزش همه‌جانبه است. هدف اصلی پژوهش حاضر واسنجی جایگاه سازمان‌های مدیریت بحران در افزایش تاب‌آوری شهری (مطالعه موردی: شهر زابل) است. این پژوهش بر اساس روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و بر حسب هدف کاربردی است و همچنین روش جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی است. در این پژوهش ابتدا با توجه به جایگاه سازمان‌های مدیریت بحران همچنین بررسی مطالعات و تحقیقات پیشین ۵ بعد (اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی، کالبدی-ساختاری، مدیریتی و زیست‌محیطی) به عنوان ابعاد تاب‌آوری شهری در مقابل مخاطرات تعریف شد و سپس متناظر با هر یک از ابعاد شاخص‌هایی در نظر گرفته شده و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS، Expert Choice و مدل Fuzzy VIKOR به تحلیل آنها پرداخته شده است. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین تمامی گویه‌های تاب‌آوری و سازمان‌های مدیریت بحران شهرزابل رابطه مثبت و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد. یافته‌های حاصل از تعیین وزن ابعاد با استفاده از نرم‌افزار (Expert Choice) نشان داد، بعد اجتماعی و فرهنگی با وزن به‌دست آمده ۰/۳۴۵ بالاترین رتبه را به خود اختصاص داده است. در نهایت نتایج مدل وایکور فازی نشان داد، شهرداری بیشترین تأثیر را در افزایش تاب‌آوری شهر زابل در بین سازمان‌های مدیریت بحران به خود اختصاص داده است.

واژگان کلیدی: سازمان‌های مدیریت بحران، تاب‌آوری شهری، مدل تصمیم‌گیری چند معیاره، شهرزابل

Analysis of the position of crisis management organizations in increasing urban resilience (Case study: Zabol city)

Mohammad pudineh¹, Gholam Reza Miri^{2*}, Mahmoud Reza Anvari³

Abstract

Increasing knowledge and skills against risks by crisis management organizations and improving the ability to develop mitigation strategies is an important feature of a resilient city that requires comprehensive preparation and training. The main purpose of this study is to Analysis of the position of crisis management organizations in increasing urban resilience (Case study: Zabol city). This research is based on descriptive-analytical research method and applied purpose and also the method of collecting data and information using library and field studies. In this study, according to the position of crisis management organizations as well as previous studies and researches, (5) dimensions (economic, socio-cultural, physical-structural, managerial, environmental) were defined as dimensions of urban resilience against risks and then corresponding to each dimension, indicators have been considered, Then they are analyzed using SPSS software, Expert Choice and Fuzzy VIKOR Multi-Criteria Decision Making Model. The results of Pearson correlation coefficient showed that there is a positive and significant relationship between all resilience items and crisis management organizations in Zabol city at 99% confidence level. Findings from determining the weight of dimensions using software (Expert Choice) showed that the socio-cultural dimension with a weight of 0.345, has the highest rank. Finally, the results of the Fuzzy VIKOR model showed that the municipality has the greatest impact on increasing the resilience of Zabol city among crisis management organizations.

Keywords: Crisis Management Organizations, Urban Resilience, Multi-Criteria Decision Making Model, Zabol City

Department of Geography and Urban Planning, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

Department of Geography and Urban Planning, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran. Email: Gholam-Reza-Miri@yahoo.com

Department of Geography and Urban Planning, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

۱۲۹

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



واسنجی جایگاه سازمان‌های مدیریت بحران در افزایش تاب‌آوری
شهری / محمد پودینه

مقدمه

جهان در حال تبدیل شدن به مکان‌های شهری است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵ بیش از ۵۵ درصد مردم دنیا در شهرها زندگی کنند [۱]. شهرها دارای الگوهای اکولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی متفاوتی هستند [۲] که بسیار آسیب‌پذیر هستند و وقتی هر یک از زیر سیستم‌ها برای سازگاری با شرایط جدید نابود یا خراب می‌شوند [۳] موقعیتی پیش می‌آید که می‌تواند به بحرانی مهلک یا حتی نابودی (شهر) منجر شود [۴]. به این ترتیب آنها با شمار فزاینده‌ای از مسائلی که مسبب خطرپذیری بلایا هستند، روبرو هستند. عواملی مانند بلایای طبیعی، تغییرات اقلیمی، بی‌ثباتی‌های سیاسی، بحران‌های مالی، امنیت غذایی و حملات تروریستی نقش مهمی را در تهدید کردن شهرها بازی می‌کنند [۵]. در دهه‌های گذشته جهان شاهد بلایایی طبیعی پیش‌بینی نشده‌ای بوده است [۶]. بلایای اتفاق افتاده در سالیان اخیر بیانگر این موضوع است که جوامع و افراد به صورت فزاینده‌ای آسیب‌پذیرتر شده و ریسک‌ها هم افزایش یافته‌اند. با این حال کاهش ریسک و آسیب‌پذیری اغلب تا بعد از وقوع سوانح نادیده انگاشته می‌شوند [۷]. با گذشت زمان به‌منظور کاهش انواع خسارت‌های ناشی از وقوع سوانح نظریه‌هایی درباره مدیریت بحران مطرح شد. مدیریت بحران به معنای رفع یا کاهش تأثیرات و تبعات مخاطرات طبیعی و مصنوع است [۸]. دانش مدیریت بحران شهری به مجموعه فعالیت‌هایی اطلاق می‌شود که قبل، بعد و هنگام وقوع بحران برای کاهش اثرات این حوادث و کاهش آسیب‌پذیری انجام شود و این موضوع ارتباط خاصی با مباحث برنامه‌ریزی شهری، مدیریت شهری و جغرافیا دارد [۹]. در این میان بازسازی، بازگرداندن شرایط پیش از بروز سانحه و همچنین بهبود بخشی به آن سعی در جبران خسارات مذکور داشته؛ علاوه بر آن درس‌آموزی از گذشته و برنامه‌ریزی‌های مناسب با هدف تقلیل آسیب‌پذیری و حفظ عملکرد حیاتی جوامع شهری را به‌سوی تاب‌آوری در برابر سوانح سوق می‌دهند. در شرایطی که ریسک و عدم قطعیت‌ها در حال رشد هستند، تاب‌آوری به‌عنوان مفهوم مواجهه با اختلالات، غافلگیری‌های و تغییرات معرفی می‌شود [۱۰]: از این‌رو اصلی‌ترین راهکار که سازمان‌های بین‌المللی آن را در زمره اهداف خود قرار داده‌اند، ایجاد تاب‌آوری جوامع است [۱۱].

۲ نوع استراتژی برای مواجهه با سوانح وجود دارد که عبارتند از استراتژی‌های پیش‌بینی و استراتژی‌های تاب‌آوری که اولی برای روبرو شدن با مشکلات و معضلات شناخته‌شده به کار می‌رود و دومی برای مقابله با مشکلات ناشناخته [۱۲]. تبیین تاب‌آوری در برابر تهدیدات در واقع شناخت نحوه تأثیرگذاری ظرفیت‌های اجتماعی، اقتصادی، نهادی، سیاسی، اجرایی و جوامع شهری در افزایش تاب‌آوری و شناسایی ابعاد مختلف تاب‌آوری در شهرهاست. در این میان نوع نگرش به مقوله تاب‌آوری و نحوه تحلیل آن از طرفی در چگونگی شناخت تاب‌آوری وضع موجود و علل آن نقش کلیدی دارد و از سوی دیگر سیاست‌ها و اقدامات تقلیل خطر و نحوه رویارویی با آن را تحت تأثیر اساسی قرار می‌دهد. از این‌روست که تبیین رابطه تاب‌آوری در برابر تهدیدات و کاهش

اثرات آن با توجه به نتایجی که در بر خواهد داشت و تأکیدی که این تحلیل بر بعد تاب‌آوری دارد، از اهمیت بالایی برخوردار است. در واقع هدف از این رویکرد کاهش آسیب‌پذیری شهرها و تقویت توانایی‌های شهروندان برای مقابله با خطرات ناشی از تهدیدات نظیر وقوع سوانح طبیعی است [۱۳]. به‌طور کلی تاب‌آوری به‌عنوان ترکیبی از ایده‌های رایج نظامی شامل اکوسیستم پایدار، زیرساخت مهندسی، روانشناسی، علوم رفتاری و کاهش خطرات بلایای مختلف است [۱۴].

کشور ایران به‌عنوان یکی از ۱۰ کشور آسیب‌پذیر در برابر بلایای طبیعی در جهان طبق برآوردهای سازمان ملل بر پایه آمارهای رسمی سالانه حدود یک میلیارد دلار در اثر سوانح طبیعی دچار خسارت مالی می‌شود و به‌طور متوسط حدود ۱٫۵ میلیون نفر در معرض خسارت‌ها و آسیب‌های ناشی از مخاطرات طبیعی قرار می‌گیرند. یکی از مناطقی که در ایران همواره با بلایا و بحران‌های انسانی و طبیعی روبه‌رو بوده، منطقه سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان است. منطقه سیستان علاوه بر خشک‌سالی که در سال ۱۳۳۰ رخ داده، بارها شاهد دوره‌های کم‌آبی بوده و از جمله سال‌های عمده دوره ۱۳۶۷ تا ۱۳۶۴ و دوره ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۴ است که خشک‌سالی شدیدی منطقه را فرا گرفت؛ به‌طوری که افراد مسن محلی آن را در ۱۰۰ سال اخیر بی‌سابقه دانسته‌اند و به گواهی تاریخ در ۶۰۰ سال اخیر بی‌نظیر بوده است. این دوره با سیلاب سال ۱۳۸۴ خاتمه یافت [۱۵]. وقوع خشک‌سالی در منطقه سیستان از سال ۱۳۷۸ شرایط مساعدی را برای شکل‌گیری طوفان‌های گرد و خاک مهیا کرده است. چنان‌که پس از خشک شدن دریاچه هامون فراوانی طوفان‌های گرد و خاک افزایش چشمگیری داشته؛ به‌طوری که زایل با بیش از ۱۷۵ روز توأم با گردوغبار از کانون‌های اصلی زیست‌محیطی در کشور به شمار می‌آید و از این نظر با کانون‌های اصلی جنوب‌غربی آسیا (جنوب خلیج فارس، جنوب عراق و شرق عربستان) قابل مقایسه است [۱۶]. خشک‌سالی یکی از عوامل اصلی در جابه‌جایی (مهاجرت) و تخلیه آبادی‌ها به شمار می‌آید. به‌عنوان نمونه در سال ۱۳۴۵ بالغ بر ۶۸ هزار و ۳۸۲ نفر از سیستان مهاجرت کرده‌اند که از این میزان ۷۹ درصد راهی گرگان، گنبد و مابقی راهی شهرهای مشهد، تهران، کرمان و سایر نقاط ایران شده‌اند. در خشک‌سالی سال ۱۳۴۹ سیستان حدود ۶۰ هزار نفر دیگر مجبور به ترک سیستان و مهاجرت به سایر شهرستان‌ها و عمدتاً گرگان و گنبد شدند. همچنین تخمین زده می‌شود که حدود ۱۵۰ هزار نفر از ساکنان شهر زاهدان از مهاجران سیستانی هستند [۱۷].

بنابراین با توجه بحران‌ها موجود (طوفان‌های شن و ماسه، سیل و...) نقش سازمان‌های مرتبط با مدیریت بحران بسیار مورد توجه است. اما تجربه نشان داده که سازمان‌های مربوط در زمان وقوع مخاطرات آمادگی لازم را نداشته و اکثراً این مخاطرات طبیعی به‌نوعی بحران تبدیل شده؛ تا جایی که بیشتر شهروندان از این نوع بلایا ضرر جانی و مالی می‌بینند. بنابراین ضرورت برنامه‌ریزی بلندمدت در چهارچوب افزایش تاب‌آوری در زمینه‌های (اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی، کالبدی-ساختاری، مدیریتی و

زیست محیطی) در سازمان‌های مدیریت بحران لازم است. با توجه به این تعاریف در این پژوهش به بررسی جایگاه سازمان‌های مدیریت بحران در افزایش تاب‌آوری شهر زابل پرداخته شده است. بنابراین در پژوهش حاضر به دنبال پاسخگویی به پرسش‌های ذیل هستیم:

۱. سازمان‌های مدیریت بحران شهر زابل به چه میزان در افزایش تاب‌آوری در برابر مخاطرات مؤثر هستند؟
۲. کدام یک از سازمان‌های مدیریت بحران بیشترین تأثیر را در افزایش تاب‌آوری در برابر مخاطرات در شهر زابل داشته‌اند؟

مبانی نظری پژوهش

تاب‌آوری و تاب‌آوری شهری

واژه تاب‌آوری از واژه لاتین «Resilio» به معنای «به‌طور ناگهانی عقب‌نشینی کردن استخراج شده است؛ اگرچه درباره ریشه این کلمه هنوز اختلاف نظر وجود دارد. برخی می‌گویند: بوم‌شناسی [۱۸] و بعضی دیگر بر فیزیک نظر دارند. «در زمینه بوم‌شناسی این کلمه در پی انتشار اثر اصلی هالوئینگ به نام تاب‌آوری و پایداری سامانه‌های اکولوژیکی در سال ۱۹۷۳ رواج پیدا کرد» [۱۹]. به هر حال مطالعات مبانی نظری بیان می‌کنند که مطالعه تاب‌آوری از شیوه‌های روانشناسی و روان پزشکی سال‌های دهه ۱۹۴۰ استنتاج شد که قسمت عمده آن توسط نورمن گرامزی، امی ورنر و راث اسمیت توسعه یافت [۱۱].

در دهه گذشته بسیاری از پژوهش‌ها به بررسی چالش‌های تعریف و قالب‌بندی تاب‌آوری شهری پرداخته‌اند. در ادبیات دانشگاهی به تازگی تأکید شده که چگونه تاب‌آوری شهری از پایداری شهری متفاوت است؛ در حالی که برنامه‌های سیاست‌گذاری شهری از این اصطلاحات تقریباً به جای یکدیگر استفاده می‌کنند. [۱۳].

مدیریت خطر بلایا فرصت‌های فراوانی را برای افزایش تاب‌آوری شهرها فراهم می‌کند. این فرصت‌ها با هماهنگی و اقداماتی است که بین بخش‌های مختلف اجرایی، عملیاتی و

عناصر مدیریت بحران وجود دارد. اصول و قواعد این اقدامات در چهارچوب سند هیوگو (۲۰۰۵-۲۰۱۵) با توافق و پذیرش ۱۶۸ کشور به دقت ارائه شده است. راهبردهای جامع مدیریت خطر بلایا بر ۵ پایه استوار است:

شناسایی، ارزیابی و کنترل خطر.

کاهش خطر از طریق اقدامات پیشگیرانه و تمرکز امور کاهش خطر در قالب ۴ رویکرد؛

- رویکرد موقعیتی: رویکردهای موقعیتی بر دوری از خطر به واسطه موضع و مکان سکونت‌گاه و برنامه‌ریزی کاربری اراضی تأکید دارد.
 - رویکرد ساختاری: به افزایش مقاومت ساختمان‌ها و بناها در برابر خطرات از طریق بهبود و به‌روزرسانی مقررات و کدهای ساختمانی اشاره دارد.
 - رویکرد عملیاتی: مبتنی بر برنامه‌ریزی اضطراری و اقتضایی از جمله انجام تمهیدات تخلیه اضطراری است.
 - رویکرد مالی: شامل تأمین مالی برای اقدامات کاهش خطر مانند تأمین مالی اضطراری، بودجه، اعتبار امداد و نجات و خدمات مالی برای عموم مردم است [۲۰].
- بیمه و تأمین مالی خطر بلایا
- آمدادی پاسخ و مقابله پس از بروز بحران، ترمیم و بازسازی با هدف کاهش خطر بلایای آتی [۲۰].

در سال‌های اخیر مطالعه درباره مفاهیم تاب‌آوری در مقیاس‌های شهری و منطقه‌ای توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده؛ هرچند سطح و تعداد این مطالعات در مقیاس شهری بیش از مطالعات انجام‌شده در مقیاس‌های بالاتر است. از این‌رو خلأ این دسته از مطالعات در حوزه مطالعات منطقه‌ای نمایان است. به‌ویژه در کشور ایران با وجود برخی مطالعات در زمینه متون نظری در مقیاس شهری هنوز مطالعه عمیق و جامعی بر روی مفهوم تاب‌آوری در بعد منطقه‌ای صورت نپذیرفته است [۲۱]. دسته‌بندی شاخص‌های سنجش تاب‌آوری شهری در جدول (۱) نمایان است.

جدول (۱): شاخص‌های سنجش تاب‌آوری شهری

ابعاد	شاخص
اجتماعی و فرهنگی	ظرفیت سازگاری یا انطباق، شاخص ارتباط یا اتصال (بخش‌های مختلف سیستم اجتماعی)، آسیب‌پذیری، سلامت خانوار و جمعیت، خدمات فرهنگ، کاهش خشونت و ناامنی و جرم و جنایت شهری، ظرفیت یادگیری و آگاهی، تنوع طبقات اجتماعی، خلاقیت و نوآوری، کاردانی و توانایی منابع انسانی، سرعت پاسخگویی به موقع، سرمایه اجتماعی
اقتصادی	معیشت و زیست‌پذیری، استراتژی‌ها و سیاست‌های اقتصاد شهری، شاخص ارتباط یا اتصال (بخش‌های مختلف سیستم اقتصادی)، ثروت، اشتغال و تنوع اقتصادی
کالبدی	دسترسی به شریان‌ها، فضاهای باز، چینش ساختمان‌ها، مکان‌گزینی تأسیسات خطرناک، ظرفیت پناهگاه‌ها، ظرفیت زیرساخت‌های درمانی و امدادی، تعداد ابنیه و فضاهای عمومی، ارتفاع ساختمان‌ها، تراکم ساختمانی، الگوی و طراحی صحیح معابر، کاربری زمین، مصالح، مقاومت ابنیه، چینش ساختمان‌ها، انسجام محلات، مقاومت‌سازی سایت‌های تاریخی
زیست محیطی	پایداری محیط زیستی، توجه به پایداری محیط زیستی، تأکید و توجه به منابع آب، فضاهای سبز
مدیریتی و نهادی	مهارت‌ها و ساختارهای نهادی، سیاست‌های تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری، مدیریت یکپارچه، تنوع سطوح سازمانی و ارتباطات میان سازمانی / شاخص ارتباط یا اتصال (بخش‌های مختلف سیستم سازمانی و نهادها)، ظرفیت سازگاری یا انطباق، سرعت پاسخگویی به موقع

منبع: [۲۰، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴].

تاب‌آوری سازمانی

سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا چالش‌های مخرب را مدیریت کنند. هنگام ترکیب این تعاریف و سایر تعاریف مشابه به نظر می‌رسد تاب‌آوری از دیدگاه سازمانی بر ۳ جنبه «انعطاف‌پذیری، نگهداری و سازگاری» تأکید می‌کنند [۴۱].

سایر جنبه‌های مهم تاب‌آوری سازمانی شامل نتایج بدون نگرانی آشکار در مورد بهبود، انعطاف‌پذیری یا آمادگی بحران مانند عملکرد تاب‌آور به‌عنوان پایه مشخص مزیت رقابتی پایدار است [۴۲]. این مفهوم توسط استولتز (۲۰۰۴) گسترش یافته که اظهار می‌دارد: تاب‌آوری سازمانی کلید توسعه یک برنامه استراتژیک پایدار است که نتایج آن از نتایج رقبای سازمان بهتر است [۴۱].

پیشینه پژوهش

انعطاف‌پذیری سازمانی به‌عنوان یک نیاز واقعی سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا با شرایط بحرانی امروز و محیط فاجعه‌بار آن مقابله کنند. انعطاف‌پذیری سازمانی به‌عنوان توانایی سازمان برای بقا در بازارهای رقابتی و به‌طور بالقوه حتی در زمان بحران رونق زیادی گرفته است [۳۵]. بیشتر پژوهش‌ها انعطاف‌پذیری سازمانی را در تنظیم ظرفیت‌ها یا توانایی‌ها تعریف می‌کنند. برخی از تعاریف شامل توانایی تنظیم و حفظ عملکردهای مطلوب در شرایط چالش برانگیز یا پرفشار است [۳۶، ۳۷، ۳۸]. ظرفیت پویایی، سازگاری و تطبیق‌پذیری سازمانی که با گذشت زمان رشد و توسعه می‌یابد؛ توانایی بازگشت سریع از وقایع مخرب یا مشکلات و توانایی بهبودی بعد از حوادث مخرب را افزایش می‌دهد [۳۹]. سازمان‌های تاب‌آور انعطاف‌پذیر و بسیار قابل اعتماد هستند [۴۰]. تاب‌آوری

جدول (۲): پیشینه پژوهش

نویسندگان	سال	عنوان	نتایج
آزمون و نزمی [۴۳]	۱۳۹۸	نقش تاب‌آوری سازمانی در مدیریت بحران	که تاب‌آوری جایگاه ویژه‌ای به‌خصوص در حوزه روانشناسی تحولی و سلامت روان را به خود اختصاص داده است. تاب‌آوری چگونگی رویارویی با استرس یا آسیب است. نظریه تاب‌آوری بر جنبه‌های قوی مقابله با آسیب‌های ساخته شده و توانایی فرد برای کنار آمدن با خطر و مشکلات است.
بدیع و رحیمی [۴۴]	۱۳۹۷	بررسی و سنجش تاب‌آوری شبکه ارتباطی شهری با رویکرد مدیریت بحران (نمونه موردی منطقه ۲ تهران)	که بدنه خیابان‌هایی که دارای تراکم‌های جمعیتی بالا دسترسی محدود به مراکز امداد و نجات شهری و فاصله زیاد مراکز مسکونی به فضاهای باز شهرست، باعث شده محله‌های غربی منطقه ۲ شهرداری تهران تاب‌آوری کمتر نسبت به زلزله خواهد داشت. با حرکت از سمت غرب منطقه به طرف شرق به میزان تاب‌آوری بدنه خیابان‌ها افزوده می‌شود. همچنین بدنه بزرگراه‌ها (چمران، شیخ فضل‌اله و یادگار) و خیابان‌های با عرض بیشتر و تراکم جمعیتی کمتر دارای تاب‌آوری بالا و عدم دسترسی مطلوب و خیابان‌های مرکز منطقه به مراکز امداد و نجات شهری، درجه محصوریت بالا و تراکم‌های جمعیتی بالا دارای کم‌ترین تاب‌آوری هستند.
محمودزاده و هریسچیان [۴۵]	۱۳۹۷	سنجش و اولویت‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری با روش ترکیبی معادلات ساختاری و تحلیل چند متغیره فازی (مطالعه موردی: منطقه یک کلانشهر تبریز)	نتایج تحقیق حاکی از آن است که همه قسمت‌های منطقه یک کلانشهر تبریز دارای تاب‌آوری یکسان نیست؛ به‌طوری‌که محلات شمالی به لحاظ برخورداری از مؤلفه‌های مذکور در سطح پایین، محلات میانی در سطح متوسط و محلات جنوبی و جنوب شرقی در سطح بالاتر تاب‌آوری قرار دارند. از سوی دیگر، در بین شاخص‌های تاب‌آوری به ترتیب درجه اهمیت می‌توان گفت که شاخص اقتصادی با مقدار ۲۰۴۶ درصد، شاخص اجتماعی با ۱۰۳ درصد، شاخص محیط زیستی با ۷۰۱۹ درصد و نهایتاً شاخص کالبدی با مقدار ۴ درصد در تبیین تاب‌آوری کل منطقه مطالعاتی نقش داشته‌اند که نشانگر مهم بودن بعد اقتصادی نسبت به سایر ابعاد تاب‌آوری است.
اصلانی و امینی حسینی [۴۶]	۱۳۹۷	شاخص‌ها، چارچوب‌ها و مدل‌های تاب‌آوری در برابر زلزله	تاب‌آوری در ذات خود دارای بعد اجتماعی است. در واقع در برابر سانحه مفهومی زنده و پویا است و بیشتر کنش جمعی و همکاری برای مقابله با بحران اجتماعی است. به بیان دیگر، جامعه را باید تاب‌آور کرد تا بتواند کالبد را استحکام بخشد. به نظر می‌رسد با توجه به ارتباطات و هم‌پیوندی ابعاد ملموس و ناملموس تاب‌آوری پژوهشگران باید در این حوزه رویکردی جامع‌نگر و همه‌شمول داشته باشند.
عبداللهی و همکاران [۴۷]	۱۳۹۵	تاب‌آوری نهادی و کالبدی - محیطی اجتماعات شهری در جهت کاهش بحران‌های طبیعی، زلزله (مطالعه موردی: شهر کرمان)	که بین تاب‌آوری شهروندان و مؤلفه‌های نهادی و کالبدی - محیطی در برابر بحران‌های طبیعی به‌ویژه زلزله رابطه معناداری وجود دارد و در پایان بر اساس تکنیک‌های رتبه‌بندی یادشده، به‌ترتیب مناطق منطقه ۱، منطقه ۳، منطقه ۲ و منطقه ۴ از لحاظ تاب‌آوری رتبه‌بندی شده‌اند.
مغرب و همکاران [۴۸]	۱۳۹۵	ساخت مدل مفهومی تاب‌آوری کاربری اراضی شهری در برابر بلایا با رویکرد توسعه پایدار	ابعاد و معیارهای تاب‌آوری کاربری اراضی شهری با رویکرد توسعه پایدار شناخته و تعیین شود و مدل مفهومی آن ترسیم شد تا بتوان در راستای کاهش آسیب‌پذیر، تقویت تاب‌آوری شهرها و ساماندهی آنها گام‌های مؤثری برداشت.
برهمن و همکاران [۴۹]	۱۳۹۵	نقش مدیریت آسیب‌پذیری کلیدی در تاب‌آوری مشتریان شرکت آب و فاضلاب در زمان بحران زلزله	تحلیل نتایج، تأثیر و اهمیت عامل اصلی مدیریت آسیب‌پذیری کلیدی بر تاب‌آوری مشتریان شرکت آب و فاضلاب تأیید کرد.
عزیزپور و همکاران [۵۰]	۱۳۹۰	اولویت‌بندی عوامل مؤثر در مدیریت بحران شهری در برابر بلایای طبیعی (مطالعه موردی سازمان‌های مرتبط با بحران شهر اصفهان)	نتیجه حاصل از بررسی انجام شده، نشان می‌دهد که اولین عامل وجود نظام ذخیره سازی برای مدیریت پشتیبانی امداد و نجات است که شامل ۷ متغیر است. همچنین همبستگی هماهنگی بین سازمان‌های درگیر در بحران بر اساس آزمون کروسکال والیس (آزمون H)، نیز نشان می‌دهد (سطح معناداری) در همه متغیرها کمتر از ۰۰۰۵ و از آنجا که این رقم کوچک‌تر از آلفای مورد نظر (۰۰۰۵) است، بنابراین فرض H۰ رد و کافی نبودن ساختار تشکیلات مناسب برای هدایت عملیات امداد و نجات در سازمان‌های بررسی شده (فرضیه پژوهش) تأیید می‌شود.

۱۳۲

شماره ۲۱
بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرار و تابستان
۱۴۰۱

واستفاده از جایگاه سازمان‌های مدیریت بحران در افزایش تاب‌آوری شهری/محمد پودینه

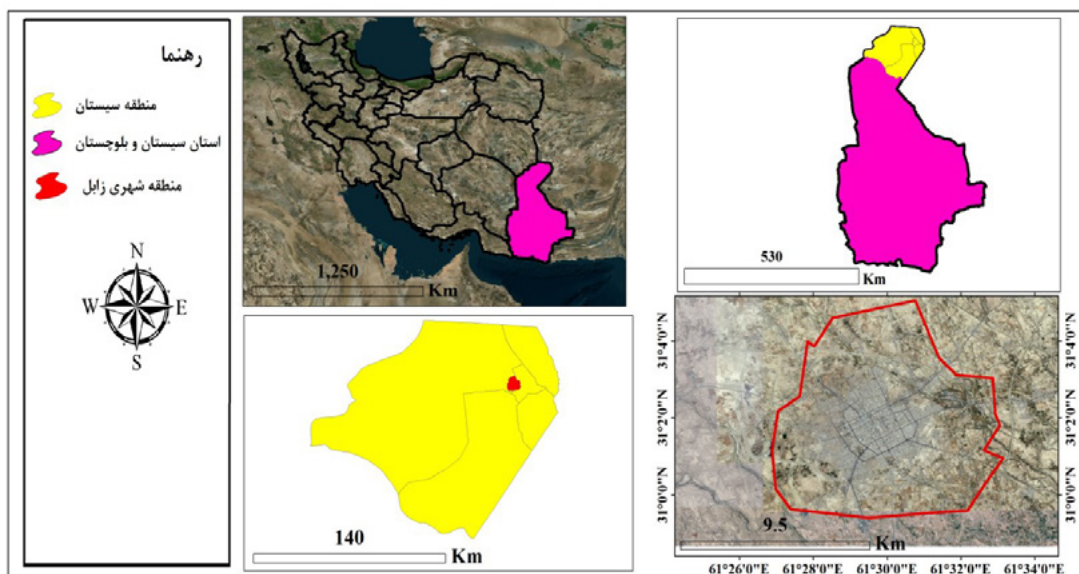
ادامه جدول (۲): پیشینه پژوهش

نویسندگان	سال	عنوان	نتایج
روگاتکا و همکاران [۵۱]	۲۰۲۰	تاب‌آوری شهری در برنامه‌ریزی فضایی شهرهای لهستانی- درست است یا غلط؟ دیدگاه تحول‌آفرین	یافته‌ها نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی فضایی در لهستان از چارچوب قانونی مناسبی برای اجرای تاب‌آوری شهری برخوردار است، اما دستیابی به کاربرد کامل مفهوم مورد سطح اجرایی، نیاز به برنامه‌ریزی دارد.
چلیبری و باراوکیوا [۱۳]	۲۰۲۰	درک معانی و اصول تاب‌آوری شهری در سراسر اروپا	در این پژوهش دیدگاه‌های دانشگاهیان و پزشکان در مورد مفهوم سازی‌های تاب‌آوری شهری بررسی شده است. که پاسخ‌دهندگان بیشتر مهندسی، استحکام و ایمنی را مورد توجه قرار داده‌اند. همچنین در این پژوهش به‌طور انتقادی عدم انطباق مفهومی و شکاف‌های موجود برای برطرف کردن در تحقیقات و عملکرد آینده مورد بحث قرار گرفته است.
هانک و همکاران [۵۲]	۲۰۲۰	جریان اصلی انعطاف‌پذیری در سیاست‌گذاری شهری؟ مورد مطالعه کریستچرچ و روتردام	توسعه استراتژی تاب‌آوری در جهت رسیدگی به چالش‌های شناسایی شده تغییرات رسمی (به عنوان مثال در قانون رویه و سیاستگذاری ملی) لازم دارد.
استوان [۵۳]	۲۰۱۶	بررسی ظرفیت سنجی تاب‌آوری	تصمیم‌گیران محلی در برخی از شاخص‌ها تاب‌آوری نقش مؤثری داشته‌اند که در ادامه بیان داشته، محدودیت اصلی در استفاده از این تصمیم‌گیران و دیگر روش‌های مشارکتی به‌دست‌آوردن یک سطح نماینده تعامل مشارکتی، محدود کردن اعتبار نتایج و موفقیت استراتژی‌های بعدی است.
فرانتزسکاکی [۵۴]	۲۰۱۶	بررسی تاب‌آوری شهری: مفهومی برای یکپارچگی شهرهای آینده	ارتقای تاب‌آوری شهرها از ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، روانشناختی و محیطی موجب افزایش یکپارچگی شهرهای آینده در مقابله با انواع بلایا می‌شود.

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر زابل به عنوان یکی از شهرهای راهبردی مرزی شرق ایران در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع این شهر ۴۹۸،۲ متر از سطح دریا بوده و در جلگه‌ای گسترده و هموار واقع شده که اطراف آن را اراضی مسطح فرا گرفته است. آب و هوای زابل از نوع بیابانی، گرم و خشک هست به طوری که خشک‌سالی و طوفان از پدیده‌های غالب منطقه است. خشک‌سالی طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۸ تعادل اقلیمی منطقه را بر هم زده و مشکلات عدیده اجتماعی و اقتصادی را موجب شده است. جریان باد در سیستان در کلبه فصول برقرار بوده و بادهای ۱۲۰ روزه در سیستان حاصل توده‌های پرفشار غربی بوده که در فصل تابستان از جهت شمال

شرق به جنوب شرق می‌وزد. حداکثر وزش این باد در تیرماه به ۱۰۰ کیلومتر در ساعت هم می‌رسد که در مسیر باعث جابه‌جایی ریگ‌های روان می‌شود و طوفان‌های شن، تپه ماهور و ماسه بادی‌ها را شکل می‌دهد. زابل با دارا بودن آب و هوای گرم و خشک همواره در معرض مخاطراتی از قبیل خشک‌سالی، طوفان و سیل قرار دارد. خشک شدن دریاچه‌های سه‌گانه هامون و بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که از روی این دریاچه‌ها می‌گذرند، منجر به فرسایش سطح دریاچه و حمل رسوبات آن به سوی شهرستان زابل می‌شود. خشک‌سالی‌های اخیر منجر به افزایش سرعت بیابان‌زایی مسلح کردن بادهای ماسه‌ای از جمله بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و وقوع سیل در پی بارش رگباری کوتاه‌مدت شده است [۵۵].



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان

۱۳۳

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرین

واستجی جایگاه سازمان‌های مدیریت بحران در افزایش تاب‌آوری
شهری / محمد پودینه

روش تحقیق

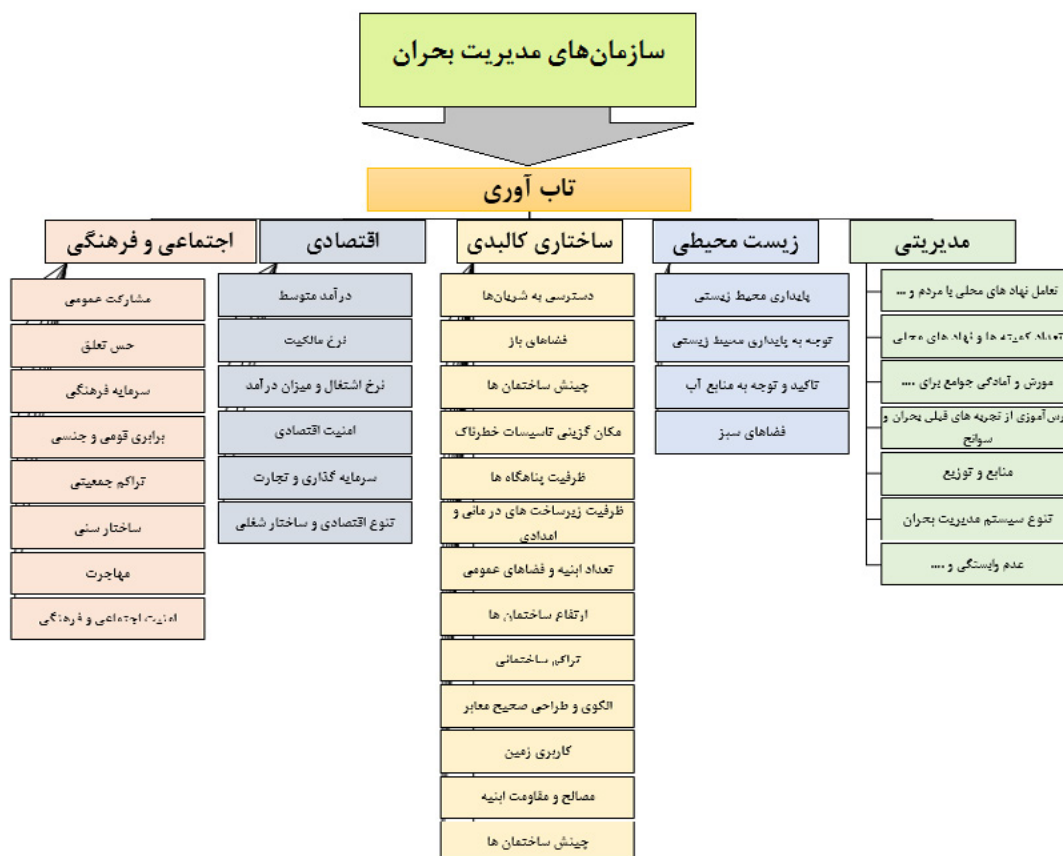
این پژوهش بر اساس روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و بر حسب هدف کاربردی است که روش جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی است. جامعه آماری در پژوهش حاضر شامل ۲ بخش است که بخش اول جامعه متخصصان، نخبگان و کارشناسان سازمان‌های مرتبط با مدیریت بحران شامل (اساتید دانشگاه در گروه‌های برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی، مدیران شهری، فرمانداری و استانداری، شهرداری (آتش‌نشانی) و ...) که براساس نمونه‌گیری هدفمند تعداد ۲۰ نفر به عنوان جامعه نمونه در این بخش تعیین شد. در بخش دوم هم جامعه آماری شامل کلیه سرپرستان خانوارهای ساکن در شهر زابل (۳۵ هزار و ۲۸۳ خانوار) است که براساس نمونه‌گیری تصادفی و با استفاده از فرمول کوکران ۳۸۴ سرپرست خانوار به عنوان جامعه نمونه در این بخش تعیین شد. برای محاسبه میزان تأثیرات سازمان‌های مدیریت بحران در افزایش تاب‌آوری شهر زابل در مقابل مخاطرات از نرم‌افزار SPSS (آزمون‌های همبستگی اسپیرمن و ضریب تعیین) استفاده شد. سپس به منظور اولویت‌بندی ابعاد تاب‌آوری از نرم‌افزار Expert Choice و جهت رتبه‌بندی سازمان‌های مدیریت بحران از مدل Fuzzy VIKOR استفاده شده است.

از آنجایی که پرسش‌نامه گفته‌شده بر پایه گویه‌های شناسایی‌شده جدول (۱) در تحقیق و دیدگاه صاحب‌نظران و کارشناسان فراهم شده، بنابراین روایی صوری پرسش‌نامه تأیید

می‌شود. همچنین جهت تعیین پایایی پرسش‌نامه از آماره آلفای کرونباخ استفاده شده که ۰/۸۷ برای پرسش‌نامه اقتصادی، ۰/۷۵ برای پرسش‌نامه کالبدی و ساختاری، ۰/۸۲ برای پرسش‌نامه مدیریتی، ۰/۷۶ برای پرسش‌نامه اجتماعی-فرهنگی و ۰/۷۷ برای پرسش‌نامه زیست‌محیطی به دست آمده و نشان‌دهنده پایایی قابل قبولی است. مؤلفه‌های این تحقیق با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه و شرایط منطقه مورد مطالعه انتخاب شد و در ادامه هم مدل مفهومی پژوهش به شرح شکل ۲ است.

بحث و نتایج

در این بخش پژوهش ضریب تعیین و درصد هر یک از ابعاد تاب‌آوری بررسی شده است. براساس اطلاعات جدول (۳) می‌توان بیان داشت که میزان تأثیر سازمان‌های مدیریت بحران شهر زابل در تاب‌آوری شهر زابل در مقابل مخاطرات در برخی از گویه‌ها مرتبه‌های متوسط به بالا درصد بیشتری را و این درصدها مقدار زیادی از کل درصدها را به خود اختصاص داده‌اند؛ همچنین در جدول (۳) ضریب تغییر هم محاسبه و براساس آن به گویه‌ها رتبه داده شده که رتبه یک به بعد ساختاری-کالبدی و رتبه‌های ۲ و ۳ به ابعاد اجتماعی-فرهنگی و اقتصادی داده شده و در پایان رتبه‌های آخر هم به ابعاد زیست‌محیطی و مدیریت داده شده و بیان می‌کند، این مقیاس‌ها به ترتیب قوی‌ترین و ضعیف‌ترین مقیاس‌ها در سنجش تاب‌آوری شهر زابل هستند. همچنین نمره



شکل (۲): مدل مفهومی پژوهش، منبع: [۲۲، ۲۴، ۲۵، ۲۹، ۴۰، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۸].

هر یک از گویه‌ها محاسبه شد که به ترتیب نمره تاب‌آوری تمامی ابعاد بیشترین نمره (بالای ۴) را دارا بوده و کمترین نمره به بعد زیست محیطی داده شد.

جدول (۳): ضریب تعیین و درصد سطوح تاب‌آوری

ردیف	ابعاد تاب‌آوری	تعداد گویه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه	درصد سطوح تاب‌آوری					شهرزابل
						بسیار پایین	پایین	تا حدودی	زیاد	خیلی زیاد	
۱	اجتماعی-فرهنگی	۸	۲/۴۰۱	۰/۰۹۲	۱	۳/۳۴	۱۸/۰۴	۳۷/۲۸	۲۳/۵۲	۲۴/۱۲	۴/۵۷
۲	اقتصادی	۶	۱/۷۶۵	۰/۱۰۴	۲	۰/۵	۲/۴۷	۱۵/۷	۳۸/۲۵	۴۳/۱۵	۴/۴۲
۳	ساختاری-کالبدی	۱۵	۲/۴۰۱	۰/۱۰۸	۳	۲/۲۸	۵/۲۳	۲/۱۱	۳۶/۱۱	۵۴/۲۵	۴/۴۴
۴	زیست محیطی	۴	۲/۹۸۸	۰/۱۸۶	۵	۱/۷۵	۳/۴۲	۱۹/۶	۴۱/۶۷	۳۳/۶	۴/۲۱
۵	مدیریتی	۸	۴/۷۶۵	۰/۱۴۵	۴	۲/۴۵	۳/۴۶	۱۴/۴۵	۴۳/۵۲	۳۷/۱۳	۴/۳۱

جدول (۴): همبستگی بین سازمان‌های مدیریت بحران و گویه‌های تاب‌آوری در شهرزابل

نوع آزمون	p	r	متغیر وابسته	گویه‌های تاب‌آوری	p	r	متغیر وابسته	گویه‌های تاب‌آوری	p	r	متغیر وابسته	گویه‌های تاب‌آوری
پیرسون	۰/۰۰۱	۰/۵۴۲	تأکید و توجه به منابع آب	الگوی و طراحی صحیح معابر	۰/۰۰۱	۰/۵۵۴	ظرفیت زیرساخت‌های درمانی و امدادی	امنیت اقتصادی	۰/۰۰۱	۰/۵۶۶	تعداد کمیته‌ها و نهادهای محلی	مشارکت عمومی
	۰/۰۰۱	۰/۵۵۳		کاربری زمین	۰/۰۰۰	۰/۶۲۱		سرمایه‌گذاری و تجارت	۰/۰۰۰	۰/۷۶۷		حس تعلق
	۰/۰۰۰	۰/۶۱۱		مصلح و مقاومت ابنیه	۰/۰۰۰	۰/۶۳۳		تنوع اقتصادی و ساختار شغلی	۰/۰۰۰	۰/۶۱۲		سرمایه فرهنگی
	۰/۰۰۰	۰/۶۰۲		چینش ساختمان‌ها	۰/۰۰۰	۰/۶۴۱		دسترسی به شریان‌ها	۰/۰۰۰	۰/۶۲۲		برابری قومی و جنسی
	۰/۰۰۰	۰/۷۱۲		انسجام محلات	۰/۰۰۰	۰/۶۱۱		فضاهای باز	۰/۰۰۰	۰/۶۳۴		تراکم جمعیتی
	۰/۰۰۰	۰/۶۶۳		مقاوم‌سازی سایت‌های تاریخی	۰/۰۰۰	۰/۶۴۵		چینش ساختمان‌ها	۰/۰۰۰	۰/۶۳۳		ساختار سنی
	۰/۰۰۱	۰/۵۹۸		پایداری محیط زیستی	۰/۰۰۰	۰/۶۶۳		مکان‌گزینی تأسیسات خطرناک	۰/۰۰۱	۰/۵۸۷		مهاجرت
	۰/۰۰۱	۰/۵۴۱		توجه به پایداری محیط زیستی	۰/۰۰۰	۰/۶۰۹		ظرفیت پناهگاه‌ها	۰/۰۰۰	۰/۶۱۲		امنیت اجتماعی و فرهنگی
	۰/۰۰۱	۰/۵۵۴		تأکید و توجه به منابع آب	۰/۰۰۰	۰/۷۲۱		ظرفیت زیرساخت‌های درمانی و امدادی	۰/۰۰۰	۰/۷۳۲		مشارکت عمومی
	۰/۰۰۱	۰/۵۱۱		فضاهای سبز	۰/۰۰۰	۰/۶۶۳		تعداد ابنیه و فضاهای عمومی	۰/۰۰۱	۰/۵۵۴		درآمد متوسط
	۰/۰۰۰	۰/۶۳۳		مقاوم‌سازی سایت‌های تاریخی	۰/۰۰۰	۰/۶۶۳		ارتفاع ساختمان‌ها	۰/۰۰۰	۰/۶۶۳		نرخ مالکیت
	۰/۰۰۱	۰/۵۲۱		پایداری محیط زیستی	۰/۰۰۰	۰/۷۱۲		تراکم ساختمانی	۰/۰۰۱	۰/۵۳۲		نرخ اشتغال و میزان درآمد

ادامه جدول (۴): همبستگی بین سازمان‌های مدیریت بحران و گویه‌های تاب‌آوری در شهرزابل

نوع آزمون	p	r	متغیر وابسته	گویه‌های تاب‌آوری
همبستگی پیرسون	۰/۰۰۱	۰/۵۵۲	سازمان‌های مدیریت بحران	توجه به پایداری محیط زیستی
	۰/۰۰۰	۰/۶۲۲		تأکید و توجه به منابع آب
	۰/۰۰۱	۰/۵۱۲		فضاهای سبز
	۰/۰۰۱	۰/۵۳۳		سرمایه مذهبی (تعداد مساجد)
	۰/۰۰۰	۰/۶۱۱		تعامل نهادهای محلی با مردم و رضایت مردم از آن‌ها
	۰/۰۰۰	۰/۶۰۹		تعداد کمیته‌ها و نهادهای محلی
	۰/۰۰۱	۰/۵۵۲		آموزش و آمادگی جوامع برای مدیریت بحران
	۰/۰۰۰	۰/۶۰۸		درس‌آموزی از تجربه‌های قبلی بحران و سوانح
	۰/۰۰۱	۰/۵۵۱		منابع و توزیع
	۰/۰۰۰	۰/۶۱۱		تنوع سیستم مدیریت بحران
	۰/۰۰۱	۰/۵۷۸		عدم وابستگی و خوداتکایی سیستم مدیریت بحران

۱۳۵

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرین

واستفاده‌کننده سازمان‌های مدیریت بحران در افزایش تاب‌آوری شهری / محمد پودینه

در مطالعه همبستگی بین گویه‌های تاب‌آوری و سازمان‌های مدیریت بحران شهر زابل بررسی مقادیر ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین تمامی گویه‌های تاب‌آوری و سازمان‌های مدیریت بحران شهر زابل رابطه مثبت و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد. ماتریس همبستگی بین گویه‌های مستقل با متغیر سازمان مدیریت بحران در شهر زابل در (جدول ۴) آمده است.

در ادامه هم به ارزیابی ابعاد تاب‌آوری و اولویت‌بندی سازمان‌های مدیریت بحران در شهر زابل با استفاده از مدل وایکور فازی پرداخته می‌شود که نتایج به شرح هر یک از مراحل مطرح شده است.

گام اول: تعیین وزن معیارها

در این بخش هریک از سازمان‌های شهری راساس ابعاد مورد مطالعه ارزیابی می‌شوند و چون این نتایج به صورت داده خام وجود دارد، توسط کارشناسان از یک تا ۱۰ ارزیابی شدند.

گام دوم: وزن‌دهی فازی به ابعاد

در این مرحله می‌توان با متغیرهای زبانی وزن هر بعد را با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice محاسبه کرد که نتایج به شرح نمودار زیر است (شکل ۳).

یافته‌های حاصل از تعیین وزن ابعاد با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نرم‌افزار (Expert Choice) نشان می‌دهد، بعد اجتماعی و فرهنگی با وزن به دست آمده ۰/۳۴۵ و ابعاد بعد ساختاری و کالبدی با وزن به دست آمده ۰/۲۷، بعد اقتصادی با

جدول (۵): نتایج سازمان‌ها و ابعاد

ابعاد سازمان	اقتصادی	زیست محیطی	مدیریتی	ساختاری-کالبدی	اجتماعی و فرهنگی
سازمان‌های نظامی و انتظامی	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۱،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)
	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)
	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۱،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)
اداره آب	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۲۵،۰/۰،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)
	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)
	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)
شهرداری	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)
	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)
	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)
اداره برق	(۰/۲۵،۰/۰،۰/۰)	(۰/۲۵،۰/۰،۰/۰)	(۰/۲۵،۰/۰،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۲۵،۰/۰،۰/۰)
	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)
	(۰/۲۵،۰/۰،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۲۵،۰/۰،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۲۵،۰/۰،۰/۰)
بنیاد مسکن	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)
	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)
	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)
شبکه بهداشت	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)
	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)
	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)
هلال احمر	(۰/۷۵،۰/۱،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۱،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۱،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۱،۰/۱)
	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)
	(۰/۷۵،۰/۱،۰/۱)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۷۵،۰/۱،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۱،۰/۱)	(۰/۷۵،۰/۱،۰/۱)
فرمانداری	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۲۵،۰/۰،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)
	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)
	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۲۵،۰/۰،۰/۰)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)
اداره راه و شهرسازی	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)
	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)	(۰/۵،۰/۲۵،۰/۰)
	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)	(۰/۷۵،۰/۵،۰/۲۵)



شکل (۳): وزن نهایی ابعاد تاب‌آوری

وزن به دست آمده ۰/۲، بعد مدیریت با وزن به دست آمده ۰/۱۱، بعد زیست محیطی با وزن به دست آمده ۰/۷۵ و به ترتیب بالاترین و پایین ترین ابعاد تاب آوری را به خود اختصاص داده اند.

گام سوم: محاسبه مقادیر جمع فازی برای هر سازمان

در این مرحله نیاز است تا اعداد فازی برای هر سازمان با هم جمع شود و به طور جداگانه متوسط پاسخ دهندگان برای هر بعد محاسبه شد. (جدول ۶).

گام چهارم: دیفازی کردن ماتریس تصمیم گیری و وزن فازی هر بعد برای تبدیل به اعداد قطعی

در این مرحله با یکپارچه سازی نظر پاسخگویان به پرسش ها در هر سازمان برای هر یک از نماگرها در هر سازمان یک عدد فازی به دست آمد که حاصل میانگین نظرهای نمونه ها بود. سپس لازم است از طریق فازی زدایی یا دیفازی کردن اعداد فازی به دست آمده در طی محاسبات از حالت فازی خارج و به اعداد حقیقی تبدیل شوند.

گام پنجم: محاسبه ماتریس وزنی برای وزن دار کردن است که مقادیر ماتریس نرمال هر یک از گزینه ها در وزن ابعاد (که پیشتر از روش های دیگر به دست آمده بود) ضرب می شود.

گام ششم: تعیین مقادیر بالاترین و پایین ترین ارزش ماتریس نرمال وزنی

بزرگ ترین و کوچک ترین عدد هر ستون تعیین می شود. در این مرحله بالاترین و پایین ترین ارزش توابع ابعاد از ماتریس تصمیم گیری استخراج شد.

در اینجا منظور از بزرگ ترین عدد یعنی عددی که بیشترین ارزش مثبت را داراست و کوچک ترین یعنی بیشترین ارزش منفی. پس اگر ابعاد ما از نوع منفی باشد، بزرگ ترین عدد برعکس می شود؛ یعنی کمترین مقدار می شود و کوچک ترین بیشترین مقدار می شود و بالعکس.

گام هفتم: محاسبه مقدار Q و رتبه بندی نهایی سازمان ها

در این مرحله شاخص ویکور که همان امتیاز نهایی هر گزینه است، محاسبه شد. مقدار Q بیانگر رتبه نهایی هر سازمان از مجموع ابعاد مورد مطالعه است. در اینجا V وزن استراتژی اکثریت معیارها یا حداکثر مطلوبیت گروهی است. مقدار S میزان فاصله از راه حل ایده آل مثبت گزینه نام را نشان می دهد. به عبارتی مقدار R نشان دهنده فاصله از راه حل ایده آل منفی برای گزینه نام است. زمانی که V بزرگ تر از ۰/۵ است، شاخص Q حداکثر توافق را دارد. زمانی که V کوچک تر از ۰/۵ است، نشان دهنده حداکثر نگرش منفی است. همچنین بر اساس مقادیر Q می توان گزینه ها

جدول (۶): محاسبه مقادیر جمع فازی برای هر سازمان

ابعاد سازمان	اقتصادی	زیست محیطی	مدیریتی	ساختاری-کالبدی	اجتماعی و فرهنگی
سازمان های نظامی و انتظامی	(۰/۵۰۰/۴۲۰۰/۷۵)	(۰/۶۶۰/۷۵۰۰/۵۸)	(۰/۵۰۰/۰۶۶۰/۹۹)	(۰/۵۸۰۰/۷۵۰۰/۹۰)	(۰/۵۸۰۰/۷۵۰۰/۷۵) (۰/۵۸)
اداره آب	(۰/۴۹۰۰/۲۴۰۰/۲۴)	(۰/۴۱۰۰/۱۶۰۰/۵۸)	(۴۹۰۰/۲۴۰۰)	(۰/۴۹۰۰/۰۱۰)	(۴۹۰۰/۲۴۰۰)
شهرداری	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰/۹۰)	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰/۹۰)	(۰/۴۹۰۰/۰۶۶۰/۹۹)	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰/۹۰)	(۰/۸۰۰/۵۸۰۰/۷۵)
اداره برق	(۰/۳۳۰۰/۰۸۲۰۰)	(۰/۴۹۰۰/۲۴۰۰)	(۰/۳۳۰۰/۰۸۲۰۰)	(۴۹۰۰/۲۴۰۰)	(۴۹۰۰/۲۴۰۰)
بنیاد مسکن	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰/۹۹)	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰/۶۶)	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰/۲۴)	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰/۲۴)	(۴۹۰۰/۲۴۰۰)
شبکه بهداشت	(۰/۶۶۰۰/۴۹۰۰/۴۱)	(۰/۴۹۰۰/۴۱۰۰/۴۹)	(۰/۶۶۰۰/۴۹۰۰/۴۱)	(۰/۶۶۰۰/۴۹۰۰/۴۱)	(۰/۵۸۰۰/۴۲۰۰/۱۶)
هلال احمر	(۰/۵۸۰۰/۶۸۰۰/۹۰)	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰/۲۴)	(۰/۸۲۰۰/۷۴۰۰) (۰/۶۶)	(۰/۸۲۰۰/۷۴۰۰) (۰/۶۶)	(۰/۵۸۰۰/۴۲۰۰/۱۶)
فرمانداری	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰/۲۴)	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰)	(۰/۴۹۰۰/۴۹۰۰)	(۰/۳۳۰۰/۰۹۲۰۰)	(۰/۴۹۰۰/۰۸۲۰۰)
اداره راه و شهرسازی	(۰/۴۹۰۰/۴۱۰۰/۲۴)	(۰/۴۹۰۰/۴۱۰۰/۲۴)	(۰/۴۹۰۰/۲۴۰۰)	(۰/۵۸۰۰/۴۱۰۰/۱۶)	(۰/۵۸۰۰/۴۱۰۰/۱۶)

جدول (۷): دیفازی کردن ماتریس تصمیم گیری و وزن دهی هر بعد برای تبدیل به اعداد قطعی

ابعاد سازمان	اقتصادی	زیست محیطی	مدیریتی	ساختاری-کالبدی	اجتماعی و فرهنگی
سازمان های نظامی و انتظامی	۰/۳۸۶	۰/۳۳۳	۰/۳۴۸	۰/۴۹۳	۰/۳۸۳
اداره آب	۰/۴۹۰	۰/۳۰۳	۰/۵۷۶	۰/۶۲۰	۰/۵۷۶
شهرداری	۰/۴۶۰	۰/۴۶۰	۰/۵۵۳	۰/۴۶۰	۰/۵۵۳
اداره برق	۰/۳۸۳	۰/۵۷۰	۰/۶۰۳	۰/۵۷۶	۰/۵۷۶
بنیاد مسکن	۰/۴۹۰	۰/۳۸۶	۰/۲۴۶	۰/۲۴۶	۰/۵۷۶
شبکه بهداشت	۰/۴۷۰	۰/۳۰۳	۰/۴۷۰	۰/۴۷۰	۰/۵۲۳
هلال احمر	۰/۴۷۰	۰/۲۴۶	۰/۴۱۰	۰/۴۱۰	۰/۵۲۳
فرمانداری	۰/۲۴۶	۰/۴۹۳	۰/۴۹۳	۰/۵۲۱	۰/۶۳۱
اداره راه و شهرسازی	۰/۴۴۰	۰/۴۴۰	۰/۵۷۰	۰/۵۲۳	۰/۵۲۳

را رتبه‌بندی کرد. گزینه‌هایی که مقدار Q در آنها بیشتر باشد، در اولویت بالاتری قرار می‌گیرند و مقادیر Q کوچک‌تر به معنای قرار گرفتن در رتبه پایین‌تر است.

جدول (۸): مقادیر Q به‌دست‌آمده سازمان‌های شهری

اولویت	Q	سازمان
۵	۰/۶۱۵	سازمان‌های نظامی و انتظامی
۱	۰/۲۵۶	اداره آب
۹	۱	شهرداری
۲	۰/۳۵۶	اداره برق
۳	۰/۵۵۶	بنیاد مسکن
۷	۰/۶۷۴	شبکه بهداشت
۶	۰/۶۲۳	هلال احمر
۸	۰/۷۱۰	فرمانداری
۴	۰/۵۴۳	اداره راه و شهرسازی

نتایج نهایی مدل وایکور فازی نشان داد که در بین سازمان‌های مطرح‌شده، شهرداری بیشترین میزان تأثیر را در تاب‌آوری شهری زابل به خود اختصاص داده است. سازمان‌های اداره برق و اداره آب هم کمترین میزان تأثیر را در تاب‌آوری شهری زابل در مقابل مخاطرات به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سازمان‌های مدیریت بحران بیشترین میزان تأثیر را در تاب‌آوری اجتماعی داشته‌اند. همیشه در زمان بحران زمانی که از تاب‌آوری اجتماعی صحبتی به میان می‌آید، از تاب‌آوری اجتماعی در مقابل بحران‌ها از ظرفیت و توانایی خاصی در شهروندان، شبکه‌های اجتماعی، خانوارها و محلات صحبت می‌شود که همه این‌ها حاصل توانمندسازی جوامع محلی در مقابل بحران‌هاست. سازمان‌های مدیریت بحران با تأکید بر تاب‌آوری اجتماعی به تحقیق پایداری اجتماعی در برابر سوانح از یک سو بر شکل‌گیری، حفظ گروه‌های اجتماعی و جوامع محلی و از سوی دیگر بر ارتقای سرمایه اجتماعی، ارتقای حس دلبستگی به مکان و حس جامعه محلی، افزایش مشارکت ساکنان در مراحل مختلف بحران و شکل‌گیری پیوندهای اجتماعی دست می‌یابند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف کلی بررسی جایگاه سازمان‌های مدیریت بحران در افزایش تاب‌آوری شهری زابل صورت پذیرفته است. نتایج کلی نشان داد که بین تمامی گویه‌های تاب‌آوری و سازمان‌های مدیریت بحران شهر زابل رابطه مثبت و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد. این نتایج اذعان دارد که سازمان‌های مدیریت بحران شهر زابل در برنامه‌های خود ابعاد و شاخص‌های تاب‌آوری در برابر مخاطرات را مورد توجه دارند. نتایج این قسمت از پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های روگاتکا و همکاران (۲۰۲۰) که نشان داد، برنامه‌ریزی فضایی در لهستان از چارچوب قانونی مناسبی برای اجرای تاب‌آوری شهری برخوردار است، اما دستیابی به کاربرد کامل مفهوم مورد سطح اجرایی نیاز به برنامه‌ریزی دارد و عبدالمی و همکاران (۱۳۹۵)

که نشان دادند که بین تاب‌آوری شهروندان و مؤلفه‌های نهادی و کالبدی-محیطی در برابر بحران‌های طبیعی به‌ویژه زلزله رابطه معناداری وجود دارد. در نهایت هم عزیزپور و همکاران (۱۳۹۰) که نشان داد هماهنگی بین سازمان‌های درگیر در بحران و ساختار تشکیلات آنها برای هدایت عملیات امداد و نجات در سازمان‌های کافی و مورد توجه است هم راستاست.

همچنین از دیدگاه متخصصان از میان ابعاد تاب‌آوری در سازمان‌های مدیریت بحران شهر زابل بعد اجتماعی و فرهنگی با وزن به‌دست‌آمده (۰,۳۴۵) در اولویت نخست و شهرداری در بین سازمان‌های درگیر در مبحث مدیریت بحران بیشترین میزان تأثیر را در افزایش تاب‌آوری شهری زابل به خود اختصاص داده است. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج تحقیق محمودزاده و هریسچیان (۱۳۹۷) ناهم‌سوست؛ زیرا آنها نشان دادند، در بین ابعاد تاب‌آوری بعد اقتصادی نسبت به سایر ابعاد تاب‌آوری در اولویت است.

سایر نتایج نشان از این موضوع دارد که سازمان‌ها، ادارات و نهادهای مرتبط با مدیریت بحران در شهر زابل در شرایط متفاوتی بر اساس افزایش تاب‌آوری شهری قرار دارند.

در نهایت باید افزود: در شرایط خاص جغرافیایی شهر زابل و اجتناب‌ناپذیر بودن وقوع مخاطرات و بحران، همچنین ضرورت کاستن از نتایج زیان بار بحران و افزایش تاب‌آوری در مقابل مخاطرات لازم است به اصول راهبردی زیر برای اطمینان از مدیریت درست بحران توجه شود:

- نوشتن یک برنامه هماهنگی پاسخ به بلایای طبیعی و افزایش تاب‌آوری در سطح سازمان‌های مدیریت بحران شهر زابل و تجدیدنظر در آن هر چند سال یک بار لازم است که باید در آن شرح وظایف و مسئولیت‌های تمامی سازمان‌ها و نهادهای پاسخگو در بلایای طبیعی با ذکر جزئیاتی از جمله شناسایی نقاط ارتباط هر کدام از سازمان‌ها و چگونگی همکاری با یکدیگر مشخص شود.
- افزایش هماهنگی میان سازمان‌های مسئول و تهیه برنامه‌های مرتبط با هدف ارتقای بستر و روابط نهادی.
- تهیه طرح‌ها و برنامه‌هایی با هدف افزایش سطح آگاهی‌های مردم در زمینه بحران و مراحل گوناگون مدیریت بحران.
- ارائه برنامه زمان‌بندی شده در جهت توسعه زیرساخت‌های مدیریت بحران در شهر زابل که در آن هم‌زمان باید فرهنگ‌سازی و آماده کردن برای مقابله با بحران مردم از طریق رسانه‌های گروهی و اجتماعی مورد توجه باشد.
- برگزاری دوره‌های آموزشی متعدد نظیر امداد و نجات، کمک‌های اولیه، تهیه و توزیع بروشورهای آموزشی، تمرین‌های اضطراری مدیریت بحران، تشکیل گروه‌های مدیریت بحران شهری و ایجاد کمیته بحران با گروه‌های مردمی در شهر زابل.
- پیشنهاد می‌شود، جهت ارتقای سطح مدیریت اطلاعات مدیران در سازمان‌های مرتبط با مدیریت بحران از تکنیک‌هایی نظیر جمع‌آوری اطلاعات، ارزیابی مخاطرات

13. Chelleri, L, Baravikova, A. (2020). Understandings of urban resilience meanings and principles across Europe Cities, Volume 108, January 2021, 102985

۱۴. امان پور، سعید، ملکی، سعید، صفایی پور، مسعود، امیری فهلیانی، محمدرضا، (۱۳۹۷) تحلیل وضعیت و تعیین استراتژی های مبتنی بر سناریو در تاب آوری کلانشهرهای ایران (مورد پژوهش: کلان شهر اهواز) نشریه پژوهش و برنامه ریزی شهری، دوره ۹، شماره ۳۵، صص ۳۱-۴۶.

۱۵. شفیع حامد، (۱۳۸۶) ارزیابی روند بیابان زایی با استفاده از RS و GIS در منطقه سیستان با تأکید بر پوشش گیاهی، پایان نامه کارشناسی ارشد بیابان زدایی، دانشگاه زابل، دانشکده منابع طبیعی.

۱۶. نگارش، حسین، لطیفی، لیلان، (۱۳۸۸) بررسی خسارت های ناشی از حرکت ماسه های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره ای، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۱، شماره ۶۷، صص ۷۳-۸۷.

۱۷. بیک محمدی حسن و نوری سید هدایت اله، (۱۳۸۴) اثرات خشک سالی های ۸۳-۱۳۸۷ بر اقتصاد روستایی سیستان و راهکارهای مقابله با آن، مجله جغرافیا و توسعه، صص ۵۷-۵۳.

18. Blaikie, p., cannon, T. and Davis, I., (1994), at risk natural hazard people's vulnerability and disaster, New York: Rutledge.

19. Zhou, H., Jingai, W., Jinhong, W. and Huicong, J., (2010), Resilience to natural hazards: a geographic perspective, Natural Hazards, No. (53) 1, pp. 21-41.

20. The World Bank Annual Report, (2012), Volume 1. Main Report.

۲۱. داداش پور، هاشم، عادل، زینب، (۱۳۹۴) سنجش ظرفیت های تاب آوری در مجموعه شهری قزوین، نشریه مدیریت بحران، دوره ۴، شماره ۸، صص ۷۳-۸۴.

۲۲. قزایی، فریبا، مثنوی، محمدرضا، حاجی بنده، مونا، (۱۳۹۶) بسط شاخص های کلیدی سنجش تاب آوری مکانی - فضایی شهری، مرور فشرده ادبیات نظری، مجله باغ نظر، سال ۱۴، شماره ۵۷، صص ۱۹-۳۲.

23. Hassler, U. & Kohler, N. (2014). Resilience in the built environment. Building Research and Information, 42(2): 119- 129.

24. Santos Cruz, S., Costa, J., de Sousa, S., & Pinho, P. (2012). Urban Resilience and Spatial Dynamics. In A. Eraydin, & T. Tasan-Kok, Resilience Thinking in Urban Planning. Dorthrekht: Part of the GeoJournal Library book series (GEJL, volume 106.

25. Suárez, M. Gómez-Baggethun, M. Benayas, J. & Tilbury, D. (2016). Towards an Urban Resilience Index: A Case Study in 50 Spanish Cities. Sustainability, 8(8): 774, 1-19.

26. Eraydin, A. & Tasan-Kok, T. (2012). Resilience Thinking in Urban Planning. Science and Business Media: Vol 106, Springer.

27. Godschalk, D. (2003). Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities. Natural Hazard. ASCE, 4(3): 136-143.

28. Ernstson, H., Barthel, S., Andersson, E. & Borgström, S. (2010). Scale-crossing brokers and network governance of urban ecosystem services: the case of Stockholm. Ecology and Society, 15(4): 28.

29. Ernstson, H., Van der Leeuw, S., Redman, C., Mefert, D., Davis, G., Alfsen, C. & Elmqvist, T. (2010). Urban transitions: on urban resilience and human

محتمل، شناسایی و ارزیابی قوت ها، ضعف ها، تهدیدها، فرصت ها، میزان منابع مختلف موجود و در دسترس سازمان ها مختلف و انتقال این اطلاعات به گروه های تصمیم گیرنده به ویژه اعضای حاضر سازمان هایی از جمله فرمانداری و هلال احمر استفاده شود.

منابع

۱. زنگی آبادی، علی، رضایی، میثم، مومنی شهرکی، مهدی، میرزایی، سارا، (۱۳۹۲) ارزیابی آسیب پذیری بخش مرکزی کلانشهرهای ایران در برابر بحران زلزله با استفاده از مدل IHWP مطالعه موردی: منطقه ۳ شهر اصفهان، مجله آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۸، صص ۱۳۷-۱۵۶.

2. Liu, J. Dietz, T, Carpenter, S. R, Albertim, M, Folke, C, Moran, E, Pell, A.N, Deadman, P, Kratz, K, Lubchenco, J, Ostrom, E, Ouyang, Zh, Provencher, W, Redman, L.Ch, Schneider, S.H, Taylor, W.W, (2007), Complexity of coupled human and natural systems. Science, 317(5844), 1513-1516.

3. Coaffee, J. (2010). Protecting vulnerable cities: The UK's resilience response to defending everyday urban infrastructure. International Affairs, 86(4), 939.

4. Rao, F. & Summers, R. J. (2016). Planning for retail resilience: Comparing Edmonton and Portland. Cities, 58, 97-106.

5. Spaans, M. & Waterhout, B. (2017). Building up resilience in cities worldwide – Rotterdam as participant in the 100 resilient cities programme. Cities, 61, 109-116.

۶. رمضان زاده لبسویی، مهدی، (۱۳۹۲) ساختارهای اجتماعی و اقتصادی تاب آوری ساکنان نواحی روستایی در برابر بلایای طبیعی با تأکید بر سیلاب (حوض چشمه کیله تنکابن و سردآبرود کلاردشت) رساله دکتری رشته جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

7. Ainuddin, S. Routray, J. K, (2012), Community resilience framework for an earthquake prone area in Baluchistan, International Journal of Disaster Risk Reduction, 2, 25-36.

۸. معروفی، سکیته، یاصره منش، علیرضا، ربوری لشکاجانی، فاطمه، (۱۳۹۶) ارزیابی جایگاه مدیریت بحران در نظام مدیریت شهری (نمونه موردی: شهر بویین زهرا) کنفرانس بین المللی زلزله، مدیریت بحران، احیا و بازسازی، قزوین، دانشگاه فنی و مهندسی بویین زهرا.

9. Hill C. & Jones G. (1995), Strategic management theory, Houghton Mifflin Company.

10. Mitchell, T. Harris, K, (2012), Resilience: a risk management ap - proach, background note, ODI, pp 1-15

11. Zhou, H., Jingai, W., Jinhong, W. and Huicong, J., (2010), Resilience to natural hazards: a geographic perspective, Natural Hazards, No. (53) 1, pp. 21-41.

۱۲. حیدری فر، محمد رئوف، حسینی سیاه گلی، مهناز، سلیمانی راد، اسماعیل، (۱۳۹۷) سنجش مؤلفه های تاب آوری شهری نمونه موردی: کلان شهر کرمانشاه، نشریه جغرافیا و مطالعات محیطی، دوره ۷، شماره ۲۸، صص ۱۰۷-۱۲۵.

۴۵. محمودزاده، حسن، هریسچیان، مهدی (۱۳۹۷). سنجش و اولویت‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری با روش ترکیبی معادلات ساختاری و تحلیل چند متغیره فازی (مطالعه موردی: منطقه یک کلانشهر تبریز) پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۹، شماره ۳۴، صص ۵۹-۷۴.
۴۶. اصلانی، فرشته، امینی حسینی، کامبد، (۱۳۹۷) مروری بر مفاهیم، شاخص‌ها، چارچوب‌ها و مدل‌های تاب‌آوری در برابر زلزله، مجله دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره ۸، شماره ۲، صص ۱۱۹-۱۳۶.
۴۷. عبدالهی، علی اصغر، شرفی، حجت‌اله، صباحی گراغانی، یاسر، (۱۳۹۵) تاب‌آوری نهادی و کالبدی- محیطی اجتماعات شهری در جهت کاهش بحران‌های طبیعی، زلزله (مطالعه موردی: شهر کرمان) فصل‌نامه آمایش محیط، دوره ۱۱، شماره ۴۲، صص ۱۶۵-۱۸۶.
۴۸. مغرب، یاسر، صالحی، اسماعیل، امیری، محمد جواد، بالیست، جهانپخش، (۱۳۹۵) ساخت مدل مفهومی تاب‌آوری کاربری اراضی شهری در برابر بلایا با رویکرد توسعه پایدار، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۱، شماره ۳، صص ۱۳۹-۱۵۶.
۴۹. برهن، روناک، فاضلی، مجتبی، راستی اردکانی، رضا، (۱۳۹۵) نقش مدیریت آسیب‌پذیری کلیدی در تاب‌آوری مشترکان شرکت آب و فاضلاب در زمان بحران زلزله، کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، دانشگاه تهران، تهران.
۵۰. عزیزپور، ملکه، زنگی‌آبادی، علی، اسماعیلیان، زهرا، (۱۳۹۰). اولویت‌بندی عوامل مؤثر در مدیریت بحران شهری در برابر بلایای طبیعی (مطالعه موردی سازمان‌های مرتبط با بحران شهر اصفهان) جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۲، شماره ۳، صص ۱۰۷-۱۲۴.
51. Rogatka, K., Starczewski, T., Kowalski, M., (2020), Urban resilience in spatial planning of polish cities - True or false? Transformational perspective, Land Use Policy Volume 101, February 2021, 105172
52. Huck, A, Monstadt, J, Driessen, P, (2020), Mainstreaming resilience in urban policy making? Insights from Christchurch and Rotterdam, Geoforum, Volume 117, December 2020, pp 194-205
53. Steven J. R. (2016). a multi-scalar, mixed methods framework for assessing rural communities' capacity for resilience, adaptation, and transformation, Journal Community Development, pp 124-140.
54. Frantzeskaki, N. (2016). URBAN RESILIENCE, A concept for co-creating cities of the future, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands.
۵۵. کیانی، اکبر، فاضل نیا، غریب، رضایی، بیت الله، (۱۳۹۱) بررسی و اولویت‌سنجی مخاطرات محیط طبیعی شهر زابل، جغرافیا و مطالعات محیطی، دوره ۱، شماره ۱، صص ۹۸-۱۱۱.
- dominated ecosystems. A Journal of the Human Environment, 39(8): 531-545.
30. Walker, B. & Salt, D. (2006). Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World. Washington D.C, USA: Island Press.
31. The Rockefeller Foundation. (2014). City Resilience Framework. New York City: Ove Arup & Partners International Limited.
32. Feliciotti, A. Romice, O. & Porta, S. (2016). Design for change: five proxies for resilience in the urban form. Open House International, 41(4): 23-30.
33. Sharifi, A. & Yamagata, Y. (2016). Urban Resilience Assessment: Multiple Dimensions, Criteria, and Indicators. Onogawa, Japan.
34. Barthel, S., Colding, S., Grahm, H., Erixon, H., Ernstson, C., Kärsten, L Torsvall, J. (2013). Principles of Socioecological Urbanism. KTH, Stockholm: TRITA-ARK.
35. Seville, E., Brunsdon, D., Dantas, A., Le Masurier, J., Wilkinson, S. and Vargo, J. (2008) Organisational resilience: researching the reality of New Zealand organisations. Journal of Business Continuity and Emergency Management 2(2), 258-266.
36. Edmondson, A.C. (1999) Psychological safety and learning behavior in work teams. Administrative Science Quarterly 44, 350-383.
37. Weick, K.E., Sutcliffe, K.M. and Obstfeld, D. (1999). Organizing for high reliability: processes of collective mindfulness. Research in Organizational Behavior 21, 81-123.
38. Bunderson, J.S. and Sutcliffe, K.M. (2002). Comparing alternative conceptualizations of functional diversity in management teams: process and performance effects. Academy of Management Journal 45(5), 875-893.
39. Sutcliffe, K.M. and Vogus, T. (2003) Organizing for resilience. In: Cameron, K.S., Dutton, J.E. and Quinn, R.E. (eds) Positive Organizational Scholarship: Foundations of a New Discipline. Berrett-Koehler, San Francisco, California, pp. 94-110.
40. Weick, K.E. and Sutcliffe, K.M. (2007). Managing the Unexpected: Resilient Performance in an Age of Uncertainty, 2nd edn. Jossey-Bass, San Francisco, California.
۱۴. سالم قهفرخی، امین، رضایی، سیدرضا، رستمی، محسن، علیخواه، ساهره، (۱۳۹۹) جایگاه تاب‌آوری سازمانی در مدیریت بحران‌ها و فجایع گردشگری، نشریه شباک، دوره ۶، شماره ۳ (پیاپی ۵۴) صص ۳۱-۴۶.
42. Hamel, G. and Välikangas, L. (2003). the quest for resilience. Harvard Business Review, September, 52-63.
۴۳. آزمون، مینا، نزیمی، یاسمن، (۱۳۹۸) نقش تاب‌آوری سازمانی در مدیریت بحران، شبکه اطلاع‌رسانی روابط عمومی ایران (شارا) مقالات روابط عمومی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه علوم و تحقیقات، ایران.
۴۴. بدیع، پروین دخت، رحیمی، محمود، (۱۳۹۷) بررسی و سنجش تاب‌آوری شبکه ارتباطی شهری با رویکرد مدیریت بحران (نمونه موردی منطقه ۲ تهران) نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، دوره ۱۰، شماره ۲، صص ۴۱-۶۵.

شناسایی و گروه‌بندی ریسک‌های احداث واحدهای صنعتی به‌وسیله روش دلفی و شبکه عصبی مصنوعی خودسازمانده

مطالعه موردی: احداث کارخانه تراورس

جعفر مصری: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

محمد رضا شهرکی*: استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

Email: mr.shahraki@eng.usb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

یکی از ارکان اصلی توسعه اشتغال و کسب‌وکار در هر کشور واحدهای صنعتی آن کشور هستند. موفقیت در احداث واحدهای صنعتی به سازوکارها و عوامل دیگری از جمله شناسایی و ارزیابی ریسک آن‌ها بستگی دارد. از این‌رو در پژوهش حاضر روشی ارائه شده تا بتواند الگویی را مبتنی بر شبکه عصبی برای دسته‌بندی و ارزش‌گذاری ریسک‌های احداث کارخانه تراورس با نگرش بومی‌سازی فناوری‌ها ارائه کند. برای این منظور جهت شناسایی ریسک‌ها با استفاده از روش دلفی با کمک خبرگان و اساتید دانشگاه در ۳ سطح از ۴۰ ریسک مورد بررسی ۲۱ ریسک انتخاب شد. سپس با توجه به نظر خبرگان، اساتید و صاحب‌های عوامل اجرایی ساخت کارخانه تراورس تمامی عوامل ریسک در مورد احتمال وقوع و شدت تأثیر ریسک از صفر تا ۱۰ امتیازدهی شد. سپس با بهره‌گیری از شبکه عصبی خودسازمانده کوهونن در برنامه نرم‌افزاری MATLAB ریسک‌ها گروه‌بندی شدند. نتایج خروجی شبکه عصبی نشان می‌دهد عوامل ریسک در ۵ گروه طبقه‌بندی می‌شوند که مهمترین ریسک نبود تجربه مشابه پیمانکار است که بالاترین سطح اهمیت را دارد. نکته قابل توجه در این پژوهش اهمیت ریسک‌های قرارگرفته در گروه ۴ است که ۱۷ ریسک (بالای ۸۰ درصد از ریسک‌های مورد بررسی) در این گروه قرار گرفته است. ریسک‌های قرارگرفته در گروه ۴ از لحاظ میزان اهمیت بین ۶۰ تا ۸۰ درصد اهمیت را به خود اختصاص داده که می‌توان با طرح و بررسی این موضوع در احداث واحدهای صنعتی تازه در کشور میزان ریسک احداث این‌گونه واحدهای صنعتی را در کشور به میزان زیادی کاهش داد.

واژگان کلیدی: ریسک، دلفی، شبکه عصبی مصنوعی خودسازمانده، کوهونن

Identification and grouping the risks of construction industrial units by Delphi method and self-organized artificial neural network

Case study: Construction of traverse factory

jafar mesri¹, Mohammad Reza Shahraki^{*2}

Abstract

One of the main pillars of employment and business development in each country are the industrial units of that country. Success in building industrial units depends on mechanisms and other factors such as identifying and assessing their risk. Therefore, the model presented in the research is based on a neural network to classify and evaluate the risks of building a traverse plant with a view to technology localization. To identify the risks by Delphi method with the help of experts and university professors in 3 levels of 40 risks, 21 risks were selected. Then, according to the opinions of experts, professors and executives of the construction of the traverse factory, risk factors on the probability of occurrence and severity of risk impact were scored from 0 to 10. The risks were then grouped using Mohlonen's self-organized neural network in the MATLAB software program. The results of the neural network output show that risk factors are classified into 5 groups, the most important of which is the lack of similar experience of the contractor, which is the highest level of radar importance. A noteworthy point in this study is the importance of the risks in group 4, of which 17 risks (over 80% of the risks studied) are in this group. The risks in group 4 are between 60 to 80% in terms of importance, which can be greatly reduced by planning and studying this issue in the construction of new industrial units in the country.

Keywords: Risk, Delphi, Self - organizing artificial neural network, Cohennon

¹ Master's degree in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sistan and Baluchestan University

² Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan mr.shahraki@eng.usb.ac.ir

۱۴۱

شماره ۲۱

بهار و تابستان

۱۴۰۱

دوفصلنامه علمی و پژوهشی



شناسایی و گروه‌بندی ریسک‌های احداث واحدهای صنعتی به‌وسیله روش دلفی و شبکه عصبی مصنوعی خودسازمانده / محمد رضا شهرکی

۱- مقدمه

مدیریت ریسک یکی از گرایش‌های علم مدیریت است که باوجود نوپا بودن به سرعت در حال رشد و توسعه است؛ به طوری که در اکثر شاخه‌ها مورد استفاده مدیران قرار گرفته و دارای کاربردهای متنوعی در بخش‌های مختلف است. برای کلیه پروژه‌های صنعتی تعریف یک ساختار شکست ریسک الزامی است. ساختار شکست ریسک ساختاری سلسله‌مراتبی از ریسک‌های پروژه است و می‌تواند برای سازمان‌دهی و هدایت مدیریت ریسک به کار گرفته شود (۱). موفقیت هر سازمان و نگاه وابسته به نوع مدیریت آن در شرایط گوناگون و میزان تسلط بر ریسک و مدیریت آن‌هاست. مهمترین فرآیند در مدیریت پروژه توجه نظام‌مند به مدیریت ریسک و فراهم کردن شرایط لازم برای دستیابی به اهداف پروژه است که به عنوان مدیریت ریسک شناخته می‌شود (۲). مدیریت ریسک پروژه یک فرآیند نظام‌مند برنامه‌ریزی برای شناسایی، آنالیز، پاسخگویی و زیر نظرگیری ریسک پروژه است. این مدیریت شامل فرآیندها، ابزارها و فنونی است که به مدیر پروژه برای پیشینه‌سازی احتمال نتایج رویدادهای مثبت و کمینه‌سازی احتمال نتایج رویدادهای مضر کمک می‌کند (۳). در دانش مدیریت پروژه ریسک پروژه یک رویداد یا شرایط نامطمئن است که در صورت وقوع بر حداقل یکی از اهداف پروژه از قبیل زمان، هزینه، کیفیت و دامنه مصوب پروژه تأثیر مثبت یا منفی می‌گذارد (۴). با توجه به تنوع و تعداد زیاد ریسک‌هایی که پروژه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مدیریت ریسک کارآمد و مؤثر بدون شناسایی و تهیه ساختار شکست ریسک امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین مسئله اصلی در این پژوهش شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های احداث واحد صنعتی است. در بیان نوآوری مقاله استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی در ارزیابی ریسک پروژه احداث واحد صنعتی که نتایج واضح‌تری نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری در اختیار پژوهنده قرار می‌دهد و در کنار آن ارزیابی ریسک یک پروژه منحصربه‌فرد احداث کارخانه تراورس هم می‌تواند در نوبه خود نوآوری محسوب شود. در این مقاله ابتدا به مرور ادبیات مسئله پرداخته شده و پس از بررسی پیشینه تحقیقات در بخش دوم مدل پیشنهادی در بخش سوم تشریح شده است. سپس با تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده بر اساس مطالعه موردی نتایج بر اساس مدل پیشنهادی ارائه و بررسی شده و در نهایت روش پیشنهادی برای تجزیه و تحلیل مسئله، انتخاب و مراحل مختلف آن تشریح شده است. در ادامه در بخش پنجم به اولویت‌بندی نهایی پرداخته شده و پیشنهادهایی برای کاهش ریسک‌ها و تبدیل آن‌ها به فرصت بیان شده است.

۲- ادبیات و پیشینه تحقیق

ریسک احتمال وقوع خطر یا به وجود آمدن خطر یا زیانی تعریف شده است (۵). در استاندارد مدیریت پروژه فرآیند مدیریت ریسک راهنمای گسترده دانش مدیریت پروژه است که شامل مراحل شش‌گانه برنامه مدیریت ریسک، شناسایی ریسک، تحلیل کیفی ریسک، تحلیل کمی ریسک، برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک، پایش و کنترل ریسک است (۴). اعتقاد به اینکه همواره پروژه‌ها

با بی‌اطمینانی همراه هستند، این واقعیت را نشان می‌دهد که بسیاری از پروژه‌ها در دستیابی به اهداف، محدوده، زمان، هزینه و زمان مورد نظر خود شکست می‌خورند. از این رو با توجه به نوع ارزیابی ریسک‌ها برای انتخاب پاسخ مناسب در جهت حفظ منافع پروژه و مدیریت آن تحقیقاتی تاکنون انجام شده است (۴). حصین و همکاران در سال ۲۰۱۹ در مقاله‌ای به رتبه‌بندی متغیر ریسک بر اساس فراوانی وقوع آن با تلفیق همزمان زمان، هزینه و معیارهای کیفیت و همزمان با انتخاب متغیرهای برتر با ترتیب مهمترین تأثیر پرداختند. آن‌ها از روش تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی ریسک‌های احتمالی پروژه استفاده کردند (۶). مرادی و میرزاده در سال ۱۳۹۸ ریسک‌های موجود در تولید صنعت دارو را با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست مورد مطالعه قراردادند. در این تحقیق بعد از شناسایی ریسک‌های مالی تولید دارو که به کمک مرور ادبیات و مصاحبه با خبرگان به دست آمد، پرسش‌نامه‌ای طراحی شد که در مجموع از ۶۶ ریسک شناسایی شده ۱۹ ریسک با نظر کارشناسان و خبرگان به عنوان ریسک‌های بااهمیت شناسایی و رتبه‌بندی شد. مرادی و میرزاده اصول بهینه تولید (GMP)، تغییرات نرخ ارز، عدم بازاریابی و پیش‌بینی مناسب روند بازار، موجودی مواد اولیه و موجودی ملزومات را به عنوان مهمترین ریسک‌های تولید دارو شناسایی کردند (۷).

همتی و باهو در سال ۱۳۹۶ در مقاله‌ای مدلی تلفیقی از روش دیمتل فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی را برای شناسایی، رتبه‌بندی و ارزیابی عوامل ریسک‌ها در پروژه‌های نیروگاهی ارائه کرده‌اند. از نتایج مهم به دست آمده توسط همتی و باهو شناسایی عوامل علی و تعیین عوامل اصلی ریسک در پروژه‌های نیروگاهی است که عبارتند از ریسک سیاسی، ریسک اقتصادی، ریسک قوانین، ریسک آماده‌سازی، ریسک تأمین مالی، ریسک اجرا و ساخت و ریسک بهره‌برداری. رتبه‌بندی این عوامل نشان می‌دهد که در میان معیارهای اصلی این تحقیق، عوامل اجرا و ساخت بالاترین رتبه را کسب کرده‌اند. ریسک اجرا و ساخت در وزن دیمتل هم بیشترین وزن را در مقایسه با سایر معیارها دارد (۸). بیگلری و محمدی‌زاده در سال ۲۰۱۸ به ارزیابی مدیریت ریسک پروژه‌های ساخت در مجتمع معدنی و صنعتی گل گهر سیرجان پرداختند. آن‌ها به طور موردی به شناسایی ریسک‌های بحرانی و اثرات آن‌ها بر یکدیگر برای پروژه‌های ساخت در مجتمع صنعتی گل گهر سیرجان پرداختند و برای تحلیل از روش شاخص اهمیت نسبی آسیب‌ها بر فاکتورهای هزینه، زمان، کیفیت و همچنین از روش مقایسات زوجی و دیمتل برای میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری ریسک‌ها از همدیگر و تعیین ریسک‌های قابل مدیریت و غیرقابل مدیریت استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ریسک «تورم و تغییرات ناگهانی در قیمت واحد مصالح و تغییرات نرخ ارز» تأثیرپذیرترین عامل در بین ریسک‌های شناسایی شده است که غیرقابل مدیریت است. همچنین ریسک‌هایی مانند ضعف مدیریت منابع انسانی، منابع مالی و تجهیزات و عدم کنترل

هزینه اثرگذارترین عوامل در بین ریسک‌های شناسایی شده هستند که تحت مدیریت هستند (۹).

وی و همکاران در سال ۲۰۱۳ از تکنیک دیمتل برای تحلیل ریسک‌های موجود در مهندسی ساخت تونل ولونگ چین استفاده کردند. آن‌ها ضریب کلی عوامل متفاوت ریسک را به وسیله ماتریس کلی نفوذ محاسبه کردند؛ سپس شبکه علت و معلولی این عوامل را مشخص و عوامل کلیدی ریسک که در مهندسی ساخت تونل مؤثر بودند را به دست آوردند. نتایج به دست آمده از روش ایشان بر پروژه ساخت تونل نشان می‌دهد که استفاده از روش دیمتل به جهت تعیین روابط علت و معلولی میان عوامل ریسک و مشخص کردن عوامل کلیدی مؤثر ریسک برای تحلیل ریسک از کارایی لازم برخوردار است (۱۰). رودریگز و همکاران در سال ۲۰۱۶ با ترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم استنتاج فازی روش تازه‌ای ارائه کردند. آن‌ها برای پیاده‌سازی این روش یک سلسله‌مراتب ریسک ایجاد کردند و با ارائه یک مثال عددی واقعی از ۳ طرح فناوری نشان دادند که کاربرد روش جدید برای طبقه‌بندی عوامل ریسک بسیار مناسب است و اهمیت عوامل ریسک را نشان می‌دهد (۱۱). شیخ ابومسعودی و بهوندی در سال ۲۰۱۹ به شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های ناشی از پروژه‌های حفاری نفت و گاز پرداخته‌اند. آن‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ریسک‌های ناشی از حفاری نفت و گاز را در منطقه گچساران مطالعه و برای این منظور از روش ANP فازی استفاده کرده‌اند. ژانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۹ در مقاله به شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه‌های خصوصی و دولتی شهر اسپونگ با استفاده از روش دیمتل فازی پرداخته‌اند. آن‌ها فهرستی از ریسک‌های احتمالی پروژه‌ها را با استفاده از ادبیات موضوع، برگزاری طوفان مغزی و مصاحبه با خبرگان تهیه کردند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که سیستم نظارت ناکافی، مداخله دولت، قانون و مقررات نابالغ، قطعه‌قطعه شدن پروژه و مرز نامشخص پروژه از عوامل مهم ریسک هستند (۱۲). برقی و سیکاری در سال ۲۰۲۰ به ارزیابی ریسک‌های کمی و کیفی پروژه با استفاده از مدل ترکیبی توسعه داده شده تحت شرایط عدم قطعیت پرداختند. آن‌ها داده‌های خود را با جمع‌آوری اطلاعات از ۱۵ نفر از کارکنان باتجربه انجام دادند. نتایج تحلیل عاملی تأییدکننده نشان داد که کلیه ریسک‌ها توسط اعضای نمونه تحقیق تأیید شده است. سپس ریسک‌های شناسایی شده با استفاده از فنون فازی DEMATEL و ANP فازی طبقه‌بندی و رتبه‌بندی شدند. نتایج نهایی مطالعه نشان داد که تحریم‌های سیاسی و اقتصادی بالاترین وزن و متعاقب آن جذب سرمایه‌گذاران خارجی و نبود زیرساخت‌های منطقه‌ای داشته است (۱۳).

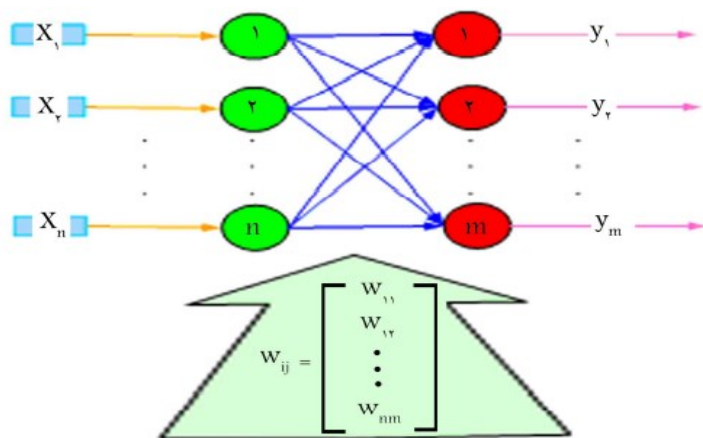
تحقیقات پیشین به اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه عمرانی پرداخته و تغییر روش اولویت‌بندی ریسک‌ها مورد را مطالعه کرده است. در این پژوهش تنوع و تعداد ریسک‌های مورد بررسی افزایش یافته و بررسی ابعاد مختلف ریسک و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس اولویت و درجه اهمیت در ساخت واحدهای صنعتی استان سیستان و بلوچستان رویکرد تازه‌ای است که روش شناسایی

و ارزیابی شبکه عصبی همراه با روش ترکیبی دیمتل و تحلیل شبکه‌ای نتایج دقیق‌تری از شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌ها به مدیران ارائه می‌کند و با استفاده از آن ریسک‌های موجود را کاهش و به کیفیت و بهره‌وری در ساخت یک واحد صنعتی کمک شایانی کرد.

۳- روش تحقیق

شبکه‌های عصبی سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی نوین برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش و در انتها اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده هستند. ایده اصلی این‌گونه شبکه‌ها تا حدودی الهام گرفته از شیوه کارکرد سیستم عصبی زیستی برای پردازش داده‌ها و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش قرار دارد. عنصر کلیدی این ایده ایجاد ساختارهایی جدید برای سامانه پردازش اطلاعات است. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده به هم پیوسته با نام نورون تشکیل شده که برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می‌کنند. در این شبکه‌ها اگر سلولی آسیب ببیند، بقیه سلول‌ها می‌توانند نبود آن را جبران کرده و هم در بازسازی آن سهیم باشند. این شبکه‌ها همچنین قادر به یادگیری هستند؛ مثلاً با اعمال سوزش به سلول‌های عصبی لامسه سلول‌ها یاد می‌گیرند که به طرف جسم داغ نروند و با این الگوریتم سیستم می‌آموزد که خطای خود را اصلاح کند. یادگیری در این سیستم‌ها به صورت تطبیقی صورت می‌گیرد؛ یعنی با استفاده از مثال‌ها وزن سیناپس‌ها به گونه‌ای تغییر می‌کند که در صورت دادن ورودی‌های جدید سیستم پاسخ درستی تولید کند (۱۵).

در این تحقیق به منظور شناسایی ریسک‌های موجود و تهیه پرسش‌نامه از پیمایش میدانی (مصاحبه)، کتابخانه‌ای و روش دلفی استفاده شده است. انتخاب حلقه صاحب‌نظران بخش بسیار مهمی از روش دلفی است. آگاهی این گروه از موضوع مورد نظر تضمین خوبی برای کیفیت بالای نتایج دلفی است؛ بنابراین حلقه اعضای دلفی در این پژوهش بر اساس آگاهی و تسلط بر موضوع تحقیق انتخاب شده‌اند که شامل متخصصان حوزه کاری و اساتید دانشگاه سیستان و بلوچستان است. مراحل انجام پس از اطلاع‌رسانی در زمینه موضوع پروژه در مرحله اول مصاحبه کلی صورت گرفت. بعد ریسک‌های موجود در پروژه احداث واحد صنعتی در استان سیستان و بلوچستان مورد بررسی و اعلام نظر قرار گرفته و ریسک‌های شناسایی شده به وسیله متخصصان حوزه کاری و اساتید دانشگاه سیستان و بلوچستان در ابتدا جمع‌آوری شده و در مجموع ابتدا ۴۰ ریسک در حوزه‌های مختلف (منابع انسانی، ریسک آسیب و زیان، ریسک تجهیزات منابع و مصالح، ریسک‌های سیاست و دولت، ریسک برنامه‌ریزی و زمان‌بندی، ریسک منابع مالی و ریسک تجربه و مطالعات پیشین) شناسایی شد. سپس یافته‌ها با متخصصان حوزه کاری و اساتید دانشگاه سیستان و بلوچستان در میان گذاشته شده و نظرات آنان در طی ۳ مرحله (به منظور پالایش و یکسان‌سازی ریسک‌های مشابه)



شکل ۱. مدل ساختاری کوهون دوی بعدی

احتمال یک تابع چگالی احتمالی ثابت P را تشکیل می‌دهند؛ یعنی بردارهای w_i باید طوری خود را تغییر دهند که برای هر بردار ورودی X با تابع چگالی احتمال P را داشته باشیم (رابطه ۲):

$$p(\underline{X}) = \frac{1}{m} \quad (2)$$

که در آن $\underline{X}$ ، به w_i به ازای $i=1, 2, \dots, m$ وزن نزدیک‌ترین است. ایده گفته شده برای توابع چگالی احتمال یکنواخت به طور مطلوب کار می‌کرد؛ تا اینکه در سال ۸۷ دسینو تغییری در قانون کوهون ایجاد کرد که مشکل مزبور را حل کرد. ما هنوز به واسطه نقش مهم کوهون در این زمینه قانون را قانون کوهون می‌گویند. یک لایه کوهون آرایه‌ای از نورون‌ها به صورت یک بعدی، دوی بعدی یا بیشتر است که نمونه‌ای از آن در شکل ۱ مشاهده می‌شود در فاز یادگیری هر یک از واحدها فاصله بردار ورودی X تا وزن‌های خود را به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌کنند.

$$li = d(X, w_i) \quad (3)$$

که در آن d تابع سنجش فاصله است و می‌توان هر یک از توابع مرسوم برای سنجش فاصله را مانند فاصله کمان کروی (رابطه ۴) یا فاصله اقلیدسی $D(u, v) = |u - v|$ استفاده کرد.

$$D(u, v) = 1 - \cos \theta \quad (4)$$

که در آن زاویه‌ی بین u و v است. واحدها با این محاسبه می‌خواهند بدانند که نزدیک‌ترین بردار به وزن x را دارند که این همان بخش رقابتی در این گونه از شبکه‌هاست. واحدی که نزدیک‌ترین وزن به بردار ورودی را دارد، برنده این مرحله از رقابت خواهد بود که برای آن Z_i مرتبط برابر ۱ قرار داده می‌شود و سایر Z_i ها برابر صفر خواهند بود. آنگاه قانون کوهون که به صورت رابطه ۵ است، برای به‌روزرسانی وزن‌ها استفاده می‌شود.

$$w_i^{new} = w_i^{old} + \alpha(X - w_i^{old})z_i, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (5)$$

همچنین قانون کوهون معادل رابطه ۶ است.

$$w_i^{new} = \begin{cases} (1-\alpha)w_i^{old} + \alpha x & \text{for winter} \\ w_i^{old} & \text{other Uniles} \end{cases} \quad (6)$$

جویا شدیم. در این بین ۳ مرحله پالایش و هماهنگ سازی صورت گرفته؛ به صورتی که از ۴۰ ریسک شناسایی شده در ابتدا در طی این ۳ مرحله ۲۱ ریسک انتخاب می‌شوند؛ به گونه‌ای که در مرحله اول به ۳۵ ریسک کاهش داشته؛ در مرحله دوم به ۲۶ ریسک و در انتها ۲۱ ریسک در حوزه‌های معرفی شده انتخاب و بر اساس روش تجزیه و تحلیل پرسش نامه طراحی و در اختیار متخصصان مطلع و اساتید دانشگاه قرار گرفته است.

۳-۱- معرفی شبکه عصبی خودسازمانده

در شبکه خودسازمانده از روش یادگیری رقابتی برای آموزش استفاده می‌شود که عملکرد آن‌ها از لایه خاکستری مغز الهام گرفته شده است. سلول‌ها در یک بُعد، ۲ بُعد یا بیشتر قرار می‌گیرند و در یک فرآیند یادگیری رقابتی نسبت به الگوهای ورودی منظم می‌شوند. محل سلول‌های تنظیم شده در شبکه به گونه‌ای نظم می‌یابد که برای ویژگی‌های ورودی دستگاه مختصات معنی‌داری روی شبکه ایجاد شود. از این رو نقشه خودسازمانده یک نقشه توپوگرافی از الگوهای ورودی را تشکیل می‌دهد که در آن محل قرار گرفتن سلول‌ها، متناظر با ویژگی‌های ذاتی الگوهای ورودی است. یادگیری رقابتی که در این قبیل شبکه‌ها استفاده می‌شود، بدین صورت است که در هر قدم یادگیری سلول‌ها برای فعال شدن با یکدیگر به رقابت می‌پردازند. در پایان هم یک مرحله رقابت فقط سلولی برنده می‌شود که وزن‌های آن نسبت به وزن‌های سایر واحدها به شکل متفاوتی تغییر داده می‌شود که این نوع را یادگیری بی نظارت می‌نامند (۱۵).

۳-۲- شبکه کوهون

کوهون یکی از مهمترین شبکه‌های خودسازمانده است. ریشه قانون یادگیری کوهون به سال‌های ۱۹۶۲ و قبل از آن و به مباحث خوشه‌بندی بی نظارت برمی‌گردد. در دهه ۷۰ مالزبرگ قانونی را معرفی کرد؛ مبتنی بر این ایده که مجموع وزن‌های مربوط به ورودی‌های در واحدهای مختلف که از یک خروجی آمده‌اند، باید ثابت باشند. مبنای ایده گفته شده بر اساس محدود بودن ماده شیمیایی موجود در خروجی مورد بحث و تقسیم شدن آن بین ورودی‌های مختلف متصل به خروجی گفته شده بود (۱۶). در اواخر دهه ۷۰ کوهون به این نتیجه مهم رسید که هدف قانون یادگیری باید ساختن مجموعه بردار w_i باشد که ارائه‌ها هم

۳-۳- الگوریتم کار شبکه کوهونن

۱. مقادیر اولیه w_i^0 اختیار شوند، پارامترهای همسایگی واحد برنده و نرخ یادگیری تعیین شود. تا زمانی که شرط خاتمه غلط است، گام‌های ۲ تا ۸ تکرار شود
۲. برای هر بردار X قدم‌های ۳ تا ۵ اجرا شود.
۳. برای هر j فاصله D از رابطه ۷ محاسبه شود
۴. اندیس J برای آن $(D(J))$ به میزان کمینه است، تعیین شود.
۵. برای کلیه واحدهای J در همسایگی J و برای کلیه w_i جدید از رابطه ۸ به دست آید.
۶. نرخ یادگیری به هنگام درآید.
۷. شعاع همسایگی در زمان‌های مشخص کاهش داده شود.
۸. شرط خاتمه α آزمایش شود.

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

برای اعتبار سنجی مدل تصمیم‌گیری ارائه شده پروژه احداث کارخانه تراورس واقع در سیستان و بلوچستان شهرک صنعتی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و علاوه بر آن برای اعتبار سنجی شبکه

عصبی تعدادی از راه‌هایی که در آن عملکرد یک شبکه آموزش داده شده می‌تواند ارزیابی شوند، وجود دارند. ساده‌ترین آن‌ها ارزیابی عملکرد شبکه در بازتولید داده‌های آموزشی است. یک رویکرد بهتر تقسیم داده‌های در دسترس به یک مجموعه آموزشی و مجموعه‌ای آزمایشی و استفاده از داده‌های آزمایشی به منظور ارزیابی مدل نهایی است. به عبارت دیگر، هر مجموعه‌ای از داده‌های ارائه شده به یک الگوریتم یادگیری باید به ۲ بخش تقسیم شود که یکی برای آموزش شبکه استفاده می‌شود و دیگری برای برآورد عملکرد شبکه توسط آزمون و درستی قابلیت تعمیم استفاده می‌شود. با این حال، اگر فقدان داده‌های در دسترس وجود داشته باشد و تعیین اینکه چه مقدار باید برای آموزش و چه میزان باید برای آزمون استفاده شود، معمولاً دشوار است. ابتکاری که در عمل به خوبی کار می‌کند، استفاده از دوسوم برای آموزش و یک‌سوم برای آزمایش است. این رویکرد منطقی است که الگوریتم یادگیری اگر داده‌ها آموزش کافی وجود نداشته باشد، نمی‌تواند خوب عمل کند و نتایج خروجی نمی‌تواند با دقت ارزیابی شود؛ اگر مجموعه آزمون بیش از حد کوچک باشد.

در این تحقیق برای جمع‌آوری نظر خبرگان از پرسش‌نامه‌های مشتمل بر ۲۱ ریسک در مورد احتمال وقوع و شدت وقوع استفاده شده است.

جدول ۱- عوامل ریسک پروژه احداث واحد صنعتی

ردیف	ریسک	علامت اختصاری
۱	ریسک نامناسب بودن مهارت کارکنان فنی پروژه	A1
۲	ریسک نامناسب بودن عملکرد مدیریت پروژه	A2
۳	ریسک کم بودن تعداد کارکنان فعال در پروژه	A3
۴	ریسک نامناسب بودن مهارت مهندسان پروژه	A4
۵	ریسک سقوط اشیا و مصالح	A5
۶	ریسک امنیت جانی کارکنان (آسیب و جراحت کارکنان)	A6
۷	ریسک خرابی تجهیزات و ابزار پروژه	A7
۸	کیفیت پایین مصالح	A8
۹	ریسک بالا رفتن، نوسان زیاد قیمت مصالح و ابزار	A9
۱۰	ریسک تورم و نوسان نرخ ارز	A10
۱۱	ریسک تحریم سیاسی (تأثیر تحریم بر پروژه)	A11
۱۲	ریسک رعایت نکردن زمان بندی توسط پیمانکاران	A12
۱۳	ریسک بلایای طبیعی (سبل، زلزله، طوفان و ...)	A13
۱۴	ریسک کمبود یا محدودیت مالی در پروژه	A14
۱۵	ریسک کاهش زمان اجرای فعالیت‌ها در حین اجرا	A15
۱۶	ریسک عدم دسترسی به تجهیزات و تکنولوژی در پروژه	A16
۱۷	ریسک قراردادی و حقوقی (ضعف در موارد قراردادی)	A17
۱۸	ریسک مطالعات ناکافی قبل از انجام پروژه	A18
۱۹	ریسک تأخیر در تأمین مصالح پروژه	A19
۲۰	ریسک پایین بودن عملکرد کارکنان ناشی از درآمد کم و ...	A20
۲۱	نبود تجربه مشابه (پروژه مشابهی تاکنون انجام نشده است.)	A21

۴-۱- گروه‌بندی ریسک‌ها با شبکه عصبی کوهونن

دلایل استفاده از شبکه عصبی خودسازمانده در این پژوهش این است که اولاً تعریف نمونه‌های آموزش به شبکه نیاز به اطلاعات قبلی از مسئله ندارد. ثانیاً شبکه رقابتی کوهونن در حقیقت رقابت بین گزینه‌ها برای انتخاب شدن را مدل‌سازی می‌کند. هنگام ورود اطلاعات پرسش‌نامه در شبکه عصبی ابتدا خبرگان براساس سابقه کارشان در پروژه حاضر و پروژه‌های مشابه وزن دهی شده‌اند.

جدول ۲- وزن محاسبه‌شده بر اساس سابقه کاری نخبگان

وزن	سابقه متخصص بر حسب
۰.۱۶۳۹۳۴۴	۲۰
۰.۱۲۲۹۵۰۸	۱۵
۰.۰۸۱۹۶۷۲	۱۰
۰.۰۶۵۵۷۳۸	۸
۰.۰۴۹۱۸۰۳	۶
۰.۰۴۰۹۸۳۶	۵
۰.۰۳۲۷۸۶۹	۴
۰.۰۲۴۵۹۰۲	۳
۰.۰۱۶۳۹۳۴	۲
۰.۰۰۸۱۹۶۷	۱

در ادامه وزن‌های به‌دست‌آمده را به ترتیب در ستون‌های مربوط به هر ریسک ضرب می‌کنیم و نتایج در هر ستون را با یکدیگر جمع می‌کنیم تا به عددی واحد برای هر ریسک در معیارهای شدت وقوع و احتمال وقوع برسیم. نتایج نرمال‌شده در جدول ۳ پس از ضرب اوزان مشخص شده است.

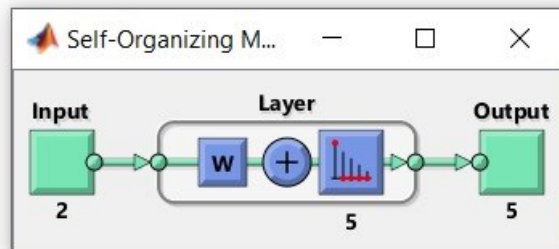
پس از آموزش شبکه عصبی کوهونن به شکل ۲ حاصل می‌شود که دارای ۲ ورودی ۵ لایه است.

درواقع شبکه حاضر دارای ۵ نورون است که در فاز آموزش شبکه هر نورون یک عضو گرفته است که درواقع ریسک‌هایی که دارای ۸۰ درصد اهمیت بالاتری نسبت به مابقی ریسک‌ها هستند، در نورون ۵ قرار خواهند گرفت و ریسک‌هایی که دارای حداقل ۶۰ درصد اهمیت نسبت به مابقی ریسک‌ها هستند، در نورون ۴ در شکل زیر مشخص می‌کند که در هر نورون چه تعداد از ریسک‌ها قرار گرفته‌اند....

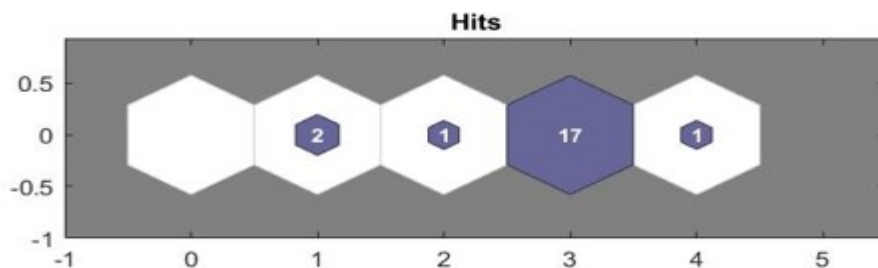
همان‌طور که نتایج خروجی شبکه نشان می‌دهد مهمترین ریسک که به‌عنوان خروجی پیروز شبکه در نظر گرفته شده، ریسک نبود تجربه مشابه پیمانکار است. همچنین ۱۷ ریسک در نورون ۴ قرار گرفته‌اند که از درجه اهمیت یکسانی برخوردار هستند که شامل نامناسب بودن مهارت کارکنان فنی پروژه، نامناسب بودن عملکرد مدیریت پروژه، کمبود تعداد کارکنان فعال در پروژه، نامناسب بودن مهارت مهندسان پروژه، ریسک سقوط اشیا و مصالح، ریسک امنیت جانی کارکنان، ریسک خرابی تجهیزات و ابزار پروژه، کیفیت

جدول ۳- نتایج نرمال‌شده اوزان ریسک‌ها

Row	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇	A ₁₈	A ₁₉	A ₂₀	A ₂₁
احتمال وقوع	۰.۶۱	۰.۵۷	۰.۸۴	۰.۶۵	۰.۸۰	۰.۸۴	۰.۸۷	۰.۸۴	۰.۸۴	۰.۸۳	۰.۸۴	۰.۶۳	۰.۴۶	۰.۷۹	۰.۸۱	۰.۷۲	۰.۴۷	۰.۸۵	۰.۸۳	۰.۸۵	۱
شدت	۰.۸۰	۰.۹۲	۰.۸۴	۰.۸۳	۰.۸۷	۰.۸۵	۰.۸۲	۰.۸۵	۰.۸۳	۰.۷۴	۰.۸۵	۰.۶۶	۰.۴۳	۰.۷۱	۰.۸۵	۰.۶۸	۰.۴۵	۰.۸۹	۰.۸۰	۰.۷۸	۱



شکل ۲- نحوه عملکرد نرم‌افزاری شبکه عصبی کوهونن



شکل ۳- نورون‌های تشکیل‌دهنده شبکه عصبی کوهونن

پایین مصالح، بالا رفتن و نوسان زیاد قیمت مصالح و ابزار، ریسک تورم و نوسان نرخ ارز، ریسک تحریم سیاسی، ریسک کمبود یا محدودیت مالی در پروژه، ریسک کمبود زمان در پروژه، ریسک عدم دسترسی تجهیزات و تکنولوژی پروژه، مطالعات ناکافی قبل از انجام پروژه، تأخیر در تأمین مصالح پروژه، پایین بودن عملکرد کارکنان و همچنین ۳ ریسک رعایت نکردن زمان بندی توسط پیمانکاران، ریسک بلایای طبیعی، ریسک قراردادی و حقوقی در نورو ۳ و ۲ قرار گرفته اند که بر طبق نظر خبرگان از اهمیت پایینی برخوردارند.

۵- نتیجه گیری

مسیر رشد اقتصادی در هر جامعه ای نیازمند احداث واحدهای صنعتی و توسعه این گونه واحدها است؛ اما یکی از مهمترین اقداماتی که قبل از شروع هر پروژه باید انجام شود، گروه بندی و ارزش گذاری ریسک های پروژه است تا با کمترین ریسک پروژه به اتمام برسد. شبکه عصبی کوهون مدلی برای گروه بندی و ارزش گذاری مهمترین ریسک های احداث یک واحد ارائه شده است. مطالعات صورت گرفته در زمینه ساخت کارخانه تراورس آن به علت احداث آن کریدور شرقی کشور (راه آهن شرقی ایران) است و با تکمیل این کارخانه مشکل ساخت تراورس های بتنی خط راه آهن کریدور شرقی ایران برطرف می شود. در این پژوهش ریسک های ساخت واحد صنعتی ساخت تراورس های بتنی با به کارگیری نظر خبرگان با استفاده از مطالعات کتابخانه ای و روش دلفی در ۳ سطح از ۴۰ ریسک مورد بررسی ۲۱ ریسک شناسایی شدند. سپس با توجه به نظر خبرگان، اساتید و مصاحبه هایی که با مدیران کارخانه تراورس انجام گرفته، تمامی عوامل ریسک مورد نظر نامبردگان در مورد احتمال وقوع و شدت تأثیر ریسک از صفر تا ۱۰ امتیازدهی شد. در ادامه به منظور افزایش تأثیرگذاری تجربه کاری در فعالیت های عمرانی در پرسش نامه های تهیه شده تجربه کاری خبرگان و کارکنانی که پرسش نامه های تهیه شده به صورت جداگانه جمع آوری شد و طبق جدول ۲ نرمال سازی صورت گرفت و فهرست شد. در جدول ۳ تجمیع پرسش نامه های تکمیل شده توسط خبرگان جمع آوری شده است. جهت رسیدن به عددی واحد در آیت های احتمال وقوع و شدت تأثیر با در نظر گرفتن سابقه کار در فعالیت های عمرانی، نرمال سازی آن ها در ۲ آیت گفته شده برای استفاده در شبکه عصبی صورت گرفته است. در نهایت با استفاده از شبکه عصبی کوهون عوامل ریسک در ۵ گروه (نورون) در شکل ۳ به نمایش درآمده است که بر اساس نتایج به دست آمده آن ریسک هایی که بیشتر از ۸۰ درصد اهمیت نسبت به سایر ریسک ها داشته باشند، در گروه ۵ قرار می گیرد و ریسک هایی که بین ۶۰ تا ۸۰ درصد اهمیت باشند، در گروه (نورون) ۴ قرار می گیرند و مابقی گروه ها هم به همین ترتیب هستند. با مشاهده نتایج به دست آمده، ریسک نبود تجربه مشابه پیمانکار در گروه (نورون) قرار گرفته که بیشتر از ۸۰ درصد اهمیت را داراست. نتایج به دست آمده برای سایر ریسک ها موجود در این پژوهش نشان می دهد که بیش از ۸۰ درصد از ریسک ها (۱۷ ریسک)

در گروه ۴ با میزان اهمیت بین ۶۰ تا ۸۰ درصد قرار گرفته اند که می توان با توجه به اینکه این کارخانه با فناوری کاملاً بومی سازی شده، در ایران برای اولین بار به مرحله تولید می رسد. طرح و بررسی نتایج به دست آمده در این پژوهش نقش تعیین کننده ای در ساخت واحدهای صنعتی نو در کشور داشت و میزان ریسک احداث این گونه واحدهای صنعتی را در کشور به میزان زیادی کاهش داد.

پی نوشت

1. Project Management Body of Knowledge

منابع:

1. Hillson, D. (2017). Managing risk in projects: Routledge.
2. ARISH, A. AKBARPOUR SHIRAZI, M. & SEYED ESFAHANI, M. M. (2009). Case-Based Decision Support Model for Risk Responses Planning. INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND PRODUCTION MANAGEMENT (IJIE) (INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE) (PERSIAN), 20(3), -. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=175422>
3. Francom, T., El Asmar, M., & Ariaratnam, S. (2016). Performance Analysis of Construction Manager at Risk on Pipeline Engineering and Construction Projects. Journal of Management in Engineering, 32, 04016016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000456](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000456) PMI, A Guide to the project management body of knowledge, fourth edition, Pennsylvania, Project Management Institute, 2008.
4. Zayed, T., Amer, M., & Pan, J. (2008). Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP. International Journal of Project Management, 26(4), 408-419.
5. Husin, S., Fachrurrazi, F., Rizalihadi, M., & Mubarak, M. (2019). Implementing Fuzzy TOPSIS on Project Risk Variable Ranking. Advances in Civil Engineering, 2019, 9283409. <https://doi.org/10.1155/2019/9283409>
۶. مرادی، م.، میرزازاده، م.ع. (۱۳۹۸). شناسایی، ارزیابی و رتبه بندی ریسک های تولید در صنعت دارو با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست (مطالعه موردی: شرکت سبحان دارو). مدیریت بهداشت و درمان، ۱۰ (شماره ۱)، ۴۳-۵۱.
۷. همتی، م.، باهو، ع.، ارائه مدل ترکیبی از روش دیمتل و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی به منظور رتبه بندی عوامل مؤثر بر ریسک پروژه های نیروگاهی، مهندسی صنایع و مدیریت شریف، دوره ۱-۳۳، شماره ۲/۲، ص ۶۳-۷۴، ۱۳۹۶.
۸. نژاد بیگلری، ع.، محمدی زاده، م.، ارزیابی مدیریت ریسک پروژه های ساخت با در نظرگیری اثرات ریسک ها بر روی هم (مطالعه موردی: مجتمع معدنی و صنعتی گل گهر سیرجان)، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، ایران- تبریز، ۲۰۱۸.
9. Guo, W., Deng, Q., & Pan, X. D. (2013). Risk evaluation of highway tunnel construction based on DE-

MATEL method. *Applied Mechanics and Materials*, 368, 1472-1476

10. Rodríguez, A., Ortega, F., & Concepción, R. (2016). A method for the evaluation of risk in IT projects. *Expert Systems with Applications*, 45, 273-285.
11. Aboumasoudi, A. S., & Behvandi, O. (2019). Identification and ranking risks of horizontal directional drilling for oil & gas wells by using fuzzy analytic network process: A case study for Gachsaran oil field wells. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 12(2), 46-60
12. Sheng, M. L. (2019). Foreign tacit knowledge and a capabilities perspective on MNEs' product innovativeness: Examining source-recipient knowledge absorption platforms. *International Journal of Information Management*, 44, 154-163.
13. Barghi, Behrad, and Shahram Shadrokh sikari. "Qualitative and Quantitative Project Risk Assessment Using a Hybrid Pmbok Model Developed under Uncertainty Conditions." *Heliyon* 6, no. 1 (2020/01/01/ 2020): e03097. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03097>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019367568>..
15. Darzagani, N. "The segmentation of consumers in the electronics market", 3rd International Conference on Research in Science and Technology, Berlin, Germany (2016)

۱۴. راعی، دکتر رضا، and کاظم چاوشی. «پیش بینی بازده سهام در بورس اوراق بهادار تهران: مدل شبکه های عصبی مصنوعی و مدل چندعاملی». تحقیقات مالی، ۵، no. ۱۵ (۲۰۰۳): -. <https://jfr.ut.ac.ir/article.pdf.ef7d129d3b-d5-ceedb39f2d10>.

۱۶. اشتهاوردیان، ا.ا.، شاهسون، پ.، & معززی فرهادی، فر. م. (۲۰۱۸). ارائه مدل شبکه عصبی کوهونن جهت مشخص کردن سهم هر یک از عوامل درگیر در تأخیرات (مطالعه موردی: آزاد راه تهران - شمال). مهندسی عمران، ۳۴، ۲ (۳، ۲)، ۱۰۵-۱۱۶. <https://doi.org.10.24200/1423/10.24200>.

۱۴۸

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



شناسایی و گروه بندی ریسک های احداث واحدهای صنعتی بد وسیله روش دلفی و شبکه عصبی مصنوعی خود سازمانده / محمد رضا شهرکی

بررسی نقش ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌های آموزشی در مدت زمان تخلیه اضطراری هنگام حوادث

علی خاکی: استادیار، گروه معماری، دانشگاه فنی و حرفه‌ای تهران، ایران، Email: Dr.alikhaki@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

جمعیت و تراکم زیاد انسانی در ساختمان مدارس سبب شده که اهمیت بررسی این فضاها از نظر تخلیه ایمن و فوری دانش‌آموزان در هنگام حادثه ضروری به نظر رسد. از این رو برای کاهش مدت زمان تخلیه در این گونه فضاها به شبیه‌سازی تخلیه اضطراری نیاز است. بدین منظور، در این مقاله و چارچوب ارائه شده در آن به شبیه‌سازی تخلیه انسانی در یک مدرسه (از نقشه‌های تیپ سازمان نوسازی مدارس؛ با ۲ طبقه و با شبیه‌سازی ۳۴۵ نفر کاربر) به هنگام حادثه اقدام شد و بدین منظور از نرم‌افزار پس‌فایندر^۱ استفاده شد. مدت زمان تخلیه برای مدرسه یادشده ۱۳۱ ثانیه حاصل شد. با توجه به آنکه ویژگی‌های کالبدی به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر مدت زمان تخلیه مطرح است، از این رو در این پژوهش ۲ عامل مهم کالبدی شامل ارتفاع و طول ساختمان ارزیابی شد. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع ساختمان (۳ طبقه کردن و رسیدن به ۵۱۶ نفر کاربر) مدت زمان با افزایش ۶۶ درصدی به ۲۱۷ ثانیه رسیده که ناایمن است و با افزایش ارتفاع به ۴ طبقه (۶۸۷ نفر کاربر) این مقدار با افزایش ۱۳۵ درصدی به ۳۰۷٫۸ ثانیه می‌رسد که وضعیت خطرناکی را رقم می‌زند. نصب دستگاه پله فرار جداگانه هم این مدت زمان را تنها تا ۲۴۹٫۵ ثانیه پایین آورده که این مقدار هم در حاشیه امن قرار ندارد؛ اما افزایش طول ساختمان (با ۵۱۵ نفر کاربر) با توجه به آنکه برخلاف افزایش ارتفاع ساختمان کمتر بر تراکم دانش‌آموزان به‌ویژه در راه‌پله اثر گذاشته، تأثیر به نسبت بیشتری (در مقایسه با گسترش عمودی ساختمان) در کاهش مدت زمان تخلیه اضطراری دارد (مدت زمان ۱۷۸ ثانیه جهت تخلیه کامل). از این رو پیشنهاد می‌شود برای ایجاد ساختمان‌های ایمن در برابر حادثه در صورت امکان گسترش ساختمان از طول و به شکل افقی باشد.

کلمات کلیدی: کالبد، فضاهای آموزشی، تخلیه ایمن

Investigating the Role of Physical Properties of Typical Educational Buildings on Emergency Evacuation During Accidents

Ali khaki

Abstract

The overcrowding in the school building make the importance of examining evacuation of students in the accident. To this end, this paper provide a simulation of human evacuation in a school sample (from school organization type maps, with 2 stories – and with 345) at the time of the accident. Pathfinder software was used for this purpose and the evacuation time for the above-mentioned school was 131 seconds. Since physical characteristics are considered as one of the most important factors affecting the duration of evacuation, therefore in this study two important physical factors including height and building length were evaluated.

The results showed that with increasing of height of the building (3 floors and 516 users) the time increased by 66% to 217 seconds, which is unsafe and by increasing the height to 4 floors (687 users) this would increase by 135% to 307.8 seconds, which would create a dangerous situation. Installation of a separate emergency stair also reduced this time to just 249.5 seconds, which is not on the safe time. But increasing the length of the building (with 515 users) given that, unlike the height of the building, it has less impact on the density of the students (especially on the staircase) and it has a greater effect on reducing the duration of emergency evacuation (Compared to vertical expansion of the building).

Therefore it is recommended that If possible extend the building from the (horizontal) length was considered.

Keywords: Physical, educational spaces, safe evacuation

assistant professor, Technical and vocational university, Tehran, Iran, email: Dr.alikhaki@yahoo.com

۱۴۹

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



بررسی نقش ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌های آموزشی در مدت زمان تخلیه اضطراری هنگام حوادث/علی خاکی

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر بسیاری از روش‌های تخلیه مانند مدل‌سازی شبکه [۱]، مدل‌سازی حالت محدود مبتنی بر هزینه [۲]، مدل‌های خودکار سلولی [۳، ۴]، مدل‌های شبکه مشبک گاز [۵، ۶]، کف مدل‌های میدانی [۷، ۸] و مدل‌های گسسته ظرفیت [۹، ۱۰، ۱۱]، [۱۲] برای بررسی ویژگی‌های تخلیه ساکنان توسعه داده شده است. این مطالعات نقش مهمی در پیش‌بینی رفتار عابر پیاده در هنگام تخلیه و در طراحی امکانات تخلیه ایفا می‌کنند. به منظور مطالعه تخلیه اضطراری در هنگام حریق مؤسسه ملی استاندارد و فناوری^۳ شبیه‌سازی را به نام پس‌فایندر (به منظور شبیه‌سازی حرکت کارکنان) توسعه داد. نرم‌افزار پس‌فایندر یک شبیه‌ساز تخلیه است که برخلاف مدل‌های مبتنی بر جریان یا سلول مبتنی بر جریان از تکنیک‌های فناوری در صنایع بازی و گرافیک رایانه‌ای استفاده می‌کند. بسیاری از نتایج مهم در بسیاری از پژوهش‌ها با استفاده از شبیه‌سازی پس‌فایندر به دست آمده است. پس‌فایندر ابزارهای لازم جهت اتخاذ تصمیمات مطمئن درباره چیدمان ساختمان و طراحی سیستم حفاظت از آتش را فراهم می‌کند [۱۳، ۱۴]. بر اساس نرم‌افزار پس‌فایندر مسئله مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیند تخلیه ساکنان در ساختمان‌های عمومی [۱۵] مورد توجه قرار گرفته و نتایج نشان می‌دهد که زمان خروج نسبت به تعداد ساکنان هنگام تخلیه تقریباً با یک عملکرد خطی یکنواخت افزایش می‌یابد. باو فرآیند تخلیه یک سالن ضیافت بزرگ زیرزمینی را با استفاده از نرم‌افزار پس‌فایندر شبیه‌سازی کرده و طبق نتایج شبیه‌سازی توصیه‌های معقولی درباره ایمنی در برابر آتش در سالن ضیافت بزرگ ارائه کرد [۱۶]. فنگ^۴ و همکاران همچنین با استفاده از روش شبیه‌سازی نرم‌افزار پس‌فایندر اثرات طراحی پله‌ها بر تخلیه پلان معماری را ارائه دادند [۱۷]. با توجه به اهمیت مبحث تخلیه به‌ویژه

در بناهای عمومی مملو از جمعیت در این پژوهش به شبیه‌سازی رفتار تخلیه دانش‌آموزان در مدارس به‌عنوان یکی از مراکز شلوغ و حساس جمعیتی اقدام شد و هدف شناسایی مؤثرترین اصول کالبدی در کاهش زمان تخلیه دانش‌آموزان است. بدین منظور در مطالعه حاضر سؤال زیر مطرح شد: نقش توسعه عمودی و افقی مدارس در زمان تخلیه دانش‌آموزان چگونه بیان می‌شود و اصول طراحی مبتنی بر آن شامل چه مواردی است؟

۲- مدل شبیه‌سازی و توضیحات ساختمان

در این پژوهش مجموعه‌ای از سناریوهای تخلیه کامل ساختمان با استفاده از نرم‌افزار پس‌فایندر بر اساس شبیه‌سازی‌های ساختمان مدارس در شهر همدان تجزیه و تحلیل می‌شود (تصویر ۱). بدین منظور لازم است تا هم ساختمان و هم کاربران شبیه‌سازی شود که شرح این فرآیند در ادامه ارائه شده است:

۲-۱- شبیه‌سازی معماری ساختمان

مدل مورد استفاده در این مطالعه ساختمانی ۲ طبقه است که از سقف تا کف آن ۳۸۰ سانتی‌متر است و تمام طبقات دارای طراحی مشابه هستند. نقشه این ساختمان به‌عنوان طراحی پایه‌ای و به صورت تیپ در نقاط مختلفی از شهر همدان طراحی و اجرا شده است. در این مدرسه ۲ خروجی وجود دارد که عرض خروجی اصلی آن حدود ۴۰۰ سانتی‌متر در طبقه همکف است (تصویر ۲). تنها فضای دسترسی عمودی راه‌پله اصلی بوده که با یک پاگرد و به عرض ۲۸۰ سانتی‌متر ساخته شده است. هر بخش دستگاه پله در مجموع ۱۱ پله با پیشانی ۲۸ سانتی‌متری و ارتفاع ۱۷ سانتی‌متری است (تصویر ۲). تصویر ۲ پلان ساختمان و شبیه‌سازی آن را در نرم‌افزار نشان می‌دهد.

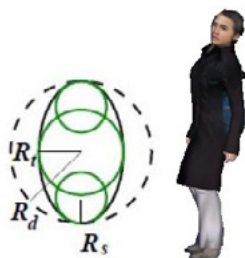


تصویر ۱. مدرسه مورد تحلیل



تصویر ۲. شبیه‌سازی مدرسه در نرم‌افزار پس‌فایندر

جدول ۱. ابعاد و استانداردهای بدن افراد جهت شبیه‌سازی تخلیه در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی تخلیه [۱۸] - سمت چپ: تصویر هندسی بدن انسان (شکل بدن انسان تقریباً ترکیبی از ۳ حلقه همپوشانی شده است) [۱۹].



نوع بدن کاربر	R_d (m)	R_s/R_d (-)	ds/R_d (-)	R_t/R_d (-)	سرعت (m/s)
کودکان	0.210 ± 0.015	0.3333	0.6667	0.5714	0.90 ± 0.30
بزرگسالان	0.255 ± 0.035	0.3725	0.6275	0.5882	1.25 ± 0.30
آقایان	0.270 ± 0.020	0.3704	0.6296	0.5926	1.35 ± 0.20
خانم‌ها	0.240 ± 0.020	0.3750	0.6250	0.5833	1.15 ± 0.20
سالخوردگان	0.250 ± 0.020	0.3600	0.6400	0.6000	0.80 ± 0.30

۳-۲-۱- مرحله هشدار و آگاه‌سازی (زمان تشخیص)

زمان تشخیص بازه زمانی از شروع شرایط اضطراری تا هنگامی است که ساکنان از آن آگاه شوند. این پیغام‌ها برای آگاهی مردم درباره شرایط اضطراری و سایر موارد مربوط به تخلیه داده می‌شود. بازخورد افراد نسبت به آژیر خطر هنگام بروز حادثه همگام با صدای آژیر عکس‌العمل‌های گوناگونی می‌تواند شکل گیرد. مطالعات گوناگونی روی بازخورد انسان آژیر خطر و حریق انجام و نشان داده که بیشتر افراد بیشتر بازخورد فوری نسبت به آژیر خطر نشان نمی‌دهند و به جای آن ممکن است برای کسب اطلاعات بیشتر از دیگران بپرسند و یا به دلیل دستپاچی ارزیابی غلطی از وضعیت کرده و یا حتی آژیر خطر را نادیده بگیرند که این موارد با برنامه‌ریزی و آموزش قابل رفع است. گنجاندن آژیر خطر و شبکه تشخیص حریق در سیستم ایمنی ساختمان به همراه آموزش کمک مهمی به عکس‌العمل سریع ساکنان بوده و آن‌ها را به واکنش جدی تشویق می‌کند [۲۴].

۳-۲-۲- مرحله جابه‌جایی و تخلیه (زمان واکنش و خروج)

مراحل جابه‌جایی و تخلیه (فرار) به ۴ مرحله مشخص تقسیم می‌شود:

الف) مرحله اول: فرار از اتاق یا محل شروع حریق؛

ب) مرحله دوم: فرار از طریق مسیر تردد تا رسیدن به در خروجی نهایی یا راه‌پله نجات و یا اتاقی مجاور به‌عنوان پناهگاه. مرحله دوم تخلیه می‌تواند فقط شامل تخلیه به منطقه‌ای امن (پناهگاه) در همان طبقه باشد؛ (به مرحله اول، دوم و مسیر حاصل از آن دسترس خروج گفته می‌شود).

ج) مرحله سوم: فرار از طبقه خود به طبقه همکف؛ (به این مرحله که راه‌پله و فضاهای دسترسی عمودی را شامل می‌شود، خروج نامیده می‌شود).

د) مرحله چهارم: فرار نهایی از طبقه همکف (به این مرحله و مسیر حاصل از آن تخلیه خروج گفته می‌شود).

زمان تخلیه باید از زمان لازم برای تخلیه بیشتر باشد^۸. اختلاف میان این ۲ زمان درجه ایمنی ساختمان را بالا می‌برد. زمان خروج^۹ از مجموع زمان‌های کشف آتش^{۱۰}، زمان هشدار^{۱۱}، زمان پیش از حرکت^{۱۲} و زمان حرکت^{۱۳} تشکیل می‌شود. زمان تخلیه^{۱۴} به مجموع زمان‌های پیش از حرکت و زمان حرکت اطلاق می‌شود. حاشیه ایمنی هم اختلاف زمان محاسبه‌شده مورد نیاز برای تخلیه و کل زمان موجود برای تخلیه است. (تصویر ۳) [۲۵، ۲۶].

۳-۲-۲- شبیه‌سازی ساکنان ساختمان

ساکنان به‌عنوان افراد غیرمرتبط الگوبرداری می‌شوند. بدین منظور می‌بایست جامعه آماری و استفاده‌کنندگان فضا به‌طور دقیق مشخص شده تا در نرم‌افزار شبیه‌سازی شود. جهت شبیه‌سازی کاربران از ویژگی‌های پیش‌فرض جمعیت در پس‌فایندر استفاده می‌شود و شامل افرادی با قابلیت‌های مختلف حرکتی است که نشان‌دهنده تنوع سنین، جنس‌ها و توانایی‌های مختلف است (جدول ۱). فرض بر این است که همه کاربران و استفاده‌کنندگان از فضا در هنگام حادثه و در ابتدای سناریوی شبیه‌سازی فوراً واکنش نشان می‌دهند. از این‌رو زمان پاسخ به‌عنوان یک پارامتر در تجزیه و تحلیل در نظر گرفته نمی‌شود.

مدرسسه مورد مطالعه دارای ۱۲ کلاس درس بوده که دانش‌آموزان پسر را در پایه‌های چهارم، پنجم و ششم (هر کدام ۳ کلاس درس) ابتدایی شامل می‌شود. به‌طور میانگین هر کلاس ۲۷ دانش‌آموز را پوشش داده که حدود ۳۳۲ نفر شده و ۱۳ نفر هم به‌عنوان کادر آموزشی (شامل معلمان، ناظم، معاون و مدیر مدرسه) در نظر گرفته شده است. از این‌رو افراد یادشده در نرم‌افزار به‌عنوان کاربر فضا شبیه‌سازی می‌شوند.

۳- مبانی نظری

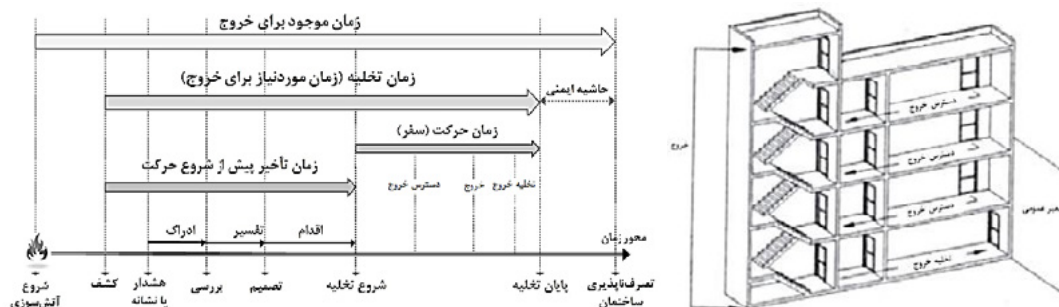
۳-۱- تخلیه اضطراری

حوادث طبیعی و غیرطبیعی در بسیاری از مواقع شرایطی را فراهم می‌آورد که اغلب تخلیه سریع یک منطقه را اجتناب‌ناپذیر می‌کند [۲۰]. تخلیه اضطراری حرکت فوری مردم از مکانی خطرناک به دلیل تهدید یا وقوع رویدادی فاجعه‌بار است [۲۱]. به عبارتی دیگر به حرکت شتابان و اضطراری افراد از محل‌های خطرناک که به‌علت تهدید و یا وقوع حادثه‌ای فاجعه‌آمیز مانند آتش‌سوزی، زلزله، بمباران و ... رخ داده، اطلاق می‌شود [۲۲]. در برنامه‌ریزی‌های مدیریت ایمنی در ساختمان بلندمرتبه راهبرد تخلیه یکی از راهکارهای تأمین ایمنی بوده که به ۳ مرحله زمان تشخیص^۵، زمان واکنش^۶ و زمان خروج^۷ تقسیم‌بندی می‌شود. زمان تخلیه هم به زمان کلی از شروع شرایط اضطراری تا انتقال تمامی ساکنان به مکان امن یا منطقه نجات گفته می‌شود [۲۳].

۳-۲- مراحل آگاه‌سازی و فرار در تخلیه اضطراری

شناخت مراحل فرار در مدل زمان‌سنجی تخلیه مفید واقع می‌شود که در ۲ مرحله و به شرح زیر است:

زمان موجود برای تخلیه > زمان خروج (زمان لازم برای تخلیه) = زمان کشف آتش + زمان هشدار + زمان تخلیه (زمان پیش از حرکت و زمان حرکت)



تصویر ۳. زمان لازم برای تخلیه [۲۶].

مسکونی و سایر ساختمان‌ها با تعداد بالای سکنه مانند مدارس، بیمارستان‌ها، هتل‌ها و خوابگاه‌ها بیشترین اهمیت دارد [۳۱]. در این بین آتش‌سوزی در مدارس کشور سالانه منجر به مرگ، آسیب جسمی، روانی و اجتماعی بسیاری از دانش‌آموزان می‌شود. در این حوادث تاکنون در کشور ۲۴ دانش‌آموز (۱۳ نفر دختر و ۱۱ نفر پسر) و یک معلم به علت آتش‌سوزی جان خود را از دست داده‌اند و علاوه بر این موارد بیش از ۶۰ دانش‌آموز دچار سوختگی شده و یک معلم دچار سوختگی شدید و ناتوانی شده است [۳۲]. بیشتر حوادث در مناطق روستایی رخ داده که متأسفانه حدود ۸۰ درصد مدارس حادثه‌دیده روستایی را مدارس ابتدایی تشکیل می‌دهد. بیشترین فراوانی حادثه هم مربوط به استان سیستان و بلوچستان با ۴۲٫۸ درصد است. بیشترین علل آتش‌سوزی هم استفاده از وسایل گرمایشی نفتی غیراستاندارد (۷۱٫۴ درصد) و فرسوده بودن سیستم برق عنوان شده است. نداشتن دانش مقابله با حادثه، نامناسب بودن شرایط فیزیکی ساختمان، نبود پیکربندی مناسب جهت تخلیه، سهل‌انگاری و بی‌احتیاطی هم از جمله عوامل مهم دیگر بوده که تلفات این گونه حوادث را بالا می‌برند. با توجه به اهمیت موضوع پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام شده است. از این رو تقوایی و خمسه لویی [۳۳] به بررسی مدیریت بحران و تخلیه اضطراری جمعیت در مدارس ناحیه ۲ آموزشی اصفهان پرداخته و نشان دادند که میزان تاب‌آوری مدارس ناحیه ۲ آموزشی اصفهان با توجه به شاخص‌های بنیادین پایین بوده و از طرفی میزان بهره‌مندی مدارس از شاخص‌های مدیریتی ضعیف است. این ضعف مدارس را در بحران‌های احتمالی به شدت آسیب‌پذیر و با در نظر گرفتن شاخص‌ها نامناسب، آسیب‌پذیر و بحرانی کرده است. شمسی و همکاران [۳۴] با روش تحلیل نرم‌افزاری به بررسی کارایی راه‌های خروج ساختمان در تخلیه اضطراری آتش در یکی از مدارس تهران پرداخته و نشان دادند که ارزیابی ویژگی‌های معماری مربوط به ابزارهای فرار ساختمان تنها به وسیله ضوابط و مقررات ملی کافی نیست. به همین جهت اقداماتی برای محدودسازی آثار ناگوار مخاطره‌های طبیعی یا غیرطبیعی و کاهش آسیب‌های ناشی از آن انجام می‌شود که به اقدامات سازه‌ای و غیره سازه‌ای تقسیم می‌شود [۳۵، ۳۶]. تصاویر

با توجه به قابلیت سنجش زمان حرکت (سفر) در نرم‌افزار پس‌فایندر در این پژوهش منظور از مدت زمان تخلیه که در تحلیل‌ها استفاده شده همین زمان است. در اکثر پژوهش‌های انجام شده داخلی و خارجی هم صرفاً به بررسی مدت زمان حرکت سفر به عنوان مدت زمان تخلیه پرداخته شده است.

۳-۳- مباحث و مقررات مربوط به حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق و هنگام حادثه

جهت ارتقای سطح ایمنی ساختمان‌ها و پیشگیری از آتش‌سوزی در ایران هم ضوابطی توسط سازمان‌های ذیربط بیان شده است. این ضوابط و مقررات عبارتند از: حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق [۲۷]، راهنمای مبحث سوم حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق [۲۸]، آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش [۲۹] و راهنمای آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش [۳۰]. جدول ۳ ضوابط و مقررات مربوط به حفاظت مدارس را در برابر حریق نشان می‌دهد. با توجه به نوساز بودن مدرسه مورد مطالعه مستلزم رعایت مبحث ۳ مقررات ملی بوده که موارد زیر و سایر موارد ایمنی در برابر آتش‌سوزی در آن رعایت شده است.

جدول ۲. مقررات مربوط به احداث ساختمان‌های ایمن در برابر آتش‌سوزی

حد اکثر مسیر	حد اکثر طول	حد اکثر مسیر	
پیمایش	بن بست	مشترک	
طول دسترس خروج بدون شبکه بارنده	۴۶	۶،۱۰	۲۳
طول دسترس خروج با شبکه بارنده	۴۶	۱۵	۲۳
سرانه تصرف در بناهای آموزشی (مترمربع به ازای هر نفر)	۶۱	۶،۱۰	۳۰
کلاس درس	۶۱	۱۵	۳۰
کارگاه، آزمایشگاه و ...	۱/۹ خالص	۴/۶ خالص	

۳-۴- فضای مدرسه و حادثه خیزی آن

یکی از مهمترین وظایف در طراحی سیستم‌های حفاظت آتش‌نشانی تخلیه است. این موضوع به ویژه برای ساختمان‌های



تصویر ۴. نمونه‌ای از مدارس آسیب‌دیده از آتش‌سوزی و زلزله

جدول ۳. سرعت حرکت افراد براساس برخی عوامل مؤثر بر سرعت [۳۹]

سرعت حرکت افراد براساس برخی عوامل مؤثر بر سرعت													
نوع حرکت				شرایط حرکت در راهروها				نوع مکان				نوع افراد	
حرکت آزاد	حرکت خروج	آهسته	بهینه	متوسط	فشار	عمومی	بلندمرتبه	آپارتمان	کودک	زن	مردان	بزرگسالان	مردان مسن
-۱/۸	-۰/۸	۱/۴	۰/۷	۰/۳۹	۰/۱	۱/۰۷	۱/۰۵	۰/۹۵	۱/۰۸	۱/۰۴	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۳
۱/۲	۱/۵												۱/۲۴

زیر (تصویر ۴) مربوط به مدرسی است که در اثر آتش‌سوزی و زلزله دچار آسیب‌های فراوانی شده و جان ساکنان خود را در معرض تهدید قرار داده‌اند.

۳-۵- عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری هنگام حادثه

عواملی که بر مدت زمان تخلیه تأثیر می‌گذارد، عبارتند از: ویژگی‌های کاربر و استفاده‌کنندگان از فضا (عوامل انسانی)، ویژگی‌های آتش و ویژگی‌های مربوط به طراحی کالبدی ساختمان (عوامل کالبدی).

۳-۵-۱- عوامل مربوط به استفاده‌کنندگان از فضا

جهت شبیه‌سازی مدل‌های تخلیه لازم است تا ویژگی‌های استفاده‌کنندگان (جنسیت، سن و ...)، اقدامات صورت‌گرفته از آن‌ها در طول تخلیه، تأخیر احتمالی در تخلیه و سرعت عکس‌العمل آن‌ها هنگام تخلیه در پایگاه داده‌های ورودی بررسی و اعمال شود. از جمله این موارد می‌توان به زمان پیش از حرکت^{۱۵}، سرعت راه رفتن، ویژگی‌های کاربران فضا (سن، جنس و میزان آشنایی و آگاهی)، اثر انسداد بر مسیر سفر توسط کاربران و تصمیم برای انتخاب خروجی‌ها اشاره کرد [۳۷].

در نظر گرفتن زمان قبل از حرکت در تخلیه امری ضروری است [۳۸]. با توجه به مطالعات انجام‌شده، میانگین زمان‌های قبل از حرکت با توجه به نوع ساختمان بیش از ۱۲۰ ثانیه است. زمان‌های قبل از حرکت در محدوده ۰ تا ۵۴۰ ثانیه بوده که در حوادث مختلف آتش‌سوزی با وجود انواع مختلف افراد حاصل شده است. این متوسط زمان‌های قبل از حرکت در مکان‌های سرگرمی عمومی، دفاتر، مغازه‌ها، مکان‌های تجاری، مدارس، بیمارستان‌ها و خرده‌فروشی‌های بزرگ کاهش می‌یابد [۲۴].

سرعت حرکت عامل مهم دیگری است که در مدل‌های تخلیه به کار گرفته می‌شود و با عوامل بسیاری مانند انواع حرکت، شرایط حرکت، انواع متصرفان و انواع مکان‌ها تغییر می‌کند که در جدول زیر نشان داده شده است.

متغیرهای فیزیکی افراد مانند: عرض شانه، قد، سن و جنسیت هم به عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر در نظر گرفته می‌شود که در جدول (۱) به آن اشاره شده است. همچنین میزان آشنایی افراد با مسیرهای تردد هم از عوامل مهم در تشخیص مسیر و فضای خروج بوده که در کاربری‌های آموزشی و بسیاری از کاربری‌های دیگر استفاده‌کنندگان از سطح آگاهی بالایی برخوردار هستند.

۳-۵-۲- عوامل مربوط به ویژگی‌های آتش

این عوامل بیشتر به نوع کاربری فضا و مواد موجود در ساختمان مرتبط هستند که هم مبلمان و مصالح انبارشده در داخل بنا را شامل شده و هم جنس مصالحی که ساختمان با آن بنا شده است. این مواد هم نقش بسزایی در میزان و نوع تولید دود داشته^{۱۶} و هم مدت زمان حریق و دود حاصل از آن را تحت الشعاع قرار می‌دهند. متأسفانه در بسیاری از مدارس موجود در روستاهای کشور با توجه به وسایل گرمایشی نفتی و غیر استاندارد سالانه شاهد آتش‌سوزی‌های متعددی هستیم که منشأ بسیاری از آن‌ها همان مواد آتش‌زایی است که برای گرمایش بنا استفاده می‌شوند.

۳-۵-۳- عوامل مربوط به ویژگی‌های کالبدی ساختمان

نتایج بسیاری از پژوهش‌ها حاکی از آن است که معماری ساختمان و ارتباط بین فضاها با دسترسی‌های افقی و عمودی همچنین تعداد، ابعاد و موقعیت راه‌های خروج در معماری ساختمان‌ها به‌ویژه در اماکن عمومی نقش حیاتی در تخلیه اضطراری ایفا می‌کند. از این‌رو برخی از راهکارها هم در کاهش مدت زمان تخلیه با توجه به طرح معماری تأثیرگذار است که عبارتند از: شاخص و خوانا بودن مسیر ورودی و خروجی و ایجاد خروجی‌های اضطراری متعدد در طبقات؛ ابعاد راه‌پله‌ها برای تسهیل خروج اضطراری به‌ویژه برای فضاهای پرخطر وسیع‌تر از اندازه استاندارد معمول باشد؛ خروج اضطراری برای طبقات همکف تا دوم از طریق پنجره ممکن باش؛ کف مسیرهای حرکتی لغزنده نباشد؛ درب‌ها به سمت خارج باز شوند؛ فضاهای حساس

جدول ۴. عوامل کالبدی مؤثر در تخلیه و پژوهش های مرتبط با آن

پژوهش های انجام شده	برخی از عناوین	
- Shi et al., [39] - Zhang et al., [38] - Kucher et al., [40]. Pauls, J. [41] - Sheeba & Jayaparvathy, [42] - Gu et al., [43]	محاسبه زمان تخلیه ساختمان های بلند سیستم تخلیه اضطراری ساختمان های مرتفع شبیه سازی درباره سیستم تخلیه اضطراری عمودی در ساختمان های مرتفع تجزیه و تحلیل رفتار تخلیه اضطراری دانش آموزان مدرسه مبتنی بر فیلم	ارتفاع ساختمان
- Ding et al., [44] - Sheeba & Jayaparvathy, [42] - Li et al., [45]	مدل سازی عملکرد یک سیستم تخلیه اضطراری هوشمند در ساختمان ها بهینه سازی طرح با شبیه سازی تخلیه اضطراری مدل سازی، شبیه سازی و تجزیه و تحلیل فرآیند تخلیه در پله ها در یک ساختمان	طول ساختمان

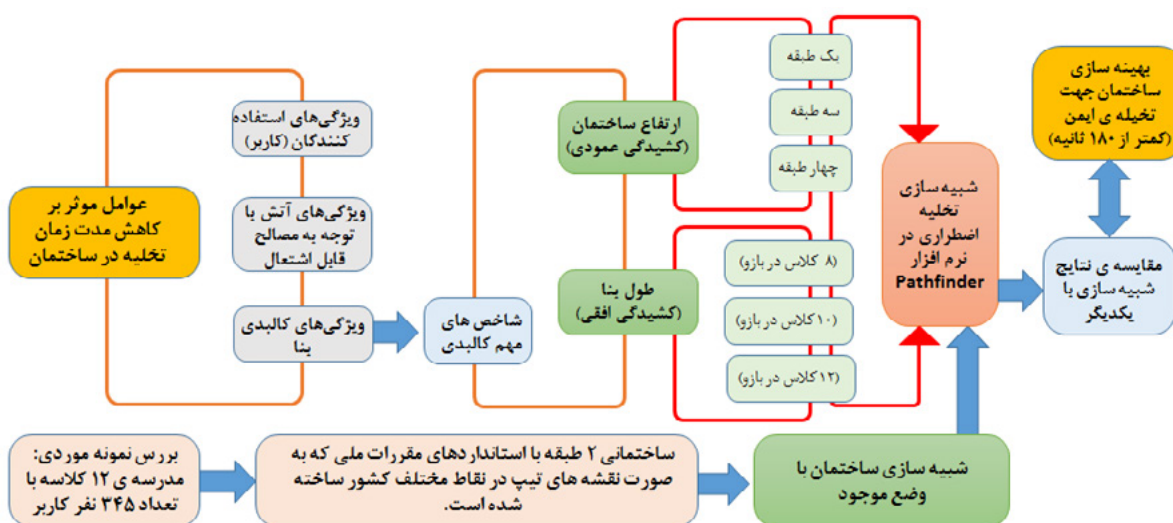
است. دانش آموزان مدرسه را پسران تشکیل داده اند که پایه های چهارم، پنجم و ششم ابتدایی را شامل می شود. به طور میانگین هر کلاس ۲۶ تا ۲۹ دانش آموز را پوشش داده که مجموع آنها ۳۳۲ نفر می شوند. ۱۳ نفر هم به عنوان کادر آموزشی (شامل معلمان، ناظم، معاون و مدیر مدرسه) در نظر گرفته شده است. ویژگی های کاربران، ویژگی های آتش با توجه به مصالح قابل اشتعال و در نهایت ویژگی های کالبدی بنا از جمله عوامل کلیدی بوده که نقش بسزایی را در کاهش مدت زمان تخلیه ایفا می کنند. از این رو با توجه به نقش خاصی که ویژگی های کالبدی بنا در کاهش مدت زمان خروج ایفا کرده، این پژوهش ۲ شاخص مهم کالبدی شامل ارتفاع ساختمان (کشیدگی عمودی) و طول بنا (کشیدگی افقی) را در نرم افزار پس فایندر در یک نمونه موردی واقعی سنجیده است. مدت زمان تخلیه برای مدرسه یاد شده ۱۳۱ ثانیه حاصل شده که این مدت زمان در حالت های کالبدی گوناگون تدقیق شده و با مدت زمان ۱۵۰ ثانیه^{۱۷} که مدت زمان بهینه برای تخلیه اضطراری بوده، ارزیابی شده و بعد به بهینه سازی ساختمان اقدام شده است. تصویر ۵ گام های پژوهش را برای بهینه سازی ساختمان نشان می دهد.

(آزمایشگاه، کتابخانه، تأسیسات) در زیرزمین یا در نهایت سطح همکف بنا شود.

در میان این عوامل ۲ عامل طول و کشیدگی ساختمان و ارتفاع آن از مهمترین عوامل کالبدی بوده که نقش بسزایی در کاهش مدت زمان تخلیه دارند. از این رو پژوهش های فراوانی به این موارد پرداخته که در جدول ۴ به آن اشاره شده و این پژوهش هم به بررسی این ۲ عامل مهم پرداخته است.

۴- روش تحقیق و ابزارها

هنگام وقوع حادثه هر ثانیه از زمان می تواند نقشی حیاتی در نجات جان انسان ها ایفا کند. اهمیت این موضوع در فضاهایی مانند خوابگاه، بیمارستان و مدارس که تعداد استفاده کنندگان از فضا بالاست، بیشتر می شود. از این رو برای کاهش مدت زمان تخلیه در این گونه فضاها به شبیه سازی تخلیه اضطراری نیاز است. بدین منظور در این مقاله شبیه سازی تخلیه انسانی در یک نمونه مدرسه که از نقشه های تیپ سازمان نوسازی مدارس بوده، صورت گرفته است. جهت دستیابی به مدت زمان تخلیه اضطراری در ساختمان مدرسه هم از نرم افزار پس فایندر استفاده شده که به عنوان شبیه ساز تخلیه اضطراری مطرح است. مدرسه مورد مطالعه در این پژوهش ۲ طبقه بوده که دارای ۱۲ کلاس درس



تصویر ۵. گام های پژوهش

۵- بحث و نتایج

در بخش اول تحلیل‌ها بر حسب افزایش تعداد طبقات صورت می‌گیرد و در بخش دوم هم تحلیل‌ها بر حسب افزایش طول راهرو که افزایش تعداد کلاس‌ها را به همراه دارد، صورت می‌پذیرد.

۱-۵- تحلیل براساس تعداد طبقات

۱-۵-۱- تحلیل مدرسه در وضع موجود (با ۲ طبقه):

وضعیت موجود مدرسه همان ۲ طبقه بوده که در این حالت هم سنجیده شده است. تعداد دانش‌آموزان به همراه کادر آموزشی مدرسه در این وضعیت ۳۴۵ نفر و بیشترین مدت زمان تخلیه هم ۱۳۱ ثانیه بوده و همان‌طور که مشخص است، بیشترین تراکم هنگام خروج در راه‌پله اصلی قرار دارد. بیشترین مدت زمان تخلیه هم در طبقه اول نسبت به طبقه همکف به شدت قابل مشاهده است. گفتنی است که در جدول زیر بیشینه مدت زمان خروج هم در طبقه هم‌کف و هم در طبقه اول (ارتفاع ۳٫۸ متر) نشان می‌دهد که مدت زمان تخلیه در کلاس‌ها بیشتر از راهروها بوده که این بدان معناست که تعداد زیاد دانش‌آموزان (دانش‌آموزان به همراه معلم) در هنگام خروج از کلاس درس پشت درب خروجی برای تخلیه تجمع می‌کنند و این امر مدت زمان تخلیه را به شدت بالا می‌برد. از این‌رو به نظر می‌رسد در نظر گرفتن ۲ درب تخلیه برای کلاس تا حد قابل قبولی به تخلیه اضطراری کمک کند. جدول ۵ به بررسی بیشترین مدت خروج و میزان تراکم در مدرسه مورد مطالعه پرداخته است.

جدول ۶ هم میزان جریان عبوری از درب‌های خروجی و شمار ساکنان خارج‌شده از ساختمان را بر حسب زمان نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، درب اصلی خروجی (با عرض ۴ متری)

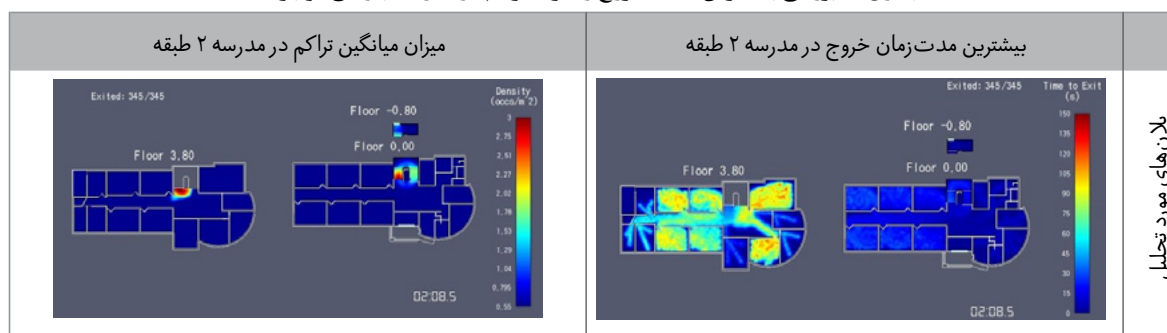
بیشترین جریان عبوری را داشته (حدود ۱٫۱۵ نفر بر ثانیه) و سپس درب فرعی با جریان عبوری ۰٫۴۶ نفر بر ثانیه است.

۱-۵-۲- تحلیل مدرسه با تعداد طبقات مختلف

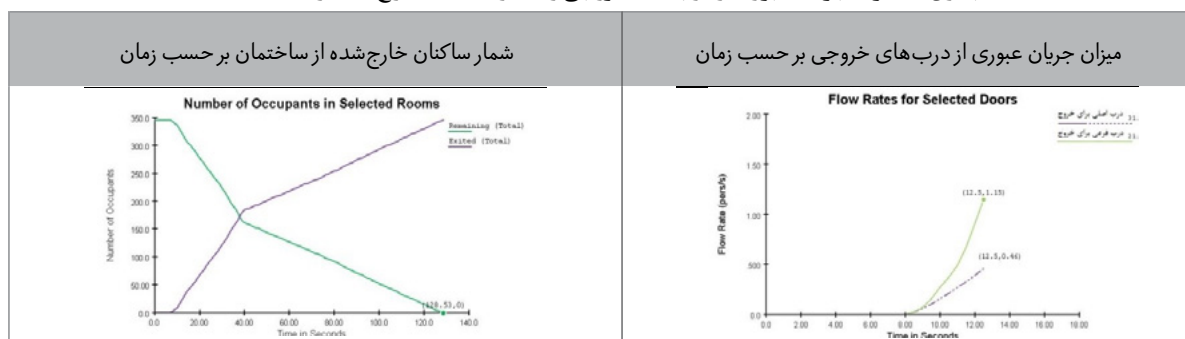
پس از بررسی وضع موجود مدرسه که ۲ طبقه بوده، با توجه به هدف پژوهش لازم است تا مدرسه با طبقات مختلف شبیه‌سازی شود. از این‌رو جدول زیر به بررسی بیشترین مدت زمان لازم برای تخلیه اضطراری و تراکم استفاده‌کنندگان در مدرسه مورد مطالعه می‌پردازد. همان‌طور که مشخص است، در حالت ۳ طبقه با توجه به تراکم بسیار بالا (که میانگین تراکم در پله ارتباطی بین طبقه اول و دوم به ۵ نفر در متر مربع هم می‌رسد) سرعت تخلیه به شدت کاهش یافته و مدت زمان خروج کامل ساختمان به شدت افزایش می‌یابد. نتیجه‌ی این اتفاق بدین شکل است که با بررسی بیشترین مدت زمان تخلیه در حالت ۳ طبقه هر ۶ کلاس موجود در طبقه سوم بیش از ۱۵۰ ثانیه را برای خروج اضطراری لازم دارد که در نایم‌ترین نقطه قرار داشته و مدت زمان تخلیه را به ۲۱۷٫۵ ثانیه می‌رساند. در وضعیت ۴ طبقه هم تراکم بسیار بالا در دسترسی عمودی ساختمان (در پله ارتباطی بین طبقه دوم و سوم تراکم ۵٫۲ نفر بر متر مربع و در پله ارتباطی اول و دوم با تراکم ۵٫۴ نفر بر متر مربع) باعث شده تا مدت زمان تخلیه به ۳۰۷٫۸ ثانیه افزایش یابد که در طبقه دوم و سوم بالاترین سطح ناامنی را (با توجه به آنکه تمامی فضاها بالای ۱۵۰ ثانیه را جهت تخلیه نیاز دارند) دارد (جدول ۷).

تصویر ۶ هم مدت تخلیه ساختمان را با تعداد طبقات متفاوت نشان می‌دهد. همان‌طور که مشهود است، در وضعیت موجود همان ۲ طبقه برای این ساختمان مناسب است و در صورت افزایش تعداد طبقات لازم است تا با راهکارهایی (مانند ایجاد پله

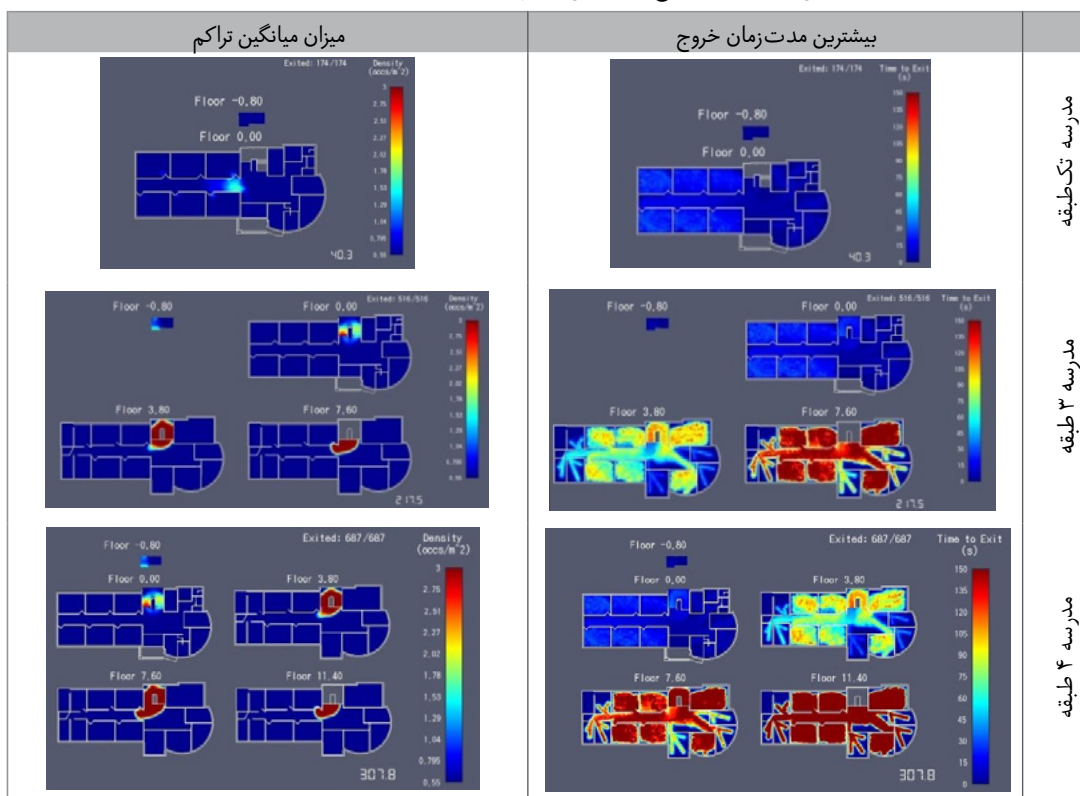
جدول ۵. بررسی بیشترین مدت خروج و میزان تراکم در مدرسه با وضع موجود



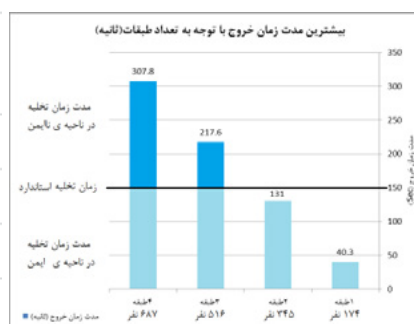
جدول ۶. میزان جریان عبوری از درب‌های خروجی و شمار ساکنان خارج‌شده از ساختمان



جدول ۷. بیشترین مدت زمان خروج و میانگین تراکم در ساختمان مدرسه با تعداد طبقات مختلف

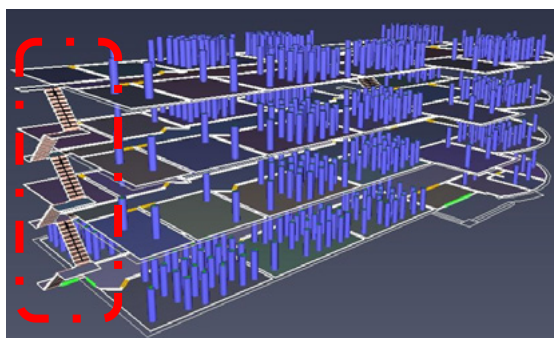


تعداد کاربر (نفر)	تعداد طبقات	مدت زمان خروج (ثانیه)
174	۱ طبقه	40.3
345	۲ طبقه	131
516	۳ طبقه	217.6
687	۴ طبقه	307.8



تصویر ۶. مقایسه عددی بین مدت زمان های تخلیه در حالت های مختلف با زمان تخلیه استاندارد

قابل چشم پوشی است و تا حدود زیادی در حاشیه ایمنی قرار گرفته است. تصویر ۷ نحوه نصب پله اضطراری را برای تخلیه دانش آموزان نشان می دهد.



تصویر ۷. محل و نحوه نصب پله اضطراری در پلان طبقات مدرسه برای بهینه سازی

فرار و ...) تراکم افراد در ساختمان را در راه پله کاهش داد تا بدین طریق مدت زمان تخلیه اضطراری را کاهش داد.

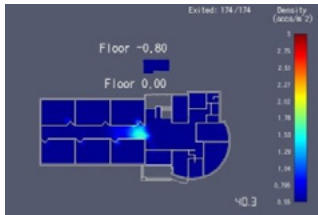
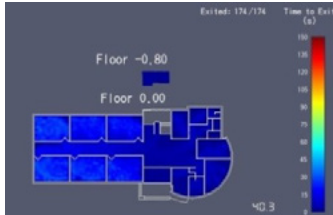
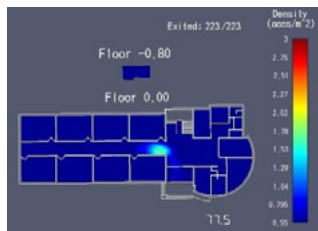
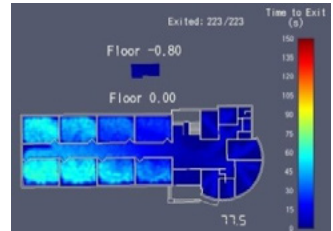
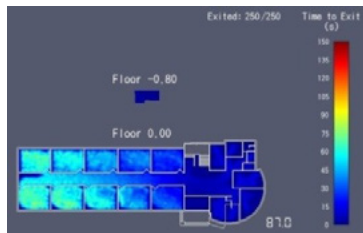
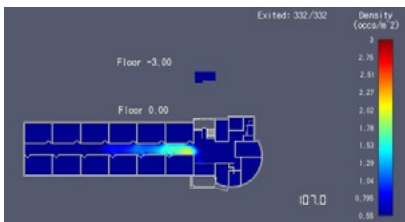
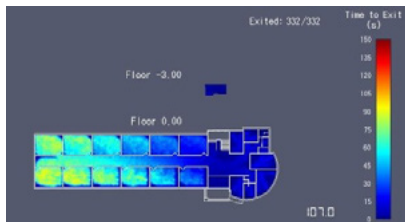
۱-۳- بهینه سازی با توجه به افزایش تعداد طبقات

بعد از آنکه مشاهده شد، ساختمان مدرسه در حالت های ۲ طبقه و ۳ طبقه مدت زمان بالایی را برای تخلیه لازم دارد، به نظر رسید که استفاده از راه پله جدا (پله اضطراری) می تواند در کاهش مدت زمان تخلیه مفید واقع شود. از این رو با استفاده از پله اضطراری مدت زمان تخلیه را در حالت ۴ طبقه از ۳۰۷٫۸ ثانیه به ۲۴۹٫۵ ثانیه پایین آورده که این مقدار هم در حاشیه امن قرار ندارد. از این رو پیشنهاد می شود، چنین ارتفاعی برای ساخت مدارس (بدون استفاده از تمهیدات لازم برای تخلیه و راه های ارتباطی عمودی مناسب) به کار گرفته نشود. در حالت ۳ طبقه هم از ۲۱۷٫۶ ثانیه به مدت ۱۷۴٫۲ ثانیه کاهش یافته که این زمان به دلیل نزدیکی به ۱۵۰ ثانیه (توسط ژانگ^{۱۸} مدت زمان ۱۸۰ ثانیه برای مدارس، خوابگاه ها و فضاهای پرجمعیت پیشنهاد شده)

۵-۲- تحلیل براساس افزایش طول ساختمان

در این بخش به جای افزایش ارتفاع به افزایش طول ساختمان پرداخته و مدت زمان تخلیه را در ساختمان با طول‌های مختلف می‌سنجیم. در همین راستا ساختمان با وضعیت موجود که در راهروی اصلی خود ۶ کلاس داشته را در ۲ حالت دیگر (یکی با ۸ کلاس در مسیر خود و دیگری با ۱۰ کلاس) ارزیابی می‌کنیم. جدول زیر به بررسی بیشترین مدت زمان لازم برای تخلیه اضطراری و تراکم استفاده‌کنندگان در مدرسه مورد مطالعه در وضعیت ۱ طبقه می‌پردازد. با توجه به نتایج حاصل از نرم‌افزار کشیدگی راهروها کمترین تأثیر را در افزایش تراکم نسبی و افزایش مدت زمان تخلیه اضطراری در ساختمان به‌ویژه در راهروها داشته؛ به نحوی که در حالت یک طبقه با ۱۰ کلاس در راهروها جمعیت ۲۵۰ نفری در مدت زمان ۸۷ ثانیه‌ای تخلیه می‌شود (جدول ۸).

جدول ۸. بیشترین مدت زمان خروج و میانگین تراکم در ساختمان مدرسه با طول‌های مختلف (یک طبقه)

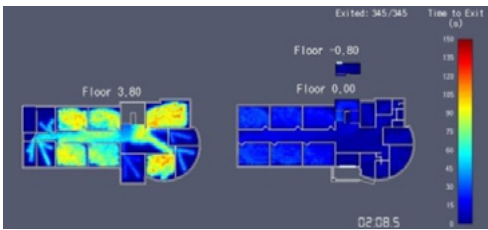
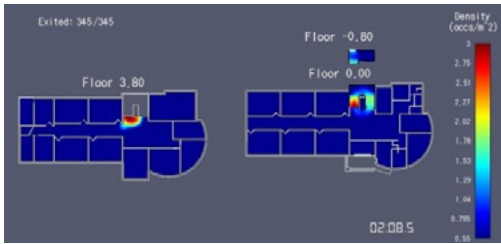
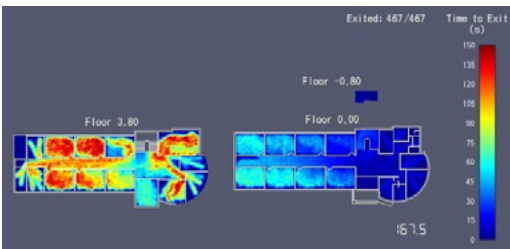
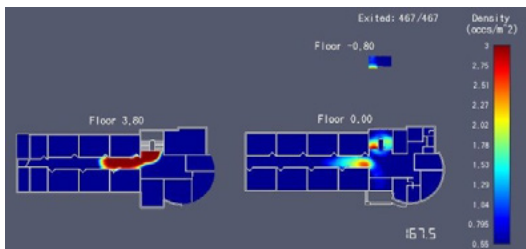
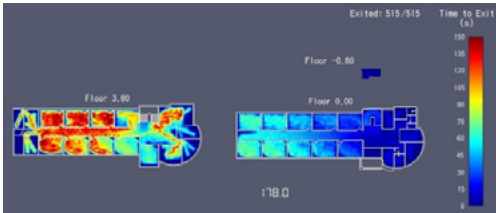
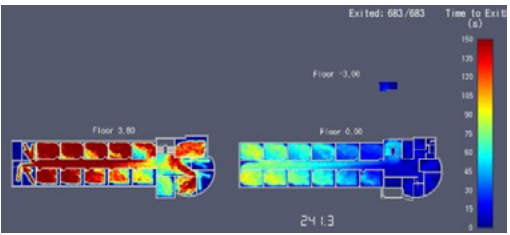
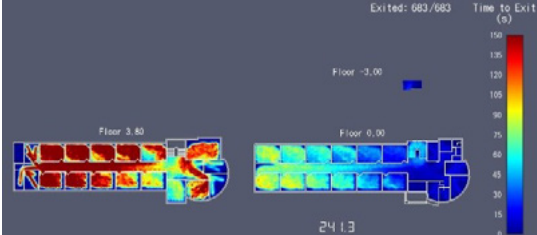
میزان میانگین تراکم	بیشترین مدت زمان خروج	
		مدرسه یک طبقه (۶ کلاس در بازو)
۴۰/۳ ثانیه لازم است تا همه ۱۷۴ نفر تخلیه شوند.		
		مدرسه ۱ طبقه (۸ کلاس در بازو)
۷۷/۵ ثانیه لازم است تا همه ۲۲۳ نفر تخلیه شوند.		
		مدرسه ۱ طبقه (۱۰ کلاس در بازو)
۸۷ ثانیه لازم است تا همه ۲۵۰ نفر تخلیه شوند.		
		مدرسه یک طبقه (۱۲ کلاس در بازو)
۱۰۷ ثانیه لازم است تا همه ۳۳۲ نفر تخلیه شوند.		

حالت یک طبقه با ۱۲ کلاس در راهروها هم جمعیت ۳۳۲ نفری در مدت زمان ۱۰۷ ثانیه تخلیه می‌شود.

در وضعیت ساختمان با ارتفاع ۲ طبقه هم به افزایش طول راهروها برای سنجش مدت زمان لازم برای تخلیه اقدام شد. نتایج مطابق جدول زیر نشان داد، در حالتی که در راهروی اصلی ۸ کلاس وجود دارد، مدت زمان لازم برای تخلیه ۴۶۷ نفر کاربر حدود ۱۶۷ ثانیه بوده و در حالتی که ۱۰ کلاس در طول راهرو قرار دارد هم مدت زمان لازم برای تخلیه ۵۱۵ نفر کاربر حدود ۱۷۸ ثانیه است.

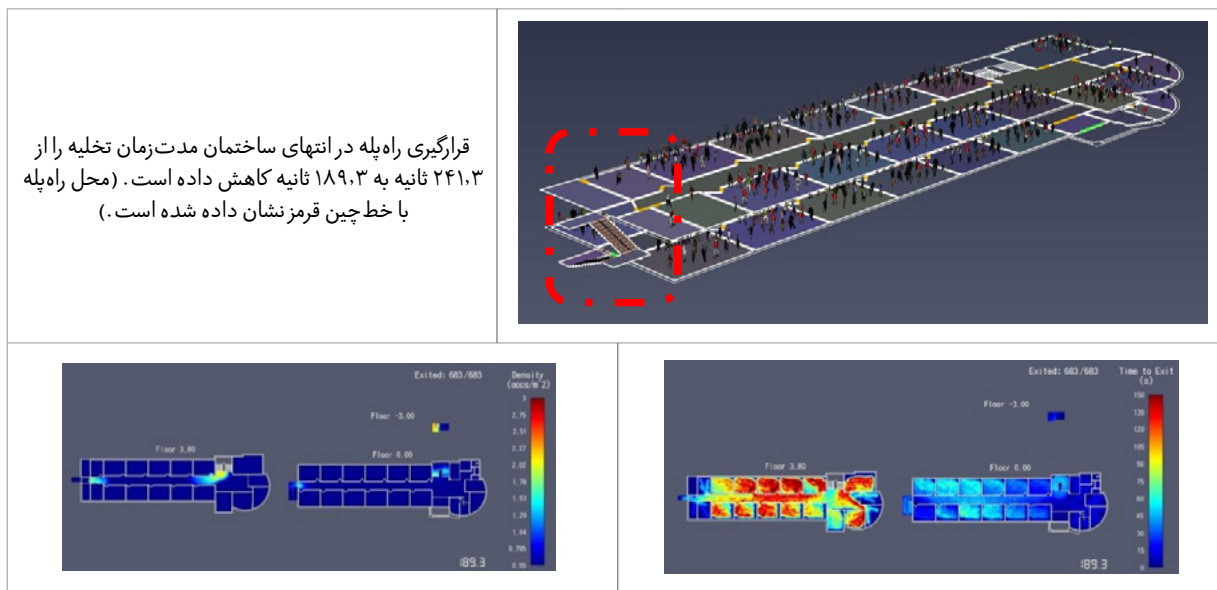
همان‌طور که مشخص است، افزایش طول راهروها نسبت به افزایش ارتفاع تأثیر اندکی در افزایش تراکم ساختمان به‌ویژه در راه‌پله‌ها داشته و به همین علت مدت زمان تخلیه را نسبت به افزایش ارتفاع کمتر تحت الشعاع قرار می‌دهد.

جدول ۹. بیشترین مدت زمان خروج و میانگین تراکم در ساختمان مدرسه با طول های مختلف (۲ طبقه)

بیشترین مدت زمان خروج	میزان میانگین تراکم	
		مدرسه ۲ طبقه (۳۴۵ کلاس در بازو)
۱۳۱ ثانیه لازم است تا همه ۳۴۵ نفر تخلیه شوند.		
		مدرسه ۲ طبقه (۴۶۷ کلاس در بازو)
۱۶۷/۵ ثانیه لازم است تا همه ۴۶۷ نفر تخلیه شوند.		
		مدرسه ۲ طبقه (۵۱۵ کلاس در بازو)
۱۷۸ ثانیه لازم است تا همه ۵۱۵ نفر تخلیه شوند.		
		مدرسه ۲ طبقه (۶۸۳ کلاس در بازو)
۲۴۱،۳ ثانیه لازم است تا همه ۶۸۳ نفر تخلیه شوند.		

حدودی در حاشیه امن قرار دارد (مدت زمان ۱۸۰ ثانیه توسط ژانگ برای مدارس، خوابگاه ها و فضاهای پرجمعیت پیشنهاد شده است). جدول ۱۰ مدرسه را با بیشترین طول ممکن و در حالت بهینه سازی شده نشان می دهد.

۵-۲-۱- بهینه سازی با توجه به افزایش طول ساختمان
بعد از بررسی ساختمان مدرسه در حالت ۱۲ کلاس در بازوی اصلی و ثبت زمان بالای ۲۴۱،۳ ثانیه لازم شد تا برای کاهش مدت زمان تخلیه به بهینه سازی کالبدی ساختمان اقدام شود. از این رو با استفاده از پله اضطراری مدت زمان تخلیه را در حالت ۱۲ کلاس در بازوی اصلی (که تعداد ۶۸۳ کاربر را پوشش می دهد) از ۲۴۱،۳ ثانیه به ۱۸۹،۳ ثانیه پایین آورده که این مقدار هم تا



نتیجه‌گیری

برای مدارس، خوابگاه‌ها و فضاهای پرجمعیت پیشنهاد شده است.)

به‌طور کلی می‌توان چنین برداشت کرد که افزایش طول به میزان قابل توجهی مدت‌زمان تخلیه را نسبت به افزایش ارتفاع ساختمان (معادل همان تعداد کاربر) کاهش داده و پیشنهاد می‌شود، در ساختمان‌هایی که تعداد استفاده‌کنندگان بالا بوده، حتی‌المقدور از افزایش ارتفاع خودداری کرده و در صورت امکان به گسترش افقی ساختمان اقدام کنند. این پژوهش تنها به بررسی نقش ارتفاع و طول ساختمان پرداخته که سایر پژوهش‌ها می‌توانند مؤلفه‌های دیگر را هم تحت سنجش قرار دهند.

آنچه که مدت‌زمان تخلیه در ساختمان را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد، ۳ عامل ویژگی‌های کاربران، ویژگی‌های آتش با توجه به مصالح قابل اشتعال و در نهایت امر ویژگی‌های کالبدی بناست. از این‌رو با توجه به نقش و اهمیت خاصی که ویژگی‌های کالبدی بنا در کاهش مدت‌زمان خروج ایفا کرده، این پژوهش ۲ شاخص مهم کالبدی، شامل ارتفاع ساختمان (کشیدگی عمودی) و طول بنا (کشیدگی افقی) را در نرم‌افزار پس‌فایندر در نمونه موردی واقعی مورد سنجش قرار داد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در حالتی که طول ساختمان در وضع موجود تغییر نکرده، اما ارتفاع ساختمان از ۲ طبقه (با تعداد ۳۴۵ دانش‌آموز و مدت‌زمان تخلیه ۱۳۱ ثانیه) به ۳ طبقه (با تعداد ۵۱۶ دانش‌آموز) و سپس ۴ طبقه (با تعداد ۶۸۷ دانش‌آموز) افزایش یافته، مدت‌زمان تخلیه را به ترتیب ۲۱۷،۶ ثانیه و ۳۰۷،۸ ثانیه بالا برده که ساختمان را از نظر امنیت خروج در برابر حادثه در شرایط بسیار بحرانی قرار داده است. سپس در گام بعد ارتفاع ساختمان را ثابت نگه داشته و به جای آن اقدام به تغییر طول ساختمان شده است. در همین راستا یک بار طول ساختمان با ۱۰ کلاس در طول بازوی اصلی (با تعداد ۵۱۵ دانش‌آموز) و بار دیگر با ۱۲ کلاس در طول راهروی اصلی (با تعداد ۶۸۳ دانش‌آموز) سنجیده شد. مدت‌زمان تخلیه هم در حالت ۱۰ کلاس به ۱۷۸ ثانیه (در حالت امن) و در حالت ۱۲ کلاس به ۲۴۱،۳ ثانیه (حالت غیرایمن) افزایش داشته است. طرح‌های بهینه‌سازی شده از طریق ایجاد پله دسترسی (پله اضطراری انتهای راهرو) هم نشان داد که مدت‌زمان تخلیه در مدرسه با ۴ طبقه از ۳۰۷،۸ ثانیه به ۲۴۹،۵ ثانیه پایین آمده که این مقدار هم در حاشیه امن قرار ندارد. اما مدرسه با طول ۱۲ کلاس در بازوی اصلی مدت‌زمان تخلیه را از ۲۴۱،۳ ثانیه به ۱۸۹،۳ ثانیه پایین آورده که این مقدار هم تا حدودی در حاشیه امن قرار دارد (مدت‌زمان ۱۸۰ ثانیه توسط ژانگ

پی‌نوشت

1. Pathfinder
2. FSA
3. NIST: National Institute of Standards and Technology
4. Fang
5. Recognition Time
6. Reaction Time
7. Egress Time

۸. زمان موجود برای تخلیه یا فرار Available Safe Egress/Escape Time (ASET/TSE) و زمان موردنیاز برای تخلیه / فرار Required Safe Egress/ (RSET) (Escape Time) ۲ مفهوم کلیدی در تخلیه هستند.

- زمان موجود برای تخلیه (Tse) - زمان لازم برای تخلیه یا زمان خروج - (Tex) زمان کشف آتش (Tdet) - زمان هشدار (Ta) - زمان پیش از حرکت (Tpre) - زمان حرکت (Ttrav).

- زمان تخلیه (Tev) = زمان‌های پیش از حرکت (Tpre) و زمان حرکت (Ttrav) (Ng & Chow, ۲۰۰۶). رابطه زیر بین زمان‌های گفته شده برقرار است:

$$Tse > Tex = Tdet + Ta + Tev = Tdet + Ta + Tpre + Ttrav$$

9. Tex

effects of fire products. *Fire Technology*, 48(1), 91-104.

11. Weng, W. G., Pan, L. L., Shen, S. F., & Yuan, H. Y. (2007). Small-grid analysis of discrete model for evacuation from a hall. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 374(2), 821-826.
12. Zheng, Y., Jia, B., Li, X. G., & Zhu, N. (2011). Evacuation dynamics with fire spreading based on cellular automaton. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(18-19), 3147-3156.
13. Thunderhead Engineering, (2012). Technical Reference of Pathfinder.
14. Thunderhead Engineering, (2011). User Manual of Pathfinder.
15. Ding, Y., & Yang, L. (2013). Occupant evacuation process study of public buildings based on computer modeling and simulation. *Journal of applied fire science*, 23(3), 365-380.
16. Bao, Y. Q. (2011). Study on fire prevention performance-based design of a large underground banquet hall. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 94, pp. 2065-2069). Trans Tech Publications Ltd.
17. Fang, T., Yu, J., & Wang, J. (2012). Study of staircase design effects on evacuation in architectural plane design. *Journal of applied fire science*, 22(1), 69-80.
18. Lei, W., Li, A., Gao, R., & Wang, X. (2012). Influences of exit and stair conditions on human evacuation in a dormitory. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(24), 6279-6286.
19. Korhonen, T. (2018). Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac, *Technical Reference and User's Guide (FDS 6.1.0, Evac 2.5.0, draft)*, VTT Technical Research Centre of Finland.
۲۰. طارقیان، حامد رضا (۱۳۸۳). مدل سازی تخلیه اضطراری با رویکرد شبیه سازی موزی، *مجله دانش و توسعه*، (۱۵)، صص ۲۵-۴۶.
21. Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 7280-7287.
22. Ebrahimi, Samira. (2009). The role of navvab express way in the evacuation of view of passive defense, thesis in the field of civil engineering (Supervisor: Dr. Seyed Behshid Husseini), University of Arts, School of Architecture and Urban Planning.
23. Conca, A., & Vignolo, M. G. (2012). Pedestrian flow analysis in emergency evacuation. In *of the Euro Working Group on Transportation International Scientific Conference*.
۲۴. میرسعیدی، لایلا و شمس، آزاده (۱۳۹۶). تبیین عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری ساختمان در آتش‌وزی، *فصل‌نامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۸ (۱)، دوره هشتم، شماره اول، صص ۴۳-۵۳.
25. Ng, C.M., & Chow, W.K. (2006). A Brief Review on the Time Line Concept in Evacuation. *International Journal on Architectural Science*, 7(1), 1-13
26. Ko, S.Y. (2003). *Comparison of Evacuation Times Using Simulex and Evacuationz based on Trial Evacuations*.
27. Doctoral Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
۲۸. وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، (۱۳۸۰). حفاظت

10. Tdet
11. Ta
12. Tpre
13. Ttrav
14. Tev
۱۵. مردم هنگام آگاه شدن از وضعیت اضطراری واکنش سریع از خود نشان نمی‌دهند. بنابراین زمان اتلاف میان زمانی که به مردم برای نخستین بار درباره یک حادثه هشدار داده می‌شود و زمانی که آنها شروع به ترک محل می‌کنند، شامل زمانی است که افراد برای تخلیه آماده می‌شوند (میر سعیدی و شمس، ۱۳۹۷).
۱۶. بیش از ۸۸ درصد از مرگ و میرهای حاصل از آتش‌سوزی به علت خفگی حاصل از دود است.
۱۷. این مقدار در فضاهای پرتراکم توسط ژانگ ۱۸۰ ثانیه هم پیشنهاد شده است.
18. ZHANG

منابع:

1. Spearpoint, M. J. (2012). Network modeling of The Station Nightclub fire evacuation. *Journal of fire protection engineering*, 22(3), 157-181.
2. Joo, J., Kim, N., Wysk, R. A., Rothrock, L., Son, Y. J., Oh, Y. G., & Lee, S. (2013). Agent-based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 32, 99-115.
3. Alizadeh, R. (2011). A dynamic cellular automaton model for evacuation process with obstacles. *Safety Science*, 49(2), 315-323.
4. Ma, J., Lo, S. M., & Song, W. G. (2012). Cellular automaton modeling approach for optimum ultra high-rise building evacuation design. *Fire Safety Journal*, 54, 57-66.
5. Wei, Y. F., Shi, W., & Song, T. (2012). Approach to effect of obstacle on pedestrian evacuation with a small-grid lattice gas model. *Procedia Engineering*, 31, 1077-1082.
6. Guo, X., Chen, J., You, S., & Wei, J. (2013). Modeling of pedestrian evacuation under fire emergency based on an extended heterogeneous lattice gas model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(9), 1994-2006.
7. Ezaki, T., Yanagisawa, D., Ohtsuka, K., & Nishinari, K. (2012). Simulation of space acquisition process of pedestrians using proxemic floor field model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(1-2), 291-299.
8. Xie, D. F., Gao, Z. Y., Zhao, X. M., & Wang, D. Z. W. (2012). Agitated behavior and elastic characteristics of pedestrians in an alternative floor field model for pedestrian dynamics. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 391(7), 2390-2400.
9. Zheng, X., Zhong, T., & Liu, M. (2009). Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches. *Building and Environment*, 44(3), 437-445.
10. Fang, Z. M., Song, W. G., Zhang, J., & Wu, H. (2012). A multi-grid model for evacuation coupling with the

۱۶۰

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



تخلیه اضطراری هنگام حوادث / علی خانی
بررسی نقش ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌های آموزشی در مدت زمان

45. Ding, N., Zhang, H., & Chen, T. (2017). Simulation-based optimization of emergency evacuation strategy in ultra-high-rise buildings. *Natural hazards*, 89(3), 1167-1184.
46. Li, W., Li, Y., Yu, P., Gong, J., Shen, S., Huang, L., & Liang, J. (2017). Modeling, simulation and analysis of the evacuation process on stairs in a multi-floor classroom building of a primary school. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 469, 157-172.
- ساختمان‌ها در برابر حریق: مبحث سوم مقررات ملی ساختمان، تهران: انتشارات وزارت راه و شهرسازی، دفتر مقررات ملی ساختمان.
۲۹. وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲). راهنمای مبحث سوم حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق، تهران، انتشارات وزارت راه و شهرسازی- دفتر مقررات ملی ساختمان.
۳۰. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (۱۳۸۹). آیین نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش (پیشنهادی)، تهران، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (نشریه شماره ض ۴۴۴، چاپ سوم).
۳۱. بختیاری، سعید، مجیدزمانی، سهیل، قاسم زاده، قاسم‌زاده، مسعود و تسنیمی، عباسعلی. (۱۳۸۹). راهنمای آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش، تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
32. Jevtić, R. B. [2015]. The simulation of sanitary objects evacuation: An example of hotel 'Radon' in Niška Banja. *Tehnika*, 70(3), 545-550.
۳۳. رضاییگی داورانی، عصمت، کیارسی، مریم و دانشی، سلمان (۱۳۹۸). علل و پیامدهای حوادث آتش‌سوزی در مدارس ایران طی مهر و موم‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۷، نهمین کنگره بین‌المللی سلامت در حوادث و بلایا، تهران، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی.
۳۴. تقوایی، مسعود و جوزی خمسلویی، علی (۱۳۸۹). مدیریت بحران شهری و تخلیه اضطراری جمعیت در مدارس ناحیه ۲ آموزشی کلانشهر اصفهان، مطالعات مدیریت شهری، دوره ۱۰، شماره ۳۴، ۴۴-۲۷g.۰۰۶۳۸#.
۳۵. شمسی، آزاده، میرسعیدی، لیلا و فرخ زاد، کیوان. (۱۳۹۵). بررسی کارایی راه‌های خروج ساختمان در تخلیه اضطراری آتش به روش تحلیل نرم‌افزاری (نمونه موردی: یک مدرسه در تهران)، نشریه معماری و شهرسازی ایران، شماره ۱۲، ۵-۱۴.
۳۶. بشیری، مهسا و خواجه‌ای، سایما (۱۳۹۲). کاهش آسیب‌پذیری زلزله و خطر آتش‌سوزی در خوابگاه‌های دانشجویی مطالعه‌ی موردی: خوابگاه متأهلان دانشگاه شهید بهشتی، دوفصل‌نامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره سوم، صص ۱۵-۲۵.
۳۷. فلاحی، علیرضا (۱۳۹۳). کاهش آسیب‌پذیری خوابگاه‌های دانشجویی دانشگاه شهید بهشتی در برابر آتش‌سوزی و زلزله، صفحه، دوره ۲۴، شماره ۶۷؛ صص ۷۷-۱۰۰.
38. Fahy, R. (2005). available data and input in to models , MD, Peacock, R. D. Kuligowski, E. D., Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies, NIST SP 1032, Gaithersburg, pages 62-67. fire.nist.gov/bfrlpubs/fire05/PDF/f05023.pdf.
39. Zhang, J., Song, W., & Xu, X. (2008). Experiment and multi-grid modeling of evacuation from a classroom. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(23), 5901-5909.
40. Shi, L., Xie, Q., Cheng, X., & Zhang, R. (2009). Developing a data base for emergency evacuation model, *Building and Environment*, 44(8), Pages 1724-1729.
41. Kucher, A., Krasnov, I., & Bromberg, Y. (1987). *U.S. Patent No. 4,640,384*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
42. Pauls, J. (1987). Calculating evacuation times for tall buildings. *Fire Safety Journal*, 12(3), 213-236.
43. Sheeba, A. A., & Jayaparvathy, R. (2019). Performance modeling of an intelligent emergency evacuation system in buildings on accidental fire occurrence, *Safety science*, 112, 196-205.
44. Gu, Z., Liu, Z., Shiwakoti, N., & Yang, M. (2016). Video-based analysis of school students' emergency evacuation behavior in earthquakes, *International*

الگوسازی کاربرد ایمن و امن اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران

منیژه احدیانی: دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت رسانه، گروه علوم ارتباطات و مطالعات رسانه، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
امیدعلی مسعودی*: دانشیار و عضو هیئت علمی گروه ارتباطات اجتماعی دانشکده فرهنگ و ارتباطات دانشگاه سوره، تهران، ایران، masoudi@soore.ac.ir.
سید محمد باقر ملائک: استاد و عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
نسیم مجیدی قهرودی: استادیار و عضو هیئت علمی گروه علوم ارتباطات و مطالعات رسانه، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

کاربرد اینترنت اشیا در صنعت هوایی توانایی تبدیل فرآیندهای سنتی قدیمی در فرودگاه و پرواز را به سمت قابلیت‌های خدمات مدرن هدایت می‌کند که باعث افزایش اعتماد مسافران و همچنین رضایت از دریافت خدمات با کیفیت بهتر می‌شود. پژوهش حاضر با رویکرد کیفی و با روش تحلیل مضمون انجام شده است. جامعه آماری شامل مدیران و خبرگان در صنعت هوایی هستند که با روش هدفمند و گلوله‌بری انتخاب شده‌اند و مصاحبه تا حد اشباع نظری ادامه یافته است. این مهم در مصاحبه هجدهم حاصل شده است. جهت تأیید روایی تحقیق از روش «مثلث‌سازی منابع داده‌ها، بازبینی توسط همکاران و بررسی توسط مشارکت‌کنندگان» و جهت تأیید پایایی تحقیق از «پایایی بین ۲ کدگذار و بازآزمون» استفاده شده است. جهت تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار MAXQDA2020 استفاده شده و با ۳ مرحله کدگذاری (محور، تم اصلی و تم فرعی) الگوی کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران ارائه شده است. بر اساس نتایج تحقیق ارکان کلیدی در این فرآیند مشتمل بر «صنعت، دولت، دانشگاه، پارک علم و فناوری و شرکت‌های دانش‌بنیان» است. به علاوه در این تحقیق ضمن مشخص کردن تأثیرات فرآیند عوامل سازمانی عوامل زیرساختی مؤثر مشخص شده‌اند. همچنین پیامدهای کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران مشتمل بر «پیامدهای ملی، سازمانی و محیطی» تا حدود خوبی بررسی شده‌اند.

کلمات کلیدی: صنعت هوایی، اینترنت اشیا، مدیریت صنعت هوایی، کاربرد اینترنت اشیا در صنعت هوایی

Modeling the safe and secure use of the Internet of Things in the management of Iran's aviation industry

Manizheh Ahadiani¹, Omid Ali Masoudi^{*2}, Nasim Majidi gahrودي³

Abstract

Steers the flight towards modern service capabilities that increase passenger confidence as well as satisfaction with receiving better quality services.

The present study has been done with a qualitative approach and content analysis method. The statistical population includes managers and experts in the aviation industry who have been selected by purposeful method and snowball and the interview has continued to the point of theoretical saturation. This is important in the eighteenth interview. Data, peer review and review by participants "and" reliability between two coders and retest "was used to confirm the reliability of the research. MAXQDA2020 software was used to analyze the data and with three coding steps (axis, main theme, Sub-theme); The pattern of IoT application in the management of Iran's aviation industry is presented.

Based on the research results; The key elements in this process include "industry, government, universities, science and technology parks, and knowledge-based companies." In addition, in this study, while identifying the effects of the organizational factors process, effective infrastructural factors have been identified. Although the consequences of using IoT in the management of Iran's aviation industry, including "national consequences, organizational consequences and environmental consequences" have been studied to a good extent.

Keywords: *Internet of Things; Aviation Industries; Aviation Management*

1 - Manizheh Ahadiani Phd Student of Media Management, Department of Media Management, Islamic Azad University, Central Tehran Branch.

2 - Associate Professor, Department of Social Communication, Faculty of Culture and Communication, Soore University, Tehran, Iran.

3 - Professor, Aerospace engineering Sharif University of technology.

4 - Assistant Professor and faculty member of the Faculty of Communication and Media Studies at the University of Central Tehran.

۱۶۳

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



الگوسازی کاربرد ایمن و امن اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران / امیدعلی مسعودی

کشورهای پیشرو در این زمینه کردند تا از توسعه و پیشرفت اینترنت اشیا در کشور خود حمایت کنند.

همان‌گونه که نگاره (۱) مشاهده می‌شود، هیچ حوزه‌ای باقی نمانده که تحت تأثیر اپلیکیشن‌ها و حضور اینترنت اشیا قرار نگرفته باشد. یکی از حوزه‌های کاربرد اینترنت اشیا مربوط به صنعت حمل‌ونقل است. حمل‌ونقل هوایی هم به‌عنوان یکی از سیستم‌های حمل‌ونقل پرطرفدار نیازمند مطالعه، بررسی و کاربرد اینترنت اشیا است. علی‌رغم شهرت تاریخی اینترنت اشیا در ایجاد نوآوری صنعت هواپیمایی به‌طور غیرمعمولی در استفاده از اینترنت اشیا برای پاسخ به نیازهای کسب‌وکار کند عمل کرده است.



نگاره (۱): کاربرد اینترنت اشیا (کوایسم و همکاران، ۲۰۱۸)

بنابراین انواع مختلفی از تصمیم‌گیری‌ها مانند پیش‌بینی شرایط آب‌وهوایی، بهینه‌سازی هزینه سوخت، تنظیم سرعت هنگام پرواز، تحول در طراحی و عملکرد موتور و غیره را در صنایع هواپیمایی نیاز داریم که استفاده و کاربرد اینترنت اشیا می‌تواند فرآیندها را تسهیل کند. [۷] بر این اساس تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در فعالیت هوانوردی در جهت ارائه الگوی مناسب بر کارکرد اینترنت اشیا در هوانوردی و اصلاح استانداردسازی آن در صنعت هوایی اصلی مهم بوده و ضرورت دارد توسط مدیران متخصص و هوشمند به‌کارگیری اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی با درایت و بصیرت به آن توجه شود. از آنجا که در مدیریت صنعت هواپیمایی ایران تاکنون الگوی مشخصی برای کاربرد اینترنت اشیا وجود نداشته؛ این تحقیق بر آن است تا «الگوی مطلوب کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران» را ارائه کند. به‌علاوه از آنجا که ارکان کلیدی در صنعت هوایی دانش و بینش مناسبی در ارتباط با کاربرد اینترنت اشیا در این صنعت ندارند، این پژوهش بر آن است تا با ارائه الگوی کاربرد اینترنت اشیا در صنعت هوایی ایران بینشی ارزشمند برای ارکان کلیدی این

اینترنت اشیا اکوسیستمی در حال تکامل است. [۱] اینترنت اشیا به‌عنوان یکی از روندهای اصلی شکل‌دهنده توسعه فناوری در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات در حال شکل‌گیری است و تغییر در کاربرد اینترنت به‌منظور برقراری ارتباط میان کاربران نهایی به سمت اینترنتی که برای برقراری ارتباط میان اشیای فیزیکی استفاده می‌شود تا خدمتی معین را ارائه کند، نیازمند نواندیشی در برخی از رویکردهای سنتی در زمینه مدیریت شبکه، رایانش و ارائه سرویس‌هاست. [۲] امروزه از اینترنت اشیا (IOT) معمولاً در صنایع مختلف از جمله صنعت هوایی استفاده می‌شود. [۳]

سیستم اینترنت اشیا توانایی تبدیل فرآیندهای سنتی قدیمی در فرودگاه و پرواز را به سمت قابلیت‌های خدمات مدرن دارند که باعث افزایش اعتماد مسافران و همچنین رضایت از دریافت خدمات با کیفیت بهتر توسط مسافران می‌شود. [۴] این فناوری‌های جدید منحصربه‌فرد هستند؛ چرا که با ارائه خدمات متفاوت نسبت به سیستم کلاسیک رفاه بیشتری را برای مشتریان رقم می‌زنند. [۵] از این‌رو کاربرد اینترنت اشیا به‌منظور مطالعه و درک رفتارهای ظریف به حمایت مؤثر و مدل‌سازی نیاز دارد. در بطن اینترنت اشیا، الگوهای اتصال انعطاف‌پذیر و تطبیقی بین اشیاء وجود دارد که به‌طور طبیعی می‌توانند با استفاده از اولویت‌های هماهنگی مبتنی بر کانال‌های ارتباطی، احتمال خرابی اتصالات، زمان اجرا و انتظار و همچنین مصرف منابع را مد نظر قرار دهد. به‌علاوه به‌کارگیری اینترنت اشیا با توجه به شدت و محدودیت بودجه و محاسبات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. [۶]

در اینترنت اشیا هم مانند هر فناوری جدید و محبوب دیگر جزئیات طراحی مهم است که باید اصلاح شوند و این جزئیات عبارتند از: استانداردسازی، زیرساخت‌ها، سخت‌افزارها، معماری، توسعه برنامه، عملکرد و امنیت؛ چرا که اگر استراتژی‌ها و استانداردهای ملی اینترنت اشیا به‌درستی طراحی و اجرا شوند، امکان استفاده از این فناوری را برای دستیابی به منافع اجتماعی و اقتصادی در هر کشور به‌شکل قابل توجهی افزایش می‌دهد. همواره با پیدایش فناوری‌های جدید به‌ویژه اینترنت اشیا و سایر فناوری‌های مرتبط با آن عدم اطمینانی درباره استفاده از آن‌ها در جامعه ایجاد می‌شود. در این میان در کنار رشد شرکت‌ها و سازمان‌های خصوصی در این حوزه، دولت و سازمان‌ها با تنظیم مقررات و تدوین استانداردها نقش بسیار کلیدی در پذیرش و بهبود سطوح اعتماد جامعه ایفا می‌کنند [۱]. این فرآیندها با پیوند دادن دستگاه‌های هوشمند، روش‌ها و روند اقدامات، مراحل نهایی محل اقامت، شرکت‌های هواپیمایی و مسافرتی جایگزین را اصلاح می‌کند. با بهره‌گیری از فناوری اینترنت اشیا تجارت مسافرتی توانایی عملکرد بهتر و تجربه بازدیدکننده سفارشی را درک می‌کند. [۷] البته می‌بایست در نظر داشت، بسیاری از کشورها سال‌ها قبل به این نتیجه رسیده‌اند که در آینده اینترنت اشیا به یکی از مهمترین اولویت‌های دولت‌ها بدل خواهد شد و بر این اساس اقدام به تدوین استراتژی‌ها و استانداردهای ملی در راستای

حوزه ایجاد کند. بر این اساس پرسش اصلی تحقیق به ترتیب زیر مطرح می شود:

الگوی مطلوب کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران کدام است؟

۲- مروری بر مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این راستا بوهاليس (۲۰۰۴) [۸] در تحقیقی با عنوان «خطوط هوایی الکترونیک: کاربرد راهبردی و تاکتیکی ICT در صنعت هواپیمایی» مطرح می کند که فناوری اطلاعات و ارتباطات تمام دنیای کسب و کار را متحول کرده است. به طور خاص صنعت هواپیمایی برای مدیریت فنی و استرژیک خود وابستگی خاصی به فناوری پیدا کرده است. خطوط هوایی در مقایسه با بسیاری از دیگر کسب و کارهای مسافرتی و گردشگری از اولین پذیرندگان ICT بوده و تاریخچه طولانی از نوآوری فناوریانه دارد. این تلاش نشان می دهد که ICT برای مدیریت راهبردی و فنی خطوط هوایی حیاتی خواهد بود و مستقیماً آینده رقابتی خطوط هوایی را تحت تأثیر قرار می دهد. آترو (۲۰۰۶) [۹] در تحقیقی با عنوان «انتخاب های شرکت های هواپیمایی برای آینده» به قراردادهای و مسائل حقوقی و قانون گذاری در آینده صنعت هوایی پرداخته اند. لی (۲۰۱۵) [۱۰] در تحقیقی با عنوان «اینترنت: کانال فروش در صنعت هواپیمایی» مطرح می کند، کاربرد اینترنت اشیا در کانال فروش خطوط هوایی موجب کم شدن دست واسطه ها و کاهش قیمت تمام شده و نهایتاً قیمت مناسب تر بلیت برای مشتریان خواهد بود. همچنین گارتنر (۲۰۱۴) استفاده از فناوری اینترنت اشیا را عاملی مؤثر در کاهش هزینه ها مطرح کرده و معتقد است با کاربرد اینترنت اشیا خدمات و محصولات با قیمت مناسب تر به دست مصرف کننده می رسد.

کاسادیا و همکاران (۲۰۱۶) [۱۱] هم مطرح می کنند که به نظر می رسد فناوری اطلاعات اثر بسزایی بر ایمنی، کارایی، قابلیت، ظرفیت، اثرات زیست محیطی و عملکرد مالی سیستم حمل و نقل هوایی و اجزای آن داشته باشد. القادری و سکاران (۲۰۱۶) [۱۲] در تحقیقی با عنوان «ساختار هوشمند فرودگاه با کمک اینترنت اشیا» مطرح می کند که نسخه آینده اینترنت این است که همه چیز به هم اتصال پیدا کنند؛ مانند اتصال شبکه های حمل و نقل، شبکه های ارتباطی و غیره. هر کدام از واحدها از طریق چارچوبی به شبکه متصل می شوند که این امکان را می دهد تا تمام کانال ها به سادگی به هم متصل باشند و با هم در ارتباط باشند که در نهایت باعث می شود تا سیستم حمل و نقل کارآمدتر باشد. این ساختار برای مسافران خدمات و محتوای شخصی سازی شده را فراهم می آورد و این اطمینان را می دهد که هر مسافری که وارد فرودگاه می شود، تجربه ای عالی با بالاترین حد رضایت را داشته باشند. لويس و همکاران (۲۰۱۶) [۱۳] هم در پژوهشی با عنوان «اینترنت موبایل فرودگاهی: یک نوآوری» مطرح می کند:

- بهره برداری از اینترنت موبایل جهت شناسایی فرودگاه های نوآور استفاده می شود.
- فرودگاه های نوآور درآمد تجاری بیشتری تولید می کنند.

- نوآوری فرودگاهی با موقعیت جغرافیایی بیشتر در ارتباط است تا اندازه فرودگاه.
 - فرودگاه های نوآور به شناسایی نمونه های موفق در ارائه خدمات موبایل فرودگاه کمک می کنند.
- هاشمی و فؤاد (۲۰۱۸) [۱۴] در تحقیقی با عنوان «تأثیر فناوری نوآورانه در صنعت حمل و نقل هوایی و در ترجیح های مشتریان» عنوان می کند که رابطه ای مثبت و معقول میان ترجیحات مشتریان با فناوری نوآورانه از لحاظ انتخاب شرکتی هواپیمایی وجود دارد.

سانترو و همکاران (۲۰۱۸) [۱۵] در تحقیقی با عنوان «اینترنت اشیا: ایجاد یک سیستم مدیریت دانش برای نوآوری باز و ظرفیت مدیریت دانش» مطرح کردند که فناوری های آشوبگر جدید در زمینه اینترنت اشیا (IoT) در حال تغییر شیوه ای هستند که در آن دانش در داخل سازمان ها مدیریت می شود و خواستار یک سیستم مدیریت دانش جدید، مبتکرانه و رویکردی باز برای پرورش جریان دانش می شود.

کابلی (۲۰۱۸) [۱۶] در تحقیقی مطرح می کند که هیچ حوزه ای باقی نمانده که تحت تأثیر اپلیکیشن ها و حضور اینترنت اشیا قرار نگرفته باشد. علی رغم شهرت تاریخی اینترنت اشیا در ایجاد نوآوری در بخش خود صنعت هواپیمایی به طور غیرمعمولی در استفاده از اینترنت اشیا برای پاسخ به نیازهای کسب و کار کند عمل کرده است. در حالی که به کارگیری این فناوری منجر به امنیت بیشتر و رضایت مصرف کنندگان می شود.

کایل سیمپسون (۲۰۱۸) [۱۷] در مقاله ای با عنوان «خطرات اینترنت درحوزه فعالیت خطوط هوایی» مطرح می کند که «امنیت، حفظ حریم خصوصی و پایداری» به عنوان ۳ اصل در پلت فرم IoT در صنعت هوایی مورد توجه هستند.

کورچاجینگ و همکاران (۲۰۱۹) [۱۸] در تحقیقی با عنوان «تولید ناب و کارآمد مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) در صنعت حمل و نقل هوایی» مطرح کردند که برای افزایش کیفیت و ایمنی محصولات حمل و نقل هوایی در این مقاله استفاده از تولید ناب و فناوری های اینترنت اشیا برای سیستم های تولید هواپیمای روسی و چینی پیشنهاد شده است. در نتیجه آشکار می شود که با توجه به توسعه سریع فناوری های اینترنتی لازم است آن را با فرآیند تولید ناب و یکپارچه سازی و تجزیه و تحلیل عملکرد آن همسو سازیم.

گومز و همکاران (۲۰۱۹) [۱۹] در تحقیقی با عنوان «یک رویکرد مهندسی سیستم در هواپیماهای بدون سرنشین U-Space: مفاهیم و چالش ها» مطرح کردند که در چند سال گذشته مفهوم مدیریت ترافیک بدون سرنشین (UTM) که در اتحاد ورشو در اروپا به عنوان U-Space تصویب شده، باعث شده که پروژه های تحقیق و توسعه بی شماری در مورد فناوری ها و رویه های جدید ایجاد شود تا پروازهای از راه دور هواپیماهای بدون سرنشین (RPAS) کنترل شود و مباحثی مانند ارتفاع مناسب ضمن رعایت ایمنی سایر کاربران فضای هوایی مد نظر قرار گیرد. این امر به عنوان زمینه ای جدید در صنعت هوایی می تواند به عنوان مجموعه ای از خدمات نوآورانه مبتنی بر آخرین فناوری ها مانند هوش مصنوعی یا

اینترنت اشیا تعریف شود و بدین ترتیب دامنه جدیدی از برنامه‌ها را باز کند. این زمینه تحقیقاتی در حال ظهور به منظور طراحی یک فضای امن و کارآمد نیاز به رویکردهای مختلف دارد.

سیوارنجان (۲۰۱۹) [۲۰] در تحقیقی با عنوان «سیستم پارکینگ هوشمند مبتنی بر Iot در فرودگاه» مطرح کردند که گسترش فناوری راه را برای نوع جدیدی از دستگاه‌هایی که می‌توانند با سایر دستگاه‌ها ارتباط برقرار کنند، هموار می‌سازد تا بیشتر از طریق ارتباطات بی‌سیم عملیات انجام شود. ارتباط بی‌سیم دستگاه‌های جاسازی شده در یک لینک واحد از طریق اینترنت با نام (اینترنت اشیا) به یکدیگر منتقل می‌شوند. اگر همه اشیا و افراد در زندگی روزمره مجهز به شناسه بودند، کامپیوترها می‌توانستند آنها را مدیریت و راهبری کنند. سیستم پارکینگ فرودگاهی مبتنی بر Iot برای اجرای محیط Arduino به عنوان برنامه Iot در اینجا بحث شده است.

لاتو و همکاران (۲۰۲۰) [۲۱] در تحقیقی با عنوان «چشم انداز اینترنت اشیا (IoT) برای درک سقوط هواپیمای بوئینگ ۷۳۷ MAX» مطرح کردند که در این پژوهش ابتدا ۲ سانه سقوط هواپیما شرح داده و گزارش خلاصه‌ای ارائه شده است. سپس علل احتمالی سقوط از طریق طراحی سیستم محافظت و سایر جنبه‌ها از جمله صدور گواهینامه قابلیت پرواز، مدیریت هواپیما و پشتیبانی آن تجزیه و تحلیل می‌شود. به‌ویژه خرابی‌ها از دیدگاه اینترنت اشیا (IoT) تجزیه و تحلیل می‌شود و توصیه‌های قابلیت اطمینان سیستم ارائه می‌شوند. سرانجام مباحث مربوط به تعادل و ادغام بین سیستم‌های اینترنت اشیا و انسان‌ها بر اساس نتایج تحقیقات متعدد می‌شود.

۳- روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق از نوع تحقیقات کاربردی است. به لحاظ روش تحقیق کیفی از نوع اکتشافی است که با روش تحلیل مضمون و

تعیین الگو با ۳ مرحله کدگذاری (مصادق، تم فرعی و اصلی) با نرم‌افزار maxqda2020 انجام شده است.

تحلیل مضمون روشی برای شناخت، تحلیل و گزارش الگوهای موجود در داده‌های کیفی است که کاربرد گسترده‌ای دارد. این روش فرآیندی برای تحلیل داده‌های متنی است و داده‌های پراکنده و متنوع را به داده‌های غنی و تفصیلی تبدیل می‌کند. [۲۲] جامعه آماری این تحقیق خبرگان و مدیرانی هستند که در زمینه صنعت هوایی و اینترنت اشیا در این صنعت صاحب نظر بوده‌اند. نمونه با روش هدفمند قضاوتی انتخاب شدند و تا رسیدن به حد اشباع نظری مصاحبه ادامه یافته است. این مهم در ۱۸ مصاحبه حاصل شده و جهت روایی پژوهش از مثلث‌سازی منابع داده‌ها، بازبینی توسط همکاران و بررسی توسط مشارکت‌کنندگان استفاده شده است. برای بررسی پایایی تحقیق از روش پایایی بازآزمون و روش پایایی توافق بین ۲ کدگذار استفاده شده است.

۴- یافته‌های پژوهش

بر اساس نتایج کدگذاری با نرم‌افزار maxqda2020 جداول مربوطه استخراج شد که شامل محور، تم اصلی و تم فرعی هستند. در جدول (۱) کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط به عوامل سازمانی مؤثر در کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی را نشان می‌دهد.

در نگاره (۲) خروجی نرم‌افزار MAXQDA2020 جهت شناسایی عوامل سازمانی مؤثر کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی نشان داده شده است.

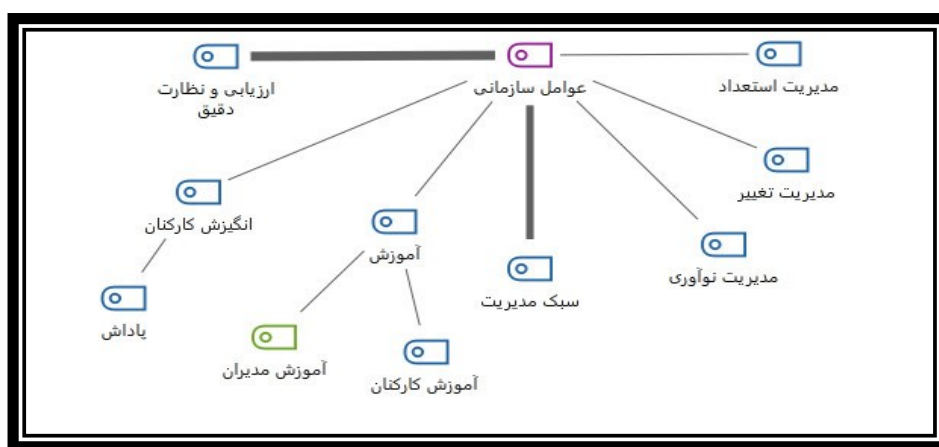
کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط به ارکان کلیدی کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۱): کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط به عوامل سازمانی مؤثر کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی

محور	تم اصلی	تم فرعی
عوامل سازمانی	مدیریت استعداد	در برنامه کوتاه مدت می‌بایستی تلاش کنیم از نیروهای جوان و مستعدمان در جهت پیشرفت در زمینه هواپیمایی و الکترونیک استفاده کنیم.
	مدیریت تغییر	ما باید سعی کنیم نیاز و وابستگی خود را از کشورهای خارج کم‌رنگ کنیم و با استفاده از توانمندی متخصصان کشورمان به دستاوردهای مطلوبی دست یابیم.
	مدیریت تغییر	عدم مقاومت در برابر تغییر با توجه به فرهنگ‌ها، نیروی انسانی، افراد، ارزش‌ها و حمایت باعث تغییرات توسط افراد و نیازمندی آن‌ها برای تغییر موفقیت‌آمیز خواهد بود.
	مدیریت تغییر	در بحث مدیریت تغییر و نوآوری تغییراتی که نیاز است در مباحث اینترنت اشیا صورت گیرد را در روش خود اعمال کنیم؛ چه در بحث سازمانی و چه در بحث فناورانه.
	مدیریت نوآوری	مدیریت تغییر در ایران صفر است؛ چرا که از یک سو نه مدیر به کارشناس اطمینان دارد و از سوی دیگر انتخاب بسیاری از مدیران بر اساس لیاقت، شعور و شایستگی در نظر گرفته نشده که کارشناسان را بفهمند و از دانش و نظرات آنها استفاده کنند.
	مدیریت نوآوری	موضوع دوم چین، کره و ژاپن که در سطر اول هستند، مانند کره که حدود ۴۰ سال پیش با ما شروع کرد و در حال حاضر کشوری پیشرو شده است و سعی دارد خود را همپای با جهان اول کند؛ در حالی که ما در اول مسیر هستیم که قادر به تولید CHEEP یا ترانزیستور نیستیم.
	مدیریت نوآوری	کشورهای پیشرفته توانسته‌اند نوآوری را در سازمان‌هایشان نهادینه و مدیریت کنند.
	مدیریت نوآوری	مشکل اساسی ما در درجه اول آگاهی نداشتن مدیریت است.
	مدیریت نوآوری	در صنعت هوایی مدیریت در رأس امور است و بر اساس مدیریت می‌توان زمان و ایمنی را هم مدیریت کرد.
	مدیریت نوآوری	در حال حاضر که مسئله IOT مطرح شده می‌بایست مدیران صنعت آگاهی علمی خود را در این زمینه فراتر ببرند.

اداره جدول (۱): کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط به عوامل سازمانی مؤثر کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی

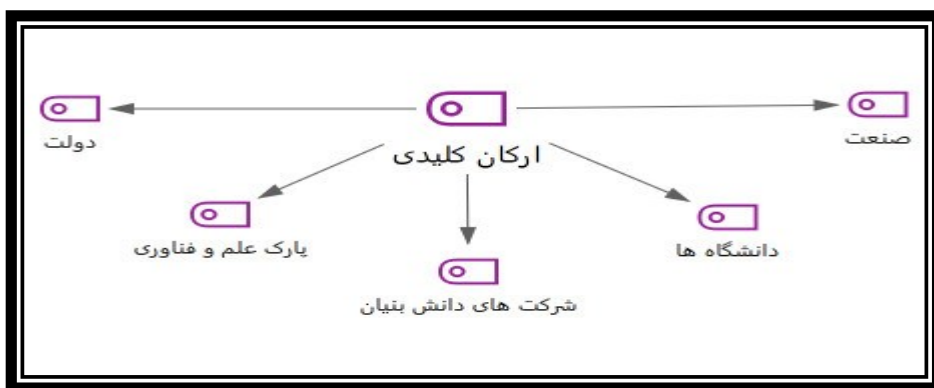
محور	تم اصلی	تم فرعی
عوامل سازمانی	آموزش	چون این سیستم تازه وارد شده، لازم است که آموزش اجباری برای این سیستم گذاشته شود.
		تا کنون در خصوص آموزش این سیستم کم کاری شده است
		می بایستی دوره های آموزشی خاصی برای مدیران عالی، مدیران میانی و کارشناسان مسئول برگزار شود.
	انگیزش کارکنان	می بایستی یک سری امتیازات را به عنوان تشویق سرلوحه قرار داد.
		کارکنان برای پروژ ایده ها و نوآوری نیاز به انگیزه دارند که مدیر موظف است این انگیزه را به عناوین مختلف ایجاد کند.
		بعد از مدتی اجباری شود و باید برای یادگیری به عناوین و روش های مختلف تشویق صورت پذیرد.
ارزیابی و نظارت دقیق		اگر مشکلی برای هواپیما در پرواز ایجاد شود، در سیستم های جدید تمام عیب یابی هواپیمای مربوطه بر اساس اینترنت انجام می شود.
		سرعت عمل می دهد و جلوی فساد و دزدی را می گیرد.
		یعنی عیب یابی از هواپیما از عهده انسان خارج شده و به دستگاه های خودکار سپرده می شود.
		در صنعت هوایی استفاده از اینترنت اشیا جهت بهبود و کنترل شرایط بسیار پیشرفت کرده و در حال توسعه است.



نگاره (۲) عوامل سازمانی مؤثر کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی خروجی نرم افزار MAXQDA2020

جدول (۲): کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط به ارکان کلیدی مؤثر در کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی

محور	تم اصلی	تم فرعی
صنعت		حداقل بتوانیم در دانشگاه هایمان این پروسه را انجام دهیم که متأسفانه با توجه به شواهد موجود در دانشگاه هایمان آنطور که باید و شاید اقدام و آگاهی های لازم صورت نگرفته؛ ولی به نظر می رسد باید یک سازمان یا ارگان مرتبطی متولی و بانی این کار باشد.
		صنعت می تواند دنبال این قضیه را بگیرد و بتواند اهمیت آن را رواج دهد.
		برقراری ارتباط بین صنعت و محیط دانشگاهی شاید خیلی از نیازهای ما را تحقیقات دانشگاهی بتواند برطرف کند.
دانشگاه		دانشگاه شهید ستاری الان بخشی دارد که پیشتر آن را نداشتیم.
		اقدامی که دانشگاه شهید ستاری انجام داده و یک دانشکده پهبادی را افتتاح کرده است.
		خیلی از دانشگاه های مرتبط با صنعت مثل کشتیرانی، نفت و خیلی حوزه های دیگر که می شود ارتباط تنگاتنگی در این زمینه ها ایجاد کرد.
شرکت های دانش بنیان		موضوع اینترنت اشیا امروزه سوژه بسیاری از شرکت های دانش بنیانی شده که متشکل از نخبه های مملکت هستند. در جایی که در این مملکت به دست دانش بنیان ها بیفتد، از لحاظ سرعت پیشرفت در سطح عالی قرار می گیرد.
		راهکار و پیشنهادی که می توان داد، این است که بگذارید محیط صنعت تحت مطالعه شرکت های دانش بنیان باشد. در این صورت به عنوان یک پروژه وحدت دیتا در سطح صنعت ها مطرح می شود.
		دولت باید در زمینه هایی برای توسعه اینترنت اشیا در کشور ورود پیدا کند.
دولت		بزرگ ترین موانع و چالش های سرمایه گذاری و ایجاد مدل درآمدزایی در راه توسعه اینترنت اشیا در کشور است.
		در واقع اگر دولت آن را به مجوزها و کاغذ بازی ها وصل نکند، فناوری به سرعت پیشرفت خواهد کرد.
		مثل آب خوردن الان همان پیچ فرودگاه یک پارک فناوری است.
پارک های علم و فناوری		در متروی شریف یک پارک فناوری وجود دارد که اکثریت جوانان نخبه هستند و می توانند محیط را برایتان آنالیز کنند.



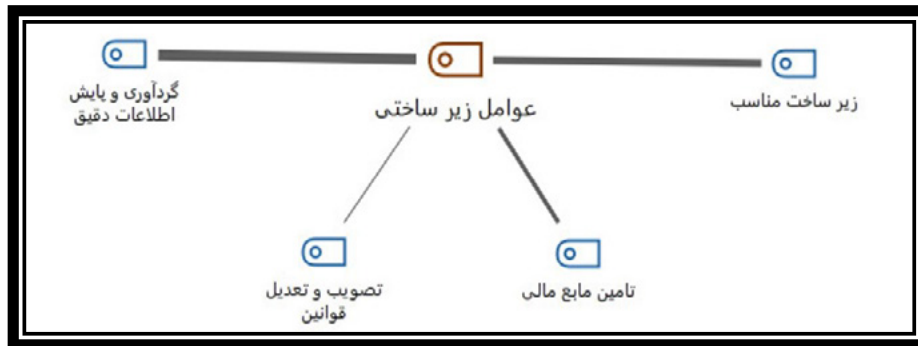
نگاره (۳): ارکان کلیدی مؤثر کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی نرم افزار MAXQDA2020

جدول (۳): کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط به عوامل زیرساختی مؤثر کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور)

محور	تم اصلی	تم فرعی
عوامل زیرساختی	زیرساخت مناسب	تا حدی پیش رفتیم، ولی کامل نکردیم؛ برای اینکه زیرساخت ها را نداریم. پرواز شب آموزشی نداریم که باید داشته باشیم و نمی توانیم این ها را انجام دهیم. پس بنابراین می بینید که هر جا بخواهید قدم بگذارید، دوباره با محدودیت زیرساختی و محدودیت های دیگر مواجه می شوید. اگر شبکه اینترنت ضعیف به علت عدم ارتباط نتواند پوشش دهد، از این نعمت بهره ای نمی توانید ببرید.
	گردآوری و پایش اطلاعات دقیق	سایت های ویژه خلبانان جهت اطلاع از ساعت های پرواز و کلیه اطلاعات مربوطه بانک اطلاعاتی در این سیستم هنرش این است که اطلاعاتی که از سیستم رزرواسیون برای پرواز می گیرد را آنالیز می کنند. به سیستم پایش مرکزی نیاز داریم که بتواند به آن حسگرها و در واقع همه سنسورها اطلاعات به جا و به هنگام را برساند.
	تأمین مالی	در قسمت های صنعتی از ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیون بالاتر می رود. مثلاً در سال ۸۳ که دلار ۱۰۰۰ تومن بود، سی پی یویی را با هزینه ۵ تا ۱۰ میلیون تومان برای کارهای کوچک می توانستیم تهیه کنیم. در خاطر هست که در آن زمان مازول از اس ۲۰۰۷ در حدود ۱۰ تا ۱۵ میلیون تومان بود که دارای مازول های کوچک دیگری بود و دارای مازول های ورودی و خروجی، مازول های شبکه و سوئیچ های شبکه بود. به طبع اینها هزینه ها را بالا می برد. آیا ما از ماهواره های آنها هم استفاده می کردیم.
	تصویب و تعدیل قوانین	ایرلاین یک هواپیمای یک میلیون دلاری می آورد با ۵۰ سال سن. آن یکی ۴۰۰ هزار تومان؛ چرا ۴۰۰ هزار تومان؟ چون هواپیمای خوب داریم که نو تر است. در ایران هواپیمایی کشوری بخشنامه ای داده مبنی بر منع اجازه ورود هر گونه حیوان زنده ای به داخل هواپیما برای گرفتن مجوز حمل حیوان زنده حداقل ها و موانعی وجود دارد. با حقیقت سروکار داشته باشد، یعنی لاپوشانی و یا دخالت غلط در اطلاعاتش رخ ندهد. دیتاهایی که ارسال می شود، نشان می دهد این بار سوار هواپیما شده و همین اتفاق در مقصد می افتد که کاملاً قابل رصد می شود.
گردآوری و پایش اطلاعات		ایرلاین ها حسب سیاست بازرگانی خودشان بتوانند چند ساعت قبل از پرواز هنوز پرواز را برای فروش باز بگذارند که بتوانند از طریق سیستم رزرواسیون بلیطش فروخته شود. اما از یک حدی که به پرواز نزدیک تر می شود، سیستم بسته می شود و دیگر اطلاعات برای فرودگاه ارسال می شود. DCS هنرش این است که اطلاعاتی که از سیستم رزرواسیون برای پرواز می گیرد را آنالیز می کنند که ببینند اطلاعات این فرد در سیستم رزرواسیون بوده یا خیر؟ وقتی اطلاعات زمان و مکان درست داشته باشید، احتمال خطای شما خیلی کمتر می شود.

در جدول (۴) کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط به عوامل محیطی مؤثر کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی کدها نشان داده شده است.

در نگاره (۴) خروجی نرم افزار MAXQDA2020 جهت شناسایی عوامل زیرساختی مؤثر کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) نشان داده شده است:



نگاره (۴): شناسایی عوامل زیرساختی مؤثر کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) خروجی نرم افزار MAXQDA2020

جدول (۴) کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط عوامل محیطی مؤثر در کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی کدها

محور	تم اصلی	تم فرعی
عوامل محیطی	بومی سازی	متأسفانه در دانشگاهایمان آنطور که باید و شاید آگاهی صورت نگرفته؛ ولی به نظر باید یک سازمان متولی بتواند بانی این کار باشد و بومی سازی فناوری را در صنعت هوایی تقبل کند.
		برای اینکه این را کاهش بدهیم، باید اینترنت ملی را ایجاد کنیم و زمانی می توانیم با استفاده از اینترنت این کار را پوشش دهیم که بتوانیم ماهواره بومی از خودمان داشته باشیم؛ در غیر این صورت همچنان وابستگی ما ادامه خواهد داشت.
		دانشگاهی که در این زمینه علمی فعال باشد، وجود ندارد. از این رو اگر دانشگاهی هم باشد، فراملی است و به همین منظور در زمینه آموزش با چالش روبه رو هستیم.
	کسب دانش روز	اینترنت خودش می تواند جهان را به روی همه نشان دهد که بنگرند که چقدر در زمینه های اطلاعاتی و معلوماتی عقب و در سطح فراتر باید پیش بروند.
		خیلی از دستگاه ها را می توانیم خریداری کنیم؛ اما به دلیل عدم آموزش و تجربه راه و روش استفاده از آن را نمی دانیم.
	تجاری سازی	عدم آموزش های جدید و ضروری به دلیل تحریم
		عدم توجه به مسئله مهم که بحث تجاری سازی است و قابل اجرا در دانشگاه ها و پارک های فناوری است؛ به شرط مد نظر گرفتن مسئله تجاری سازی
		تجاری سازی تحقیقات دانشگاهی امر مهمی است که باید در کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی مد نظر قرار بگیرد.
	پیوستن به اکوسیستم جهانی	موضوعی که در ایکائو مطرح شده، این است که عموم باید از همه اطلاعات با خبر و خود کشورها باید در ارائه اطلاعات پیش قدم باشند. به عنوان مثال اگر هواپیمایی از باند خارج شد، باید اطلاعاتش را به ایکائو بدهیم.
		وقتی که این اتفاق می افتد، باعث می شود مدیریت هوانوردی ما بهتر انجام شود؛ یعنی سیستمی یکپارچه و هماهنگ داشته باشیم.
		اگر بخواهیم به این منوال ادامه دهیم، همانند کره شمالی در استفاده از اینترنت محروم خواهیم شد و اگر قرار است که همسان کشورهای دیگر پیش رویم و با آنها تعامل داشته باشیم، ۱۰۰ درصد نیاز مبرم داریم. همان طور که شاید خودمان سازنده نباشیم، اما مصرف کننده باشیم. ولی اگر به همین منوال پیش رویم، فکر می کنم که اینترنت را هم قطع کنیم و IOT برای ما غیرمتصور و تمسخرآمیز باشد.

ادامه جدول (۴) کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط عوامل محیطی مؤثر در کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی کدها

محور	تم اصلی	تم فرعی
عوامل محیطی	انتقال فناوری	در زمینه الکترونیک استفاده از اینترنت، به روز بودن از طریق ارتباط گیری با خارج از کشور است.
		یکی از محدودیت ها و مشکلاتی که در بحث اینترنت اشیا داریم، این است که یکپارچگی تحت الشعاع قرار گرفته و از یکپارچه بودن می افتد. در این صورت دیگر نمی توان برای این سیستم نام اینترنت اشیا را برگزید.
		ایران در این زمینه پیشرو بوده، ولی فناوری ساختش را نداریم. نمی شود گفت: به دلیل تحریم ها چپ روی قیمت دلار تأثیر دارد.
		در سایر کشورها چه اندازه می توانیم در بحث اقتصادی و فناوری پیش برویم؟
		ببینید باید ابتدا فرهنگ سازی شود و در کنارش هم تبلیغ انجام شود.
		با استفاده از رسانه ها نیاز میان مخاطبان را ایجاد می کند که می بایستی اقدامات لازم برای فرهنگ سازی در این باره انجام شود.
	فرهنگ سازی	عدم پرداختن به موضوع فرهنگ سازی و اعتماد سازی در دستگاه ها در صورتی که تأثیر بسزایی در بالا بردن سرعت و دقت کار دارد.
		افراد پرواز خود را می توانند با فرهنگ سازی درست انجام دهند و این فرهنگ هم باید باشد که مسافری با تگ های قبلی چمدانشان را تحویل ندهند.
		با ورود اینترنت به ایران تصور نمی کردند که مردم نسبت به این موضوع آگاهی داشته باشند. در سال ۱۳۷۰ در دانشگاه ها امکانات استفاده از اینترنت را فقط در حد ایمیل می دانستند.
	تبلیغات رسانه ای	تبلیغ انجام شود که این تبلیغ می تواند از طریق رسانه ها باشد.
		شبکه های اجتماعی نه بد است و نه خوب؛ ولی شما نمی توانی دقیقه به دقیقه دست باشد، ببینی این چه گفت و آن چه؟
		در بحث فناوری می بایستی فرهنگ سازی کنیم و به همین منظور سراغ رسانه ها می بایستی برویم.
کنترل و ارزیابی	کنترل و ارزیابی	چون ترکیه با آن ها قرارداد دارد و از خلبانان آن ها استفاده می کند، این باعث می شود که نیاز نباشد باری دیگر برای معاینه پزشکی به ایران بیاید.
		از لحاظ پرواز کاری که فرودگاه امام انجام می دهد، این است که اینترنت اشیا را به سطوح پروازی مثل پارکینگ ورود داده که تمام ورود و خروج ها را کنترل می کند.
		وقتی که اینترنت اشیا به CCTV وصل بشود، برای نظارت بر تردد، رفت و آمد ماشین ها، امداد رسانی و نحوه ارائه خدمات استفاده می شود.
		نیروهای حراست وابسته به نیروهای انتظامی به تازگی مجهز به دوربین شده و تصاویر را ثبت می کنند که از جنبه کنترلی مأموران هم می توان به این موضوع توجه کرد.
		در قدیم دستکاری می شده؛ حالا نمی شود. برای اینکه همه چیز در داخل کامپیوتر هست. چون با آن سیستم دارد چک می شود.
		هر چه سیستم نظارت بیشتر باشد، امنیت هم بیشتر می شود. امنیت جان انسان ها روز به روز با پیشرفت فناوری فقط و فقط به منظور حفاظت از بیت المال و جان انسان ها بیشتر می شود.

۱۷۰

شماره ۲۱

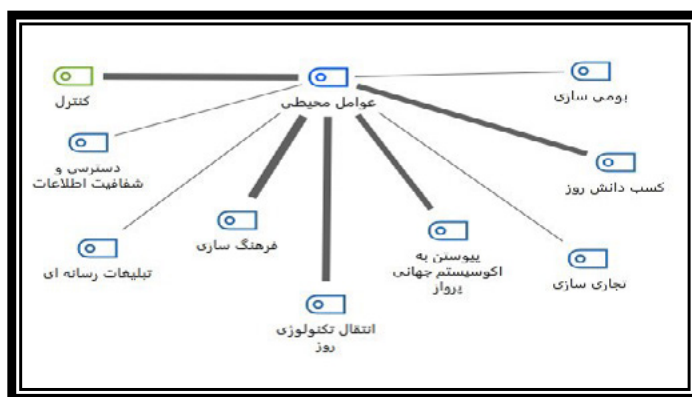
بهار و تابستان
۱۴۰۱

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرین

در جدول (۵) کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط به شناسایی پیامدها در کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی نشان داده شده است.

در نگاره (۵) خروجی نرم افزار MAXQDA2020 جهت شناسایی عوامل مؤثر محیطی در کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی نشان داده شده است.



نگاره (۵): شناسایی عوامل مؤثر محیطی در کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی خروجی نرم افزار MAXQDA2020

هواپیما سازی کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی / امید علی مسعودی

جدول (۵): کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط به شناسایی پیامدهای کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی

محور	تم اصلی	تم فرعی
پیامدهای سازمانی	بهبود عملکرد	اگر مدیران بتوانند در صنعت از اینترنت اشیا استفاده بهینه کنند، مسلماً مدیران موفق‌تری نسبت به کسانی که استفاده کمتری از این امکانات می‌برند، شاهد خواهیم بود.
	افزایش کارایی و بهره‌وری	کاربرد اینترنت اشیا در صنعت هوایی موجب بهبود عملکرد و رضایت مشتریان می‌شود.. مسافرو پذیرش مسافرا را در اسرع وقت انجام می‌دهد و بهره‌وری حداکثری حاصل می‌شود.
	صرفه جویی در منابع	خلی افیشنسی را بالا می‌برد. با رعایت کردن بعضی موارد در زمان صرفه جویی می‌شود، مثل مصرف بنزین، حفاظت و حراست از بیت‌المال و جان انسان‌ها که مؤثر است.
	رفاه	در بحث اتلاف انرژی و مدیریت انرژی فرودگاه‌ها که با وجود اینترنت اشیا موجب صرفه جویی در منابع می‌شود. با استفاده از IP دستگاه سنجشی برای سامانه‌ای تعریف کنید. سامانه مدیریت انرژی که سیستم سرمایش و گرمایش بخشی از آن باشد.
	افزایش رضایت مشتریان	بدین واسطه در همان جا معاینه می‌شود. اگر این گونه نباشد، باعث می‌شود که خلبان دچار خستگی شده و اثر منفی روی پرواز خواهد گذاشت. اینترنت اشیا در صنعت هوایی می‌تواند ضامن سلامتی، رفاه کارکنان و مشتریان باشد. کشورهایی که از این فناوری بهره بیشتری برده‌اند، سطح رضایت‌مندی آن‌ها خیلی بالاست.
	افزایش اعتبار و کیفیت	در حال حاضر نارضایتی وقتی به وجود می‌آید که کاربر احساس عقب افتادگی کند، چون برخی چیزها را نیاز داریم که از یک پله جلو می‌بینیم. این‌ها باعث می‌شوند که گواهینامه‌های پرواز از همه لحاظ معتبرتر شوند. خلبان با استفاده از این فناوری می‌تواند تمام موارد، علائم خطر و موارد عادی را شناسایی کند و با توجه به شرایط موجود بهترین تصمیم را در کوتاه‌ترین زمان برای پرواز اتخاذ کند.
	صرفه جویی در زمان	حتی امروزه می‌توانند با بهیاد مثلاً از پرنده‌ای مانند عقاب که در کوه بلندی لانه دارد، عکس بگیرند؛ در صورتی که یک انسان هیچ وقت نمی‌تواند این کار را انجام دهد. این فناوری سریع و با دقت عمل می‌کند. شما باید احساس نیاز کنید تا بردارد بیاورد. وقتی تعداد بار و مسافر بالا رفت، ناخواسته دنبال راهکاری می‌روید که بار را چه کار کنید. ضریب خطا را با استفاده از اینترنت اشیا پایین بیاورید دخالت انسان در آن کمتر شود و با توجه به این نکته قطعاً ضریب خطای آن پایین‌تر است.
	افزایش رضایت	استفاده از اینترنت اشیا در موارد متفاوت به یک شرط برمی‌گردد و آن اینکه در زمان صرفه جویی شود. صرفه جویی در زمان به معنای کم استفاده کردن نیست، بلکه به معنای استفاده بهینه از زمان است. بحث زمان و صرفه جویی در هزینه‌ها می‌تواند به ما کمک کند.
	افزایش ایمنی	کار با اینترنت اشیا را به خوبی انجام می‌دهند و در تعامل با مسافران خیلی حرفه‌ای رفتار می‌کنند. در غیر این صورت باید در هر فرودگاهی که پیاده می‌شدیم، بار را تحویل گرفته و مجدداً تحویل فرودگاه بعدی می‌دادیم. در حال حاضر به راحتی و با آرامش خاطر این عملیات انجام می‌شود.
	عدم اشتباهات ناشی از خطای انسانی	هر جایی که مشتری احساس رضایت بکند، یعنی کیفیت کار آن بالاست. کاربرد اینترنت اشیا در صنعت هوایی باعث می‌شود، یک سیستم امنیتی هم روی آن نظارت داشته باشد. موقعی هست که راجع به یک سری از اتفاقات می‌گویید که اگر یک همچین زیرساختی داشته باشیم، برای من چه خلبان‌ها هم باید کارشان و استراحتشان به موقع باشد؛ در غیر این صورت اگر خللی در یکی از آن‌ها ایجاد شود، مشکلات بعدی را به همراه خواهد داشت.
	جلوگیری از فساد اداری	IOT کمک می‌کند که از خیلی از اشتباهات انسانی جلوگیری شود. با توجه به اینکه انسان حافظه محدود دارد، جایز الخطاست؛ یعنی ممکن است دچار خستگی شود، و تصمیم‌گیری او در مواقع خستگی به‌ویژه در زمان خواب‌آلودگی درست نباشد.
	ارائه خدمات مطابق با سلیقه مشتری	اگر در همین کشور فرض کنید، فساد اداری و فساد اقتصادی بسیار زیادی وجود دارد؛ در صورتی که نیاز ایجاد شود، به این سمت حرکت خواهیم کرد. در کشور ما چون تقلب‌ها و سند‌های جعلی زیادی دیده شده، برای همین مقامات مجبور می‌شوند در بعضی موارد کنکاش کنند. از این‌رو استفاده از اینترنت اشیا این قبیل فسادها را به حداقل می‌رساند.
		سابق بر این مسافران نمی‌توانستند از قبل از شماره صندلی‌شان، غذایشان یا آب و هوای مقصدشان خبر داشته باشند؛ ولی امروزه با اینترنت اشیا می‌توانیم از طریق موبایل به همه این‌ها دسترسی پیدا کنیم.

ادامه جدول (۵): کدها (تم فرعی، تم اصلی و محور) مربوط به شناسایی پیامدهای کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی

محور	تم اصلی	تم فرعی
پیامدهای محیطی	پیش بینی شرایط آب و هوایی	مثلاً در جایی که دسترسی انسان به آن غیرممکن است، پهپاد می تواند در آن جا ورود کند، البته در بعضی موارد هم باید شرایطی مانند آب و هوا سنجیده شود.
	پیش بینی شرایط آب و هوایی از ملزومات صنعت هوایی است که استقرار اینترنت اشیا یقیناً دقت این پیش بینی را بهبود خواهد داد.	
	پیش بینی و تشخیص فشار هوا	مشکلی که توایران داریم، این است که سازمان هواشناسی جهانی سوپر کامپیوتری دارد که کشورهای عضو اطلاعاتشان را به این سازمان می دهند که قابلیت پیش بینی و تشخیص فشار هوا را دارد.
	نظارت دقیق	در جهت جابجایی مسافر، تجهیزات و اقلام هواپیماهای سنگین تر یا سبک تر از هوا می توان ارزش استفاده کرد. علتش این است که خودش می توانسته انجام دهد، ولی حراست ما حداقل اجازه نمی دهد. هواپیمایی کشوری از ما می خواهد که فردی باشد و نظارت کند.
	امنیت	کاربرد اینترنت اشیا موجب نظارت دقیق در تمامی مراحل و فرآیندها در صنعت هوایی می شود.
		یکی از مواردی که در اینترنت اشیا به آن موضوع می پردازد، مربوط به استفاده از دوربین های مدار بسته پیشرفته است که موجب اعتماد و امنیت بیشتر است.
		نرم افزار یا سخت افزاری که در آن استفاده می شود، کمک می کند زمان ورود و خروج و مراحل دقیق را ثبت کند. این مسئله در بالا بردن ضریب امنیتی خیلی مهم است.
		از لحاظ دوربینی این را در امنیت پرواز یا در جاهای دیگر هم داریم.
		هدف بهره برداری از اطلاعات به منظور جلوگیری از خطای مجدد است و این اطلاعات باید به طور مداوم و بدون کم و زیاد کردن اعلام شود؛ به دلیل اینکه درسی برای همه شده و از تکرار مجدد آن اجتناب شود.
		به این خاطر است که وقتی که این اتفاق می افتد باعث می شود، مدیریت هوانوردی ما بهتر انجام شود، یعنی سیستم یکپارچه و هماهنگی داشته باشیم.
پیامدهای ملی	بانک اطلاعات جامع	یک سری از اطلاعات را می توان به صورت رایگان و یک سری دیگر که دارای هزینه است را به دست آورد که معمولاً اکثر اطلاعات رایگان است.
		با جمع بندی اطلاعات زودتر می شود به نتیجه مطلوب تری دست یافت.
	افزایش قدرت سیاسی	در سیستم مراقبت پرواز، کنترل هوایی، هواپیماها و کنارش پدافندهای نظامی ما اگر سیستم راداری درستی نداشته باشد، نمی توانیم سیستم پدافندی داشته باشیم و به لحاظ قدرت سیاسی تهدید می شویم.
		اگر توانیم اطلاعات مربوط به ورود و خروج هوایی در مرزهایمان داشته باشیم، نمی توانیم از مرزهایمان دفاع کنیم.
		اگر نتوانیم از کشور دفاع کنیم، تمام زیرساخت هایمان به هم خورده و امنیتی نخواهیم داشت. اگر امنیت نباشد، نمی توانیم هیچ اقدامی داخل کشور انجام دهیم. در این مواقع اینترنت اشیا به دردمان می خورد.
		قبل از اینکه دشمن بخواهد به ما نزدیک شود، در فاصله ۱۵۰۰ کیلومتری می توانیم دشمن را شناسایی کنیم و از همان جا جلوی پیشرفت دشمن و پیشبرد اهدافش را می توانیم بگیریم. این افزایش مسافتی که پیش آمده، خیلی می تواند به ما کمک کند.
		در حال حاضر ماهواره های آمریکایی از بالای سرمان مناطق حساس ما را زیر نظر داشته و پایش می کنند. با استفاده از اتصال اینترنت به صورت آنلاین تمام حرکات و اطلاعات را کسب می کنند و نگران هزینه هایش نیستند. اما اطلاعاتی که به دستشان می رسد، برایشان بسیار حائز اهمیت و ارزشمند است.
	توانمندی نظامی	تعریفی که در حوزه صنعت نظامی کاربرد دارد، این است که در حوزه هواپیماهای بدون سرنشین تقریباً ۱۵-۱۰ سالی است که به این صنعت ورود پیدا کردیم.
		سپاه نظامی نظامی است. کشوری هستیم که مسلماً علم هوانوردی بسیار گسترده است. مسلماً در علم هوانوردی هم بحث نظامی و هم هوانوردی غیر نظامی را در نظر می گیریم.
		با توجه به تجربه کاری توانستیم در بخش نظامی با استفاده از سیستم کنترل از راه دور به اهداف و برنامه های مد نظر و مأموریت سازمان برسیم.

۱۷۲

شماره ۲۱

بهار و تابستان
۱۴۰۱

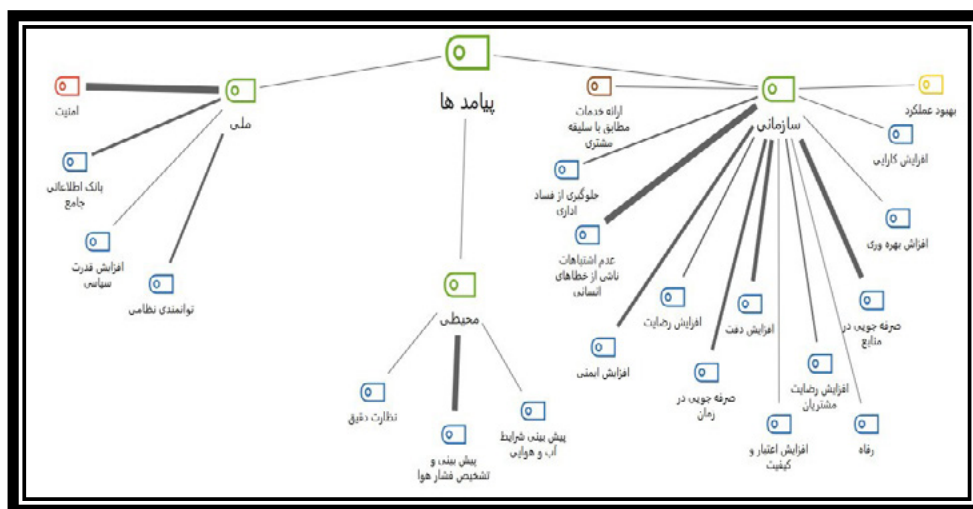
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



هوانوی ایرانی / امیدعلی مسعودی
الکوسازی کارپود اینمن و امن اینترنت اشیا در مدیریت صنعت

در این تحقیق الگوی کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران ارائه شد. براساس نتایج تحقیق ارکان کلیدی در این فرآیند مشتمل بر «صنعت، دولت، دانشگاه، پارک علم و فناوری و شرکت‌های دانش‌بنیان» است. به‌علاوه در این فرآیند عوامل سازمانی و زیرساختی مؤثر مشخص شد. همچنین پیامدهای کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران مشتمل بر «پیامدهای ملی، سازمانی و محیطی» مشخص شد. براین اساس مشخص شد که در فرآیند کاربرد اینترنت اشیا در صنعت هوایی ایران ارکان کلیدی مشتمل بر «صنعت، دانشگاه، شرکت‌های دانش‌بنیان، دولت و بارک‌های علم و فناوری» نقش آفرینی

در نگاره (۷) خروجی نرم افزار MAXQDA2020 جهت «ارائه کد محورهایی در الگوی کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی» نشان داده شده است.



۱۷۳

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

مدیریت بحران

هوایی ایران / امیدعلی مسعودی
الگوسازی کاربرد ایمن و امن!



نگاره (۷): کدهای محورهایی در الگوی کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی code cloud خروجی نرم افزار MAXQDA2020

می‌کنند که ارتباط چندجانبه و مناسب این ارکان می‌تواند بر موفقیت این فرآیند بیفزاید.

همچنین با توجه به نظر صاحب‌نظران و خبرگان این حوزه استقرار فناوری اینترنت اشیا در صنعت هوایی نیازمند عوامل زیرساختی است که بر اساس نتایج تحقیق مشتمل بر «زیرساخت مناسب، گردآوری و پایش اطلاعات دقیق، تأمین مالی، تصویب و تعدیل قوانین» است.

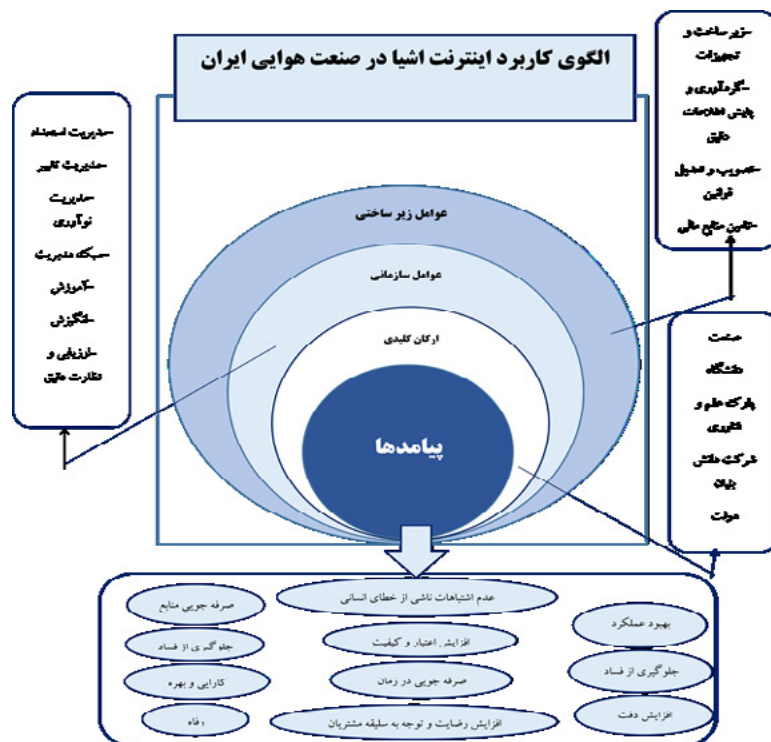
در این فرآیند دسته‌ای از عوامل محیطی هم تأثیرگذارند که مشتمل بر «بومی‌سازی، کسب دانش روز، تجاری‌سازی، پیوستن به اکوسیستم جهانی پرواز، انتقال فناوری، فرهنگ‌سازی، تبلیغات رسانه‌ای، دسترسی و شفافیت اطلاعات، کنترل و ارزیابی» است. برخی عوامل مؤثر هم وجود دارد که منحصراً مربوط به سازمان هوایمایی است که مشتمل بر «مدیریت استعداد، مدیریت تغییر، مدیریت نوآوری، سبک مدیریت، آموزش، انگیزش کارکنان، ارزیابی و نظارت دقیق» است.

در صورت کاربرد و استقرار این فناوری در صنعت هوایی پیامدهایی متصور است که مشتمل بر پیامدهای سازمانی یعنی «بهبود عملکرد، افزایش کارایی و بهره‌وری، صرفه‌جویی در منابع، رفاه، افزایش رضایت مشتریان، افزایش اعتبار و کیفیت، صرفه‌جویی در زمان، افزایش رضایت، افزایش ایمنی، عدم اشتباهات ناشی از خطای انسانی، جلوگیری از فساد اداری، ارائه خدمات مطابق با سلیقه مشتری»، پیامدهای محیطی شامل «پیش‌بینی شرایط آب‌وهوایی، پیش‌بینی و تشخیص فشار هوا و نظارت دقیق» و پیامدهای ملی شامل امنیت، بانک اطلاعات

جامع، افزایش قدرت سیاسی و توانمندی نظامی است. بر این اساس الگوی کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی در نگاره (۱۰) نشان داده شده است.

پی‌نوشت:

- 1-(IoT) Internet of Things
- 2-Kouicem
- 3- D Buhalis
- 4- Iatrou
- 5- InLee
- 6- Kothadiya
- 7- Alghadeir
- 8- Luis
- 9-network framework
- 10-Hashimi& Fuad
- 11- Santoro
- 12-Kyle Simpson
- 13- Kyle Simpson
- 14- Korchagin
- 15- Gómez
- 16- Sivaranjani
- 17- Luo
- 18-Data source triangulation
- 19-Peer debriefing
- 20 Member checking
- 21-Re-Test Reliability
- 22- Inter-Coder Reliability



نگاره (۱۰): الگوی کاربردی پژوهش

- 13- Abdullah Alghadeir, Hasan Al-Sakran (2016) Smart Airport Architecture Using Internet of Things, International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST) ISSN: 2347-5552, Volume-4, Issue-5, September 2016.
- 14- Luis Martin-Domingo, Juan Carlos Martín(2016) Airport mobile internet an innovation, Journal of Air Transport Management 55(2016)102-112
- 15- Mukhtar S. Al-Hashimi, Ahmed Fuad(2018) The Impact of Innovative Technology on the Aviation Industry and on Customers Preference, INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE RESEARCH & DEVELOPMENT
- 16- Gabriele Santoro , Demetris Vrontis, Alkis Thrassou , Luca Dezi(2018) The Internet of Things: Building a knowledge management system for open innovation and knowledge management capacity, Technological Forecasting & Social Chang
- 17- Kyle Simpson(2018) The Airline Industry's Internet of Things Risks,
- 18- Korchagin A., Deniskina A., Fateeva I.(2019) Lean and energy efficient production based on internet of things (IOT) in aviation industry, E3S Web of Conferences
- 19- Arnaldo Valdes R., Gómez Comendador V.F.(2019) Aviation 4.0: More safety through automation and digitization, WIT Transactions on the Built Environment.
- 20- Sivaranjani S., Kaarthik K.(2019) Iot based intelligent parking system at airport, International Journal of Recent Technology and Engineering.
- 21- Luo, P., Li, M., Li, Z.S(2020) An Internet of Things (IoT) Perspective of Understanding the Boeing 737 MAX Crash , 2020 Global Reliability and Prognostics and Health Management, PHM-Shanghai 2020, 9280967.
- ۲۲- حنی فرحسین، مسلمی ناهید. (۱۳۹۸). اصول و مبانی روش‌های پژوهش کیفی؛ رویکردی نو و کاربردی (جلد اول)، انتشارات نگاه دانش
1. Xenia Mountrouidou, Blaine Billings, Luis Mejia-Ricart, Not Just Another Internet of Things Taxonomy: A Method for Validation of Taxonomies, Internet of Things (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.03.003>
- ۲- وحدت داوود، قیصری محمد. (۱۳۹۷). مبانی اینترنت اشیا، انتشارات آتی نگر
- 3- Tegar Satria, A., Mustafid, Mutiara Kusumo Nugraheni, D.(2020) Implementation of Integrated Bayes Formula and Support Vector Machine for Analysing Airline's Passengers Review, E3S Web of Conferences 202, 15004
- 4- Chakraborty, S., Chakravorty, T., Bhatt, V.(2021) IoT and AI driven sustainable practices in airlines as enabler of passenger confidence, satisfaction and positive WOM: AI and IoT driven sustainable practice in airline, Proceedings - International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems, ICAIS 2021 9395850, pp. 1421-1425
- 5- Simo, A., Barbulescu, C., Kilyeni, S.(2021) LoRaWAN based airport runway lights monitoring system, Advances in Intelligent Systems and Computing 1221 AISC, pp. 19-29
- 6- He, K, Hermanns, H, Wu, H, Chen, Y(2020) Connection models for the Internet-of-Things, Frontiers of Computer Science, Volume 14, Issue 3, 1 June 2020, Article number 143401
- 7- Sharma, I, You, K, Andersson, F, Palmieri, M. H, Rehmani, and J. Lim, "Security, privacy and trust for smart mobile- internet of things (M-IoT): a survey," IEEE Access, vol. 8, pp. 167123-167163, 2020.
- 8- Kalaichelvi, P., AKila, V., Rani, T.P., Sowmiya, S., Divya, C.(2021) Big data in multi-decision making system of the aerospace industry, A Closer Look at Big Data Analytics pp. 69-109.
- 9- D Buhalis(2004) eAirlines: strategic and tactical use of ICTs in the airline industry, Information & Management Volume 41, Issue 7, September 2004, Pages 805-825
- 10- Kostas Iatrou(2006) Airline choices for the future: From Alliances to Mergers, Global Symposium on Air Transport Liberalization, ICAO Dubai, UAE, September 18-19, 2006
- 11- InLee, Kyoochun Lee(2015) The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises, Business Horizons, Volume 58, Issue 4, July-August 2015, Pages 431-440
- 12- Kothadiya, O.M.(2016) Providing good service quality and customer satisfaction for airline ground ser-