دوفصلنامه علمی و پژوهشی

شاپا: ۲۳۴۵-۳۹۱۵

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: حسن کشاورز
مدیر داخلی: آسیه ملکی

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر علیرضا آزموده اردلان	استاد دانشگاه تهران
دکتر محمدرضا ثروتی	استاد دانشگاه شهید بهشتی
دکتر جمشید صالحی صدقیانی	استاد دانشگاه علامه طباطبایی
دکتر محمدرضا عارف	استاد دانشگاه صنعتی شریف
دکتر مجتبی قدیری معصوم	استاد دانشگاه تهران
دکتر ناصر مهردادی	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	دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر
دکتر ابراهیم محمودزاده	دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر
دکتر مهدی مدیری	دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر
دکتر منوچهر منطقی	دانشیار 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

همکاران اجرایی: زینب شمسی پور، آسیه ملکی، زهره سادات میرحسینی
طراح گرافیک (لوگو، جلد و گرید): اکرم برزگر بفروئی
ویراستار فارسی: سمیه نورمحمدی
ویراستار انگلیسی: سید حامد صدوقی ونینی
قیمت: ۱۲۰۰۰ تومان
شمارگان: ۵۰۰ نسخه

چاپ: چاپ دانشگاه صنعتی مالک اشتر

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، صندوق پستی ۳۸۶۴-۱۶۷۶۵
تلفن: ۰۲۱- ۲۲۹۷۰۲۹۹
وبگاه: www.joem.ir
رایانامه: bohran.jeom@gmail.com

داورهای این شماره:

علیرضا آزموده اردلان | حسن آقابراتی | عادل ابراهیمی لویه| محمد احسانی فر | محمد اسکندری | محمدحسین توفیقی | رضا حسنوی | ژیلا حسینی نژاد | مسعود دارابی | حمید دهقانی | احتشام رشیدی | محمد رضا رضایی بارونقی | فیروز رنجبر | محمدرضا زاهدی | ناصر شمس کیا | مجید شیدائیان | یاسر علیدادی | حسین فخرایی | محمد رضا فلاح قنبری | علی قنبری نسب | نسرین کاظمی | مهدی کریاسیان | جعفر محمدیان | مهناز میرزا طهرانی مقدم | محمدعلی نکوئی | مهدی نوری

دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران بر اساس نامه‌ی شماره ۳/۷۷۴۹۰ مورخ ۹۱/۴/۱۰ دبیرخانه‌ی کمیسیون نشریات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری دارای رتبه‌ی علمی و پژوهشی از شماره‌ی بهار و تابستان ۹۱ است.

فهرست

۵ ارائه‌ی الگویی در تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب‌پذیری مناطق شهری در خطر سیلاب
مطالعه‌ی موردی: مناطق ۱۰ و ۲۲ شهر تهران
خه بات درفشی
فاطمه عادلی ساردو
بهرام ملک محمدی

۱۷ تحلیل سناریوهای پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل‌های شهرستان لردگان با استفاده از GIS و RS
نگار حامدی
علی اسماعیلی
حسن فرامرزی

۲۹ مدل مکان‌یابی و مسیریابی در زنجیره‌ی امداد بشردوستانه با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی
امیرحسین آصفی
علی بزرگی امیری
وحید رضا قضاوتی

۴۳ انتخاب فرایند بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب یک مجتمع تحقیقاتی صنعتی به روش (AHP)
پرویز جعفری فشارکی
محسن فروغی زاده

۵۳ ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی پل‌های خاص به‌منظور تداوم خدمت‌رسانی در شرایط بحران
زهرا جمشیدی
محمد یاسرادان
محمدعلی نکوئی

۶۹ مدل‌سازی مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی برای مدیریت بحران
حسین جمالی
مهدی بشیری

۸۳ مدل تخصیص آسیب‌دیدگان در زلزله به بیمارستان‌ها با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری
هادی پازوکی طرودی
مصطفی حاجی آقایی کشتلی
رضا توکلی مقدم

۱۰۱ شاخص‌های سنجش تاب‌آوری سازمانی خبرگزاری‌های ایران در بلایای طبیعی
سعید قنبری
سیاوش صلواتیان
علی اصغر کیا

۱۱۵ شناسایی و تعیین شاخص‌ها و مؤلفه‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران
مطالعه‌ی موردی: سازمان امور مالیاتی
سعید عزیزی
محمد مهدی رشیدی
اکبر نیلی پور طباطبایی

۱۲۹ ارزیابی و سنجش نقش استفاده از فضای مجازی بر مؤلفه‌های مؤثر بر مدیریت بحران شهری مبتنی بر معنای مکان
مطالعه‌ی موردی: فضای شهری سنتی و مدرن شهر اصفهان
نرگس نونژاد
الهام ناظمی
حمید صابری

۱۴۱ ارزیابی میزان مهارت مدیریت بحران زلزله در بین مدیران محلی و خانوارهای روستایی نمونه موردی: شهرستان قزوین
مجید پریشان

ارائه‌ی الگویی در تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب‌پذیری مناطق شهری در خطر سیلاب

مطالعه‌ی موردی: مناطق ۱۰ و ۲۲ شهر تهران

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۷
تاریخ پذیرش ۹۸/۹/۲۶

خه بات درفشی: دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران.
فاطمه عادلی ساردو: دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
بهرام ملک محمدی*: دانشیار برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، Malekb@ut.ac.ir

چکیده

آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب متغیر و پیچیده است. شهری مانند تهران با تغییرات زیاد سطح اجتماعی - اقتصادی و کیفی زندگی در نواحی مختلف و نیز تفاوت‌های ساختاری در بافت فیزیکی و کالبدی شهر، آسیب‌پذیری‌های جانی و خسارت مالی متفاوتی را در برابر سیلاب‌های شهری می‌تواند تجربه کند. در این پژوهش، به‌منظور دست‌یابی به الگویی در تحلیل آسیب‌پذیری دو منطقه‌ی ۱۰ و ۲۲، متغیرهای بلوک‌های با بافت فرسوده، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و فاصله از پل به‌منزله‌ی عناصر فیزیکی در معرض خطر و متغیرهای شیب و شبکه‌ی آبراهه به‌منزله‌ی متغیرهای تشدیدکننده‌ی آسیب‌پذیری به‌کار گرفته شده‌اند. اولویت‌بندی و تعیین روابط بین این متغیرها با برآورد آسیب‌پذیری از طریق روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام گرفت و بر اساس نظرات کارشناسی، وزن اهمیت معیارها و متغیرها برای تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری تعیین شد. وزن به دست آمده برای معیارها نشان می‌دهد که عامل تراکم جمعیت و تراکم شبکه‌ی آبراهه با ۰/۳۸۲۵ و ۰/۰۴۲۸ به ترتیب بیشترین و کمترین وزن‌های معیار را در تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری دارند. میزان آسیب‌پذیری به دست آمده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای دو منطقه‌ی ۱۰ و ۲۲، به ترتیب دو عدد ۷/۸ و ۲/۶ را نشان می‌دهد. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، نقشه‌ی میزان ریسک سیلاب در منطقه‌ی ۱۰ دارای دامنه‌ی بالاتری نسبت به منطقه‌ی ۲۲ است.

واژه‌های کلیدی: *تحلیل آسیب‌پذیری، تحلیل سلسله‌مراتبی، ریسک سیلاب، منطقه‌ی ۱۰ تهران، منطقه‌ی ۲۲ تهران*

Present the pattern in vulnerability level zoning and analysis of urban areas at flood risk

Case study: Regions 10 and 22 of Tehran

Khabat Derafshi[1], Fatemeh Adeli Sardou[2], Bahram Malekmohammadi*[3]

Abstract

Vulnerability is the main construct in flood risk management. One of the most significant aims of flood vulnerability assessment is to make a clear association between the theoretical conceptions of flood vulnerability and the daily administrative process. Flood vulnerability is complex and has a wide range depending on various phenomena such as rainfall, runoff concentration and high exposure of the flooding downstream areas. Flood vulnerability changes over time and shifts its location due to natural conditions, human activities, and damages the culture of the community at risk. Tehran city has experienced various life and property damages because of high varieties in the socio-economic and the life quality level in regions as well as structural varieties in the city fabric. In this study, the blocks with weak texture, population density, land use, bridge, and slope and drainage density are defined as elements at risk for assessing the patterns of vulnerability between districts No. 10 and 22 of Tehran. Prioritization and relationship among these variables as well as vulnerability were examined through Analytic Hierarchy Process; based on expert opinions creating a matrix with 6×6 dimensions to determine the variables' relative weight and vulnerability map. According to the results of relative weights, population density of 0.3825 and drainage density of 0.0428 were revealed to be the highest and lowest relative weights respectively. The obtained vulnerability values from AHP method for districts No. 10 and 22 showed numbers 7.8 and 2.6 respectively. Tehran flood vulnerability has Multiple-scale analysis due to the amount of change or destruction of the urban natural watercourse, kind of land use, various densities of urban fabric and non-uniform distribution of population, as well as the socio-economic level and quality of life in urban neighborhoods.

Keyword: *Vulnerability Analysis, Analysis Hierarchical Process (AHP), Flood Risk, Region 10 of Tehran, Region 22 of Tehran.*

1. Ph.D. of Geomorphology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Ph.D. Student of Environmental Planning, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Associate Professor of Environmental Planning and Management, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, Malekb@ut.ac.ir

مقدمه

آسیب‌پذیری تصور پیچیده‌ای در ارتباط با هر خطر و تأثیرات حاصل از آن است که نمونه‌ای از این تصور پیچیده درباره‌ی مخاطره‌ی سیلاب مطرح است. سیلاب از معمول‌ترین و مصیبت‌آمیزترین مخاطرات طبیعی است که جهان امروز با آن مواجه است. این مخاطره بیش از هر پدیده‌ی هیدرواقلیمی دیگری خسارت و تخریب به‌بار می‌آورد [۱]. سیلاب‌ها زندگی هزاران نفر را می‌گیرند و میلیاردها تومان خسارت به اموال انسان وارد می‌کنند. در مقایسه با سایر بلایای طبیعی، حدود ۲۰ درصد از مرگ و میرها و ۳۳ درصد از خسارت‌های اقتصاد جهانی را این مخاطره سبب می‌شود [۲]. با رشد سریع شهرسازی و ایجاد و توسعه‌ی زیرساخت‌ها، سیلاب‌ها در نواحی شهری بیشتر و شدیدتر شده‌اند [۳]. گسترش ساخت و ساز شهری و افزایش سطوح با نفوذپذیری کم و یا غیرقابل نفوذ باعث کاهش نفوذ آب حاصل از بارش، افزایش رواناب، دبی‌های بزرگ‌تر، تغذیه‌ی کمتر آب‌های زیرزمینی و افزایش تغییرپذیری‌ها می‌شود. شهرسازی خطر سیلاب را به علت افزایش اوج و حجم دبی بیشتر می‌کند و زمان رسیدن دبی به اوج را نیز کاهش می‌دهد [۴، ۵، ۶، ۷] در نتیجه‌ی دست‌اندازی در محیط‌های طبیعی، حضور ساختارهای متعدد و نبود مقررات مناسب برای محافظت از این محیط‌ها، شرایط رویداد سیلاب فراهم می‌شود که افزایش آسیب‌پذیری جوامع را در برابر سیلاب‌های شهری در پی دارد.

آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب متغیر و پیچیده است. ریسک سیلاب به پدیده‌هایی مانند بارش، رواناب ایجاد شده و تمرکز آن و میزان در معرض آسیب قرار گرفتن نواحی پایین‌دست سیلاب بستگی دارد. آسیب‌پذیری سیلاب طی زمان و از ناحیه‌ای به ناحیه‌ی دیگر متغیر است که علت آن شرایط خاص طبیعی، فعالیت‌های انسانی و فرهنگ مخاطره نزد جامعه‌ی در معرض خسارت است. شهری مانند تهران با تغییرات زیاد سطح اجتماعی - اقتصادی و کیفی زندگی در نواحی مختلف و نیز تفاوت‌های ساختاری در بافت فیزیکی و کالبدی شهر، آسیب‌پذیری‌های جانی و خسارت مالی متفاوتی را در برابر سیلاب‌های شهری تجربه می‌کند. گزارش شده که ۲۱۵۰ نفر در رویداد سیل عظیم سال ۱۳۳۳ و ۳۰۰ نفر در سیل سال ۱۳۶۶ حوضه‌ی آبخیز دربند کشته شدند؛ از سال ۱۳۳۳ تا سال ۱۳۴۷ بر اثر ۱۰ رویداد سیل، ۲۲۲۶ نفر کشته شدند؛ طی سال‌های ۱۳۴۸ تا ۱۳۶۱ تعداد ۲۱ سیل روی داده که موجب مرگ ۲۵ نفر شده است و بالاخره، از سال ۱۳۶۲ تا سال ۱۳۷۴، ۳۰۵ نفر در ۱۲ خطر سیل جان خود را در شهر تهران از دست دادند [۸].

یاشون و ریوتارو در مطالعه‌ای به تخمین و تهیه‌ی نقشه‌های ریسک و آسیب‌پذیری سیلاب بر اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیلی سلسله‌مراتبی در منطقه‌ای در کنیا پرداخته‌اند و در نهایت میزان حساسیت قسمت‌های مختلف در منطقه‌ی مورد مطالعه نقشه‌سازی شده است [۹].

کاستاس و همکارانش در مطالعه‌ای به بررسی میزان ریسک سیلاب در تورنتو با استفاده از برنامه‌ریزی فضایی و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته‌اند. این مطالعه علاوه بر بعد فضایی به فاکتورهای اجتماعی نیز توجه داشته است [۱۰].

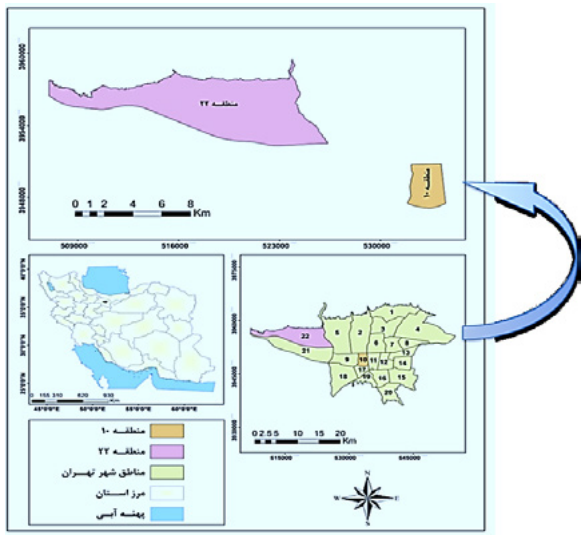
الکساندرا و همکارش در یک مقاله به ارزیابی آسیب‌پذیری رواناب‌های سطحی در منطقه‌ی شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پرداخته‌اند [۱۱].

در مطالعه‌ای محمودزاده و همکارانش به تهیه‌ی نقشه‌ی ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در تبریز با استفاده از Gis پرداخته‌اند که در نهایت سیلاب آب‌گرفتگی و میزان خسارت ناشی از سیل در قالب نقشه ارزیابی شده است و میزان در معرض سیلاب قرار گرفتن نقاط مختلف محدوده‌ی مورد مطالعه مشخص شده و پهنه‌بندی صورت گرفته است [۱۲].

صداقت و همکارانش در مقاله‌ای به پهنه‌بندی حساسیت سیلاب شهری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی در شهر آمل پرداخته‌اند. در این پژوهش، به‌منظور دست‌یابی به الگویی در تفاوت‌های آسیب‌پذیری متغیرهای فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، تراکم ساختمانی، تراکم جمعیتی، طبقات ارتفاعی، شماره‌ی منحنی به‌منزله‌ی عناصر فیزیکی در معرض خطر و متغیرهای شیب و فاصله از معابر آبگرفتگی و مسیل‌ها به‌منزله‌ی متغیرهای تشدیدکننده‌ی آسیب‌پذیری به‌کار گرفته شده است و در نهایت به نقشه‌سازی و پهنه‌بندی سیلاب‌های شهری پرداخته‌اند [۱۳].

مدیریت آسیب‌پذیری در نتیجه‌ی سیلاب، از مهم‌ترین دغدغه‌های شهر تهران در رویارویی با سیلاب‌های شهری است که بهره‌گیری از مدل‌های کمی و کیفی و همچنین سیستم اطلاعات جغرافیایی[۱] می‌تواند به مدیریتی جامع منجر شود. توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی آن‌ها، استفاده از روش تحلیلی و کمیت‌پذیری متغیرهای مؤثر در سیل‌خیزی، مدل‌سازی و مدیریت سیلاب شهری در مسیل‌ها، مدل‌های ریاضی و پهنه‌بندی سیلاب، ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه‌ی شهر در قلمرو حوضه‌های زهکشی و بررسی تأثیر حوضه‌های بالادست بر رخداد سیلاب بخش‌های مسکونی با کاربرد مدل یکپارچه‌ی سیلاب شهری در کلان‌شهرها نمونه‌ای از تلاش‌های انجام شده در ارتباط با مدیریت جامع سیلاب کلان‌شهر تهران و کاهش آسیب‌پذیری ناشی از رخداد این مخاطره است [۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸].

با توجه به مطالب ذکر شده و همچنین ادراک تفاوت‌های فضایی (نظیر تراکم جمعیتی، ساخت‌وسازها، کاربری اراضی و شبکه‌ی زهکشی) در سطح کلان‌شهر تهران، پژوهش حاضر به تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی[۲] و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مناطق ۱۰ و ۲۲ این کلان‌شهر می‌پردازد (به‌ترتیب کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین منطقه‌ی شهری از نظر مساحت در کلان‌شهر تهران). این بررسی بر مبنای تحلیل متغیرهای آسیب‌پذیر در مقابل سیلاب انجام می‌گیرد تا در نهایت بتوان به الگویی دست یافت که ساختار آسیب‌پذیری را در دو منطقه تشریح نماید.



تصویر۱: موقعیت جغرافیایی مناطق ۱۰ و ۲۲ شهر تهران

محدوده‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی ۲۲ شهرداری تهران بین "۱۰'۵ ۵۱ تا "۴۰'۲۰ ۵۱ طول شرقی و "۱۶ '۳۲ ۳۵ تا "۱۹' ۵۷ ۳۵ عرض شمالی در قسمت شمال غربی شهر تهران و در پایین دست حوضه‌ی آبریز کن و وردیج واقع شده است. این منطقه در شمال با کوهستان البرز مرکزی، در جنوب با آزادراه تهران ـ کرج و در غرب با محدوده جنگل‌های دست کاشت وردآورد محدود می‌گردد و با مناطق ۵ و ۲۱ شهرداری تهران همجوار است [۱۹] همچنین منطقه در شرق با حریم رودخانه‌ی کن محدود شده است. حوزه‌ی سیل برگردان غرب و رودخانه‌ی کن یکی از اجزای اصلی سیستم زه‌کشی شهر تهران محسوب می‌شود و قسمت عمده‌ای از سیلاب نواحی شمالی، شمال غربی، غرب و جنوب تهران را زه‌کش می‌کند [۲۰].

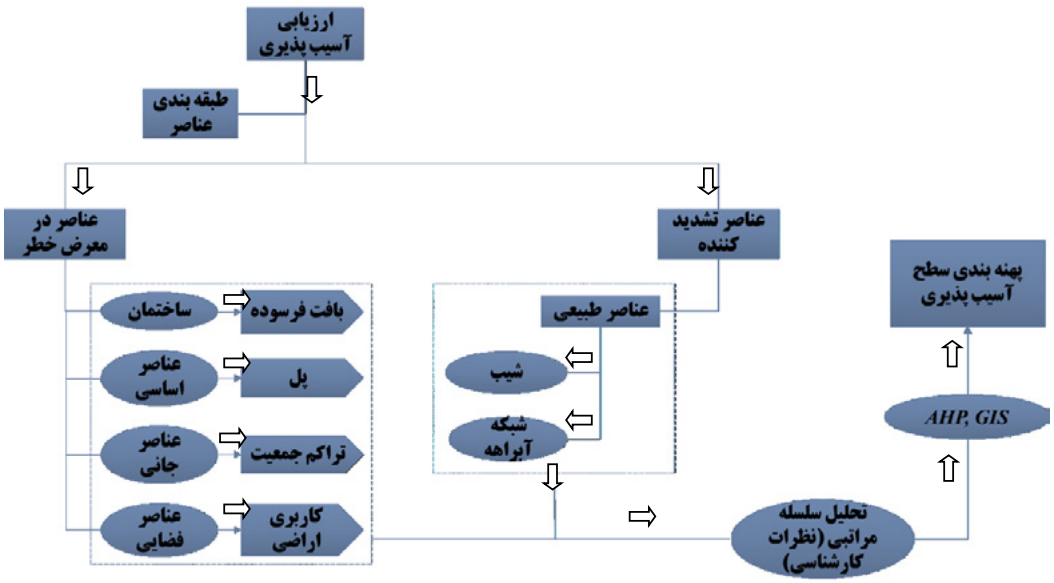
منطقه‌ی ۱۰ که از شمال به خیابان آزادی، از شرق به بزرگراه نواب، از جنوب به خیابان قزوین و از غرب به خیابان شهیدان و هرمزان و پادگان جی محدوده شده، مساحتی معادل ۸۰۷ هکتار دارد و کوچک‌ترین منطقه از حیث مساحت در تهران به شمار می‌آید. این منطقه از حیث طبیعی فاقد هر گونه عناصر مهم طبیعی است. بخشی از نهر فیروزآباد که تا مناطق جنوبی تهران ادامه دارد از این منطقه عبور کرده است و در حال حاضر کانال‌سازی شده و در زیر زمین قرار دارد. یکی دیگر از اجزای اصلی سیستم زه‌کشی تهران حوزه‌ی مرکزی تهران است که کاملاً سرپوشیده است و عمدتاً به صورت تونل است [۲۰].

روش پژوهش

تعریف متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب، ایجاد روابط بین متغیرها و اولویت‌بندی تأثیر هر متغیر در آسیب‌پذیری با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام می‌گیرد. رسیدن به میانگین وزنی میزان آسیب‌پذیری در دو منطقه‌ی شهر تهران نیز از طریق تحلیل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان‌پذیر می‌شود. اولین گام در ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های فیزیکی، تعریف عناصر در معرض خطر و عناصر تشدیدکننده‌ی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب است. تصویر ۲ عناصر فیزیکی و تشدیدکننده‌ی آسیب‌پذیری تعریف شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. با توجه به این تصویر، متغیرهای بلوک‌های با بافت فرسوده، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و پل به‌منزله‌ی عناصر فیزیکی در معرض خطر و متغیرهای شیب و شبکه‌ی آبراهه به‌منزله‌ی متغیرهای تشدیدکننده‌ی آسیب‌پذیری به کار گرفته شده‌اند.

تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب

رسیدن به الگویی جامع از تغییرپذیری رفتار سیلاب و آسیب‌پذیری آن، برای مدیریت سیلاب‌های کلان‌شهر تهران نیازمند دانشی آگاهانه از وضعیت بخش‌های مختلف این شهر در مقابل سیلاب‌هاست. برای دست‌یابی به این الگو، روش تحلیل سلسله‌مراتبی به‌منزله‌ی ابزاری مفید در زمینه‌ی تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری شهر تهران است.



تصویر۲: متغیرهای مؤثر در پهنه‌بندی و تحلیل آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در این پژوهش

در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای استخراج مقیاس‌های نسبی از مقایسه‌ی زوجی داده‌های گسسته و پیوسته استفاده می‌شود. این مقایسه‌ها ممکن است برای اندازه‌گیری‌های واقعی به کار رود یا این که نشان‌دهنده‌ی وزن نسبی ترجیحات باشد [۲۱]. AHP روشی است منعطف، قوی و ساده که می‌تواند برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را مشکل می‌کند [۲۲] و همچنین برای تصمیم‌گیری در یک فضای چندبعدی مورد استفاده قرار گیرد.

AHP روش ساده‌ی محاسباتی برای عملیات اصلی بر روی ماتریس‌هاست. با ایجاد سلسله‌مراتب مناسب و پردازش گام به گام، امکان ساخت ماتریس‌های مقایسه‌ای در سطوح مختلف سلسله‌مراتب توسط این روش فراهم شده و با ترکیب بردارها، ضرایب وزنی گزینه‌های مختلف محاسبه می‌شوند [۲۳]. به‌طور کلی تحلیل سلسله‌مراتبی روشی است که امکان تصمیم‌گیری صحیح با حضور معیارهای کیفی، کمی و ترکیبی را فراهم می‌کند. پیاده‌سازی AHP در یک تصمیم‌گیری شامل ۳ فاز است: ساختن سلسله‌مراتبی، انجام مقایسات وزنی و محاسبه‌ی وزن‌ها.

ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب و تهیه‌ی نقشه‌ی آن بر مبنای پارامترهای تعریف شده در تصویر ۲ انجام گرفت. برای ارزیابی ابتدا بین آسیب‌پذیری و هر کدام از این پارامترها رابطه‌ای خطی به صورت مستقیم و یا معکوس تعریف گردید. بدین ترتیب که در صورت افزایش آسیب‌پذیری در ارتباط با ارزش هر متغیر، بین این دو رابطه‌ی خطی مستقیم و در غیر این صورت رابطه‌ی خطی معکوس برقرار شد. تعریف این رابطه‌ها نیازمند این است که هر متغیر دارای ارزش‌های مشخصی باشد؛ به عبارتی امکان برقراری ارتباط بین آسیب‌پذیری با کم یا زیاد شدن ارزش متغیرها فراهم شود. بدین منظور هر یک از متغیرهای مؤثر از طریق تابع‌های مختلفی به لایه‌های رستری تبدیل شدند تا هم بتوان بر مبنای نقش متغیر در هدف مورد بررسی وزن‌دهی انجام داد و هم روی هم قرارگیری لایه‌ها و ارزیابی آسیب‌پذیری امکان‌پذیر شود.

در جدول ۲، الگوی وزن‌دهی و تعیین میزان اهمیت متغیرها در برآورد آسیب‌پذیری در برابر سیلاب مشخص شده است. در ادامه برای همسان‌سازی لایه‌های رستری، هر یک از آن‌ها از طریق روش شکست‌های طبیعی[۳] به ده طبقه تقسیم شدند. انتخاب این روش طبقه‌بندی به دلیل تبعیت آن از توزیع نرمال (منحنی گوس) ارزش داده‌ها است. این طبقه‌بندی بر اساس رابطه‌ی هر متغیر با هدف اصلی انجام گرفت؛ بدین معنا که اگر رابطه‌ی بین این دو خطی مستقیم باشد، مقدار ۱ به پایین‌ترین و مقدار ۱۰ به بالاترین ارزش آن متغیر اختصاص داده شد. در صورت معکوس بودن رابطه‌ی خطی، بالاترین ارزش متغیر مقدار ۱ و پایین‌ترین ارزش آن مقدار ۱۰ می‌گیرد. جدول ۱ الگوی این وزن‌دهی‌ها و روابط تعریف شده را بیان می‌کند. با توجه به جدول، متغیرهای تراکم جمعیت، شیب و تراکم آبراهه با آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب رابطه‌ی مستقیم و متغیر فاصله از پل رابطه‌ی معکوس دارد. در مورد متغیر کاربری اراضی باید گفت که این متغیر رابطه‌ی خطی با هدف مورد بررسی ندارد؛ بدین معنا که هر کاربری میزان و نوع خاصی از آسیب‌پذیری را در مقابل سیلاب دارد. بیشترین ارزش این متغیر به کاربری مسکونی داده شده که مسلماً آسیب‌پذیری جانی و مالی بیشتری را در قیاس با سایر کاربری‌ها شامل می‌شود. پس از آن کاربری‌های تجاری، تأسیسات و تجهیزات شهری، صنعتی، حمل و نقل و انبار، نظامی، آسفالت‌ها (شبکه‌ی راه)، معادن، فضای سبز و اراضی بایر به ترتیب از ارزش آسیب‌پذیری کمتری در برابر سیلاب‌های شهر تهران برخوردارند و در نتیجه از مقدار ارزشی آن‌ها نیز در ارزیابی آسیب‌پذیری کاسته می‌شود. بر مبنای اهمیت متغیرها در ارتباط با آسیب‌پذیری، اولویت‌بندی آن‌ها برای اجرای مدل آسیب‌پذیری با روش AHP اولویت‌بندی می‌شوند (ستون آخر جدول ۱).

جدول ۱: الگوی وزن‌دهی طبقات متغیرها و اولویت‌بندی آن‌ها در محیط AHP بر اساس آسیب‌پذیری

وزن / متغیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	رابطه خطی
کاربری اراضی (CN)	۸۲	۷۰	۸۵	۹۸	۹۰	۹۷	۸۸	۹۳	۹۲	۹۵	غیرخطی
بافت فرسوده	بدون شرط	ریزدانه	–	نفوذ ناپذیر	–	ناپایدار	–	–	ناپایدار-	ناپایدار- نفوذناپذیر- ریزدانه	–
فاصله از پل (M)	۱۰۴۱۶-۸۸۲۸	۸۸۲۸-۷۴۰۴	۷۴۰۴-۶۰۲۱	۶۰۲۱-۴۸۴۱	۴۸۴۱-۳۸۶۵	۳۸۶۵-۳۰۱۰	۳۰۱۰-۲۲۳۷	۲۲۳۷-۱۵۰۵	۱۵۰۵-۸۱۳	۸۱۳-۰	معکوس
تراکم جمعیت	۲۸۲۱-۲۶۸	۵۶۰۶-۲۸۲۱	۵۶۰۶-۷۹۲۷		۱۰۷۱۲-۱۳۷۲۹	۱۳۷۲۹-۱۷۴۴۳	۱۷۴۴۳-۲۲۷۸۱	۲۲۷۸۱-۲۸۵۸۴	۲۸۵۸۴-۴۰۸۸۵	۴۰۸۸۵-۵۹۶۸۵	مستقیم
شیب (به درجه)	۱/۸۶-۰	۳/۵-۱/۸۶	۵/۵-۳/۵	۸/۰۶-۵/۵	۱۱/۱۷-۸/۰۶	۱۵/۳-۱۱/۱۷	۲۶/۴-۲۰/۴	۳۴/۳-۲۶/۴	۳۳/۵-۲۶/۲	۵۳-۳۴/۳	مستقیم
تراکم شبکه آبراهه (Km/Km^2)	۱/۳-۰	۴-۱/۳	۶/۶-۴	۹/۵-۶/۶	۱۲/۶-۹/۵	۱۶/۱-۱۲/۶	۲۰/۵-۱۶/۱	۲۶/۲-۲۰/۵	۲۶/۲-۳۳/۵	۴۳-۳۳/۵	مستقیم

CN[۴] یک ارزش عددی بسیار مناسب برای تبدیل لایه‌ی کاربری اراضی به لایه‌ای رستری است. از تابع فاصله[۵] بر مبنای حداکثر فاصله[۶] برای رستری کردن لایه‌ی پل استفاده گردید. برای اندازه‌گیری میزان تراکم شبکه‌ی زهکشی تابع تراکم[۷] به کار گرفته شد. این تابع بر اساس شعاع مشخص در هر نقطه، مجموع طول آبراهه‌ها را بر مساحت تقسیم می‌کند؛ در این پژوهش شعاع در نظر گرفته شده برای محاسبه‌ی تراکم شبکه‌ی زهکشی ۲۰۰۰ متر است. بلوک‌های بافت فرسوده[۸] بر اساس سه شرط ناپایداری، نفوذناپذیری و ریزدانگی به ۶ طبقه تقسیم شدند. طبقه‌ی ۱ بخش‌هایی از شهر تهران را در بر می‌گیرد که هیچ یک از این سه شرط را نداشته و در واقع بافتی فرسوده ندارند؛ ارزش ۲ به بلوک‌های ریزدانه، ارزش ۴ به بلوک‌های نفوذناپذیر و ارزش ۶ به بلوک‌های ناپایدار اختصاص داده شد. بلوک‌های ناپایدار-ریزدانه و ناپایدار-نفوذناپذیر به ترتیب ارزش ۸ و ۹ گرفتند. بلوک‌هایی هم که هر سه شرط فرسودگی را دارا هستند، آسیب‌پذیرترین بافت‌های مناطق شهر تهران در مقابل مخاطره‌ی سیلاب‌اند و ارزش ۱۰ برای آن‌ها در نظر گرفته شد.

تحلیل زونی[۹] و میانگین وزنی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب

ابزارهای تحلیل زونی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ارزش رستر را به‌منزله‌ی یک ورودی گرفته و آن را برای هر سلول تابع یا آمار یک زون محاسبه می‌کنند. ابزارهای تحلیل زونی توسط زون‌های مشخص شده (رستر ارزشی ورودی منفرد یا دوگانه) گروه‌بندی می‌شوند.

تحلیل‌های زونی ابزاری بسیار مناسب برای محاسبه‌ی متوسط وزنی (هندسی) آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب است. این متوسط وزنی می‌تواند در تعیین تغییرات آسیب‌پذیری مناطق شهر تهران مورد استفاده قرار گیرد. طریقه‌ی محاسبه کردن متوسط وزنی آسیب‌پذیری در یک منطقه‌ی شهری بدین‌صورت است که مجموع ارزش‌های آسیب‌پذیری بر مبنای ارزش سلول‌های آن در یک منطقه به دست آمده و از تقسیم این ارزش بر تعداد سلول‌های قرار گرفته در منطقه‌ی مورد نظر، متوسط ارزش یک متغیر در آن منطقه به دست می‌آید.

ریسک سیلاب

محاسبه‌ی ارزش ریسک می‌تواند در زمینه‌های خسارت اجتماعی - اقتصادی و یا در ارتباط با مقیاس خسارت ایجاد شده توسط سیل انجام بگیرد که در این پژوهش، بعد اجتماعی و اقتصادی ریسک سیلاب مورد توجه قرار گرفت. تهیه‌ی نقشه‌ی ریسک و ارزیابی آن بر مبنای نتایج حاصل از پتانسیل خطر و آسیب‌پذیری انجام شد. نتیجه‌ی این محاسبه، ارزش ریسک با دامنه‌ای از صفر تا یک است که سطح احتمال خسارت را توسط سیلاب بیان می‌کند.

رابطه‌ی ۱ نحوه‌ی برآورد ریسک سیلاب را در این پژوهش برای مناطق شهر تهران نشان می‌دهد. با توجه به این رابطه، میزان ارزش‌دهی یا تأثیرگذاری متغیر آسیب‌پذیری بیشتر از پتانسیل مخاطره‌ی سیلاب در نظر گرفته شده است. دلیل این ارزش‌دهی بیشتر به آسیب‌پذیری این است که شهر تهران بیش از آنکه با معضل یا چالش پتانسیل خطر ناشی از تولید رواناب مواجه باشد، با آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر و همچنین تفاوت‌های مکانی این عناصر درگیر است. به عبارتی، هنگامی‌که رواناب در سطح شهر جریانی سیلابی به خود می‌گیرد. پهنه‌های بافت فرسوده که هم بلوک‌هایی ناپایدار هستند و هم تراکم جمعیتی بالایی دارند، احتمال ریسک سیلاب و خسارت بالا را نیز می‌توانند تجربه کنند. نتیجه‌ی این سخن می‌تواند در سطح کیفی زندگی بخش‌های مختلف شهر تهران خلاصه شود.

رابطه‌ی ۱: $R = 0.33H * 0.66$

در این رابطه، H [۱۰] مخفف کلمه‌ی مخاطره، V[۱۱] مخفف کلمه‌ی (آسیب‌پذیری) و R [۱۲] مخفف کلمه‌ی خطرپذیری است.

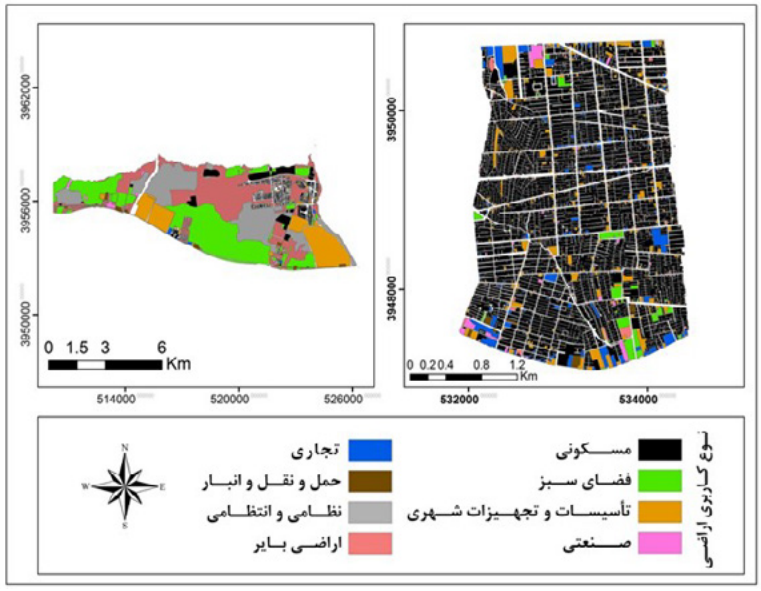
مشخصات متغیرهای مؤثر آسیب‌پذیری سیلاب

در ادامه توضیحات مربوط به هر یک از متغیرهای مؤثر در برآورد آسیب‌پذیری سیلاب در مناطق ۱۰ و ۲۲ شهر تهران ارائه شده است.

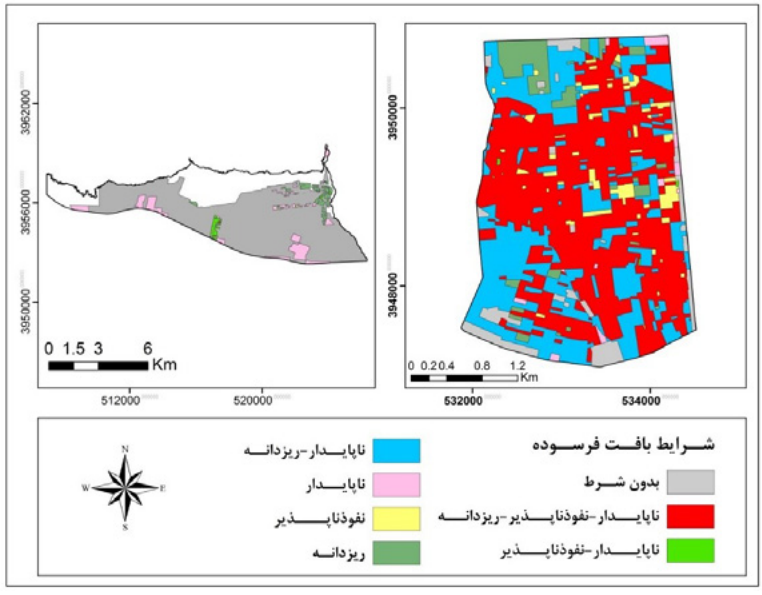
کاربری اراضی: نوع کاربری اراضی در شهر تهران مشتمل بر ۹ کاربری است که عبارتند از مسکونی، فضای سبز، تأسیسات و تجهیزات شهری، صنعتی، تجاری، حمل و نقل و انبار، نظامی، اراضی بایر و معادن شن و ماسه. جدول ۲ مساحت و درصد مساحت این کاربری‌ها را در دو منطقه ۱۰ و ۲۲ نشان می‌دهد [۱۹] با توجه به جدول، کاربری معادن شن و ماسه در دو منطقه‌ی مطالعاتی وجود ندارد (تصویر ۳).

جدول۲: مساحت و درصد مساحت کاربری‌های اراضی در مناطق ۱۰ و ۲۲

نوع کاربری	منطقه ۱۰		منطقه ۲۲	
	مساحت (Km^2)	٪	مساحت (Km^2)	٪
مسکونی	۴.۷۸	۳۵.۰۹	۴.۵۲	۸.۶۲
فضای سبز	۰.۱۴	۱۳.۸۱	۱۵.۰۱	۲۸.۶۰
تأسیسات شهری	۰.۴۹	۹.۵۴	۶.۸۱	۱۲.۹۸
صنعتی	۰.۱۱	۵.۱۶	۰.۴۳	۰.۸۲
تجاری	۰.۳۷	۵.۲۴	۰.۲۳	۰.۴۴
حمل و نقل و انبار	۰.۰۵	۵.۸۲	۰.۷۵	۱.۴۲
نظامی و انتظامی	۰.۰۰	۹.۳۴	۱۰.۵۳	۲۰.۰۷
اراضی بایر	۰.۰۸	۷.۸۴	۱۴.۱۹	۲۷.۰۵
جمع مساحت	۶/۰۲	۱۰۰	۵۲/۴۷	۱۰۰



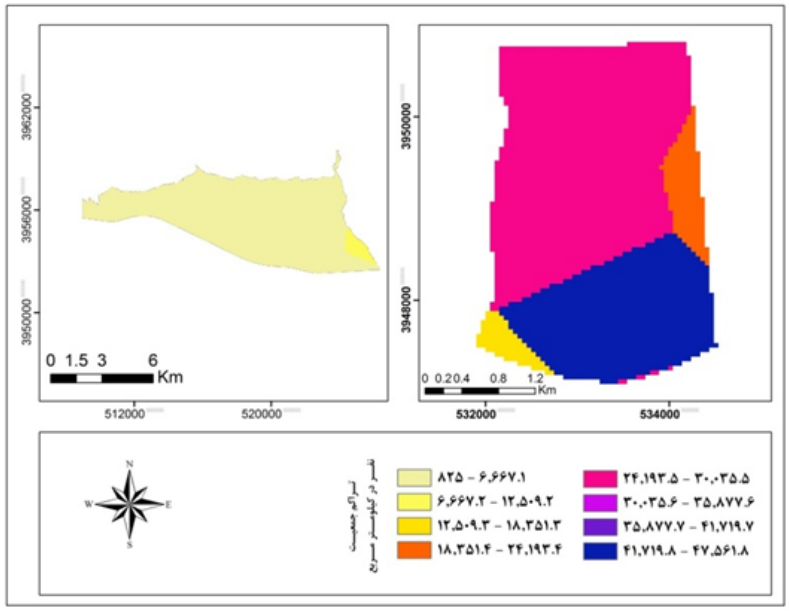
تصویر ۳: نقشه‌ی کاربری اراضی مناطق ۱۰ (راست) و ۲۲ (چپ) کلان‌شهر تهران [طرح تفصیلی شهر تهران، ۱۳۸۵]



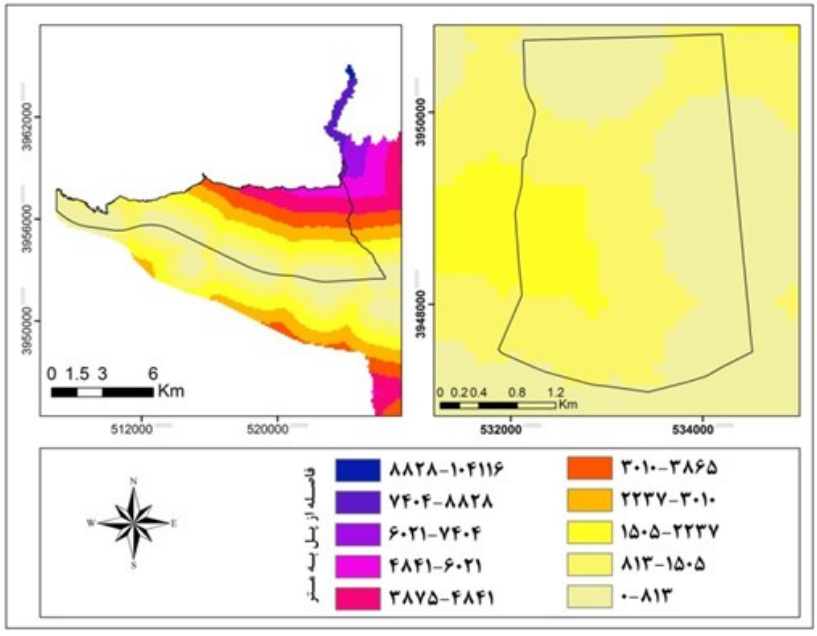
تصویر ۴: نقشه‌ی بلوک‌های با بافت فرسوده‌ی دو منطقه‌ی ۱۰ (راست) و ۲۲ (چپ) کلان‌شهر تهران

بافت فرسوده: مطابق شاخص‌های مصوب شورای عالی شهرسازی و معماری، وسعت پهنه‌های ناپایدار شهر تهران ۱۴۷۹۲ هکتار است که ۳۲۶۸ هکتار آن به دلیل دارا بودن هر سه شرط فرسودگی (ناپایداری[۱۳]، نفوذناپذیری[۱۴] و ریزدانگی[۱۵])، به‌منزله‌ی بافت فرسوده مصوب شد. وسعت زیاد بافت‌های فرسوده با تراکم بالای جمعیت و آسیب‌پذیری این بافت در مقابل مخاطرات محیطی از جمله سیلاب شهری، یکی از مهم‌ترین چالش‌های شهر تهران به شمار می‌رود. تصویر ۴ نقشه‌ی بلوک‌های بافت فرسوده را نشان می‌دهد. با توجه به تصویر، ۵۳/۰۴ درصد از مجموع مساحت منطقه‌ی ۱۰ (۴/۲۷ کیلومتر مربع) و ۰/۰۲ درصد از مساحت منطقه‌ی ۲۲ (۰/۰۰۹ کیلومتر مربع) پهنه‌های با هر سه شرط بافت فرسوده را تشکیل می‌دهند [۱۹].

تراکم جمعیت؛ آماده‌سازی این متغیر بر مبنای آمار جمعیتی نواحی شهر تهران در سال ۱۳۸۸ انجام گرفت. ابتدا فایل نقطه‌ای داده‌های جمعیتی برای هر ناحیه از شهر تهران تهیه گردید. سپس بر اساس این داده‌های نقطه‌ای و از طریق پلیگون‌های تیسن، مشخصه‌ی محل‌های اندازه‌گیری نشده توسط نزدیک‌ترین نقطه‌ی داده‌ای منفرد محاسبه شد؛ بدین ترتیب لایه‌ای سطحی از جمعیت نواحی شهر تهران به صورت پلیگون‌های چند ضلعی تهیه شد. در ادامه با محاسبه‌ی مساحت هر کدام از این پلیگون‌ها و تقسیم تعداد جمعیت بر این مساحت، متغیر تراکم جمعیت بر حسب نفر در کیلومتر مربع آماده شد که در تصویر ۵ نشان داده شده است. با توجه به تصویر، تراکم جمعیتی دو منطقه‌ی مطالعاتی از ۸۲۵ تا ۴۷۵۶۱ نفر در کیلومتر مربع متغیر است. منطقه‌ی ۲۲ پراکنش جمعیتی متجانسی داشته (۸۲۵ تا ۱۲۵۰۹ نفر)، در صورتی‌که پراکنش تراکم جمعیتی منطقه‌ی ۱۰ نامتجانس‌تر است (۱۲۵۱۰ تا ۴۷۵۶۲ نفر) [۲۴].



تصویر ۵: نقشه‌ی تراکم جمعیتی دو منطقه ۱۰ (راست) و ۲۲ (چپ) کلان‌شهر تهران

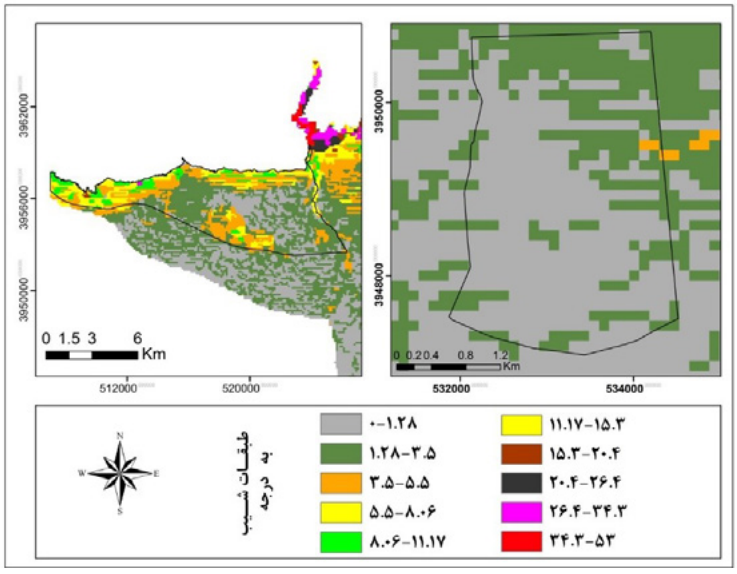


تصویر ۶: نقشه‌ی فاصله از پل دو منطقه‌ی ۱۰ (راست) و ۲۲ (چپ) کلان‌شهر تهران

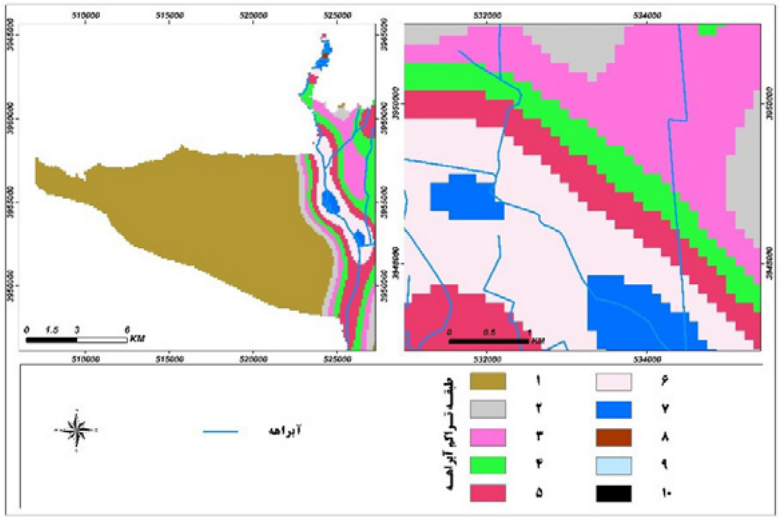
پل: نقشه‌ی مکانی تعداد ۱۲۷ روگذر و پل گزارش شده توسط سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران در تصویر ۶ نشان داده شده است. آبگرفتگی دهنه‌ی پل‌ها در هنگام بارش‌های شدید از جمله شایع‌ترین معضلات رواناب‌های شهر تهران است.

شیب: تهیه‌ی این لایه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی ASTER صورت گرفت. جریان سریع رواناب در شیب‌های بالای شمال شهر تهران به همراه کاهش سرعت رواناب در شیب‌های پایین جنوب شهر و افزایش احتمال آبگرفتگی، می‌تواند به‌منزله‌ی نقش تغییر میزان شیب در الگوی سیلاب شهر تهران در نظر گرفته شود (تصویر ۷).

شبکه‌ی آبراهه: رودخانه‌ها و مسیل‌های شهری دارای مسائل و مشکلات عمده‌ای هستند که یکی از مهم‌ترین این مشکلات، محدود شدن آن‌ها به کانال اصلی آن و ساخت و ساز در محدوده‌ی اطراف است. آنچه که به این مسئله اهمیت می‌بخشد افزایش خطرات سیلاب با کاهش محدوده‌ی عبور رواناب است. فعالیت‌های انسانی تأثیرات غیرقابل انکاری بر رودخانه‌ها و مسیل‌های شهر تهران داشته است. سیستم هیدرولوژیکی که هندسه‌ی رودخانه را قبل از توسعه تعیین کرده به صورت تغییرناپذیری دگرگون شده تا شدت جریان‌های بالاتری را به طور مکرر ایجاد کند [۲۵].



تصویر ۷: نقشه‌ی طبقات شیب دو منطقه‌ی ۱۰ (راست) و ۲۲ (چپ) کلان‌شهر تهران



تصویر ۸: نقشه‌ی طبقات تراکم آبراهه‌ی دو منطقه‌ی ۱۰ (راست) و ۲۲ (چپ) کلان‌شهر تهران

نتایج و بحث

کاربری اراضی، بلوک‌های با بافت فرسوده، فاصله از پل، تراکم جمعیت، شیب و تراکم شبکه‌ی آبراهه متغیرهای مؤثر در تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران هستند که در قسمت روش کار، الگوی روابط و وزن‌دهی آن‌ها تشریح شد. برای تعیین وزن کلی، اولویت‌بندی متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری و تهیه‌ی مقادیر کمی آن‌ها بر اساس نظرات کارشناسی ماتریسی به ابعاد ۶×۶ ایجاد شد (جدول ۳). مقایسه‌ی دو به دو متغیرها، مبنای تعیین ارجحیت آن‌ها در ارتباط با آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب قرار گرفت؛ این مقایسه با توجه به نظرات کارشناسی ۱۵ نفر از اساتید و کارشناسان آشنا به منطقه‌ی مورد مطالعه انجام گرفت.

برای محاسبه‌ی مقادیر و بردار ویژه، ستون‌ها با هم جمع و هر سلول ماتریس بر جمع ستون مربوطه تقسیم شد که این عمل برای نرمال کردن ماتریس انجام گرفت. مرحله‌ی بعدی محاسبه‌ی میانگین سطرهای ماتریس است که از آن به‌منزله‌ی وزن نسبی استفاده می‌شود. وزن نسبی (معیار) متغیرهای استفاده شده در تصویر ۹ آورده شده است؛ این تصویر نشان می‌دهد که وزن معیار برای عامل تراکم جمعیت ۰/۳۸۲۵، بافت فرسوده ۰/۲۵۰۴، کاربری اراضی ۰/۱۵۹۶، فاصله از پل ۰/۱۰۰۶، شیب ۰/۰۶۴۱ و تراکم شبکه‌ی آبراهه ۰/۰۴۲۸ محاسبه شده است. بنابراین، تراکم جمعیت بیشترین و تراکم شبکه‌ی آبراهه کمترین وزن را در تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری دارند. این وزن‌های نسبی (ضرایب)، به‌منزله‌ی میزان تأثیرگذاری هر متغیر در ایجاد نقشه‌ی آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفتند. به عبارتی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در مناطق کلان‌شهر تهران به صورت تابعی از این ضرایب تعریف و از رابطه‌ی ۲ به دست آمد.

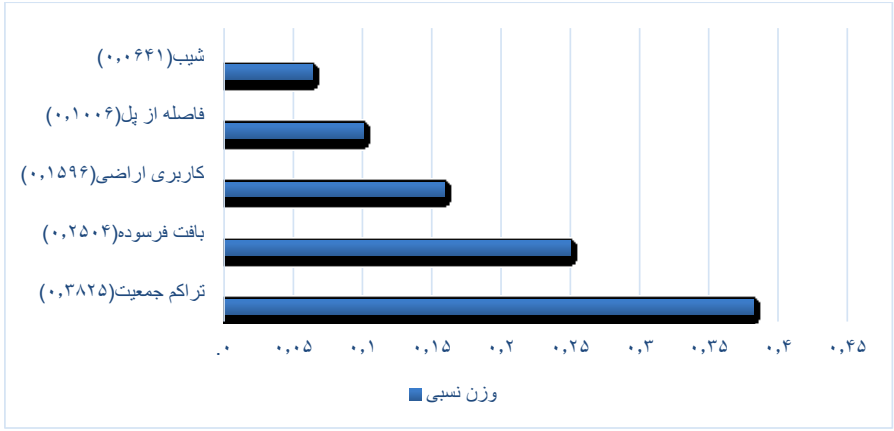
رابطه‌ی ۲:

$$V = (0.3825P) + (0.2504\,T) + (0.1596\,T) + (0.1006\,B) + (0.641S) + (0.0428\,D)$$

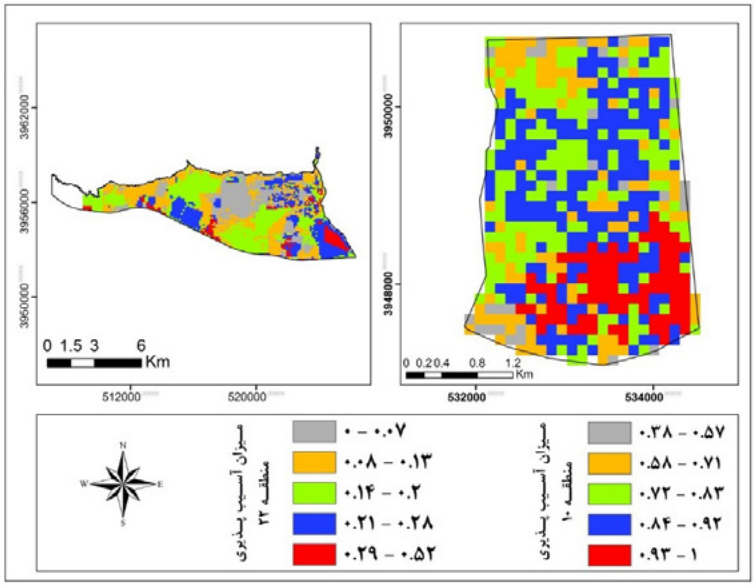
جدول ۳: ماتریس متغیرهای مؤثر در تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری سیلاب کلان‌شهر تهران

متغیر	تراکم جمعیت	بافت فرسوده	کاربری اراضی	فاصله از پل	شیب	تراکم شبکه آبراهه
تراکم جمعیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶
بافت فرسوده	۰،۵	۱	۲	۳	۴	۵
کاربری اراضی	۰،۳۳	۰،۵	۱	۲	۳	۴
فاصله از پل	۰،۲۵	۰،۳۳	۰،۵	۱	۲	۳
شیب	۰،۲	۰،۲۵	۰،۳۳	۰،۵	۱	۲
تراکم شبکه آبراهه	۰،۱۶	۰،۲	۰،۲۵	۰،۳۳	۰،۵	۱

$CR = 0.01$*



تصویر ۹: وزن نسبی متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب

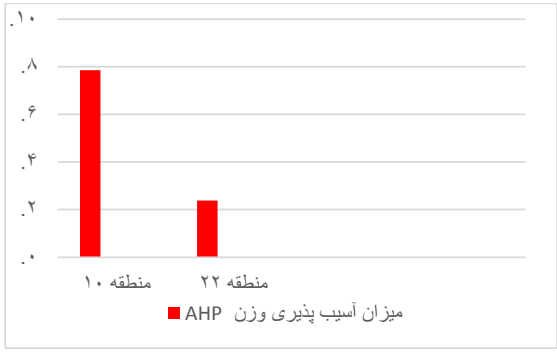


تصویر ۱۰: نقشه‌ی تفاوت سطح آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در دو منطقه‌ی ۱۰ (راست) و ۲۲ (چپ)

که در این رابطه، v آسیب‌پذیری، P تراکم جمعیت، T بلوک‌های با بافت فرسوده، B فاصله از پل، S شیب و D تراکم شبکه‌ی آبراهه است. ضرایب ارائه شده در این رابطه، همان وزن‌های نسبی محاسبه شده بر مبنای مقایسه‌ی زوجی متغیرها در تحلیل سلسله‌مراتبی است. این مقادیر همان لایه‌های رستری متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری سیلاب است که با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، وزن‌دار شده و وزن هر کدام به‌صورت ضریب در آن لایه اعمال گردیده است تا شکل عمومی این معادله به دست آید.

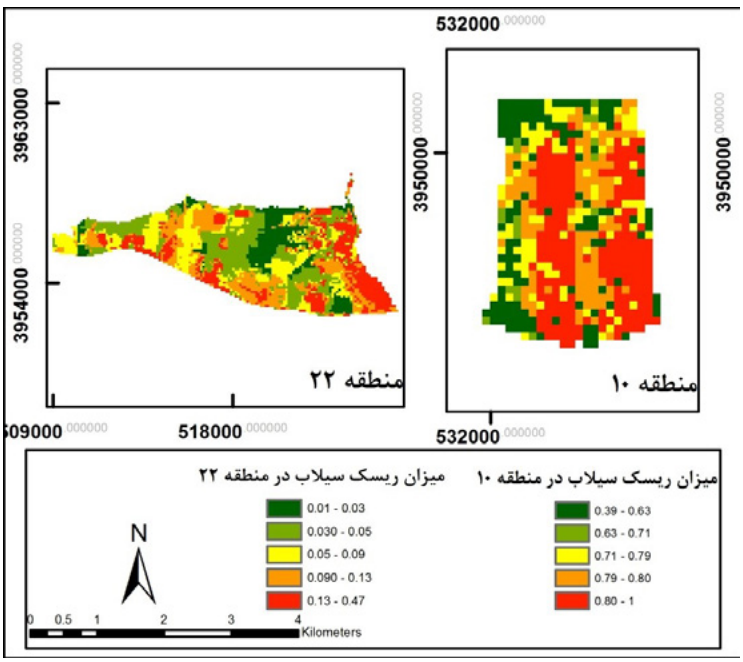
تصویر ۱۰ نقشه‌ی آسیب‌پذیری دو منطقه‌ی ۱۰ و ۲۲ کلان‌شهر تهران را نشان می‌دهد. ارزش صفر پهنه‌های با کمترین و ارزش یک پهنه‌های با بیشترین آسیب‌پذیری هستند. با توجه به تصویر، سطح آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در منطقه‌ی ۱۰، دامنه‌ای از ۰/۳۸ تا ۱ دارد؛ در حالی‌که آسیب‌پذیری منطقه‌ی ۲۲

بسیار پایین‌تر و از ۰ تا ۰/۵۲ متغیر است. این نتایج به دست آمده به‌خوبی بیانگر تفاوت سطح آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در دو منطقه‌ی مورد مطالعه است (تصویر ۱۱). تفاوت به گونه‌ای است که میزان آسیب‌پذیری به دست آمده از تحلیل سلسله‌مراتبی برای مناطق ۱۰ و ۲۲ به ترتیب ۷/۸ و ۲/۶ است. منطقه‌ی ۲۲ به دلیل جدید بودن بافت شهری، نبود بافت فرسوده و تراکم خیلی پایین جمعیت و همچنین توان آبگذری بالا (مسیل رودخانه‌ی کن) آسیب‌پذیری پایینی در مقابل سیلاب‌های شهری و رواناب‌های سطحی دارد. در مقابل تراکم شدید جمعیت در منطقه‌ی ۱۰، بافت متراکم و نامنظم ساختمانی مسکونی و شبکه‌های ارتباطی (سطوح غیرقابل نفوذ)، کیفیت نازل و بافت‌های مسکونی فرسوده از مهم‌ترین علل افزایش سطح آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در این منطقه است که تقریباً آن را به آسیب‌پذیرترین منطقه‌ی شهری کلان‌شهر تهران در برابر سیلاب مبدل نموده است.



تصویر ۱۱: میزان آسیب‌پذیری سیلاب به دست آمده از تحلیل سلسله‌مراتبی در مناطق ۱۰ (راست) و ۲۲ (چپ)

تصویر ۱۲ نقشه‌ی میزان ریسک سیلاب در دو منطقه‌ی ۱۰ و ۲۲ را نشان می‌دهد. محاسبه‌ی ارزش ریسک می‌تواند در زمینه‌های خسارت اجتماعی -اقتصادی و یا در ارتباط با مقیاس خسارت ایجاد شده توسط سیل انجام بگیرد که در این پژوهش، بعد اجتماعی و اقتصادی ریسک سیلاب مورد توجه قرار گرفت. تهیه‌ی نقشه‌ی ریسک و ارزیابی آن بر مبنای نتایج حاصل از پتانسیل خطر و آسیب‌پذیری انجام شد. نتیجه‌ی این محاسبه، ارزش ریسک با دامنه‌ای از صفر تا یک است که سطح احتمال خسارت را توسط سیلاب بیان می‌کند. رابطه‌ی ۱ چگونگی محاسبه‌ی ارزش ریسک سیلاب را در کلان‌شهر تهران نشان می‌دهد. با توجه به رابطه، میزان ارزش‌دهی یا تأثیرگذاری متغیر آسیب‌پذیری بیشتر از پتانسیل مخاطره‌ی سیلاب در نظر گرفته شده است. دلیل این ارزش‌دهی بیشتر به آسیب‌پذیری این است که شهر تهران بیش از آنکه با معضل یا چالش پتانسیل خطر ناشی از تولید رواناب مواجه باشد، با آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر و همچنین تفاوت‌های مکانی این عناصر درگیر است. به عبارتی، هنگامی‌که رواناب در سطح شهر جریانی سیلابی به خود می‌گیرد، پهنه‌های بافت فرسوده که هم بلوک‌هایی ناپایدار هستند و هم تراکم جمعیتی بالایی دارند، احتمال ریسک سیلاب و خسارت بالایی را نیز می‌توانند تجربه کنند. نتیجه‌ی این سخن می‌تواند در سطح کیفی زندگی بخش‌های مختلف شهر تهران خلاصه شود. با توجه به تصویر ۱۲ میزان ریسک سیلاب در منطقه‌ی ۱۰ دامنه‌ای از ۰/۳۹ تا ۱ را دارد در حالی که منطقه‌ی ۲۲ بسیار پایین‌تر و دارای دامنه‌ی ۰/۰۱ تا ۰/۴۷ را شامل می‌شود. این نتایج بیانگر میزان تفاوت در میزان ریسک سیلاب دو منطقه است که منطقه‌ی ۱۰ دارای درصد بالایی از ریسک سیلاب است، که این پدیده خود معلول افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و بافت‌های فرسوده و تراکم بالا در این منطقه است.



تصویر ۱۲: نقشه‌ی تفاوت ناشی از میزان ریسک سیلاب در دو منطقه‌ی ۱۰ و ۲۲

نتیجه‌گیری

تهیه‌ی نقشه‌های پتانسیل خطر، آسیب‌پذیری و ریسک سه گام اساسی برای دست‌یابی به تحلیل تغییرپذیری ریسک سیلاب در گستره‌ی مناطق مورد مطالعه است. نقشه‌ی پتانسیل خطر، فرایندی برای تولید اطلاعات از میزان خطرآفرینی سیلاب در بخش‌های مختلف منطقه است. اما این نقشه به تنهایی برای تشریح مسائل سیلاب در نواحی شهری کافی نیست، چرا که سکونتگاه شهری اجزای گوناگونی دارد که می‌تواند به شکل‌های متفاوتی از سیلاب متأثر شوند. بر این مبنا، تحلیل آسیب‌پذیری گامی برای بهبود نتایج حاصل از تحلیل پتانسیل خطر از طریق اضافه شدن موجودیت شهر به مدل‌های تحلیلی است. نقشه‌ی پتانسیل خطر سیل نمی‌تواند به طور کامل اطلاعات مورد نیاز در مدیریت سیلاب شهری را فراهم کند؛ داشتن اطلاعات درباره‌ی میزان خسارت و تخریب در ناحیه‌ی سیل‌زده بسیار مهم است که این اطلاعات تنها از طریق شدت مخاطره قابل پیش‌بینی نیست؛ بلکه به شرایط ساخت و ساز نیز بستگی دارد. پیش‌بینی ریسک ناشی از مخاطره نیاز به بررسی دقیق علت‌های ایجاد خسارت دارد که از طریق در نظر گرفتن پتانسیل ایجاد خطر و آسیب‌پذیری فراهم می‌شود. بنابراین ترکیبی از مخاطره‌ی سیلاب با دیگر پارامترها نیاز است که موجب ایجاد اطلاعات دقیق‌تر برای مدیریت سیلاب شهری گردد. برای دست‌یابی به این هدف، تحلیل آسیب‌پذیری به‌منظور بررسی تأثیر رخداد سیلاب بر اموال و زندگی انسان در نواحی شهری ابزاری مفید است.

منطقه‌ی ۲۲ به دلیل جدید بودن بافت شهری، نبود بافت فرسوده و تراکم خیلی پایین جمعیت و همچنین توان آبگذری بالا (مسیل رودخانه‌ی کن) آسیب‌پذیری پایینی در مقابل سیلاب‌های شهری و رواناب‌های سطحی دارد. مقابل تراکم شدید جمعیت در منطقه‌ی ۱۰، بافت متراکم و نامنظم ساختمانی مسکونی و شبکه‌های ارتباطی (سطوح غیر قابل نفوذ)، کیفیت نازل و بافت‌های مسکونی فرسوده از مهم‌ترین علل افزایش سطح آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در این منطقه است که موجب افزایش آسیب‌پذیری این منطقه‌ی شهری در برابر سیلاب شده است. در واقع، بافت‌های ریزدانه‌ی ناپایدار در کنار توان آبگذری بالا و تخریب مسیل‌های عمده‌ی انتقال رواناب می‌تواند از علت‌های اصلی آسیب‌پذیر بودن این بخش‌ها در مقابل سیلاب باشد. نقشه‌ی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب که می‌تواند بازتاب مناسبی از وضعیت اجتماعی و اقتصادی مناطق مختلف شهر تهران از نظر آسیب‌پذیری باشد، نشان می‌دهد که آسیب‌پذیرترین بخش‌های شهری بر بافت‌های فرسوده با تراکم جمعیتی بسیار بالا منطبق است. با توجه به نقشه‌ی آسیب‌پذیری و ریسک در منطقه‌ی ۱۰ به لحاظ وسعت بیشتر مناطق مسکونی خسارت به اراضی مسکونی بیشتر خواهد بود، درحالی که در شرق منطقه‌ی ۲۲ خسارت به باغات و اراضی کشاورزی قابل توجه خواهد بود.

با توجه به سیستم همبسته‌ی اکولوژیکی شهری اثر خسارت سیلاب تنها محدود به مناطق ۱۰ و ۲۲ نیست و می‌تواند بر مناطق پایین دست خود اثرات جانبی داشته باشد. این میزان خسارت نتیجه‌ی بی‌توجهی انسان به حریم آبراهه است که با مدیریت کاربری اراضی می‌توان تا حد زیادی از به وقوع پیوستن خسارات جلوگیری کرد. در واقع با مدیریت کاربری اراضی هم می‌توان از به وقوع پیوستن خسارت مالی متوجه شهروندان کاست و هم می‌توان احساس امنیت را برای شهروندان افزایش داد تا با امنیت بیشتری به زندگی خود ادامه دهند.

پی‌نوشت

1. Geographical Information System (GIS)
2. Analytic Hierarchy Process (AHP)
3. Natural Breaks
4. Curve Number
5. Distance
6. Maximum Distance
7. Density

۸. بلوک‌های فرسوده، بلوک‌هایی هستند که ۵۰ درصد قطعات آن‌ها مشمول سه شرط اصلی ذکر شده باشند.

9. Zonal Analysis
10. Hazard
11. Vulnerability
12. Risk

۱۳. بلوک‌های ناپایدار بلوک‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد قطعات آن‌ها غیر مقاوم است.

۱۴. بلوک‌های نفوذناپذیر بلوک‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد عرض معابر آن‌ها کمتر از ۶ متر است.

۱۵. بلوک‌های ریزدانه بلوک‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد قطعات آن‌ها دارای مساحتی زیر ۲۰۰ متر مربع هستند.

منابع

1. NOAA/NWS. (2009). Flood losses: complication of flood loss statistics [Online]. NOAA gov climate research Centre. Available: http://www.weather.gov/oh/hic/flood stats/Flood Loss time series.shtml [Accessed 25.08.2009].
2. IF-NET 2005. Flood net brochure.
3. Bhattacharya, Namrata. (2010). Flood risk assessment in barcelonate, France. Thesis of master degree, International institute for geo-information science and earth observation enschede (ITC), the Netherlands.
4. Nirupama N. and S. P. Simonovic. (2007). Increase of flood risk due to urbanization: A Canadian example. Natural Hazards. 40, pp. 25-41.
5. Saghafian B., Farzjoo Hassan, Bozorgy Babak and Yazdandoost Farhad. (2008). Flood intensification due to changes in land use. Water Resource Management. 22, pp. 1051-1067.
6. Liu Y.B., F. De Smedt, F. Hoffmann and L. Pfister. (2004). Assessing land use impact on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach. Environmental modeling and assessment 9: pp. 227-235.

7. Campana N. A. and E. M. C. Tucci. (2001). Predicting floods from urban development scenarios: Case study of the Diluvio basin, Porto Alegre, Brazil. Urban Water 3: pp. 113-124.

۸. وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۸۸). طرح جامع حفاظت و احیاء منابع طبیعی شمال تهران و شمیرانات (البرز جنوبی)، گزارش تلفیق، سنتز و برنامه‌ریزی، جلد اول.

9. Yashon O. Ouma and Ryutaro Tateishi. (2014). Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment. Water Journal | An Open Access Journal from MDPI. 6, 1515-1545

10. Costas Armenakis, Erin Xinheng Du, Sowmya Natesan, Ravi Ancil Persad and Ying Zhang. (2017). Geosciences Journal. 7, 123

11. Aleksandra Barczak, Camille Grivaul. (2007). Geographical Information System for the assessment of vulnerability to urban surface runoff. NOVATECH 2007 – Sixth International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management.

۱۲. محمودزاده، حسن؛ امامی کیا، وحید؛ رسولی، علی اکبر (۱۳۹۳). ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده‌ی شهر تبریز با استفاده از روش AHP. فصلنامه‌ی تحقیقاتی جغرافیایی، سال ۳۰، شماره‌ی ۱،(بهار ۱۳۹۴)، شماره‌ی پیاپی ۱۱۶.

۱۳. صداقت، محسن؛ سلیمانی، کریم؛ رشیدپور، مصطفی (۱۳۹۵). پهنه‌بندی حساسیت سیلاب شهری با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه‌ی موردی: آمل)، سومین کنفرانس علمی پژوهشی افق‌های نوین در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی معماری و شهرسازی ایران، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین.

۱۴. یمانی، مجتبی؛ عنایتی، مریم (۱۳۸۴). ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومورفولوژیک حوضه‌های فشند و بهجت‌آباد)، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره‌ی ۵۴، ۴۷-۵۷.

۱۵. کاویانپور، محمدرضا و رزم خماوش صوفیانی، حسن (۱۳۸۶). مدل‌سازی و مدیریت سیلاب شهری مسیل باختر و منوچهری تهران با استفاده از GIS، سومین کنگره ملی مهندسی عمران.

۱۶. مقیمی، ابراهیم و صفاری؛ امیر (۱۳۸۹). ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه‌ی شهری در قلمروی حوضه‌های زهکشی سطحی مطالعه‌ی موردی: کلان‌شهر تهران، *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، دوره‌ی ۱۴، شماره‌ی ۱، ۱-۳۱.

۱۷. قهرودی تالی، منیژه (۱۳۸۹). تأثیر حوضه‌های بالادست تهران بر رخداد سیلاب در مناطق مسکونی تهران، مطالعه‌ی موردی: تأثیر حوضه فرحزاد در منطقه‌ی ۲ تهران، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری، مرداد ماه.

۸۱. روزخش، پرویز؛ حبیبی، مهدی؛ غریب رضا، محمد رضا (۱۳۸۹). بررسی وضعیت سیل‌گذری رودخانه‌ی کن در غرب تهران تحت تأثیر احداث پل، برداشت شن و ماسه و تجاوز به حریم رودخانه، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری، تهران.

۱۹. وزارت مسکن و شهرسازی، شهرداری تهران (۱۳۸۴). تهیه‌ی الگوی توسعه و طرح تفصیلی منطقه و همکاری با شهرداری مناطق ۱۰ و ۲۲، ویرایش نهایی.

۲۰. مهاب قدس (۱۳۹۱). شرکت مهندسی مشاور، مطالعات طرح جامع آب‌های سطحی- جلد دوم: مطالعات پایه.

21. Saaty, T. L. (2004). Mathematical methods of operations research. Courier Dover Publications. New York.

۲۲. زبردست، اسفندیار (۱۳۸۰). کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، *مجله‌ی هنرهای زیبا*، شماره‌ی ۱۰.

23. Jinfeng, Yue. (2002). Generating ranking groups in Analytical Hierarchy Analysis. Dublin. Jhon wiely & Sons press.

۲۴. درفشی، خه‌بات (۱۳۹۰). بررسی تغییرات فضایی سیلاب در کلان‌شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

۲۵. بهتاش، فرزاد آقایی؛ محمد تقی، محمد؛ امینی، مروارید (۱۳۸۹). بررسی وضعیت رود دره فرحزاد (قبل و بعد ساماندهی)، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهرتهران. *دانش شهر*، شماره‌ی ۱۵، ۲۷-۳۱.

تحلیل سناریوهای پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل‌های شهرستان لردگان با استفاده از GIS و RS

نگار حامدی *: کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان،
az_hamedi_90@yahoo.com
علی اسماعیلی: استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.
حسن فرامرزی: دکتری جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس تهران، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، نور، مازندران.

تاریخ دریافت:۱۳۹۵/۹/۱۹
تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۹/۲۶

چکیده

آتش‌سوزی جنگل عوارض جانبی زیادی بر روی عملکرد جنگل و زمین، مانند از دست دادن تنوع زیستی، کاهش ارزش اقتصادی جنگل‌ها و تغییرات آب و هوایی در مقیاس بزرگ دارد. با توجه به اهمیت موضوع، مطالعه‌ی حاضر به بررسی تغییرات پتانسیل خطر آتش‌سوزی می‌پردازد. برای رسیدن به این هدف لایه‌های رقومی و داده‌های مورد نیاز از سایت‌های مرتبط، سازمان‌ها و برداشت‌های میدانی در منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه شد. پس از آماده‌سازی داده‌ها و در نظر گرفتن آتش‌سوزی‌های رخ‌داده با فازی‌سازی لایه‌ها از روش تحلیل شبکه‌ای و روش میانگین وزنی مرتب استفاده گردید. بدین منظور آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس شهرستان لردگان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست و مادیس همراه با عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی (عوامل توپوگرافی، انسانی، اقلیمی و پوشش گیاهی) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در روش ANP، بیشترین وزن‌ها را فاکتورهای فاصله از مناطق مسکونی و جاده، شاخص GVMI و حداکثر دمای روزانه‌ی هوا به دست آوردند. روش OWA برای تهیه‌ی مدل پیش‌بینی خطر صورت پذیرفت و با استفاده از نتایج نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی در چهار طبقه خطر بسیار کم، کم، متوسط، زیاد تهیه گردید. ارزیابی صحت نیز با استفاده از مشخصه‌ی عامل نسبی صورت پذیرفت. از بین شش سناریوی اعمال‌شده، سناریوی سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران با میزان ROC= 0.702 به‌منزله‌ی بهترین مدل برای پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل برآورد گردید. با توجه به صحت و دقت بالای مدل به‌دست‌آمده می‌توان از آن برای مهار آتش‌سوزی‌هایی که در آینده رخ خواهد داد استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: *آتش‌سوزی جنگل، سنجش‌ازدور ANP، OWA، ROC*

Analysis of the potential fire hazard scenarios using GIS and RS: A case study of Lordegan forests

Negar Hamedi*[1], Ali Esmaeily[2], Hassan Faramarzi[3]

Abstract

Forest fire has many side effects on forest and land function. Among them are loss of biodiversity, reduction of economic value of forests and climate change in large scale. The aim of this study was to evaluate the changes in forest fires potentials. To achieve this goal, the required digital layers and data were obtained from the relevant websites and organizations as well s through field surveys in the area of the study. After preparing the data by assuming the occurred fire, the layers were entered in a fuzzy process using Analytical Network Process (ANP) and Ordered Weighted Average (OWA) method. For this purpose, Zagros fire forests (Lordegan city) were examined using Landsat and MODIS images and considering the factors affecting fire (topographical factors, human, climate and vegetation). In ANP procedure, the largest weighs were assigned to the distance of residential areas from roads, GVMI index and maximum daily air temperature factors in their magnitude order. OWA method was also used to create the hazard prediction model. Based on the results, the fire hazard map was prepared in four classifications: very low, low, medium, and high. An accuracy assessment was also performed using the relative operating characteristics. Of the six scenarios applied, the low-risk scenario and a small compensation amount of ROC = 0.702 were evaluated as the best model to predict the risk of forest fires. Due the high accuracy and precision of the model obtained, it can be used to contain the fires that will occur in the future.

Keywords: *fire forest, remote sensing, ANP, OWA, ROC*

1. Dept. of Surveying Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Mahan, Iran ,az_hamedi_90@yahoo.com
2. Dept. of Surveying Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Mahan, Iran
3. Forestry PhD student Tarbiat Modarres University of Tehran, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Noor, Mazandaran

مقدمه

آتش‌سوزی جنگل با منشأ طبیعی و یا انسانی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم آثار مخرب و زیان‌باری بر جامعه‌های انسانی وارد می‌کند که در صورت بروز این واقعه، به دلیل تمرکز جمعیت در اطراف روستاها تأثیر بسیار زیادی بر محیط‌زیست، آبادی‌ها و ساکنان آن‌ها می‌گذارد [۱]. حریق جنگل یک تهدید بالقوه همراه با اثرات اکولوژیکی، محیطی و فیزیکی است که نه‌تنها به‌منزله‌ی یک عامل جدایی‌ناپذیر محیطی بر روی پوشش گیاهی، بلکه به‌منزله‌ی یک عامل آشفتگی مکانی و زمانی بر روی اکوسیستم‌ها تأثیر می‌گذارد [۲]. جنگل‌های زاگرس نیز ازجمله مناطقی است که در سنوات گذشته دچار آتش‌سوزی‌های مکرر و مداومی شده است. بنابراین اقدامات پیشگیرانه از بروز حریق در این جنگل‌ها برای جلوگیری از خسارات جبران‌ناپذیر آن‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. یکی از مهم‌ترین راه‌های کنترل این آتش‌سوزی‌ها، شناسایی مناطق بحرانی آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه است.

اخیراً مطالعات زیادی برای بررسی و علت‌یابی آتش‌سوزی‌های جنگل با توجه به عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی صورت گرفته است. چوویکو و همکارانش در سال ۱۹۸۹ از داده‌های ماهواره‌ای IRS و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تشخیص محدوده‌های حساس به آتش‌سوزی در جنگل‌های هندوستان استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که منطقه‌ی مورد مطالعه دارای ۲۰٪ قابلیت بسیار زیاد،۱۰٪ قابلیت زیاد، ۱۵٪ قابلیت متوسط و ۵۵٪ قابلیت کم برای وقوع حریق است [۳]. زنگ و همکاران در سال ۲۰۰۳ خطر آتش‌سوزی جنگل در پارک سیدنی استرالیا را با استفاده از روش فازی برآورد کردند. در این پژوهش مناطق دارای بیشترین احتمال خطر شناسایی و از لحاظ میزان و شدت خطر آتش‌سوزی طبقه‌بندی شدند [۴]. ارتن و همکاران در سال ۲۰۰۵ در منطقه‌ی گالی پولی ترکیه مناطق مستعد به خطر آتش‌سوزی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS نقشه‌برداری کردند. نتایج بیانگر این بود که در محدوده‌های با پوشش گیاهی خشک، جهت جنوبی، شیب بالا، نزدیک به مناطق مسکونی و جاده، قابلیت خطر آتش‌سوزی جنگل زیاد است [۵]. در سال ۲۰۱۰ سومیا و همکارانش در پناهگاه حیات وحش Bhadra در هندوستان با کمک روش AHP و وزن‌دهی به همه‌ی عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی منطقه را تهیه کردند. نقشه‌ی به‌دست‌آمده با نقشه‌ی واقعی حریق سنوات قبل مقایسه شد و مشاهده شد مدل به‌دست‌آمده قابلیت اعتماد بالایی داشته و می‌تواند برای مدیریت و پیشگیری از آتش‌سوزی در آینده استفاده شود [۶]. لاکشمی در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۲ بر روی جزیره‌های شمالی و جنوبی نیوزیلند انجام داد به بررسی موضوع پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی از طریق روش‌های پیش‌بینی فازی و اطلاعات آب و هوایی با توجه به موقعیت جغرافیایی می‌پردازد. با این روش، خطر آتش‌سوزی با استفاده از یک مدل تزایدی مطلق که در آن تأثیر هر یک از متغیرها به‌طور جداگانه برآورد شده است تعیین می‌گردد [۱۷]. در سال ۱۳۹۳ اسکندری با استفاده از مدل دانگ پهنه‌ی پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل‌های شمال را با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که ۵۱ درصد مناطق آتش‌سوزی شده در مناطق پرخطر یا بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند [۸].

مرور تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد در اکثر مطالعات برای ارزیابی پتانسیل خطر حریق از فاکتورهای محیطی متعدد با کمک گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است و در اغلب موارد برای وزن‌دهی فاکتورها روش AHP به کار گرفته شده است. در این میان استفاده از مدلی که بتواند با استفاده از وزن‌دهی مناسب به متغیرهای مؤثر در وقوع حریق نتایج مطلوبی به دست آورد اهمیت بسزایی دارد، ازاین‌رو با توجه به اهمیت پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل این تحقیق در نظر دارد مناطق خطر وقوع حریق در جنگل‌های زاگرس را با استفاده از روش میانگین وزنی مرتب و تحلیل شبکه‌ای شناسایی و ضمن تهیه‌ی نقشه‌ی مناطق مستعد آتش‌سوزی و اعتبارسنجی آن ضمن معرفی مناطق بحرانی راهکاری به‌منظور جلوگیری از آتش‌سوزی‌های بعدی در جنگل‌های این ناحیه ارائه دهد. نوآوری این تحقیق استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای برای تعیین وزن معیارها و همچنین روش میانگین وزنی مرتب (OWA) به‌عنوان روشی برای مکان‌یابی و پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی است. روش میانگین وزنی مرتب در ایجاد دامنه‌ی گسترده‌ای از گزینه‌های تصمیم‌گیری برای نمایش عدم اطمینان، در ارتباط با تأثیر متقابل چندین معیار استفاده می‌شود با این تفاوت که مقادیر معیارها قبل از ضرب در بردار وزن‌ها، مرتب می‌شوند و این مرتب‌سازی باعث غیرخطی شدن مدل می‌شود. مزیت و تمایز این روش نسبت به سایر روش‌ها این است که سناریوهای مختلف مکان‌یابی مناسبی را در مقیاس بین صفر و یک نمایش می‌دهد و درواقع این سناریوها برای تعیین سطوح ریسک‌پذیری (خوش‌بینانه، بدبینانه و خنثی) در نظر گرفته می‌شوند [۹].

ساختار تحقیق در این مطالعه دارای چهار بخش است، ابتدا منطقه‌ی مورد مطالعه و ویژگی‌های آن معرفی می‌گردد. سپس در بخش مواد و روش‌ها داده‌های مورد استفاده، اعم از داده‌های هواشناسی، تصاویر ماهواره‌ای و سایر عوامل مؤثر در آتش‌سوزی معرفی می‌گردند. در ادامه مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین شاخص‌ها و روش پیشنهادی تحلیل داده‌ها و استخراج اطلاعات مورد نیاز از آن‌ها و دلایل استفاده از روش پیشنهادی مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش سوم پیاده‌سازی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از داده‌های ورودی نمایش داده خواهد شد و در بخش چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه خواهد شد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

شهرستان لردگان با مساحت ۳۳۹۶۸۱ هکتار در موقعیت "۱۴،'۱۶،°۵۰ درجه تا "۲۰،'۲،°۵۱ طول شرقی و "۹،'۳۰،°۳۱ درجه تا "۲۵،'۴۴،°۳۱ عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این منطقه با میانگین بارندگی ۵۷۱٫۷ میلی‌متر

و میانگین درجه حرارت ۱۵,۲ سانتی‌گراد در سال است که ۹۸ درصد پوشش عمده‌ی جنگلی این مناطق را درخت بلوط تشکیل می‌دهد. وابستگی مستقیم معیشت بخش عمده‌ای از عشایر و ساکنان محدوده‌های عرفی این منطقه به مراتع و حضور خانوارهای جنگل‌نشین در جنگل‌ها و همچنین مسائل اقتصادی و اجتماعی خاص حاکم بر منطقه از شاخص‌های ویژه‌ی منطقه است. از این‌رو شرایط برای آتش‌سوزی مهیا است و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع از طریق تعریف مدلی مناسب می‌تواند در امر مدیریت پیشگیری و کنترل آتش مؤثر واقع شود.

تصویر۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

جنگل‌های منطقه‌ی زاگرس به دلیل ارزش‌های زیستگاهی، تنوع گونه‌ای و ژنتیکی، جذب آب و جلوگیری از فرسایش خاک، تفرجگاهی و اقتصادی دارای اهمیت ویژه‌ای است و حفاظت این جنگل‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. هرساله آتش‌سوزی‌های متعددی در جنگل‌های شهرستان لردگان اتفاق می‌افتد که می‌توان به آتش‌سوزی‌های مرداد ۹۴ و تیرماه ۹۶ در منطقه‌ی ارمند و مرداد ماه ۹۷ در بخش خانمیرزا اشاره نمود. با تکیه به دلایل مذکور و اهمیت زیست‌محیطی این جنگل‌ها، اتخاذ رویکردهای پیشگیری‌کننده از رخداد حریق در این جنگل‌ها ضروری به نظر می‌رسد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی پتانسیل خطر آتش‌سوزی از فاکتورهای مختلفی که در آتش‌سوزی تأثیر دارند، استفاده می‌شود و از آنجا که این عوامل از تعدد و تنوع بالایی برخوردار هستند، در این مطالعه به‌منظور سهولت در انجام و همچنین درک بهتر روند محاسبات، این پارامترها در چهار گروه اصلی معیارهای توپوگرافی، اقتصادی- اجتماعی، اقلیمی و پوشش گیاهی مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند. داده‌ها و اطلاعات استفاده شده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست TM در تاریخ ۲۰۱۴/۸/۱۸ و تصاویر ماهواره‌ای مادیس MOD02HKM مربوط به زمان ۲۰۱۴/۸/۱۷، اطلاعات توصیفی از قبیل داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی و همچنین لایه‌های اطلاعاتی عوامل انسانی، اقلیمی، توپوگرافیک و پوشش گیاهی منطقه است. در این تحقیق، پس از بررسی و مرور سوابق مختلف نقشه‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی با توجه به دسترسی داده‌های اولیه برای تشکیل پایگاه داده‌های مکانی به شرح جدول ۱ تهیه گردید. جمع‌آوری داده‌ها از بانک‌های اطلاعاتی و با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند AutoCAD ، ENVI ، Excel ،GIS است که نهایتاً به سیستم نرم‌افزاری IDRISI وارد شده و لایه‌های رقومی و نقشه‌های مورد نظر تهیه می‌گردند.

جدول ۱: مراحل تشکیل پایگاه داده‌های مکانی

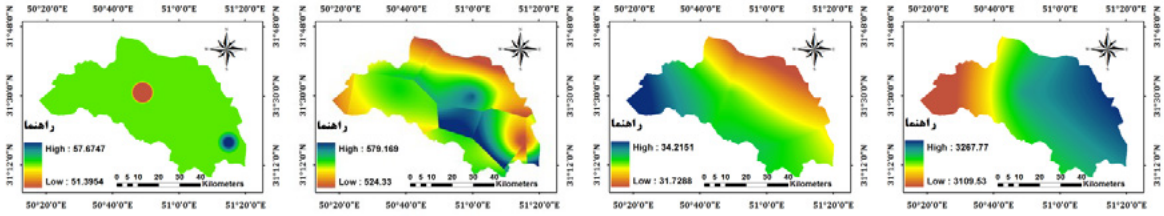
ردیف	عنوان معیار	منبع تهیه	مقیاس نقشه
۱	داده‌های اقلیمی	سازمان هواشناسی کشور	میان‌یابی با روش کریجینگ معمولی
۲	توپوگرافی	سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱/۲۵۰۰۰
۳	جاده	سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱/۲۵۰۰۰
۴	مناطق مسکونی	سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱/۲۵۰۰۰
۵	شبکه آبراهه	سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱/۲۵۰۰۰
۶	مراکز اطفای حریق	اداره‌ی منابع طبیعی و آبخیزداری	۱/۲۵۰۰۰
۷	شاخص‌های ماهواره‌ای NDVI, SR, EVI و GVMI	سایت https:// earthexplorer.usgs.[[gov	لندست TM و مادیس MOD02HKM
۸	نقشه‌ی واقعیت آتش‌سوزی	آماربرداری در منطقه‌ی مورد مطالعه	برداشت با GPS

ازآنجا که عوامل تأثیرگذار بر وقوع حریق به یک میزان دارای اهمیت نیستند، پس از نظرسنجی از افراد متخصص با روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) می‌توان این عوامل را اولویت‌بندی کرد. از طرفی، به این دلیل که در طبیعت مرزبندی قطعی بین معیارها و زیر معیارها وجود ندارد، منطق فازی مورد استفاده قرار گرفت تا ارتباطات بین معیارها و عدم قطعیت‌های موجود نیز در تحلیل‌ها وارد شوند. بنابراین پس از فازی کردن نقشه‌ها و وزن‌دهی عناصر با روش تحلیل شبکه‌ای و تعیین وزن معیارها و وزن ترتیبی، از روش OWA در نرم‌افزار IDRISI برای تلفیق لایه‌ها و مدل‌سازی استفاده گردید و به ازای هر سناریو، نقشه‌ی پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل تهیه شد.

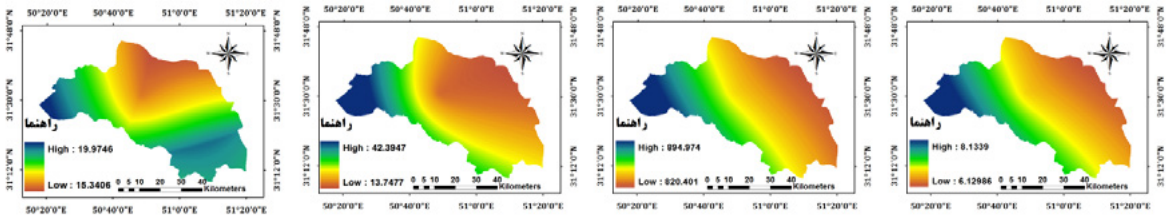
انتخاب معیارها و پردازش داده‌ها

بر اساس مطالعات داخل و خارج از کشور و همچنین مطالعه‌ی ویژگی‌های طبیعی منطقه فاکتورهای اقلیمی، توپوگرافیک، پوشش گیاهی و عوامل انسانی به‌عنوان عوامل مؤثر در توسعه‌ی آتش‌سوزی شناسایی شدند. بیشتر آتش‌سوزی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در متوسط دمای هوای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد،

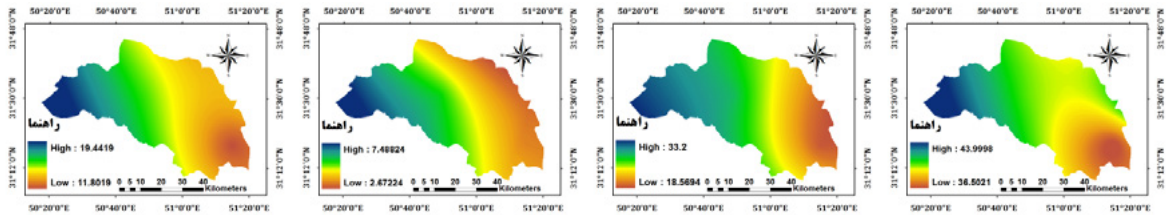
متوسط رطوبت نسبی سالانه ۲۰ درصد، متوسط سرعت باد چهار متر بر ثانیه، فاصله‌ی پنج کیلومتری از جاده‌ها و پنج تا ده کیلومتری از مراکز اطفای حریق، شیب‌های بالای ۲۰ درصد و جهت جنوبی و با میانگین ارتفاع ۱۸۰۰ متر رخ داده است. برای تهیه‌ی نقشه‌های اقلیمی ابتدا میانگین سالانه‌ی شاخص‌های اقلیمی به تفکیک ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی از سازمان هواشناسی کشور در قالب فایل Excel تهیه شد تا قابل استفاده در نرم‌افزار ARCGIS باشد. با توجه به پراکنش نامنظم و تصادفی داده‌های هواشناسی از روش کریجینگ معمولی که یک روش میان‌یابی و برآورد زمین‌آماری است برای تهیه‌ی نقشه‌های سطحی اقلیمی استفاده گردید. در روش کریجینگ برای هر کدام از ایستگاه‌هایی که در داخل و خارج از منطقه‌ی مورد مطالعه قرار دارند برحسب فاصله و موقعیت آن‌ها وزن آماری مشخصی در نظر گرفته می‌شود به‌طوری‌که واریانس تخمین کمینه می‌گردد [۱۰]. بنابراین نقشه‌ی معیارهای مؤثر در خطر آتش‌سوزی جنگل تهیه و به ترتیب در تصویرهای ۲ تا ۷ نشان داده می‌شود.



تصویر ۲: به ترتیب از چپ به راست نقشه‌های میانگین حداکثر رطوبت نسبی (۱)، مجموع بارندگی ماهیانه به میلی‌متر (۲)، تعداد روزهای ابری (۳)، مجموع ماهیانه‌ی ساعات آفتابی (۴)



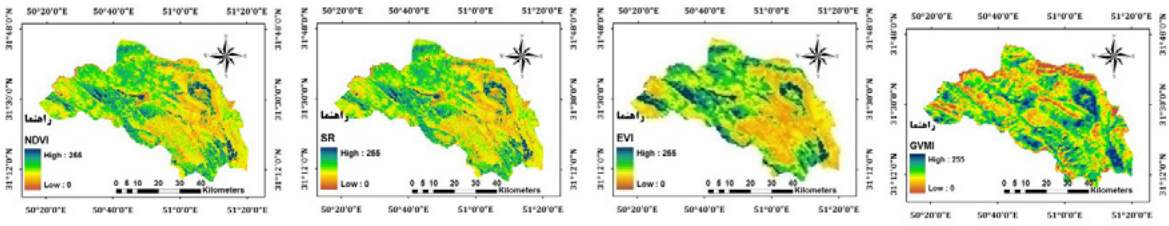
تصویر ۳: به ترتیب از چپ به راست نقشه‌های تعداد روزهای با طوفان تندری (۱)، تعداد روزهای توأم با طوفان گردوغبار (۲)، نقشه‌ی متوسط فشار QFE برحسب HPA (۳)، میانگین فشار بخار آب (HPA) (۴)



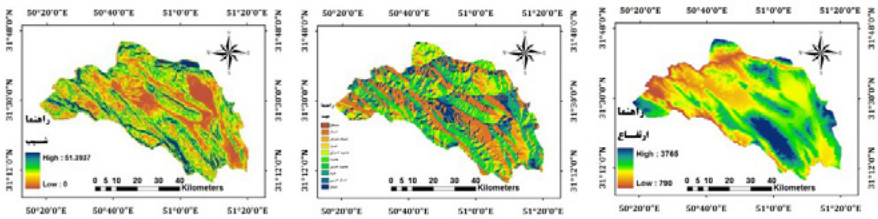
تصویر ۴: به ترتیب از چپ به راست نقشه‌های میانگین ماهیانه‌ی متوسط دمای روزانه هوا (۱)، میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه‌ی هوا (۲) و (۳)، حداکثر دمای ثبت‌شده برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد (۴)

جدول ۲: شاخص‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق

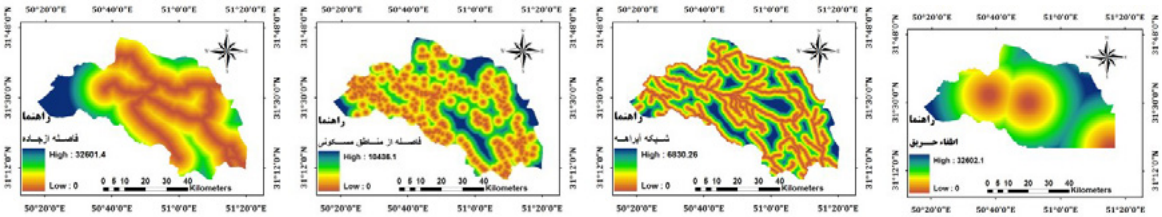
ردیف	نام اندیس	فرمول
۱	EVI(Enhanced Vegetation Index)	$EVI = \frac{2.5(NIR - RED)}{(1 + NIR + 6RED - 7.5BLUE)}$
۲	NDVI(Normalized Difference Vegetatio Index)	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$
۳	GVMI(Global Vegetation Moisture Index)	$GVMI = \frac{(\rho_2 + 0.1) - (\rho_6 + 0.02)}{(\rho + 0.1) + (\rho_6 + 0.02)}$
۴	SR(Ratio Vegetation Index)	$SR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}}$



تصویر۵: به ترتیب از چپ به راست شاخص‌های ماهواره‌ای EVI، (۲) SR، (۱) NDVI (۳) و GMVI(۴)



تصویر۶: به ترتیب از چپ به راست نقشه شیب (۱) و جهت (۲) و ارتفاع از سطح دریا (۳)



تصویر۷: به ترتیب از چپ به راست نقشه‌ی فاصله از جاده (۱)، فاصله از مناطق مسکونی (۲)، فاصله از شبکه‌ی آبراهه (۳)، فاصله از مراکز اطفاء حریق (۴)

نقشه‌ی تراکم پوشش گیاهی از شاخص‌های ماهواره‌ای EVI, SR, NDVI و GVMI تصاویر لندست و مادیس به کمک نرم‌افزار ENVI استخراج گردید. در میان شاخص‌های متعدد پوشش گیاهی NDVI (شاخص اختلاف نرمال شده‌ی پوشش گیاهی) و EVI (شاخص اصلاح‌شده‌ی پوشش گیاهی) از شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی هستند که برای فراهم کردن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌ویژه شاخص NDVI که کارایی مفید آن در بسیاری از تحقیقات مشخص شده است. شاخص نسبت ساده یا SR در مورد زیست‌توده‌ی گیاهان و شاخص سطح برگ اطلاعات مناسبی را در اختیار ما قرار می‌دهد. شاخص GVMI برای سنجش حجم آب موجود در پوشش گیاهی کاربرد دارد و از باند ۲ و ۶ مادیس استفاده می‌کند. جدول ۲ فرمول شاخص‌های به کار برده شده در این مقاله همراه با نام اندیس مربوط به هر شاخص را نشان می‌دهد که در اینجا باندهای ماهواره، NIR باند مادون قرمز نزدیک، RED باند مادون قرمز و BLUE باند آبی ماهواره است.

بنابراین برای مدل‌سازی به کمک منطق فازی با انتقال لایه‌های رقومی به محیط IDRISI عملیات استانداردسازی نقشه‌ها با کمک توابع عضویت فازی انجام شد. در اینجا کلیه‌ی فاکتورهای اقلیمی با تابع عضویت خطی و شکل افزایشی یا کاهشی استانداردسازی شدند. از میان شاخص‌های ماهواره‌ای شاخص GVMI با تابع عضویت زنگوله‌ای و شکل متقارن و سایر شاخص‌ها با تابع عضویت خطی و شکل افزایشی استانداردسازی گردیدند. برای کلیه‌ی فاکتورهای عوامل انسانی تابع عضویت زنگوله‌ای و شکل افزایشی یا کاهشی در نظر گرفته شد، در صورتی که برای عوامل توپوگرافیک، ارتفاع تابع عضویت خطی و شکل کاهشی داشته ولی برای شیب و جهت زنگوله‌ای و شکل متقارن اختصاص یافت. پس از استانداردسازی و مقیاس‌گذاری، لایه‌ای رستری با دامنه‌ی ۰ تا ۲۵۵ به وجود آمد و با توجه به نقشه‌ی به‌دست‌آمده لایه‌هایی که قابلیت استفاده در مدل را دارا بودند انتخاب گردیدند، سپس برای تعیین بردار وزن معیارها، از روش ANP برای وزن‌دهی معیارها استفاده گردید.

محاسبه‌ی اهمیت نسبی معیارها با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ معرفی شد [۱۱]. فرض اصلی روش AHP وجود استقلال زیر معیارها یا معیارها با هم است [۱۲]. ساعتی در مواردی که این اصل نقض می‌شود و ساختار مسئله به شکل شبکه‌ای است، روش ANP را به‌منزله‌ی بسطی از AHP معرفی کرد. هدف از ارائه‌ی این روش ساختن مدلی است که از طریق آن بتوان مسائل پیچیده‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره را به‌صورت اجزای کوچک‌تر تجزیه نمود و به‌واسطه‌ی مقداردهی معقولانه به اجزای ساده‌تر و سپس ادغام این مقادیر تصمیم‌گیری نهایی را انجام داد. در

جدول ۳: وزن معیارهای به‌دست‌آمده از روش تحلیل شبکه‌ای

ردیف	عامل مؤثر	وزن	ردیف	عامل مؤثر	وزن	ردیف	عامل مؤثر	وزن
۱	فاصله از مناطق مسکونی	۰٫۲۰۹۱۷	۹	ارتفاع از سطح دریا	۰٫۰۳۵۴۴۸	۱۷	مجموع بارندگی ماهیانه به میلی‌متر	۰٫۰۰۷۲۱۵
۲	فاصله از جاده	۰٫۱۹۸۰۲	۱۰	حداکثر دمای ثبت‌شده	۰٫۰۲۶۴۸۳	۱۸	میانگین حداکثر رطوبت نسبی	۰٫۰۰۶۳۹۲
۳	شاخص GMVI	۰٫۰۹۰۴۳	۱۱	موقعیت ایستگاه‌های کنترل آتش (اطفای حریق)	۰٫۰۱۸۷۹۶	۱۹	شاخص نسبت ساده	۰٫۰۰۶۰۲۳
۴	مجموع ماهیانه‌ی ساعات آفتابی	۰٫۰۷۱۶۷	۱۲	شاخص اصلاح‌شده‌ی پوشش گیاهی	۰٫۰۱۸۰۷	۲۰	تعداد روزهای با طوفان تندری	۰٫۰۰۴۵۸۳
۵	شیب	۰٫۰۶۵۴۵	۱۳	فاصله از شبکه‌ی آبراهه	۰٫۰۱۷۲۵۲	۲۱	تعداد روزهای توأم با طوفان گرد و غبار	۰٫۰۰۳۵۸۴
۶	جهت	۰٫۰۶۲۷۲	۱۴	میانگین حداقل دمای روزانه هوا	۰٫۰۱۲۰۹۴	۲۲	میانگین فشار بخارآب (HPA)	۰٫۰۰۲۷۱۴
۷	شاخص اختلاف نرمال پوشش گیاهی	۰٫۰۶۱۷۳	۱۵	میانگین ماهیانه متوسط دمای روزانه هوا	۰٫۰۱۰۹۳۸	۲۳	متوسط فشار QFE برحسب HPA	۰٫۰۰۲۰۵۲
۸	میانگین حداکثر دمای روزانه هوا	۰٫۰۶۰۴۶	۱۶	تعداد روزهای ابری	۰٫۰۰۸۷۰۱			

فرایند تحلیل شبکه‌ای موضوعات به‌مثابه‌ی شبکه‌ای از معیارها و زیر معیارها هستند که با هم در خوشه‌هایی جمع‌آوری می‌شوند و تمامی عناصر در یک شبکه در هر شکلی می‌توانند دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به عبارت دیگر در یک شبکه، ارتباط و بازخورد متقابل بین و میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است [۱۳]. جدول ۳ وزن به‌دست‌آمده برای هر معیار از روش تحلیل شبکه‌ای را نشان می‌دهد. بنابراین وزن‌های به‌دست‌آمده از روش ANP که به کمک نرم‌افزار Super decisions استخراج شد به‌منزله‌ی وزن معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پس از وزن‌دهی معیارها، تلفیق لایه‌ها با استفاده از روش OWA برای تهیه‌ی مدل پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل صورت پذیرفت.

تلفیق معیارها با استفاده از روش میانگین وزنی مرتب (OWA)

در این روش در کنار وزن معیارها، وزن ترتیبی هم تعریف شده که این وزن‌های ترتیبی اجازه‌ی کنترل مستقیم بر سطوح موازنه (tradeoff) و ریسک را می‌دهند. درجه‌ی ریسک، فرایند ترکیب بین حداقلی کردن (AND) و حداکثری کردن (OR) محدوده‌هایی است که نهایتاً مناسب شناخته می‌شوند. tradeoff برای تخمین میزان جبران‌کنندگی معیارها کاربرد دارد و جبران‌پذیری معیار ناکارآمد را نسبت به سایر معیارها نشان می‌دهد و مقدار آن بین ۰ و ۱ است که عدد صفر عدم جبران‌کنندگی و عدد یک جبران‌کنندگی کامل را بیان می‌کند. عملگر Orness ریسک‌پذیری و ریسک گریزی تصمیم‌گیرنده را نشان می‌دهد [۱۴]. فرمول عملگرهای OWA در رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده می‌شود که در اینجا r ترتیب معیارها، n تعداد معیارها، و Wr وزن معیار در rامین ترتیب است [۱۵، ۱۶].

رابطه‌ی ۱: $$ORness = 1 - ANDness$$

رابطه‌ی ۲: $$ANDness = \frac{1}{n-1}\sum_r (n-r)w_r$$

رابطه‌ی ۳: $$TRADE-OFF = 1-\sqrt{\frac{n\sum_r (w_r - \frac{1}{n})^2}{n-1}}$$

سناریوهای پیشنهادی برای پیش‌بینی حریق با استفاده از روش وزن‌های ترتیبی

در روش میانگین وزنی مرتب از وزن‌های معیار و وزن‌های ترتیبی استفاده می‌شود، به‌طوری‌که در یک نقشه همه‌ی سلول‌ها دارای یک وزن معیار مشترک است ولی وزن ترتیبی متفاوت خواهند داشت. وزن‌های معیار اهمیت نسبی فاکتورهای مورد بررسی و وزن‌های ترتیبی موقعیت مکانی سلول نقشه‌ها و لایه‌ها را نشان می‌دهند. با استفاده از کمیت سنج‌های فازی می‌توان به تولید وزن‌های ترتیبی پرداخت. این وزن‌ها بر اساس کمیت سنج‌های یکنواخت افزایشی منظم هستند. وزن‌های ترتیبی v= [v1, v2,…vn] که در آن vn رتبه‌ی ترتیبی است، vmax=[0,0,…,1] برای عملگر OR، vmin=[1,0,…,0] برای عملگر AND ، vmean=[1/n,1/n,…,1/n] میانگین حسابی است و جوابی شبیه WLC تولید می‌کند. در هر صورت، به دلیل اینکه وزن‌های ترتیبی بر اساس انحراف و پراکندگی‌شان می‌توانند تغییر کنند، راه‌حل‌های (سناریوهای) زیادی برای پیش‌بینی حریق به دست می‌آید. برای اجرای این روش و محاسبه‌ی وزن‌ها، از ساخت شش سناریوی وزنی و رابطه‌ی زیر استفاده می‌گردد. عملگر ترکیبی

جدول ۴: وزن‌های ترتیبی مربوط به سناریوهای مختلف روش OWA برای ترکیب عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی جنگل

ردیف	سناریوها	وزن‌های ترتیبی					ANDness	ORness	TREADOFF
		اول	دوم	سوم	.... دوازدهم....	بیست و سوم			
۱	سناریوی اول (ریسک پایین و عدم جبران)	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰،۰۶۶۴۳۶۱۲۹
۲	سناریوی دوم (سطح بالای ریسک و عدم جبران)	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰،۰۱۱۰۸۹۱۵۵
۳	سناریوی سوم (ریسک میانگین و جبران کامل)	۰،۰۴۳۴۷۸۲۶	۰،۰۴۳۴۷۸۲۶	۰،۰۴۳۴۷۸۲۶	۰،۰۴۳۴۷۸۲۶	۰،۰۴۳۴۷۸۲۶	۰،۵	۰،۵	۰،۹۵۵۳۴۶۹۷
۴	سناریوی چهارم (سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران)	۰،۱۲	۰،۱۱	۰،۱	.....	۰،۰۱	۰،۷۹۸۸۶۴	۰،۲۰۱۱۳۶	۰،۱۹۹۸۰۲۳۹۶
۵	سناریوی پنجم (سطح ریسک بالا و جبران اندک)	۰،۰۰۱	۰،۰۰۲	۰،۰۰۳	.....	۰،۱۵	۰،۲۰۱۱۳۶	۰،۷۹۸۸۶۴	۰،۲۴۴۲۵۷۸۱۸
۶	سناریوی ششم (سطح میانگین ریسک و عدم جبران)	۰	۰	۰	۰.....۱.....۰	۰	۰،۵	۰،۵	۰

OWA مربوط به موقعیت i ام مجموع وزن‌های ترتیب v2,....,vn v= v1 است، فرمول وزن‌های ترتیبی در رابطه‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده می‌شود، به‌طوری‌که:

رابطه‌ی ۴: $\sum_{j=}^{n} 1 v_{j=1}$

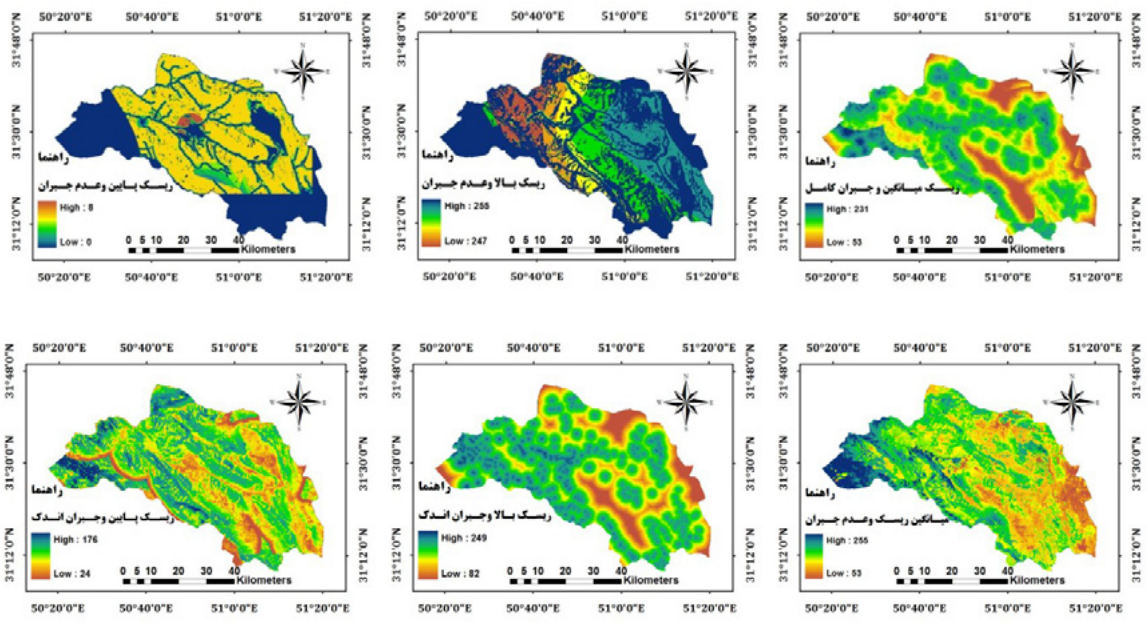
رابطه‌ی ۵: $v_{j\in[0,1]}$, j=1,2,....,n

رابطه‌ی ۶: $WA=\sum_{j=}^{n} 1 \left(\frac{u_j v_j}{\sum_{j=1}^{n} u_j v_j}\right) z_j \pi c_i$

که در آن: u_j وزن باز مرتب فاکتور j، v_j وزن ترتیب فاکتور c_i j،امتیاز محدودیت i و z_j ارزش باز مرتب فاکتور j است [۱۷]. وزن‌های ترتیبی در شش سناریو در جدول ۴ آورده شده است.

بعد از فازی‌سازی لایه‌های مختلف و تعیین وزن معیارها و وزن ترتیبی، از روش OWA در نرم‌افزار idrisi برای تلفیق لایه‌ها استفاده گردید و به ازای هر سناریو، نقشه‌ی پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل تهیه شد. این نقشه‌ها بیانگر لایه‌هایی با مطلوبیت‌های متفاوت پیکسل‌ها (۰ تا ۲۵۵) هستند که مقدار مطلوب بودن هر پیکسل بیانگر میزان مطلوبیت معیارها و وزن‌های مربوط به آن‌ها است. تصویر ۸ نقشه‌های نهایی طبقه‌بندی‌شده‌ی سناریوهای شش‌گانه به روش OWA را نشان می‌دهد.

ارزیابی سناریوها به روش میانگین وزنی مرتب‌شده نتایج متفاوتی را به همراه داشت. منحنی ROC یک روش عالی برای ارزیابی اعتبار از یک مدل است که پیش‌بینی محل وقوع یک کلاس با مقایسه‌ی یک تصویر مناسب را به تصویر می‌کشد.



تصویر ۸: نقشه‌ی سناریوهای شش‌گانه در روش OWA

جدول ۵: نتایج بررسی دقت سناریوها با کمک منحنی ROC

ردیف	سناریوها	ROC
۱	سناریوی اول (ریسک پایین و عدم جبران)	۰،۶۲۷
۲	سناریوی دوم (سطح بالای ریسک و عدم جبران)	۰،۰۳۰۴
۳	سناریوی سوم (ریسک میانگین و جبران کامل)	۰،۶۶۱
۴	سناریوی چهارم (سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران)	۰،۷۰۲
۵	سناریوی پنجم (سطح ریسک بالا و جبران اندک)	۰،۲۵۱
۶	سناریوی ششم (سطح میانگین ریسک و عدم جبران)	۰،۶۴۳

جدول ۶: طبقه‌بندی مقادیر OWA برای شناسایی مکان‌های مستعد آتش‌سوزی

مساحت کلاس به هکتار	سناریوی اول (AND)		سناریوی دوم (OR)		سناریوی سوم (WLC)		سناریوی چهارم (WLC-AND)		سناریوی پنجم (WLC-OR)		سناریوی ششم (AVG)	
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
پتانسیل بسیارکم آتش‌سوزی	۲۱۵۳۷۳	۶۳،۴	۱۷۵۷۱	۵،۱	۴۹۹	۰،۱۵	۲۵۸۳	۰،۷	۴۹۵۲	۱،۴	۴۳۰۰	۱،۳
پتانسیل کم آتش‌سوزی	۸۱۹۶۳	۲۴،۱	۲۸۸۹۸	۸،۵	۳۹۰۸۷	۱۱،۶	۱۴۷۲۵۸	۴۳،۳	۴۲۲۵۳	۱۲،۶	۱۷۸۵۱۳	۵۲،۶
پتانسیل متوسط آتش‌سوزی	۳۸۶۴۲	۱۱،۳	۸۸۹۷۸	۲۶،۲	۲۶۴۰۱۵	۷۷،۷	۱۸۶۰۷۸	۵۴،۸	۲۰۴۶۴۱	۶۰،۲	۹۵۰۹۳	۲۷،۹
پتانسیل زیاد آتش‌سوزی	۳۶۸۷	۱،۲	۲۰۴۲۱۸	۶۰،۲	۳۶۰۶۳	۱۰،۶	۳۷۴۵	۱،۲	۸۷۸۱۸	۲۵،۸	۶۱۷۵۸	۱۸،۲

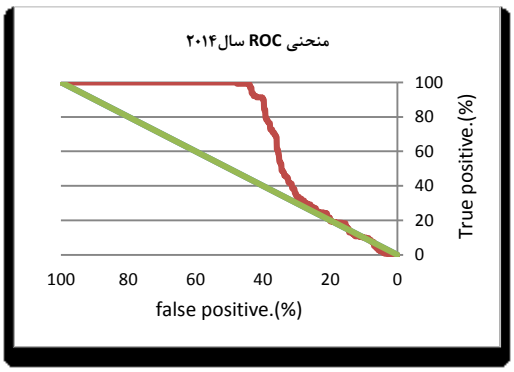
آنالیز حساسیت به روش عامل نسبی (ROC)

روش ROC یک عامل نسبی است که برای ارزیابی صحت یک مدل با استفاده از مقایسه‌ی یک تصویر پیوسته با نتایج بولین نشان می‌دهد کجاها دقیقاً اتفاق افتاده و درست نمایی آن را در کلاس مشخص می‌کند [۱۸]. آماره‌ی ROC سطح زیر منحنی‌ای است که با استفاده از رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌گردد.

رابطه‌ی ۷:

$$Area\ under\ curve = \sum_{i=1}^{n}[x_{i+1} + 1 - x_i] \times [y_i + \frac{(y_{i+1} - y_i)}{2}]$$

که در آن x_i درصد پیکسل‌های نادرست برای سناریوی i و y_i میزان درصد پیکسل‌های درست برای سناریوی i و n تعداد سناریوها است. تصویر ۹ منحنی ROC را نشان می‌دهد [۱۹]. در این روش نقشه‌ی هر یک از سناریوها به‌عنوان تصویر ورودی و نقشه‌ی بولی حاصل از پلی‌گون‌های آتش‌سوزی‌های رخ داده در طی سال‌های متمادی در منطقه به‌منزله‌ی تصویر مرجع وارد نرم‌افزار می‌شوند. سطح زیر منحنی ROC نشان می‌دهد که مدل تا چه حد قادر به پیش‌بینی صحیح متغیر وابسته است که مقدار عددی آن بین ۰/۵ تا ۱ است. چنانچه این مقدار ۰/۵ باشد، بیان‌کننده‌ی تصادفی بودن مدل است، مقادیر بالاتر از عدد ۰/۷ نشان‌دهنده‌ی دقت خوب مدل است [۲۰]. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از منحنی ROC سناریوی چهارم (سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران) با ROC=0.702 به‌منزله‌ی بهترین مدل برای پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل انتخاب می‌شود. نتایج حاصل

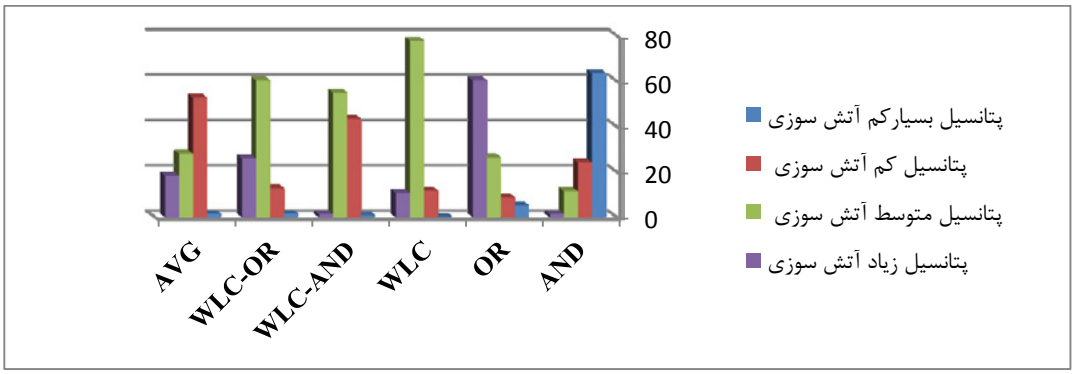


تصویر ۹: منحنی ROC مربوط به سناریو ریسک پایین و مقدار اندک جبران

از بررسی دقت مدل سناریوهای مختلف با کمک منحنی ROC در جدول ۵ نشان داده شده است.

بعد از تهیه‌ی نقشه‌ی سناریوهای مختلف مقادیر OWA، مناطق مستعد آتش‌سوزی جنگل طبقه‌بندی شدند. جدول ۶ و تصویر ۱۰ اطلاعات مربوط به این طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

تصویر ۱۰ نشان می‌دهد در عملگر AND بیشترین سطح در کلاس دارای پتانسیل بسیار کم آتش‌سوزی قرار می‌گیرد که با حرکت به سمت عملگر OR و WLC از میزان آن کاسته می‌شود؛ به‌طوری‌که میزان تغییرات در گروه پتانسیل بسیار کم آتش‌سوزی در عملگرهای WLC-AND، WLC-OR، AVG و WLC چندان محسوس نیست ولیکن در عملگر AND به‌شدت افزایش یافته است. در گروه دارای پتانسیل کم آتش‌سوزی نیز دو عملگر Average



تصویر ۱۰: نمودار ستونی مقادیر OWA برای مکان‌یابی مناطق مستعد آتش‌سوزی

(سناریوی ششم) و عملگرهای WLC و WLC-AND (سناریوی چهارم و اول) بالاترین سطح را شامل شده‌اند و همان‌طور که توضیح داده شد این دو عملگر در وسط ریسک قرار می‌گیرند که از نظر مکان‌یابی Average محدوده‌ی وسیع‌تری را برای مکان‌یابی ایجاد می‌کند. در گروه پتانسیل متوسط آتش‌سوزی عملگر AND کمترین میزان و عملگر WLC بیشترین سطح را داشته است که بیان‌کننده‌ی ریسک‌پذیری پایین عملگر AND است. در گروه پتانسیل بالای آتش‌سوزی عملگر WLC-AND کمترین تغییرات را داشته ولی در عملگر OR این میزان افزایش یافته است و به بالاترین میزان خود رسیده و نشان می‌دهد که عملگر WLC-AND کمترین میزان سطح ریسک را داشته ولی جواب OR ریسک‌پذیر است و بیشترین مساحت را برای مکان‌یابی ارائه می‌دهد.

در روش OWA وزن‌های معیار اهمیت نسبی معیارها را نشان داده ولی وزن‌های ترتیبی بر اساس موقعیت مکانی سلول‌های لایه‌ها اختصاص‌دهی می‌شوند. بدین معنی که همه‌ی سلول‌ها در یک نقشه دارای یک وزن معیار مشترک هستند، اما وزن ترتیبی آن‌ها متفاوت خواهد بود.

سناریوی اول: شبیه عملگر AND است و تمام وزن به رتبه‌ی ترتیبی اول داده می‌شود. بنابراین امتیاز تناسب بسیاری از نقاط پایین آمده و فاکتور با رتبه‌ی حداکثر نقشه‌ی خروجی نهایی را مشخص می‌کند. در این سناریو ORness=0 و سطح ریسک پایین بوده و با TREADOFF= 0.067 میزان عدم جبران‌کنندگی را بیان می‌کند. نقشه‌ی این سناریو بیشترین میزان خطر حریق را در مرکز محدوده‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۶ بیشترین سطح در کلاس مستعد پتانسیل آتش‌سوزی بسیار کم قرار می‌گیرد و کمترین سطح با ۱,۲ درصد مربوط به کلاس مستعد پتانسیل آتش‌سوزی زیاد است. کلاس مستعد پتانسیل آتش‌سوزی کم سطحی معادل ۲۴,۱ درصد از کل منطقه را نشان می‌دهد و با ROC ای به میزان ۰,۶۲۷ می‌توان گفت به علت دقت نسبتاً کم مدل این روش جزء سناریوهای متوسط به شمار می‌رود.

سناریوی دوم: برای هر پیکسل فاکتوری که حداقل امتیاز را گرفته، وزن ترتیبی ۱ (تمام وزن ترتیبی) داده می‌شود و در واقع وزن‌دهی هیچ‌گونه جبرانی را امکان‌پذیر نمی‌سازد و شبیه عملگر OR عمل می‌کند، به‌طوری‌که فاکتور حداقل، به‌تنهایی خروجی نهایی را تعیین می‌نماید. این سناریو با ROC به میزان ۰,۳۰۴ و با ORness=1 بیشترین ریسک و کمترین موازنه را داشته و با TREADOFF= 0.011 عدم جبران را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۴ بیشترین سطح در کلاس پتانسیل زیاد آتش‌سوزی با ۶۰,۲ درصد نشان داده می‌شود و کمترین سطح نیز متعلق به کلاس مستعد پتانسیل آتش‌سوزی بسیار کم است. این روش با توجه به میزان دقت بسیار کمی که دارد از بدترین سناریوها است.

سناریوی سوم: در واقع دقیقاً شبیه WLC است و ریسک در حد میانی حداقل و حداکثر (AND و OR) قرار دارد و وزن ترتیبی بین کلیه‌ی فاکتورها به‌طور مساوی توزیع می‌شود و با ORness= 0.5 و ANDness= 0.5 میزان ریسک در حد میانه قرار می‌گیرد. لذا درنتیجه‌ی نهایی هیچ‌یک از موقعیت‌های رده‌بندی ترتیبی تأثیر بیشتری بر دیگری نداشته و ازاین‌رو بین فاکتورها جبران کامل وجود دارد (TREADOFF= 0.995) و بر همین مبنا وزن فاکتورها به‌صورت کامل مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشترین مناطق خطر در غرب و تا حدی شمال منطقه نشان داده شده است. بر اساس جدول ۴ بیشترین سطح در کلاس دارای پتانسیل آتش‌سوزی متوسط با سطحی معادل ۷۷,۷ درصد از کل منطقه و کمترین سطح در کلاس دارای پتانسیل آتش‌سوزی بسیار کم نشان داده می‌شود. این روش با ROC ای به میزان ۰,۶۶۱ جزء سناریوهای تقریباً مناسب می‌تواند به شمار رود.

سناریوی چهارم: اولین فاکتور بیشترین وزن ترتیبی را گرفته و به‌تدریج وزن‌ها کاهش می‌یابد. این وزن‌های ترتیبی سطح جبران را در حد میانه، بین جبران کامل تابع WLC و تابع عدم جبران AND قرار می‌دهد. این سناریو با دارا بودن OR- = 0.20 ness و TREADOFF= 0.19 دارای سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران است. بر اساس جدول ۴ بیشترین سطح مربوط به کلاس دارای پتانسیل آتش‌سوزی متوسط و کمترین سطح در کلاس دارای پتانسیل آتش‌سوزی بسیار کم نشان داده شده است. کلاس مستعد پتانسیل آتش‌سوزی زیاد نیز سطحی معادل ۱,۲ درصد داشته است. این روش با ROC بالای ۰,۷ به‌عنوان بهترین سناریو برای مدل پیش‌بینی خطر انتخاب گردید و دارای دقت خوبی است که نتایج تحقیقات اتر و همکاران [۲۰] نیز گویای این امر است. در نقشه مدل بیشترین مناطق خطر در غرب منطقه متمرکز شده است و با توجه به دقت بالای مدل و شرایط منطقه می‌توان گفت پیش‌بینی از صحت بالایی برخوردار است و این مدل می‌تواند

به‌عنوان الگویی مناسب برای استفاده در کارهای مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد.

سناریوی پنجم: اولین فاکتور کمترین وزن ترتیبی را گرفته و به‌تدریج وزن‌ها افزایش می‌یابد، و سطح جبران را بین جبران کامل در تابع WLC و عدم جبران در تابع OR قرار می‌دهد. این روش با ORness= 0.79 و TREADOFF= 0.24 دارای سطح ریسک بالا و میزان جبران اندک است. بر اساس جدول ۴ بیشترین سطح مربوط به کلاس دارای پتانسیل آتش‌سوزی متوسط و کمترین سطح در کلاس دارای پتانسیل آتش‌سوزی بسیار کم نشان داده شده است. در این سناریو مناطق دارای پتانسیل آتش‌سوزی زیاد سطحی معادل ۲۵،۸ درصد از کل منطقه را نشان می‌دهد که رقم بالایی است و با توجه به شرایط منطقه، منطقی به نظر نمی‌رسد. در این سناریو ROC در هر سه سال حدود ۰،۲۵ بوده و با دقت بسیار پایین ازجمله بدترین سناریوها به شمار می‌رود.

سناریوی ششم: فاکتور میانی تمام وزن ترتیبی را به خود اختصاص داده و رتبه‌ی یک می‌گیرد. این روش همانند روش WLC با ORness= 0.5 و ANDness= 0.5 دارای ریسک میانگین است و با TREADOFF=0 هیچ‌گونه جبرانی در آن صورت نمی‌گیرد. بر اساس جدول ۴ بیشترین سطح مربوط به کلاس دارای پتانسیل کم آتش‌سوزی با سطحی معادل ۵۲،۶ درصد از کل منطقه است و کمترین سطح در کلاس دارای پتانسیل بسیار کم آتش‌سوزی نشان داده می‌شود. میزان ROC حدود ۰،۶۵ است و دارای دقت تقریباً مناسبی است و در نقشه‌ی مدل، محدوده‌ی دارای پتانسیل بالای خطر آتش‌سوزی در غرب منطقه نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

جنگل‌های شهرستان لردگان با وسعت ۱۵۷۰۰۰ هکتار در ناحیه‌ی رویشی جنگل‌های سلسله جبال زاگرس با گونه‌ی غالب بلوط از ارزش زیست‌محیطی بالایی برخوردار است. با این‌وجود آتش‌سوزی‌های متعددی هرساله جنگل‌های این منطقه را تهدید کرده و خسارات زیادی به آن‌ها وارد می‌کند. مطالعه‌ی حاضر با هدف تهیه‌ی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با استفاده از روش‌های تحلیل شبکه‌ی (ANP) و ترکیب مفهوم فازی با روش میانگین وزنی مرتب (OWA) انجام شده است. بدین منظور ابتدا مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی شناسایی شده و با استفاده از روش OWA لایه‌ها با هم ترکیب و نقشه‌ی ریسک آتش‌سوزی تهیه گردید. مقایسه‌ی مناطق سوخته‌شده با مناطق پیش‌بینی‌شده بهترین اعتبار برای بررسی صحت مدل‌ها است. طبق نتایج حاصله در روش ANP فاصله از مناطق مسکونی و جاده، شاخص GVMI، حداکثر دما، شیب و جهت بیشترین وزن را به خود اختصاص داده و از بین شش سناریوی اعمال‌شده سناریوی سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران با میزان ROC= 0/702 به‌منزله‌ی بهترین مدل برای پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل برآورد گردید. بررسی فاکتورهای مؤثر در وقوع حریق در مناطق بحرانی نشان داد که از بین عوامل انسانی عامل فاصله از جاده و مناطق مسکونی، از بین عوامل توپوگرافی عامل شیب و جهت، از بین عوامل پوشش گیاهی شاخص‌های GVMI و NDVI و همچنین حداکثر دما از بین عوامل اقلیمی بیشترین تأثیر را در ایجاد حریق در منطقه داشته‌اند. بنابراین با توجه به حساسیت و اهمیت زیست‌محیطی جنگل‌های زاگرس و افزایش بحران‌هایی که گریبان‌گیر این جنگل‌ها است و مسائل اقتصادی و اجتماعی زیادی را به وجود آورده است اتخاذ رویکردهای پیشگیری‌کننده از رخداد آتش‌سوزی در این جنگل‌ها ضروری به نظر می‌رسد. پیشنهاد می‌شود با توجه به نقش ویژه‌ی عوامل انسانی در وقوع حریق ضمن برنامه‌ریزی هدفمند و کارشناسی شده دقت لازم در طراحی مسیرها و احداث جاده‌ها صورت پذیرد. همچنین با نصب تابلوهای هشدار حریق، اطلاعیه، بروشور، پوستر و پخش برنامه‌های تلویزیونی، آموزش‌های لازم به مأموران اطفای حریق، کشاورزان، عشایر و کودکان و سایر اقشار جامعه داده شود و در آن‌ها انگیزه‌های لازم به‌منظور همکاری عمومی در خصوص اطفای حریق و حفاظت از جنگل‌ها ایجاد شود.

پی‌نوشت

1. Analytical Network Process(ANP)
2. Order Weighted Average(OWA)
3. Relative Operating Characteristic(ROC)
4.Weighted Linear Combination(WLC)

منابع

1. Podur J, Martell D.L, Knight K. (2002). Statistical quality control analysis of forest fire activity in Canada. *Canadian Journal Forest Research*, 32, 195–205.

2. Somashekar R, Ravikumar P, Mohankumar C,Prakash K, Nagaraja B. (2009). Burnt area mapping of Bandipur National Park, India using IRS1C/1D LISS III data, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37, 37-50.

3. Chuvieco E, Congalton R.G. (1989). Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of the Environment,* 29, 147-159.

4. Zeng T, Hudson J, Kay S, Laginestra E. (2003). A fuzzy GIS approach to fire risk assessment: a case study of Sydney Olympic park, Australia, Spatial Sciences Conferences, 1-20.

5. Erten E, Kurgun V, Musaolu N. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and risk:A recent case study from Mt, Carmel (Israel), Forest Ecology and Management, 262, 1184–1188.

6. Sowmya S. V, Somashekar R. K. (2010). Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India, *Journal of Environmental Biology,*

31(6), 969-974.

7. Lakshmi B. (2012). Wildfire hazard prediction: A Fuzzy Model for Sensor Embedded Intelligence, Master of Engineering, A thesis submitted to Auckland University of Technology.

۸. اسکندری، سعیده (۱۳۹۴). ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از مدل Dong. *مجله‌ی آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۵، ۲۱۰-۱۹۵.

9. Eastman, J. R. (1988). Idrisi: A Geographic analysis system for research applications, The Operational Geographer, 15,17-21.

10. Isaaks E. H, Srinivasta R. M. (1989). Applied Geostatistics. Oxford University Press: Oxford.

11. Saaty T. (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation, New York;London: McGraw-Hill International Book Co.

12. Saaty T. (2006). Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks,New York: Springer.

13. Garcia M, Javier F, Jeronimo A, Pablo A, Rocio P. (2008). Farmland appraisal based on the analytic network Process, *Journal of Global Optimization,* 42,143-155.

14. Malczewski J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature.*International Journal of Geographical Information Science,* 20 (7), 703–726.

15. Jiang H, Eastman R.J. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteriaevaluation inGIS.*International Journal of Geographical Information Systems,* 14, 173–184.

16. Rinner C,Malczewski J. (2000). Web-enabled spatial decision analysis using Ordered Weighted Averaging (OWA).*Journal of Geographical Systems,*385-403.

17. Malczewski, J. (2006). Integrating multicriteria analysis and geographic information systems: the ordered weighted averaging (OWA) approach. *International Journal Environmental Technology and Management*, 6(1/2): 7–19.

18. Rossiter, D.G., Loza, A. (2010). Analyzing land cover change with logistic regression in R, Technical Report ITC, Enschede, 71.

19. Gil Pontius R, Schneider L. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA, Agriculture, Ecosystems and Environment, 85,239–248.

20. Etter A, McAlpine C.,Wilson K, Phinn S, Possingham H. (2006). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia, Agric. Ecosystems & Environment, 114: 369-386.

مدل مکان‌یابی و مسیریابی در زنجیره‌ی امداد بشردوستانه با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی

امیرحسین آصفی: دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
علی بزرگی امیری*: دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، alibozorgi@ut.ac.ir
وحید رضا قضاوتی: دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۲
تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۲۶

چکیده

بحران‌ها از واقعیت‌های اجتناب‌ناپذیر زندگی بشر هستند. پیشرفت علوم و فناوری اگرچه می‌تواند به کاهش خسارات و تلفات تا حد زیادی کمک کند، با این وجود نمی‌تواند به طور کامل از وقوع آن جلوگیری کند یا خسارات مالی و جانی را به صفر برساند. مدیریت بحران یکی از مهم‌ترین مباحث علمی-کاربردی است که امروزه تمامی کشورها بدان متمایل گشته‌اند. در این مطالعه فاز پاسخ‌گویی که با وقوع بحران شروع می‌شود و مهم‌ترین فاز مدیریت بحران محسوب می‌شود، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. عملیات کلیدی مانند عملیات امداد و نجات، تخلیه‌ی مجروحان و حادثه‌دیدگان و توزیع اقلام امدادی در این فاز انجام می‌شود. در این مقاله مکان‌یابی و مسیریابی مراکز توزیع کالا با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای امدادی انجام شده و نیز تخصیص مراکز توزیع به مراکز اسکان موقت انجام می‌شود. مسئله به صورت یک برنامه‌ریزی چند هدفه مدل‌سازی شده است و اهداف زیر را دنبال می‌کند: ۱. کمینه‌سازی بیشینه میزان کمبود در هر نقطه‌ی آسیب‌دیده؛ ۲. کمینه‌سازی بیشینه زمان خدمت‌رسانی توسط وسایل نقلیه‌ی در دسترس. مدل دو هدفه‌ی پیشنهادی با روش محدودیت اپسیلون تعمیم یافته برای مطالعه‌ی موردی در استان سیچوآن کشور چین حل شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی کارایی و کاربردپذیری مدل پیشنهادی برای تصمیم‌گیری در مورد مکان‌های توزیع کالا است و تخصیص مراکز اسکان موقت و نیز تخصیص بخش‌های مختلف شبکه‌ی لجستیک امداد تحت شرایط بحران را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: *لجستیک امداد بشردوستانه، مکان‌یابی-مسیریابی، بهینه‌سازی چندهدفه، قابلیت اطمینان*

Location-Routing Problem in Humanitarian Relief Chain Considering the Reliability of Road Network

Amirhossein Asefi[1], Ali Bozorg-Amiri*[2], Vahidreza Ghezavati[3]

Abstract

Crisis is an inevitable fact of the human's life. Fortunately, science and technology development has highly contributed to the reduction of losses and casualties, but it has not reduced the happenings or damages to zero. Crisis management is mentioned as one of the most important scientific-practical issues nowadays that every country stray toward it. This paper targeted the response phase of crisis management that is considered as the most important crisis management phase. The basic operations such as relief and rescue, evacuation of the injured and victims, and relief commodities distribution are carried out in this phase. In this study, the locating of temporary depots and routing of vehicles were taken into account by considering the reliability of the roads and allocating the distribution centers. The model is multi-objective and aimed at achieving the following goals: 1) Minimizing the maximum shortage of the disaster points. 2) Minimizing the maximum time of the vehicles by considering the velocity and normal speed of vehicles. The proposed method augmented Epsilon Constraint generalized model for Case study in Sichuan, China. The results showed the effectiveness and applicability of the proposed model was reliable for product distribution centers and making decisions about allocation and assignment of temporary accommodation centers in different parts of logistics network in conditions of crisis .

Keywords: *Humanitarian relief distribution, Location-routing problem, Multi-objective optimization, reliability*

1. Master of student, School of Industrial Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran
2. Associate Professor , School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, alibozorgi@ut.ac.ir
3. Associate Professor , School of Industrial Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

مقدمه

امروزه علی‌رغم پیشرفت‌های تکنولوژیکی موجود، مصائب ناشی از سوانح طبیعی (زلزله، سیل، طوفان، صاعقه، بهمن، گردباد، آتش‌سوزی، آتش‌فشان) و غیر طبیعی (جنگ، حوادث تروریستی، تصادفات جاده‌ای، حوادث صنعتی، ناآرامی‌های سیاسی، مهاجرت آوارگان) یکی از موانع اصلی توسعه‌ی پایدار کشورها به شمار می‌روند و آمادگی نداشتن و مقابله‌ی نامناسب با آن‌ها تلفات و خسارات سنگینی را به ملت‌ها و دارایی‌های آن‌ها وارد می‌کند که گاه جبران‌ناپذیر است. با وجود یک سیستم مدیریت بحران منسجم و علمی در کشور که بتواند با پیش‌بینی و شناسایی، از بروز و وقوع بحران‌ها جلوگیری نماید و در صورت بروز بحران بتواند با اولویت‌بندی، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت، رهبری و کنترل فعالیت‌های لازم برای مداخله، هدایت و مهار بحران و سالم‌سازی بعد از وقوع بحران را با موفقیت به انجام رساند، می‌توان امیدوار بود که بسیاری از بحران‌ها قبل از وقوع، پیش‌بینی و مهار شود و یا در صورت وقوع بحران، عواقب ناشی از آن‌ها به حداقل ممکن کاهش یابد.

به جرأت می‌توان گفت، عمده‌ترین عامل اثرگذار در موفقیت فرایند مدیریت بحران لجستیک بحران است، چرا که لجستیک بحران شامل کلیه‌ی فرایندهای برآورد، تأمین، حمل و نقل، نگهداری و توزیع کالاها، تجهیزات، خدمات و تمامی نیازمندی‌های آسیب‌دیدگان و گروه‌های امدادی است که باید در کمترین زمان ممکن (زمان مناسب) و در مکان‌های تعیین شده (مکان مناسب) به میزان مورد نیاز (مقدار مناسب) و با روش علمی و دقیق و دارای کمترین مشکلات برای نیازمندان (روش مناسب) به دست آن‌ها برسد. از این رو یکی از این اقدامات اساسی که تا حد زیادی کیفیت پاسخ‌گویی در برابر حوادث را بالا می‌برد، مکان‌یابی مراکز توزیع و مسیریابی بهینه برای وسایل نقلیه با هدف توزیع کالاهای ضروری امدادی است که در زمان بحران تا حد زیادی عملیات امداد را بهبود می‌بخشد و منجر به کاهش خسارات مالی و جانی می‌شود. از طرفی در زمان وقوع بحران‌هایی مثل سیل یا زلزله مسیرهای ارتباطی دستخوش تغییر می‌شوند و ممکن است پس‌لرزه‌ها، سقوط آوار، خرابی پل‌ها و یا عملیات امداد و نجات باعث خرابی یا از کار افتادگی بخشی از راه‌های سیستم شود. از آنجا که حفظ جان امدادگران، رساندن تمام کالاهای امدادی به نیازمندان، حفظ سلامت کالاها و همچنین حفظ جان بازماندگان ازجمله مواردی است که باید در زمان عملیات امدادی در نظر گرفته شود، در این مقاله یک مدل دو هدفه‌ی عدد صحیح مختلط غیر خطی برای مسئله‌ی مکان‌یابی و مسیریابی در زنجیره‌ی تأمین بلایا با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی در زمان بحران ارائه خواهد شد. اهداف مدل پیشنهادی ضمن در نظر گرفتن چند نوع وسیله‌ی نقلیه و چندین مرکز توزیع کالای امدادی کمینه کردن بیشترین میزان کمبود در نقاط آسیب‌دیده با توجه به اهمیت کالاهای امدادی مختلف و همچنین کمینه کردن بیشترین زمان توزیع کالای امدادی به نیازمندان است. همچنین برای حل مدل پیشنهادی ریاضی از روش محدودیت اپسیلون تعمیم یافته استفاده شده است. به طورکلی نوآوری‌های این مقاله نسبت به پژوهش‌های پیشین را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

۱. مدل‌سازی جدید مسئله به صورت مکان‌یابی و مسیریابی و تخصیص به صورت توأم؛
۲. در نظر گرفتن تابع هدفی جدید برای بررسی تأثیر بحران بر محاسبات زمان خدمت‌رسانی؛
۳. به کارگیری مفهوم قابلیت اطمینان سیستم‌های چند وضعیتی در مسیریابی بحران؛
۴. تخصیص مقادیر احتمالی برای قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی؛
۵. استفاده از مجموعه دستورهای ویژه‌ی نوع دو برای خطی‌سازی محدودیت مربوط به قابلیت اطمینان به روش تقریبی.

لازم به توضیح است که منظور از سیستم‌های چندوضعیتی، سیستم‌هایی است که طبق منطق جبر بولین رفتار نمی‌کنند و به‌طور مثال با توجه به آرایش اجزای سیستم در صورت خرابی یکی از اجزا، سیستم با ۹۰ درصد توان بالقوه به ایفای نقش می‌پردازد. همچنین قابلیت اطمینان در این پژوهش به معنی احتمال جا به جا شدن از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر با موفقیت کامل، در نظر گرفته شده است.

در ادامه، سایر بخش‌های این مقاله به صورت زیر دسته‌بندی شده‌اند: در قسمت دوم به مرور پیشینه‌ی مرتبط و مسائل مربوط به بررسی قابلیت اطمینان و مقایسه‌ی این مقاله با کارهای مشابه پرداخته می‌شود. در بخش سوم مسئله‌ی مورد بررسی بیان می‌شود و مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. سپس در بخش چهارم به معرفی روش محدودیت اپسیلون پرداخته می‌شود. در بخش پنجم عملکرد مدل از طریق حل مدل توسط داده‌های زلزله‌ی سال ۲۰۰۸ در استان سیچوان کشور چین بررسی می‌شود و در انتها به جمع‌بندی و بیان پیشنهادهای آتی پرداخته می‌شود.

پیشینه‌ی پژوهش

از آنجا که تحقیق حاضر در زمینه‌ی مکان‌یابی و مسیریابی در زنجیره‌ی تأمین بلایا و امداد با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی است، از این رو از بین تعداد زیادی از مقالات و پژوهش‌های انجام شده در این راستا تنها به پژوهش‌هایی که در تشریح مدل‌های ترکیبی پرداخته‌اند و یا مفهوم قابلیت اطمینان را به خدمت گرفته‌اند پرداخته می‌شود.

باکولی و اسمیت در سال ۱۹۹۶ مدلی برای تخصیص منابع در شبکه‌های تخلیه‌ی اضطراری وابسته به زمان ارائه دادند [۱]. حقانی و اوه در سال ۱۹۹۶ به تجزیه و تحلیل حمل و نقل کالاهای متفاوت نظیر غذا، لباس، لوازم و تجهیزات پزشکی، داروها، ماشین‌آلات و نیروهای انسانی در یک رویکرد کارا برای حداقل کردن مرگ با چند نوع وسیله‌ی حمل و نقل برای عملیات امداد پرداخته‌اند. علاوه بر این، اوه و حقانی در سال ۱۹۹۷ در تحقیق دیگری نیز به توسعه‌ی کار قبلی خود پرداخته و تجزیه و تحلیل عمیق‌تر و جزئی‌تری را ارائه کرده‌اند [۲].

باربارosوگلو و ازدامار در سال ۲۰۰۴ مقاله‌ای با تمرکز بر استفاده از بالگردها سعی در حذف وابستگی امدادرسانی به مسیرهای زمینی داشتند. در این مقاله به توسعه‌ی مدل‌های ریاضی برای حل مسائل تصمیم‌گیری در زمان‌بندی عملیاتی و تاکتیکی فعالیت‌های بالگرد پرداخته شده است [۳]. آکیهال در سال ۲۰۰۶ به ارائه‌ی مدلی برای مکان‌یابی مراکز مدیریت بحران با هدف مدیریت کالاهای غیر مصرفی پرداخته است. در این تحقیق فرض شده که مکان‌های انتخابی برای استقرار فرودگاه‌ها هستند و فاصله‌ی بین نقاط بر اساس اختلاف در طول و عرض جغرافیایی محاسبه می‌شود. هدف مدل ارائه شده در این تحقیق، کمینه کردن متوسط زمان پاسخ‌گویی برای هر فرد است [۴].

تزنگ و همکاران در سال ۲۰۰۷ یک مدل سه هدفه را به‌منظور طراحی سیستم توزیع کالاهای امدادی به مناطق آسیب‌دیده ارائه نمودند. اهداف این مدل شامل حداقل کردن هزینه‌ی کل، حداقل کردن کل زمان سفر و حداکثر کردن حداقل بر آورده‌سازی تقاضا در طول دوره‌ی برنامه‌ریزی بود. نتایج حاصل از مدل بر روی یک مطالعه‌ی عملی بررسی شد [۵]. نجفی و همکاران در سال ۲۰۰۷ در مقاله‌ی خود به ارائه‌ی مدل چند هدفه‌ی یکپارچه برای مکان‌یابی مراکز بحران با در نظر گرفتن حمل و نقل و تعیین میزان موجودی کالاهای مورد نیاز پرداختند. به طوری‌که این اهداف عبارتند از: الف. کمینه کردن هزینه‌های مربوطه و ب. کمینه کردن ریسک در پاسخ‌گویی به بحران‌های به وجود آمده. از آنجایی که وقوع بحران و میزان تقاضای کالاها به صورت غیر قطعی است در این مقاله سعی شده است تا جنبه‌ی احتمالی مربوط به بحران و تقاضاهای ایجاد شده نیز لحاظ گردد [۶].

بالکیک و بیمون در سال ۲۰۰۸ تصمیمات مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره‌ی امداد را برای پاسخ‌دهی به خسارات حوادث در نظر گرفته‌اند. در این مقاله مدلی توسعه داده شد که تعداد و مکان مراکز توزیع در شبکه‌ی امداد را تعیین می‌کند [۷]. سالمرون و آپته در سال ۲۰۱۰ یک برنامه‌ریزی احتمالی چند مرحله‌ای را در وقوع بحران ارائه دادند که هدف آن‌ها بیشینه‌سازی رضایت‌مندی نقاط آسیب‌دیده بوده است [۸].

بزرگی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ یک مدل لجستیک امدادرسانی تحت عدم قطعیت ارائه داده‌اند. در این مقاله، نه تنها تقاضا بلکه عرضه و هزینه‌ی خرید و حمل و نقل به‌منزله‌ی پارامترهای غیر قطعی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، در این مدل، به سبب بروز حادثه، مکان‌هایی که ممکن است در آن‌ها تقاضا ایجاد شود به‌صورت غیرقطعی فرض می‌شوند؛ از طرف دیگر، احتمال ویرانی مراکزی که برای توزیع کالاهای امدادی در نظر گرفته شده است نیز وجود دارد و این مکان‌ها را نیز غیرقطعی در نظر گرفته‌اند [۹]. کانبولات و وان ماسو در سال ۲۰۱۱ روی مسئله‌ی مکان هر نقطه‌ی تقاضا (حادثه‌ی اضطراری) که به صورت تصادفی است مطالعه کرده‌اند. اهداف آن‌ها کمینه‌سازی ماکزیمم فاصله‌ی مورد انتظار مستقیم‌الخط تسهیل تا نقاط تقاضا است [۱۰].

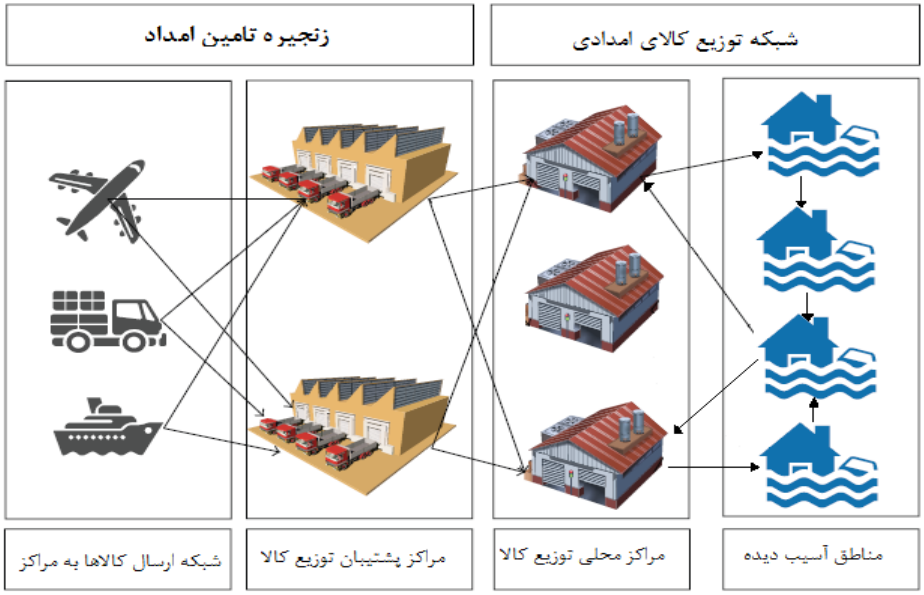
حامدی و همکاران در سال ۲۰۱۲ با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان به‌صورت سناریو و دو تابع هدف با استفاده از راه‌های قابل اطمینان از جمله اینکه میزان کمبود باید کاهش بیابد و همچنین به وسیله‌ی زمان‌بندی و تأخیر در زمان رسیدن سعی در کنترل خرابی داشتند [۱۱]. توکلی مقدم و همکاران در سال ۲۰۱۳ یک مدل مکان‌یابی مسیریابی موجودی طراحی نمودند که دارای قابلیت اطمینان به صورت سناریو در نظر گرفته شده است. به این صورت که بعضی از تسهیلات گاهی در اختیار است و گاهی از اختیار و خدمت‌رسانی خارج هستند [۱۲]. ارکات در سال ۲۰۱۴ یک مدل مسیریابی تسهیلات با در نظر گرفتن خرابی مسیرهای ارتباطی ارائه کردند و برای حل مدل پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند [۱۳]. ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ یک مدل سه هدفه در حالت مکان‌یابی و مسیریابی باز برای توزیع کالاها در نظر گرفتند و در این مقاله یکی از توابع هدف بیشینه کردن کمینه قابلیت اطمینان هر تور است. داده‌های این مسئله از نوع قطعی است و با الگوریتم مرتب‌سازی نامغلوب به حل مدل پیشنهادی پرداخته شده است [۱۴].

بزرگی و خورسی در سال ۲۰۱۵ یک مدل پویای مکان‌یابی مسیریابی چند هدفه، چند کالایی و تحت شرایط عدم قطعیت طراحی و با استفاده از روش محدودیت اپسیلون آن را حل نمودند [۱۵]. قضاوتی و همکاران در سال ۲۰۱۵ یک مدل مکان‌یابی سلسله‌مراتبی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان در نظر گرفتند. در این مقاله رویکرد خطی‌سازی و در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی بین دو نقطه در نظر گرفته شده است. تابع هدف این مقاله از نوع کمینه‌سازی قیمت است و داده‌ها به‌صورت قطعی است [۱۶].

وحدانی و همکاران در سال ۲۰۱۶ در ادامه‌ی کار ونگ و همکاران مدل پیشنهادی خود را با الهام از مدل ارائه شده توسط ونگ و با در نظر گرفتن تعمیرات و بازسازی موقت جاده‌های مناطق بحران زده ارائه دادند و با دو الگوریتم فرا ابتکاری به حل مدل خود پرداختند [۱۷].

خو و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک مدل چند هدفه‌ی توزیع کالا برای مقابله با بحران در ۷۲ ساعت در نظر گرفتند. آن‌ها تمام داده‌ها را قطعی در نظر گرفته‌اند و همچنین در مدل‌سازی به مسیریابی و تخصیص پرداخته‌اند. میزان بار انتقال داده شده به‌صورت پارامتر وارد می‌شود و همچنین مدل به صورت غیرخطی ارائه شده است [۱۸]. توکلی مقدم و همکاران در سال ۲۰۱۶ به استفاده از قابلیت اطمینان در ظرفیت مسیرهای انتقالی پرداخته و توابع هدف هزینه و تعداد مصدومان نجات یافته را در نظر گرفتند و برای بررسی مدل پیشنهادی خود از زلزله‌ی تبریز به‌منزله‌ی مطالعه‌ی موردی استفاده نمودند [۱۹].

در پژوهش‌های صورت گرفته در بالا غالباً مفهوم قابلیت اطمینان به صورت باینری در نظر گرفته شده است؛ به بیان دیگر به این صورت که مسیرها یا در اختیار تصمیم‌گیرنده هستند و یا به طور کامل مسدود بوده و از اختیار خارج هستند. در زمان وقوع بحران معمولاً وسایل حمل و نقل متفاوتی در دسترس



تصویر۱: شبکه‌ی شماتیک مورد بررسی

تصمیم‌گیرنده‌ها با ظرفیت‌ها و امکانات متفاوت وجود دارد که در اکثر تحقیقات به صورت یکسان در نظر گرفته شده است. از این رو با در نظر گرفتن شکاف‌های تحقیقاتی بالا با ارائه‌ی مدل ریاضی پیشنهادی سعی شده است شکاف‌های تحقیقاتی توضیح داده شده تا حد ممکن پوشش داده شود.

تشریح مسئله و مدل‌سازی ریاضی

برقراری توازن میان تقاضاها و عرضه‌ی کالاها و خدمات لجستیکی، اصلی‌ترین دغدغه‌ی سیستم لجستیک بحران است و تلاش برای خدمات‌رسانی از طرق گوناگون که در نهایت امر به رضایت‌مندی کاربر نهایی یعنی آسیب‌دیدگان و گروه‌های امدادپذیر می‌انجامد از اهداف لجستیک است. با بروز بحران، سازمان‌های دولتی، خصوصی، دفاعی، بین‌المللی و مردمی به‌منظور کمک به آسیب‌دیدگان وارد صحنه می‌شوند، این به مفهوم این است که هر یک از آن‌ها، دارای سیستم و روشی خاص در ارائه‌ی خدمات لجستیکی هستند و با توجه به توانایی‌ها و امکانات در اختیار، بخشی از نیازمندی‌ها را تأمین می‌نمایند. سیستم لجستیک امداد، متشکل از عناصر و اجزای ناهمگونی به لحاظ روش و ارائه‌ی خدمات و کالاها به آسیب‌دیدگان و گروه‌های امدادی خواهد بود، از طرفی با توجه به گستردگی و عمق فاجعه امکان اینکه یک سازمان خاص وارد عمل شود وجود ندارد، در اینجاست که لزوم سیستم لجستیک یکپارچه‌ی امداد مشخص می‌شود.

پس از وقوع هر بحران ممکن است حوادث زیادی اتفاق بیفتد که عملیات امداد و نجات را با مشکل روبه‌رو کند که برای مثال می‌توان به آسیب به راه‌ها و پل‌های ارتباطی، خرابی ساختمان‌ها و اختلال در امر خدمت‌رسانی اشاره کرد. پس‌لرزه‌هایی که ممکن است پس از وقوع زلزله اتفاق بیفتد تأثیر زیادی روی عملیات امداد و نجات می‌گذارد، به‌طوری‌که ممکن است مسیری که برای انتقال کالا یا مصدومان در یک دوره‌ی زمانی باز و کارا تلقی می‌شده در دوره‌ی زمانی بعدی به دلایلی مثل سقوط آوار یا ریزش و رانش مجدد زمین مسدود گردیده و غیر قابل استفاده باشد، به همین خاطر در نظر گرفتن مفاهیم مرتبط با قابلیت اطمینان در زنجیره‌ی امدادرسانی ضروری و غیر قابل چشم‌پوشی به نظر می‌رسد چرا که همان‌طور که گفته شد هر تصمیم اشتباه در زمینه‌ی زنجیره‌ی امداد منجر به کمبود، افزایش زمان خدمت‌رسانی و در نهایت به معنی از دست رفتن جان و زندگی انسان‌هاست.

بدین منظور و طبق مطالب عنوان شده، تحقیق حاضر سعی دارد به یکی از شکاف‌های تحقیقاتی شناسایی شده در مرور پیشینه‌ی پژوهش بپردازد و ضمن توجه به مکان‌یابی و در نظر گرفتن مکان مناسب مراکز توزیع کالا و میزان کالای امدادی ارسالی به هر یک از نقاط آسیب‌دیده سعی دارد علاوه بر کم کردن میزان کمبود هر نقطه‌ی آسیب‌دیده به کم کردن زمان خدمت‌رسانی به آن‌ها بپردازد و تأثیر قابلیت اطمینان راه‌ها و مسیرهای ارتباطی و همچنین دیگر فاکتورهای تأثیرگذار بر عملیات امداد را بررسی کند.

لازم به توضیح است که قابلیت اطمینان در این پژوهش به معنی احتمال جا به جا شدن از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر با موفقیت کامل در نظر گرفته شده است. تقاضاها در مطالعه‌ی موردی برای یک روز در نظر گرفته شده‌اند.

تصویر ۱ نمایی از مسئله‌ی مورد بررسی در این پژوهش است که هر وسیله‌ی نقلیه باید از مراکز توزیع کالا حرکت کرده و ضمن در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای پیش رو کالاهای امدادی که به همراه دارد را به گونه‌ای بین نقاط آسیب‌دیده توزیع کند که کمترین میزان ممکن برای بیشترین کمبود در نقاط آسیب‌دیده حاصل شود.

مفروضات:

- تعداد مراکز توزیع کالای اضطراری که باید انتخاب شوند مشخص نیست و تعداد دقیق آن‌ها را مدل مشخص می‌کند.

- هر تور از یک مرکز توزیع کالای ضروری شروع و به همان مرکز ختم می‌شود.
- به‌منظور کمینه کردن میزان کمبود نقاط مختلف در صورت برآورده نشدن ممکن است آن نقطه توسط چندین بار مراجعه و یا چندین وسیله‌ی نقلیه‌ی مختلف پاسخ‌گویی شود.
- اطلاعات مربوط به قابلیت اطمینان مسیرها، ماکزیمم سرعت مجاز در جاده و شبکه‌ی راه‌های سالم و آسیب‌ندیده به وسیله‌ی تکنولوژی‌های روز، بازدید هوایی توسط بالگرد و همچنین نظر افراد کارشناس در مناطق امدادی قابل دسترسی است.
- نقاطی که به طور کلی خارج از دسترس هستند از نقاط مورد مطالعه خارج می‌شوند.
- وسایل نقلیه‌ی ناهمگن و دارای ظرفیت مشخص هستند. از نظر تعداد وسایل نقلیه با محدودیت روبه‌رو هستیم، بنابراین ممکن است هر وسیله چندین بار مورد استفاده قرار گیرد و همچنین اجازه‌ی حمل چندین نوع کالا را دارا است.
- بین دو نقطه‌ی آسیب دیده جریان دو سویه به صورت رفت و برگشتی وجود ندارد.
- فاصله، قابلیت اطمینان و حداکثر سرعت ممکن بین دو نقطه از هر دو مسیر رفت و برگشت برابر فرض شده است.

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

S	مجموعه مراکز پشتیبان
M	مجموعه مراکز کاندید برای توزیع کالای امدادی
N	مجموعه مراکز اسکان
R	مجموعه تمام نقاط
K	مجموعه همه‌ی وسایل نقلیه
L	مجموعه کالاهای امدادی
S	شناساگر مربوط به مرکز پشتیبان
k	شناساگر وسایل نقلیه
l	شناساگر مربوط به کالای امدادی
i و j	شناساگر مربوط به نقاط

پارامترهای مدل

d_{ij}	فاصله‌ی بین دو نقطه (i, j)
v_{ij}	حداکثر سرعت مجاز حرکت وسیله‌ی نقلیه در مسیر بین (i, j)
r_{ij}	قابلیت اطمینان مسیر بین (i, j)
h_{jl}	تقاضای مرکز آسیب‌دیده j از کالای نوع l
$capw_k$	ظرفیت حمل وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع k
cw_j	ضریب (وزن) اهمیت کالای امدادی نوع l
P_0	حداقل قابلیت اطمینان قابل قبول
g_s	میزان ظرفیت مرکز پشتیبان s
w_l	وزن کالای امدادی نوع l
v_k	سرعت وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع k در شرایط عادی
M	عدد بسیار بزرگ

متغیرهای مدل

$f(x_{ijk})$	تابع هدف کمکی برای مقادیر قابلیت اطمینان مسیرها
q'_{ijkl} و q''_{ijkl}	مقدار کالای نوع l حمل شده توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی k از نقطه‌ی i به نقطه‌ی
q_{sil}	مقدار کالای نوع l حمل شده از مرکز تأمین کالای s به مرکز توزیع i
sh_{jl}	میزان کمبود کالای l در مرکز آسیب‌دیده‌ی j
z_i	در صورت دایر بودن مرکز توزیع i مساوی یک و در غیر این صورت صفر
x_{ijk}	اگر وسیله‌ی نقلیه‌ی k بین j، i حرکت کند مساوی یک در غیر این صورت صفر
u_{ik}	متغیر کمکی برای حذف زیر تور وسیله‌ی نقلیه‌ی k در صورت حرکت از گره‌ی i

مدل ریاضی

در این قسمت مدل ریاضی پیشنهادی تشریح می‌گردد.

رابطه‌ی ۱:

$$f_{shortage} = \text{minimax}\left\{\sum_{l=1}^{L} cw_l \cdot Sh_{jl} \;, \forall j \in N\right\}$$

رابطه‌ی ۲:

$$f_{time} = \text{minimax}\left\{\sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{R}\frac{(d_{ij}x_{ijk})}{\min(v_{ij}, v_k)}, \quad \forall k \in K\right\}$$

رابطه‌ی ۳:

$$\sum_{i=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} x_{ijk} \geq 1, \quad \forall j \in N$$

رابطه‌ی ۴:

$$\sum_{i=1}^{M} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall j \in N, \forall k \in K$$

رابطه‌ی ۵:

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall k \in K$$

رابطه‌ی ۶:

$$\sum_{i=1}^{R} x_{ijk} - \sum_{i=1}^{R} x_{jik} = 0, \quad \forall j \in R, \forall k \in K$$

رابطه‌ی ۷:
$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{N} x_{ijk} - z_i \geq 0, \quad \forall i \in M$$

رابطه‌ی ۸:
$$\sum_{j=1}^{N} x_{ijk} - Mz_i \leq 0, \quad \forall i \in M, \forall k \in K$$

رابطه‌ی ۹:
$$f(x_{ijk}) = 1-(1-r_{ij}).x_{ijk}, \quad \forall i, j \in R, \forall k \in K$$

رابطه‌ی ۱۰:
$$\prod_{i=1}^{R}\prod_{j=1}^{R} f(x_{ijk}) \geq P_0$$

رابطه‌ی ۱۱:
$$\sum_{i=1}^{M} q_{sil} \leq g_s, \quad \forall s \in S, \forall l \in L$$

رابطه‌ی ۱۲:
$$\sum_{l=1}^{L} q'_{ijkl} w_l \leq capw_k, \quad \forall i, j \in R, \forall k \in K$$

رابطه‌ی ۱۳:
$$\sum_{i=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} q'_{ijkl} x_{ijk} - \sum_{i=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} q'_{jikl} x_{jik} + sh_{jl} = h_{jl} \quad \forall j \in N, \forall l \in L$$

رابطه‌ی ۱۴:
$$\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} q'_{jikl} \leq \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} q'_{ijkl}, \quad \forall j \in N, \forall l \in L$$

رابطه‌ی ۱۵:
$$\sum_{s=1}^{S} q_{sil} = \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} q'_{ijkl}, \quad \forall i \in M, \forall l \in L$$

رابطه‌ی ۱۶:
$$u_{ik} - u_{i'k} + (N)x_{ii'k} \leq (N-1), \quad \forall i \neq i' \in N$$

رابطه‌ی ۱۷:
$$0 \leq u_{ik} \leq N, \quad \forall i \in N$$

رابطه‌ی ۱۸:
$$x_{ijk}, z_i \in \{0,1\}$$

رابطه‌ی ۱۹:
$$q_{sil}, q'_{ijkl}, sh_{jl} \geq 0$$

رابطه‌ی ۱ تابع هدف است که مربوط به کمینه کردن بیشینه میزان کمبود در هر مرکز اسکان جمعیت است. از آنجایی که در هنگام بحران با حجم زیادی از تقاضا روبه‌رو می‌شویم، حتی در صورت داشتن میزان کافی از هر کالا، مدیریت و انتقال آن باید به صورتی باشد که کالای با اهمیت‌تر به مرکز توزیع ضروری‌تر اختصاص داده شود. از این رو دلیل انتخاب تابع هدفی که بیشینه کمبود را کمینه کند به دلیل رعایت عدالت است، چرا که با در نظر گرفتن این تابع هدف در واقع به جای کمینه کردن مجموع کمبود سعی در کمینه کردن متوسط میزان کمبود در تمام نقاط مختلف داریم. محدودیت ۲ تابع هدف دوم است که در پی کم کردن بیشینه مدت زمان خدمت‌رسانی به مراکز آسیب‌دیده است. در این تابع هدف هم به دنبال همان رویکرد کمینه کردن بیشینه زمان توزیع کالا هستیم که این از نظر عدالت بهتر و مؤثرتر است. محدودیت ۳ بیان می‌کند که هر نقطه‌ی آسیب‌دیده باید حداقل یک بار بازدید شود. محدودیت ۴ بیان می‌کند هر نقطه‌ی آسیب‌دیده نباید بیشتر از یک بار توسط یک وسیله‌ی نقلیه ملاقات شود. محدودیت ۵ در مورد این موضوع است که هر وسیله‌ی نقلیه نمی‌تواند از بیشتر از یک مرکز توزیع کالا اقدام به شروع فعالیت نماید. محدودیت ۶ از نظر تعداد ورودی و خروجی هر نقطه اعم از مرکز آسیب‌دیده یا مرکز توزیع کالا تعادل برقرار می‌کند. محدودیت ۷ و محدودیت ۸ این نکته را بیان می‌کنند که اگر یک مرکز توزیع فعال باشد باید از آن جریان برقرار شود و اگر جریانی وجود داشته باشد، آن مرکز حتماً باید دایر و آماده به خدمت‌رسانی باشد. رساندن کالاهای ضروری امدادی در ساعات اولیه به مناطق آسیب‌دیده از اهمیت بسزایی برخوردار است اما باید کالاها در مسیری انتقال داده شوند که ضمن اینکه جان امدادرسان‌ها تهدید نشود حداقل میزان ریسک و خطر در رابطه با رسیدن کالا به دست جامعه‌ی هدف را متحمل شویم. می‌دانیم که قابلیت اطمینان مسیرهای مختلف با روش‌های مختلف قابل بررسی و تخمین زدن است اما از آنجا که یک تور کامل یک سیستم متوالی محسوب می‌شود برای به دست آوردن قابلیت اطمینان تور کامل باید از منطق حاکم بر سیستم‌های متوالی استفاده کنیم و از آنجایی که حاصل‌ضرب مسیرهای انتخاب نشده در باقی لینک‌ها صفر خواهد شد پس برای رفع این مشکل باید از تابع کمکی که در محدودیت ۹ توضیح داده شده است برای محاسبه‌ی قابلیت اطمینان تور استفاده کنیم. موضوع محدودیت ۱۰ مربوط به قابلیت اطمینان یک تور کامل است. این مقدار به دست آمده باید از حداقل قابلیت اطمینان قابل قبول برای تور کامل، بیشتر باشد. محدودیت ۱۱ بیان می‌کند که بیشتر از توانایی و ظرفیت تأمین کالا توسط تأمین‌کننده‌ها نمی‌توان استفاده کرد. محدودیت ۱۲ مربوط به ظرفیت حمل کالا توسط وسایل نقلیه است. محدودیت ۱۳ محاسبه‌ی میزان کمبود در هر مرکز اسکان جمعیت آسیب‌دیده است. محدودیت ۱۴ مربوط به این موضوع است که میزان کالای ارسالی از یک گره به گره‌ی مجاور نمی‌تواند بیشتر از میزان کالایی که برای آن گره آورده شده باشد. محدودیت ۱۵ تعادل ازلحاظ میزان کالای برداشتی از یک مرکز را با میزان کالای ورودی آن مرکز برقرار می‌کند. محدودیت‌های ۱۶ و ۱۷ مربوط به حذف زیر تور است. محدودیت ۱۸ و ۱۹ مربوط به حدود مجاز برای مقادیر و متغیرهاست.

می‌دانیم که مقادیر تابع f بین صفر و یک است و ذکر این نکته لازم است که بیشترین مقدار تابع مشخصاً ۱ است اما کمترین مقدار ممکن برابر است با r_{ij} همچنین اگر یک مسیر مسدود باشد مقدار قابلیت اطمینان آن برابر صفر است و در واقع قابل استفاده نیست. همچنین زمانی که مقداری غیر از صفر بگیرد قابلیت اطمینان به مسیر برابر همان r_{ij} خواهد بود. با توجه به $\min\{r_{ij}\} \leq f_{ij} \leq 1$ عملیات خطی‌سازی به کمک تقریب را به ترتیب زیر انجام می‌دهیم.

رابطه‌ی ۲۰:

$$\prod_{i=1}^{R}\prod_{j=1}^{R} f(x_{ijk}) \geq P_0 \Rightarrow \ln(\prod_{i=1}^{R}\prod_{j=1}^{R} f(x_{ijk})) \geq \ln(P_0)$$

$$\sum_{i}^{R}\sum_{j}^{R} \ln(f(x_{ijk})) \geq \ln(P_0)$$

در محدودیت ۲۰ همچنان تابع $\ln(f(x_{ijk}))$ غیر خطی است اما می‌توانیم از تکنیک خطی‌سازی مناسبی برای خطی کردن این عبارت استفاده کنیم. به این منظور فرض می‌کنیم که مقدار $\min\{r_{ij}\}$ برابر ۰،۰۵ باشد؛ بنابراین بازه $(0.05,1)$ را به چهار زیر بازه $(0.05,0.25),(0.25,0.5),(0.5,0.75)$ $(0.75,1)$ تقسیم می‌کنیم. سپس مقدار ln را برای نقاط ابتدا و انتهای بازه محاسبه می‌کنیم؛ بنابر این داریم:

$\ln(0.05)= -2.996, \ln(0.25)=-1.386, \ln(0.50)=-0.693,$
$\ln(0.75)=-0.288, \ln(1)=0$

حال با داشتن اطلاعات بالا می‌توانیم مقدار $\ln(f(x_{ijk}))$ هر نقطه‌ی دیگر در بازه $(0.05,1)$ را به دست بیاوریم. برای این منظور باید ابتدا مشخص کنیم نقطه‌ی موردنظر در کدام زیر بازه قرار می‌گیرد. با احتساب ضرایبی که نقطه‌ی مورد نظر را به وسیله‌ی نقاط ابتدایی و انتهایی زیر بازه‌ها می‌سازد می‌توانیم مقدار ln آن نقطه را محاسبه کنیم. برای به دست آوردن ضرایبی که نقطه‌ای مانند x را می‌سازد از محدودیت‌های زیر کمک می‌گیریم.

رابطه‌ی ۲۱:

$$x=0.05\times\lambda_1+0.25\times\lambda_2+0.50\times\lambda_3+0.75\times\lambda_4+1\times\lambda_5$$

رابطه‌ی ۲۲: $\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4+\lambda_5=1$

رابطه‌ی ۲۳: $\lambda_1 \leq \delta_1$

رابطه‌ی ۲۴: $\lambda_2 \leq \delta_1+\delta_2$

رابطه‌ی ۲۵: $\lambda_3 \leq \delta_2+\delta_3$

رابطه‌ی ۲۶: $\lambda_4 \leq \delta_3+\delta_4$

رابطه‌ی ۲۷: $\lambda_5 \leq \delta_5$

رابطه‌ی ۲۸: $\delta_1+\delta_2+\delta_3+\delta_4+\delta_5=1$

رابطه‌ی ۲۹: $0 \leq \lambda_i \leq 1,\ \delta_i \in \{0,1\}$

محدودیت ۲۲ و ۲۳ بیان می‌کند که نقطه‌ای مانند x چگونه توسط ترکیبی محدب خطی از رئوس بازه‌ها ساخته می‌شود. همچنان λ_iها ضرایب ترکیب محدب خطی هستند که باید بین صفر و یک باشند. محدودیت ۲۸ بیان می‌کند که از بین تمام مقادیر δ_i تنها باید یکی از آن‌ها مساوی یک باشد و بقیه مساوی صفر باشند؛ بنابراین هرکدام از δ_iها که مساوی ۱ باشد بنا بر محدودیت‌های (۲۸)- (۲۴) دو تا از λ_iهای متوالی مقداری بیشتر از ۱ می‌گیرند و باقی λ_iها مساوی صفر می‌شوند. بنابر توضیحات بالا پس از به دست آوردن مقادیر متغیرهای λ_i و δ_i می‌توان مقدار $\ln(x)$ را به وسیله‌ی همان ضرایب و به ترتیب زیر به دست آورد.

$$\ln(x)=\lambda_1\times\ln(0.05)+\lambda_2\times\ln(0.25)+\lambda_3\times\ln(0.50)$$
$$+\lambda_4\times\ln(0.75)+\lambda_5\times\ln(1)$$

مثال: فرض کنید می‌خواهیم مقدار $\ln(0.70)$ را با استفاده از روابط بالا به دست بیاوریم. ابتدا باید با نوشتن محدودیت ۲۲ به دست بیاوریم که ۰،۷ چگونه توسط ترکیب محدب خطی بین دو نقطه‌ی رأسی به دست می‌آید.

$$0.7=\lambda_1\times0.05+\lambda_2\times0.25+\lambda_3\times0.50+\lambda_4\times0.75+\lambda_5\times1$$

Constraint (۲۳)-(۲۹)

نتیجه برابر $\lambda_3=0.2,\ \lambda_4=0.8,\ \delta_3=1$ و باقی متغیرها مساوی صفر می‌شوند. سرانجام:

$$\ln(0.7)=0\times-2.996+0\times-1.386+0.2\times-0.693+0.8+$$
$$-0.288\times0.8+0\times0=-0.368$$

می‌دانیم که مقدار دقیق $\ln(0.7)=-0.36$ است و مقایسه‌ی مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که تابع تقریب خطی‌سازی عملکرد خوب و قابل قبولی برای به دست آوردن مقدار $\ln(X)$ دارد.

همچنین در محدودیت ۱۳ ضرب یک متغیر باینری در متغیر پیوسته انجام می‌شود که خطی‌سازی این عبارت به شرح زیر است:

فرض کنید متغیر $z=x\times y$ حاصل‌ضرب متغیر پیوسته‌ی y در باینری x باشد. به این ترتیب در صورتی که x مساوی یک باشد مقدار z برابر y و وقتی‌که x مساوی صفر باشد مقدار z برابر با صفر است. برای خطی‌سازی عبارت فوق از سه محدودیت زیر استفاده می‌گردد [۲۰].

رابطه‌ی ۳۰: $z \leq y$

رابطه‌ی ۳۱: $z \leq M\times x$

رابطه‌ی ۳۲: $z \geq y-M(1-x)$

در مدل ارائه شده محدودیت ۱۳ به روش فوق خطی‌سازی خواهد شد که در ادامه توضیح داده خواهد شد. در محدودیت ۱۳ با در نظر گرفتن $q'_{ijkl}\times x_{ijk}=q''_{ijkl}$ خواهیم داشت:

رابطه‌ی ۳۳: $q''_{ijkl} \leq q'_{ijkl}$

رابطه‌ی ۳۴: $q''_{ijkl} \leq M\times x_{ijk}$

رابطه‌ی ۳۵: $q''_{ijkl} \geq q'_{ijkl}-M(1-x_{ijk})$

لذا محدودیت ۱۳ به شکل زیر بازنویسی می‌شود:

رابطه‌ی ۳۶:

$$\sum_{i=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} q''_{ijkl}-\sum_{i=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} q''_{jikl}+sh_{jl}=h_{jl} \quad \forall j\in N, \forall l\in L$$

روش حل

برای حل مدل پیشنهادی و مسئله‌ی مکان‌یابی و مسیریابی در زنجیره‌ی تأمین امداد با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی از روش محدودیت اپسیلون تعمیم یافته استفاده شده است.

روش محدودیت اپسیلون یکی از روش‌های دقیق حل برنامه‌ریزی چند هدفه است که بر برخی از مشکلات روش مجموع وزنی که پایه‌ای‌ترین روش حل این‌گونه مسائل است، غلبه می‌کند. رویکرد این روش، به مانند روش وزنی، این‌چنین است که مسئله‌ی چند هدفه را تبدیل به مسئله‌ی تک هدفه می‌کند. به این صورت که یکی از توابع هدف موجود انتخاب و حداقل‌سازی شده و سایر توابع هدف به محدودیت‌هایی با حد بالا تبدیل می‌شوند. مزیت‌هایی که روش محدودیت اپسیلون بر روش وزنی دارد، عبارتند از:

۱. در روش وزنی، مقیاس توابع هدف تأثیر بسیار زیادی بر نتایج به دست آمده دارد؛ در صورتی‌که در محدودیت اپسیلون، این کار ضرورتی ندارد.
۲. در روش محدودیت اپسیلون می‌توان تعداد جواب‌های ایجاد شده را کنترل کرد، اما در روش وزنی انجام دادن این کار خیلی آسان نیست.

در ادامه برخی از معایب این روش و چگونگی فائق آمدن بر آن‌ها بیان می‌شود:

۱. ضعف در محاسبه‌ی ناحیه‌ی تغییر توابع هدف: در برخی از مسائل پیدا کردن بدترین جواب تابع هدف کاری پیچیده و حتی نشدنی است.
۲. عدم تضمین کارایی جواب‌های به‌دست‌آمده با این روش که ممکن است غیر مسلط نباشند.
۳. افزایش زمان حل مسئله با زیاد شدن تعداد توابع هدف (بیشتر از ۲ تا).

اگر محاسبه‌ی بدترین مقدار توابع نشدنی باشد، می‌توان یک حد بالای تقریبی برای هر تابع تعریف و با استفاده از آن مقدار ε را محاسبه نمود. برای رفع مشکل دومی که قبلاً اشاره شد، روش محدودیت جزئی تعمیم‌یافته پیشنهاد شده است تا تضمین بیشتری برای کارایی جواب‌های ایجاد شده، وجود داشته باشد. تفاوت محدودیت جزئی تعمیم یافته با روش محدودیت اپسیلون اولیه در آن است که ضریب بسیار کوچکی (بین 10^{-6} و 10^{-3}) از توابعی که به محدودیت تبدیل شده‌اند، در تابع هدف مسئله آورده می‌شود که این کار باعث می‌شود اگر چند جواب برای تابع اول وجود داشت، جوابی را انتخاب کند که بقیه‌ی توابع را نیز حداقل کند. مدل کلی این روش به صورت زیر است:

$$Min \ f_q(x)+\rho\sum_{l=1,l\neq q}^{Q} f_l(x)$$

$$s.t$$

$$g(x)\le 0$$

$$f_l(x)\le \varepsilon_l \quad for\ all \quad l=\{1,2,...,Q\}, l\neq q$$

$$x\in X$$

گفتنی است که مقدار ρ به حدی کوچک است که تأثیری در مقدار تابع هدف اول نخواهد داشت.

مطالعه‌ی موردی

به‌منظور بررسی صحت مدل ارائه شده از اطلاعات قابل استفاده در مقاله‌ی ونگ و همکاران [۱۴] که بر اساس رویدادی واقعی در استان سیچوآن کشور چین به دست آمده، استفاده شده است.

دو مرکز پشتیبانی برای ارسال کالاهای ضروری به مراکز توزیع در نظر گرفته شده است. تعداد مراکز توزیع که به‌صورت کاندیدا در نظر گرفته شده است سه عدد است. تعداد نقاط اسکان که باید خدمات دریافت کنند، ۱۱ نقطه در نظر گرفته شده است. کالاهای امدادی به دو دسته‌ی مصرفی و غیرمصرفی با ضریب اهمیت متفاوت تقسیم شده است. مقدار تقاضای مراکز اسکان در جدول ۱ آورده شده است. میزان تقاضای نقاط مختلف به دو دسته کالاهای مصرف‌شدنی و مصرف‌نشدنی تقسیم می‌شود. اطلاعات مربوط به فاصله‌ی بین نقاط مختلف در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱: میزان تقاضای هر مرکز اسکان جمعیت

مرکز اسکان	مصرف‌شدنی	مصرف‌نشدنی
Wenchuan (۴)	۳۴۵۸	۱۱۵۳
Jinzhu (۵)	۳۶۴۷	۱۲۱۶
Beichuan (۶)	۹۶۹	۳۲۳
Qingchuan (۷)	۱۵۴۵	۵۱۵
Maoxian (۸)	۸۱۸	۲۷۳
Dujiangyan (۹)	۴۳۹	۱۴۶
Anxian (۱۰)	۱۳۴۸	۴۴۹
Pingwu (۱۱)	۳۲۱۵	۱۰۷۲
Pengzhou (۱۲)	۵۷۷	۱۹۲
Jiangyou (۱۳)	۱۰۰۲	۳۳۴
Deyang (۱۴)	۳۱۹۹	۱۰۶۶

جدول ۲: فاصله‌ی بین نقاط مختلف

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱									۵۹			۴۱		۷۴
۲					۸۸		۱۸۵			۱۷			۴۶	۵۳
۳							۱۲۷				۲۳۵		۱۴۵	
۴								۳۹	۷۸					
۵		۸۸				۶۶			۸۵	۴۸		۵۵		۳۶
۶					۶۶			۸۹		۳۷	۱۳۱		۴۸	۸۵
۷		۱۸۵	۱۲۷					۲۵۱			۱۱۶		۱۵۵	
۸				۳۹		۸۹	۲۵۱				۲۱۱	۴۱	۱۳۱	
۹	۵۹			۷۸	۸۵							۳۵		
۱۰		۱۷			۴۸	۳۷							۴۸	
۱۱			۲۳۵			۱۳۱	۱۱۶	۲۱۱					۱۲۰	
۱۲	۴۱				۵۵			۴۱	۳۵					
۱۳		۴۶	۱۴۵			۴۸	۱۵۵	۱۳۱	۰	۴۸	۱۲۰			
۱۴	۷۴	۵۳			۳۶	۸۵								

جدول ۳ : بیشترین سرعت مجاز با توجه به شرایط مسیر ارتباطی

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱									۴۷			۴۴		۵۳
۲					۴۶		۵۲			۴۳			۶۴	۶۰
۳							۵۲				۴۲		۶۴	
۴								۲۴	۲۹					
۵		۴۶							۳۲	۴۸		۲۷		۳۸
۶						۴۴		۲۲		۴۵	۲۶		۳۹	۳۵
۷		۵۲	۵۲					۲۷			۳۰		۴۷	
۸				۲۴		۲۲	۲۷				۲۴	۴۴	۲۲	
۹	۴۷			۲۹	۳۲							۳۷		
۱۰		۴۳			۴۸	۴۵							۴۸	
۱۱			۴۲			۲۶	۳۰	۲۴					۲۹	
۱۲	۴۴				۲۷			۴۴	۳۷					
۱۳		۶۴	۱۴۵			۴۸	۱۵۵	۱۳۱	۰	۴۸	۱۲۰			
۱۴	۷۴	۵۳			۳۶	۸۵								

در شرایط بحران آنچه روی کیفیت زمان خدمت‌رسانی و همچنین میزان کمبود هر نقطه تأثیرگذار است اطلاعات و شرایط راه‌های ارتباطی است. از این رو بیشترین سرعت مجاز برای هر مسیر در جدول ۳ آورده شده است. گفتنی است مقدار سرعت مجاز و مقادیر مربوط به قابلیت اطمینان راه‌های ارتباطی توسط تجهیزات و فناوری روز مثل بازدید ماهواره‌ای، بازدید توسط بالگردهای فرستاده شده، تشخیص گروه مدیریت بحران مستقر در محل و همچنین گزارش‌های ارسالی از تیم‌های امدادی مستقر در محل قابل برآورد و تخمین است. قابلیت اطمینان مسیرهای مختلف بر اساس جدول ۴ در نظر گرفته شده است.

سه نوع وسیله‌ی نقلیه در نظر گرفته شده است که ظرفیت و سرعت آن‌ها برای ارائه‌ی خدمات در جدول ۵ آورده شده است. از نوع وسیله‌ی نقلیه‌ی الف دو عدد، از نوع وسیله‌ی نقلیه‌ی ب دو عدد و از نوع وسیله‌ی نقلیه‌ی ج سه عدد در نظر گرفته شده است.

جدول ۴: قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱									۱			۱		۱
۲					۱		۱			۱			۱	۱
۳							۱				۰,۹		۱	
۴				۱				۱	۰,۸					
۵		۱			۱	۱			۰,۹	۰,۹		۰,۹		۱
۶					۱	۱		۰,۹		۰,۸	۰,۸		۰,۸	۰,۸
۷		۱	۱				۱	۰,۵			۰,۵		۱	
۸				۱		۰,۹	۰,۵	۱			۰,۵	۰,۹	۰,۸	
۹	۱			۰,۸	۱				۱			۱		
۱۰					۰,۹	۰,۸				۱			۱	
۱۱		۱			۰,۹	۰,۸	۰,۵	۰,۵			۱		۰,۹	
۱۲	۱				۰,۹			۰,۹	۱			۱		
۱۳		۱	۱			۰,۸	۱	۰,۸		۱	۰,۹		۱	
۱۴	۱	۱			۱	۰,۸								۱

جدول ۵: اطلاعات مربوط به وسایل نقلیه

	ماشین ارتشی نوع الف	ماشین ارتشی نوع ب	کامیون
میزان سرعت معمولی	۵۰	۳۰	۲۰
ظرفیت وزنی	۱۴۰۰۰	۱۶۵۰۰	۲۱۲۰۰

جدول ۶: جدول موازنه‌ی اهداف

مقدار تابع هدف اول (کمبود)	۶۲۱,۰۶	۱۵۴۷,۵۵
مقدار تابع هدف دوم (زمان)	۱۵,۵۷	۱۲,۰۴

همچنین اطلاعات مربوط به کالاهای امدادی به این صورت است که ضریب اهمیت کالاها به‌صورت ۶۵٪ برای کالای نوع یک و ۳۵٪ برای کالای نوع دو در نظر گرفته شده است. وزن کالای نوع یک ۱۰ کیلوگرم و کالای نوع دو ۲/۸ در نظر گرفته شده است. میزان کالاهای امدادی موجود در مراکز پشتیبان چنین است: در مرکز ۱ مقدار ۵۰۰۰ واحد کالای نوع یک و ۱۹۸۰ واحد کالای نوع دو و در مرکز شماره‌ی ۲ تعداد ۱۲۰۰۰ واحد کالای نوع ۱ و ۴۸۰۰ واحد کالای نوع دو وجود دارد.

تحلیل حساسیت

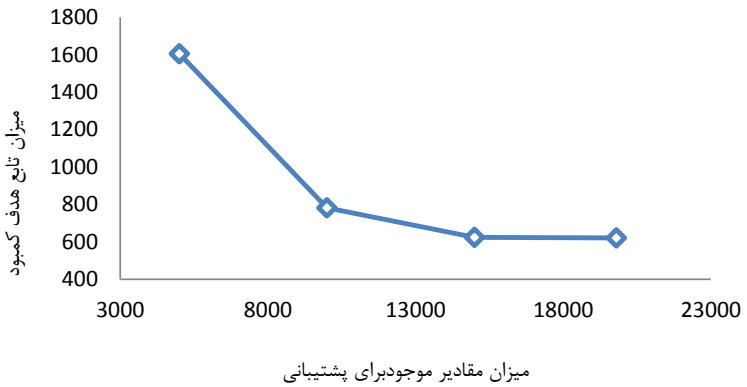
به‌منظور بررسی صحت مدل، تحلیل حساسیت بر روی مدل پیشنهادی انجام می‌شود. برای این کار پارامترهایی مختلف تغییر داده شده و تأثیر آن‌ها بر توابع هدف بررسی می‌شوند. در جدول ۶ حداقل مقدار قابلیت اطمینان برای هر تور ۷۰٪ و باقی اطلاعات مطابق آنچه شرح داده شده است، در نظر گرفته شده است.

تصویر ۲: نمودار رابطه‌ی متقابل بهینه‌سازی تابع هدف اول و دوم

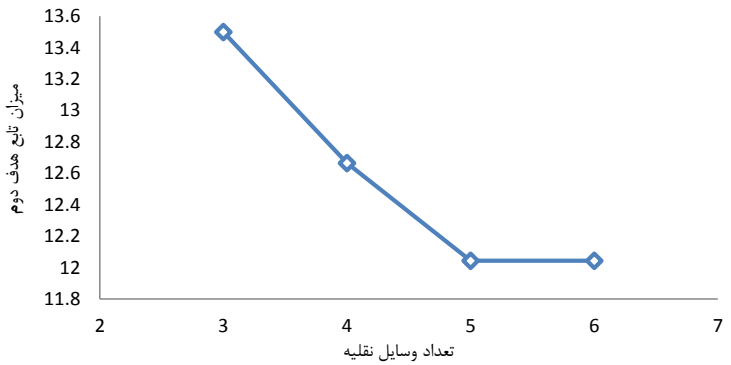
همان‌طور که در تصویر ۲ مشخص است به ازای افزوده شدن زمان خدمت‌رسانی میزان کمبود کاهش می‌یابد. در این تصویر بهترین مقدار برای تابع هدف اول که بیشینه کمبود در نقاط مختلف است و همچنین بهترین زمان ممکن برای زمان خدمت‌رسانی با در نظر گرفتن حداقل قابلیت اطمینان مسیرهای امدادی برابر ۷۰٪ در نظر گرفته شده است. در ادامه تحلیل حساسیت روی بعضی از پارامترهای مدل آورده می‌شود.

تحلیل تأثیر تعداد مراکز پشتیبان بر میزان کمبود و زمان خدمت‌رسانی در تصویر ۳ آورده شده است. براساس بررسی‌های صورت گرفته افزایش تعداد مراکز پشتیبان بر میزان کمبود تأثیرگذار است اما زمان انجام خدمت‌رسانی با افزایش تعداد مراکز پشتیبان تغییر قابل توجهی نمی‌کند.

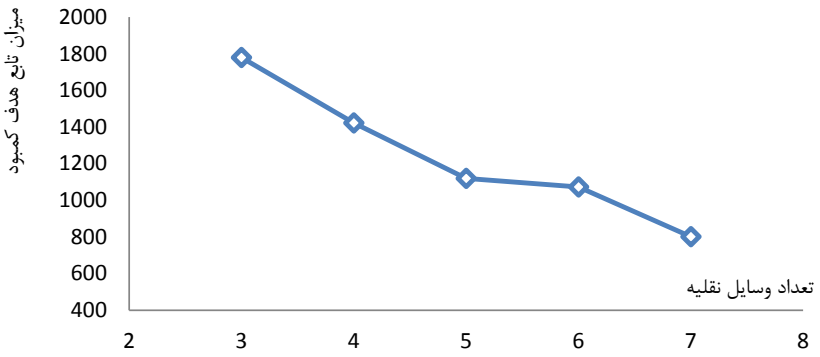
در تصویر ۴ و ۵ تأثیر افزایش تعداد وسایل نقلیه بر زمان خدمت‌رسانی و میزان کمبود بررسی می‌شود. مطابق انتظارات با افزایش تعداد وسایل نقلیه زمان خدمت‌رسانی کاهش می‌یابد و این صحت رفتار مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. افزایش تعداد وسایل نقلیه باعث کم شدن میزان کمبود می‌شود و این رفتار از لحاظ منطقی مطابق انتظارات بوده و صحت رفتار مدل را تأیید می‌نماید.



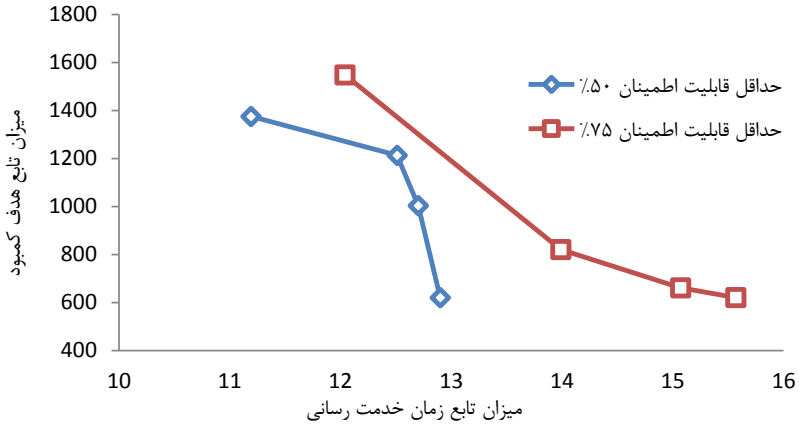
تصویر ۳: تأثیر افزایش تعداد مراکز پشتیبان بر میزان کمبود



تصویر ۴: تأثیر افزایش تعداد وسایل نقلیه بر زمان خدمت‌رسانی



تصویر ۵: تأثیر افزایش تعداد وسایل نقلیه بر میزان کمبود



تصویر ۶: تأثیر قابلیت اطمینان بر میزان کمبود و زمان خدمت‌رسانی

تصویر ۶ تأثیر قابلیت اطمینان بر میزان کمبود و زمان خدمت‌رسانی است. همان‌طور که در نمودار قابل مشاهده است، افزایش میزان قابلیت اطمینان اگرچه میزان تابع هدف را تغییر می‌دهد، اما ریسک کمتری برای توزیع کالاهای امدادی متحمل می‌شویم. همان‌طور که انتظار می‌رفت، رفتار مدل با تغییر پارامترها مطابق انتظار است و این موضوع صحت مدل ریاضی پیشنهادی را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

وقوع حوادث ناگهانی همانند بلایای طبیعی و یا بروز جنگ‌ها و حملات نظامی خسارات مالی و جانی بسیاری را به دنبال دارد. با وجود آنکه در مطالعات بسیاری به بررسی ابعاد گوناگون مسائل مرتبط با مدیریت بحران پرداخته شده است، به سبب اهمیت و تأثیر برنامه‌ریزی در پیش‌گیری از چنین وقایعی و یا مدیریت آن‌ها، مدیریت بحران همچنان به صورت یک حوزه‌ی جذاب مطالعاتی مطرح بوده است. در تحقیق حاضر، به مسئله‌ی مکان‌یابی مراکز توزیع کالاهای امدادی و مسیریابی وسایل نقلیه با ملاحظه‌ی قابلیت اطمینان مسیرهای ارتباطی پرداخته شد. هر مرکز پشتیبان، به میزان مشخصی کالای امدادی برای حمایت از مراکز توزیع کالا در اختیار دارد. هر یک از کمان‌های شبکه که مسیرهای ارتباطی را شکل می‌دهند، با احتمال مشخصی در زمان وقوع بحران خراب و یا مسدود می‌شوند. هر مشتری فقط در صورتی قادر به دریافت خدمت خواهد بود که قابلیت اطمینان مسیر ارتباطی از تسهیل تا مکان وی از حداقل قابلیت اطمینان مورد نظر برای تور تشکیل شده بیشتر باشد. برای بررسی این مسئله، نخست مدل‌سازی شبکه‌ی مورد نظر به صورت مدل عدد صحیح مختلط غیر خطی در نظر گرفته شد. مدل ریاضی ارائه شده، ضمن تعیین مکان استقرار تسهیلات و تعیین شیوه‌ی تخصیص مشتریان به آن‌ها، مسیرهای بهینه‌ی خدمت‌رسانی را به‌گونه‌ای تعیین می‌کند که میانگین میزان تقاضای پوشش داده نشده و میانگین زمان‌های سفر در واحد زمان، کمینه گردند. از آنجا که مدل ارائه شده دو هدفه است، برای حل آن از روش محدودیت اپسیلون تعمیم یافته که در واقع یکی از پرکاربردترین روش‌های حل دقیق مدل‌های چند هدفه است استفاده شد. همچنین، به علت غیرخطی بودن مدل ریاضی پیشنهادی به خطی‌سازی این مدل پرداخته شد. در نهایت، صحت مدل و کارایی الگوریتم حل ارائه شده، از طریق حل مطالعه‌ی موردی، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای توسعه‌ی مدل ارائه شده در این مقاله در نظر گرفتن ملاحظات مدیریت موجودی کالاهای امدادی زمینه‌ی مناسبی برای ادامه‌ی مطالعه در این حوزه است. همچنین، الگوریتم‌های فرابتکاری چند هدفه برای حل مسئله در ابعاد بزرگ از دیگر زمینه‌هایی است که برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Bakuli, D. L., & Smith, J. M. (1996). Resource allocation in statedependent emergency evacuation networks. *European Journal of Operational Research,* 89(3), 543-555.
2. Haghani, S. C. O. A. (1997). Testing and evaluation of a multi commodity multi modal network flow model for disaster relief management. *Journal of Advanced Transportation,* 31(3), 249-282.
3. Barbarosoğlu, G., & Arda, Y. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the operational research society*, 55(1), 43-53.
4. Akkihal, A. R. (2006). Inventory pre-positioning for humanitarian operations (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
5. 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.
6. Eshghi, K, & Najafi, M. (2013). A Logistics Planning Model to Improve the Response Phase of Earthquake. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, 23, 401-416.
7. Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in

humanitarian relief. International Journal of Logistics, 11(2), 101-121.

8. Salmeron J. and Apte A. (2009). Stochastic optimization for natural disaster asset prepositioning. *Production and Operations Management Society*, 19(5): 561–574

9. Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., & Al-e-Hashem, S. M. (2013). A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR spectrum*, 35(4), 905-933.

10. Canbolat, M. S., & Von Massow, M. (2011). Locating emergency facilities with random demand for risk minimization. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10099-10106.

11. Hamedi, M., Haghani, A., & Yang, S. (2012). Reliable transportation of humanitarian supplies in disaster response: model and heuristic. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 1205-1219.

12. Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Jolai, F. (2013). Reliable design of a logistics network under uncertainty: A fuzzy possibilistic-queuing model. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), 3254-3268.

13. Arkat, J., Zamani, S., & Qods, P. (2014). Location-Routing for emergenci facilities considering destruction probobilities for communication paths in crises.

14. Wang, H., Du, L., & Ma, S. (2014). Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 69, 160-179.

15. Bozorgi-Amiri, A., & Khorsi, M. (2015). A dynamic multi-objective location–routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-16.

16. 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.

17. Vahdani, B., Veysmoradi, D., Shekari, N., & Mousavi, S. M. Multi-objective, multi-period location-routing model to distribute relief after earthquake by considering emergency roadway repair. *Neural Computing and Applications,* 1-20.

18. Xu, J., Wang, Z., Zhang, M., & Tu, Y. (2016). A new model for a 72-h post-earthquake emergency logistics location-routing problem under a random fuzzy environment. *Transportation Letters,* 1-16.

19. Tavakkoli-Moghaddam, R., Shishegar, S., Siadat, A., & Mohammadi, M. (2016). Design of a Reliable Bi-objective Relief Routing Network in the Earthquake Response Phase. *Procedia Computer Science,* 102, 74-81.

20. Glover, F., & Woolsey, E. (1974). Technical note—converting the 0-1 polynomial programming problem to

a 0-1 linear program. *Operations researc*h, 22(1), 180-182.

انتخاب فرایند بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب یک مجتمع تحقیقاتی صنعتی به روش (AHP)

پرویز جعفری فشارکی *: استادیار دانشگاه مالک اشتر Parvizjafari2006@yahoo.com
محسن فروغی زاده: استادیار دانشگاه مالک اشتر

تاریخ دریافت : ۹۶/۱۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۲۶

چکیده

پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌منزله‌ی یک منبع آب غیرمتعارف می‌تواند در بسیاری از مصارف مورد استفاده قرار گیرد و برداشت بی‌رویه‌ی منابع آب با کیفیت را محدود نماید. پیش از طراحی و اجرای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب باید با استفاده از روش‌های مبتنی بر فرضیات علمی مستدل، فرایند تصفیه‌ی مناسب را تعیین نمود. هدف از این تحقیق انتخاب فرایند بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب برای طراحی در یک مجتمع تحقیقاتی- صنعتی با استفاده از روش‌های تحلیل چند معیاره است. در این پژوهش از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای انتخاب فرایند بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب انسانی این مجتمع استفاده شده است و فرایندهای سپتیک تانک، برکه‌ی تثبیت، لاگون هوادهی، لجن فعال، صافی چکنده و MBBR از نظر معیارهای فنی- اجرایی، اقتصادی و نیز محیط‌زیستی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که فرایندهای MBBR، لجن فعال، صافی چکنده، سپتیک تانک، لاگون هوادهی و برکه‌ی تثبیت نیز به ترتیب با وزن‌های نهایی ۰/۲۸۰، ۰/۱۹۷، ۰/۱۶۲، ۰/۱۳۳، ۰/۱۱۶ و ۰/۱۱۲ در رتبه‌های اول تا ششم قرار گرفتند. در تحلیل حساسیت تحلیل سلسله‌مراتبی مشخص شد که با تغییر در وزن معیارها تغییر چندانی در نتیجه‌ی نهایی ایجاد نمی‌گردد و تقریباً در تمامی حالت‌ها فرایند MBBR در رتبه‌ی نخست قرار گرفته است مگر در حالتی که وزن‌های نسبی معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی جابه‌جا شوند که در این حالت گزینه‌ی سپتیک تانک با اختلاف اندکی بالاتر از MBBR قرار می‌گیرد. در نهایت نتیجه‌گیری این پژوهش نشان داد که روش MBBR بالاترین اولویت را از آن خود کرده است.

واژه‌های کلیدی: *تصفیه‌ی فاضلاب، انتخاب گزینه‌ی بهینه، روش‌های تحلیل چند معیاره، تحلیل سلسله‌مراتبی*

Selecting the optimal wastewater treatment process in an industrial research complex using AHP method

parviz jafari fesharaki*[1], mohsen forughizadeh[2]

Abstract

Effluent of wastewater treatment plants as an alternative water source in many applications and restrict the uncontrolled exploitation of high-quality water resources. Before the design and implementation of wastewater treatment plants, you should use the methods based on scientific reasonable assumptions to determine an appropriate process of treatment. The aim of this study is to select the optimal wastewater treatment process in an industrial research complex using multi-criteria analysis. The present study used the Analytic Hierarchy Process (AHP) to select the optimal process of human's wastewater treatment plant and processes such as Septic tanks, stabilization ponds, aerated lagoons, activated sludge, trickling filter and MBBR were assessed technically, operationally, economically and environmentally. The results showed that the MBBR process, activated sludge, trickling filter, septic tanks, aerated lagoons and stabilization ponds with final weights of 0.280, 0.197, 0.162, 0.133, 0.116 and 0.112 were ranked first to sixth respectively. The sensitivity analysis also showed that the changes in weight of AHP criteria don't show significant changes in the final result and MBBR process has been in first place almost in all modes unless the relative weight of economic and environmental criteria are replaced. In this case, Septic tanks were slightly higher than MBBR. According to the results, the highest priority of treatment processes belonged to MBBR.

Keywords: *Wastewater treatment; Selection of Optimum; Multi-criteria analysis methods; Analytic Hierarchy*

1. Faculty of malek Ashtar University of technology, Parvizjafari2006@yahoo.com
2. Faculty of malek Ashtar University of technology

مقدمه

استفاده‌ی مجدد از پساب به‌خصوص در مناطقی که با کمبود کمی و کیفی آب مواجه هستند، به‌منزله‌ی یک رویکرد مهم در مدیریت منابع آب مورد توجه قرار گرفته است [۱]. لذا پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب یک منبع آب غیرمتعارف است که می‌تواند در بسیاری از مصارف مورد استفاده قرار گیرد و برداشت بی‌رویه‌ی منابع آب با کیفیت را محدود نماید. اما تنوع فرایندهای تصفیه‌ی فاضلاب و ویژگی‌های منحصر به فرد هر یک از آن‌ها مسئله‌ی انتخاب روش تصفیه‌ی مناسب را به مسئله‌ای پیچیده و چالش برانگیز تبدیل کرده است. لذا پیش از طراحی و اجرای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب باید با استفاده از روش‌های مبتنی بر فرضیات علمی مستدل، فرایند تصفیه‌ی مناسب را تعیین نمود [۲].کاربرد فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره در مسائل مختلف از قبیل انتخاب فرایند بهینه‌ی تصفیه، توسط محققان مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است [۳]. دباغیان و همکاران برای انتخاب بهترین روش تصفیه‌ی فاضلاب در صنایع آبکاری از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کردند. این پژوهشگران سه معیار محیط‌زیستی و اجتماعی، اقتصادی و فنی را به‌منزله‌ی شاخص‌های اصلی مد نظر قرار دادند. در این تحقیق روش اسمز معکوس[۱] (RO) از میان چهار گزینه‌ی نانوفیلتراسیون، اسمز معکوس، تبادل یونی و ترسیب شیمیایی[۲] به منزله‌ی گزینه‌ی بهینه برای تصفیه‌ی فاضلاب صنایع آبکاری انتخاب شد [۴]. فتایی و همکاران مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی را به منظور اولویت‌بندی فرایندها و انتخاب بهترین روش تصفیه‌ی فاضلاب شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه مورد استفاده قرار دادند. در این مطالعه سه فرایند لجن فعال، لاگون هوادهی و بیولاک[۳] بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی با یکدیگر مقایسه شدند. خروجی مدل تصمیم‌گیری نشان داد که فرایند بیولاک در مقایسه با سایر روش‌های مورد بررسی مناسب‌تر است [۵]. کریمی و همکاران با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و روش ترجیح بر اساس مشابهت به راه حل ایدئال فازی (TOPSIS Fuzzy)، اولویت‌بندی فرایندهای تصفیه‌ی بی‌هوازی موجود در شهرک‌های صنعتی ایران را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه پنج فرایند تصفیه‌ی بی‌هوازی شامل بستر بی‌هوازی لجن با جریان رو به بالا[۴] (UASB)، رآکتور بافلدار بی‌هوازی با جریان رو به بالا[۵] (UABR)، بستر بی‌هوازی ثابت با جریان رو به بالا[۶] (UAFB)، تماس بی‌هوازی[۷] و لاگون بی‌هوازی براساس معیارهای فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. با توجه به نتایج به دست آمده از مدل‌های تصمیم‌گیری مورد استفاده در تحقیق مذکور، فرایند بستر بی‌هوازی ثابت با جریان رو به بالا به‌منزله‌ی روش تصفیه‌ی بهینه انتخاب گردید [۶]. طاهرزاده و گنجی‌دوست فرایندهای تصفیه‌ی رایج در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و جهان را به کمک مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج این مطالعه، سیستم‌های ترکیبی بی‌هوازی- هوازی بهترین فرایند تصفیه‌ی فاضلاب در مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می‌آید. علاوه بر این گزینه‌های تالاب و سیستم‌های بی‌هوازی پس از گزینه‌ی برتر به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند [۷].

روش تحقیق و ابزارها

همان‌طور که گفته شد، عوامل بسیار زیادی در تعیین مناسب‌ترین روش تصفیه‌ی فاضلاب دخیل هستند. این عوامل به نیازها و مشخصات خاص هر منطقه بستگی دارند و لذا اهمیت هر یک از آن‌ها از یک مکان به مکان دیگر دچار تغییر می‌شود [۸، ۹]. اگر چه هر یک از عوامل، از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است اما برخی از آن‌ها از وزن بالاتر و تأثیرگذار بیشتری برخوردار است [۱۰]. با توجه به اینکه اثرات زیست‌محیطی و مسائل فنی و اقتصادی با معیارها و ابعاد متفاوتی سنجیده می‌شوند لذا مقایسه‌ی این معیارها به همان صورت اولیه غیرممکن است. در نتیجه مدلی برای تصمیم‌گیری مناسب است که بتواند معیارهای مختلف را وزن‌دهی کند و سپس آن‌ها را هم بعد نماید تا از این طریق قابلیت مقایسه‌ی آن‌ها فراهم گردد. مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[۸] (MCDM) از چنین قابلیتی برخوردارند و می‌توانند در مسائل اولویت‌بندی مورد استفاده قرار گیرند. این مدل‌ها در مسائل چند بعدی کاربرد دارند و با کمی کردن معیارهای کیفی، امکان مقایسه‌ی فرایندهای مختلف تصفیه‌ی فاضلاب را فراهم می‌کنند [۴]. تصمیم‌گیری چند معیاره با فراهم نمودن یک روش تحلیل سیستماتیک، مسائل فنی موجود را با اطلاعات اقتصادی ترکیب می‌کند و گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌نماید [۱۱]. بنابراین در حالت کلی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه‌های موجود با توجه به چندین شاخص تصمیم به کار می‌رود [۱۲]. در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره، اهداف، معیارها، گزینه‌ها، تبدیل مقیاس معیارها به واحدهای متناسب، تعیین وزن معیارها برای تعیین اهمیت نسبی آن‌ها، انتخاب و کاربرد الگوریتم ریاضی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و انتخاب گزینه‌ی برتر تعریف می‌شوند [۱۳]. فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره شامل چهار مرحله‌ی اساسی زیر است:

۱. شناسایی و ارزیابی: در این مرحله شناسایی تصمیم‌گیران، انتخاب معیارها و مشخص کردن گزینه‌ها انجام شده و ارزیابی گزینه‌ها در مقابل معیارها و زیرمعیارها توسط شرکت‌کنندگان صورت می‌گیرد.
۲. وزن‌دهی: یکی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین مراحل تصمیم‌گیری چند معیاره، مرحله‌ی وزن‌دهی شاخص‌ها است. روش‌های مختلفی برای برآورد وزن نسبی شاخص‌ها وجود دارد.
۳. انتخاب گزینه‌ی برتر با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM): برای انتخاب بهترین گزینه از بین یک مجموعه‌ی گزینه‌ها، روش‌های متعددی وجود دارد.
۴. تحلیل حساسیت و انتخاب گزینه‌ی نهایی: به‌طور کلی تحلیل حساسیت نشان‌دهنده‌ی میزان تغییر نتایج مدل نسبت به تغییر یا جابه‌جایی وزن معیارهای تصمیم‌گیری است. به دلیل وجود عدم قطعیت در مراحل مختلف

تصمیم‌گیری چند معیاره، لازم است که قبل از انتخاب گزینه‌ی نهایی، آنالیز حساسیت بر روی مسئله‌ی مورد نظر صورت گیرد [۱۴، ۱۵].

از ابتدای دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی تاکنون تعداد بی‌شماری از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در زمینه‌های مختلف از قبیل مدیریت، اقتصاد، علوم اجتماعی و علوم محیط‌زیست توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته است [۱۶]. در این روش‌ها رتبه‌بندی[۹] گزینه‌ها[۱۰] بر پایه‌ی چندین شاخص مختلف صورت می‌پذیرد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[۱۱] (AHP) و روش ترجیح بر اساس مشابهت به راه حل ایدئال[۱۲] (TOPSIS) متداول‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به حساب می‌آیند.

در پژوهش حاضر روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای انتخاب فرایند بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب انسانی یک مجتمع تحقیقاتی-صنعتی، به کار برده شده است.

معیارهای تصمیم‌گیری

نداشتن نگاه همه‌جانبه و در نظر نگرفتن تمامی جنبه‌ها و پارامترهای مؤثر، اصلی‌ترین کاستی مطالعات انجام شده در ارتباط با انتخاب مناسب‌ترین فرایند تصفیه‌ی فاضلاب است. در تحقیق حاضر برای اجتناب از این نقیصه، با توجه به مطالعات گذشته، ضروری تشخیص داده شد که گزینه‌ها از نظر معیارهای فنی- اجرایی، اقتصادی و نیز محیط‌زیستی مورد ارزیابی قرار گیرند. در نتیجه‌ی این تصمیم، معیارهای اقتصادی در قالب ۲ زیرمعیار، معیارهای فنی- اجرایی در قالب ۶ زیرمعیار و معیارهای محیط‌زیستی در قالب ۲ زیرمعیار در فرایند ارزیابی لحاظ گردیدند. در تصویر ۱ ارتباط بین معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی، در قالب سلسله‌مراتب فرایند انتخاب بهترین گزینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب نشان داده شده است.

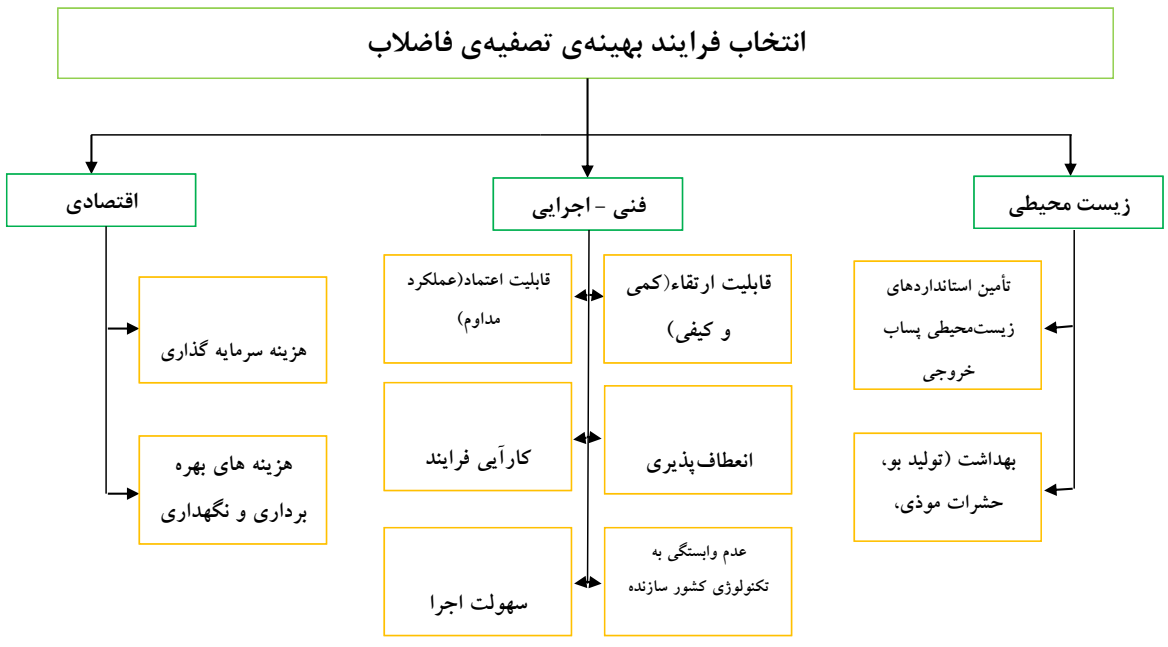
این پژوهش همچنین با نگاهی به مقوله‌ی مدیریت بحران کمترین هزینه (معیار اقتصادی)، کمترین خسارت (زیر معیارهای کارآیی فرایند و تأمین استانداردهای زیست محیطی) و کمترین زمان ممکن (زیر معیارهای سهولت اجرا و انعطاف پذیری) نقش این سه عامل را نیز در زیرمعیارهای خود گنجانده است.

نحوه‌ی ارزیابی

از آنجا که مطابق تصویر ۱، بسیاری از معیارها و زیرمعیارهای در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر، پارامترهایی کیفی هستند، انجام مقایسات زوجی بر مبنای آن‌ها با دشواری‌هایی همراه است. چنان‌که بیان گردید، در مواردی از این دست، بهترین و مطمئن‌ترین کار تدوین پرسش‌نامه‌هایی است که با استفاده از نظرات کارشناسان، تکمیل می‌گردند.

بر همین اساس، در تحقیق حاضر ابتدا پرسش‌نامه‌ای متناسب با معیارها و زیرمعیارهای مورد نظر تهیه و تدوین گردید و در نهایت برای ۶ نفر از اساتید و صاحب‌نظران مجموعه ارسال گردید.

قابلیت اعتماد (پایایی) و همچنین اعتبار (روایی) یک پرسش‌نامه یا ابزار اندازه‌گیری، از موضوعات بسیار مهم در امر جمع‌آوری اطلاعات و مشاهدات است. از جمله تعریف‌هایی که برای قابلیت اعتماد ارائه شده است می‌توان به تعریف ارائه شده توسط ایبل و فریسبی اشاره کرد [۱۷]، طبق این تعریف همبستگی میان یک مجموعه از نمرات و مجموعه‌ی دیگری از نمرات در یک آزمون معادل که به صورت مستقل بر یک گروه آزمودنی به دست آمده است، وجود دارد. روش‌های ارزیابی پایایی پرسش‌نامه عبارتند از روش موازی با استفاده از آزمون‌های همتا، روش دو نیمه کردن، روش کودر ریچاردسون و روش آلفای کرونباخ. در تحقیق حاضر برای سنجش قابلیت اعتماد از سؤالات مشابه استفاده شد تا دقت پاسخ‌دهندگان ارزیابی شود زیرا سؤال‌های



تصویر۱: درخت سلسله‌مراتبی تحقیق

مشابه از نظر محتوا و با سطح دشواری متوسط، قابلیت اعتماد آزمون را افزایش می‌دهد. مفهوم اعتبار (روایی) به این سؤال پاسخ می‌دهد که ابزار اندازه‌گیری تا چه حد خصیصه‌ی مورد نظر را می‌سنجد. در خصوص سنجش اعتبار پرسش‌نامه‌ی حاضر نیز باید گفت که در تهیه‌ی این پرسش‌نامه تمامی جهات رعایت شده و از پرسش‌نامه‌های استاندارد مشابه نیز کمک گرفته شده است [۱۷]. در نهایت با استفاده از روش میانگین‌گیری هندسی، برآیند نظرات مربوط به هر پرسش‌نامه محاسبه گردید و در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مورد استفاده قرار گرفت. گفتنی است که برای تعیین ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارهای کمی نیز از منابع علمی، دستورالعمل‌ها و نشریات ابلاغی از سوی نهادهای قانون‌گذار و اطلاعات میدانی استفاده شده است.

جدول ۱: تعیین ارزش پارامترهای کیفی توسط نظرات کارشناسی [۱۸، ۱۹]

ترجیحات	ارزش عددی
کاملاً مطلوب‌تر	۹
مطلوبیت خیلی قوی	۷
مطلوبیت قوی	۵
مطلوب‌تر	۳
مطلوبیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲ و ۴ و ۶ و ۸

همچنین، به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. نحوه‌ی امتیازدهی به پارامترها در ماتریس مقایسه‌ی زوجی به این صورت است که پارامترها به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه و طبق جدول ۱ امتیازدهی می‌شوند. در ماتریس مقایسه‌ی زوجی جدول ۱ اگر در مقایسه‌ی دو معیار I و J اهمیت معیار موجود در سطر I بیشتر از اهمیت معیار موجود در ستون J باشد، میزان اهمیت با عدد صحیح و اگر اهمیت شاخص‌های موجود در ستون J بیشتر از شاخص‌های واقع در سطر I باشد، میزان اهمیت با عدد کسری نشان داده می‌شود (مقایسه‌ی هر معیار با خودش عدد یک یا اهمیت یکسان را می‌پذیرد). گفتنی است که ماتریس مقایسه‌ی زوجی در روش AHP معکوس است؛ یعنی اگر ترجیح معیار یک به دو، ۳ باشد، ترجیح معیار دو به یک، ۱/۳ است.

نتایج و بحث

ابتدا ماتریس‌های مقایسات زوجی مربوط به گزینه‌ها، زیرمعیارها و معیارها تشکیل شده و سپس با توجه به ارزش‌های نسبی به دست آمده، رتبه‌بندی گزینه‌ها در ارتباط با معیارها و همچنین هدف تحقیق مشخص می‌گردد. از همین رو در این قسمت نتایج محاسبات مربوط به ماتریس‌های مقایسات زوجی، تعیین ارزش‌های نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی ارائه می‌گردد.

پس از جمع‌آوری پاسخ‌های ارائه شده توسط کارشناسان در پرسش‌نامه و با میانگین‌گیری هندسی از آن‌ها، درایه‌های ماتریس مقایسات زوجی و وزن معیارها و شاخص‌ها برای انتخاب فرایند بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲: وزن معیارها و شاخص‌ها برای انتخاب بهترین فرایند تصفیه‌ی فاضلاب

گزینه‌ها / معیارها	لجن فعال	صافی چکنده	MBBR	لاگون هوادهی	برکه تثبیت	سپتیک تانک
اقتصادی (C_1)	۰/۰۵۴	۰/۰۶۳	۰/۰۳۴	۰/۱۰۹	۰/۳۳۰	۰/۴۱۱
هزینه‌ی سرمایه‌گذاری (I_1)	۰/۰۵۰	۰/۰۵۷	۰/۰۴۳	۰/۱۰۹	۰/۳۳۰	۰/۴۱۱
هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری (I_2)	۰/۰۴۳	۰/۰۶۷	۰/۰۳۲	۰/۱۰۶	۰/۳۳۹	۰/۴۱۲
فنی- اجرایی (C_2)	۰/۲۲۲	۰/۱۹۰	۰/۲۸۸	۰/۱۰۹	۰/۰۸۰	۰/۱۱۰
کارایی فرایند (I_3)	۰/۲۳۷	۰/۲۳۷	۰/۳۶۱	۰/۰۹۹	۰/۰۳۹	۰/۰۲۸
قابلیت اعتماد (عملکرد مداوم) (I_4)	۰/۲۴۵	۰/۲۱۶	۰/۳۶۳	۰/۱۰۲	۰/۰۲۹	۰/۰۴۴
عدم وابستگی به تکنولوژی کشور سازنده (I_5)	۰/۰۸۹	۰/۰۸۹	۰/۰۵۸	۰/۱۴۲	۰/۲۴۴	۰/۳۷۸
انعطاف‌پذیری (I_6)	۰/۲۷۶	۰/۱۸۲	۰/۳۶۲	۰/۱۰۸	۰/۰۴۰	۰/۰۳۳
قابلیت ارتقای کمی و کیفی (I_7)	۰/۳۲۶	۰/۱۷۸	۰/۲۹۲	۰/۱۰۹	۰/۰۴۷	۰/۰۴۷
سهولت در اجرا (I_8)	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۰۶۲	۰/۱۱۸	۰/۲۱۵	۰/۳۷۱
محیط زیستی (C_3)	۰/۲۳۸	۰/۱۸۰	۰/۳۸۲	۰/۱۲۵	۰/۰۴۴	۰/۰۳۱
تأمین استانداردهای محیط زیستی پساب خروجی (I_9)	۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	۰/۳۶۷	۰/۱۲۳	۰/۰۴۳	۰/۰۳۱
مشکلات بهداشتی (I_{10})	۰/۲۶۵	۰/۱۲۷	۰/۴۰۳	۰/۱۲۸	۰/۰۴۵	۰/۰۳۱

جدول ۳: وزن نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها

معیارها	وزن معیارها	شاخص‌ها	وزن شاخص‌ها
اقتصادی (C_1)	۰/۲۰۷	هزینه‌ی سرمایه‌گذاری (I_1)	۰/۶۱۴
		هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری (I_2)	۰/۳۸۶
فنی- اجرایی (C_2)	۰/۳۵۸	کارایی فرایند (I_3)	۰/۳۵۲
		قابلیت اعتماد (عملکرد مداوم) (I_4)	۰/۲۱۸
		عدم وابستگی به تکنولوژی کشور سازنده (I_5)	۰/۱۵۱
		انعطاف‌پذیری (I_6)	۰/۱۰۹
		قابلیت ارتقای کمی و کیفی (I_7)	۰/۰۹۴
		سهولت در اجرا (I_8)	۰/۰۷۶
محیط زیستی (C_3)	۰/۴۳۶	تأمین استانداردهای محیط‌زیستی پساب خروجی (I_9)	۰/۵۵۷
		مشکلات بهداشتی (I_{10})	۰/۴۴۳
معیارها	وزن معیارها	شاخص ها	وزن شاخص‌ها
اقتصادی (C_1)	۰/۲۰۷	هزینه‌ی سرمایه‌گذاری (I_1)	۰/۶۱۴
		هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری (I_2)	۰/۳۸۶
فنی- اجرایی (C_2)	۰/۳۵۸	کارایی فرایند (I_3)	۰/۳۵۲
		قابلیت اعتماد (عملکرد مداوم) (I_4)	۰/۲۱۸
		عدم وابستگی به تکنولوژی کشور سازنده (I_5)	۰/۱۵۱
		انعطاف‌پذیری (I_6)	۰/۱۰۹
		قابلیت ارتقای کمی و کیفی (I_7)	۰/۰۹۴
		سهولت در اجرا (I_8)	۰/۰۷۶
محیط زیستی (C_3)	۰/۴۳۶	تأمین استانداردهای محیط زیستی پساب خروجی (I_9)	۰/۵۵۷
		مشکلات بهداشتی (I_{10})	۰/۴۴۳

جدول ۴: شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی [۲۰]

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

به‌منظور ارزیابی گزینه‌ها یا به عبارتی ارزیابی فرایندهای تصفیه‌ی فاضلاب، ماتریس مقایسات زوجی مربوط به هر معیار و زیر معیار تشکیل شد و ضمن کنترل نرخ ناسازگاری و اطمینان از قابل قبول بودن هر مقایسه‌ی زوجی، وزن نسبی هر معیار برای گزینه‌های مختلف محاسبه گردید (جدول ۳).

بعد از تشکیل تمام ماتریس‌ها و انجام مقایسات زوجی، بردارهای ویژه یا وزن نسبی (درجه اهمیت نسبی عناصر)، وزن‌های نهایی و حداکثر مقدار ویژه (λmax) برای هر ماتریس با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice محاسبه می‌گردد. شاخص ناسازگاری به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$I.I = \lambda max - \frac{n}{n-1}$$

در این رابطه λmax بزرگ‌ترین مقدار ویژه‌ی ماتریس، n طول ماتریس و I.I شاخص ناسازگاری است. برای هر ماتریس حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I) بر ماتریس تصادفی (I.I.R) هم بعدش، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری است که به این معیار نرخ ناسازگاری (IR) گفته می‌شود. چنانچه این عدد کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است؛ در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود [۱۸]. جدول ۴ شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی را نشان می‌دهد. در این تحقیق نرخ ناسازگاری کمتر از ۱۰ درصد بود و لذا مقایسات زوجی از سازگاری قابل قبولی برخوردار بوده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، با توجه به نظرات موجود در پرسش‌نامه‌ها، معیار محیط‌زیستی در مقایسه با سایر معیارها از ارزش بالاتری برخوردار است. علاوه بر این بنا بر نظر متخصصان، وزن نسبی معیار اقتصادی نسبت به دو معیار دیگر کمتر است. مقادیر ارائه شده در جدول ۲ دلالت بر آن دارد که از میان زیرمعیارهای اقتصادی، هزینه‌ی سرمایه‌گذاری در مقایسه با زیرمعیار دیگر از وزن بیشتری برخوردار است.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در میان زیرمعیارهای فنی- اجرایی، کارایی فرایند و سهولت در اجرا به ترتیب با وزن‌های نسبی ۰/۳۵۲ و ۰/۰۷۶ بیشترین و کمترین ارزش نسبی را به خود اختصاص داده‌اند.

بر اساس نتایج ارائه شده، زیرمعیار تأمین استانداردهای محیط‌زیستی پساب خروجی در بین زیرمعیارهای محیط‌زیستی از ارزش بالاتری برخوردار بوده است و زیرمعیار مشکلات بهداشتی در

مقایسه با زیر معیار دیگر، وزن نسبی کمتری را به خود اختصاص داده است.

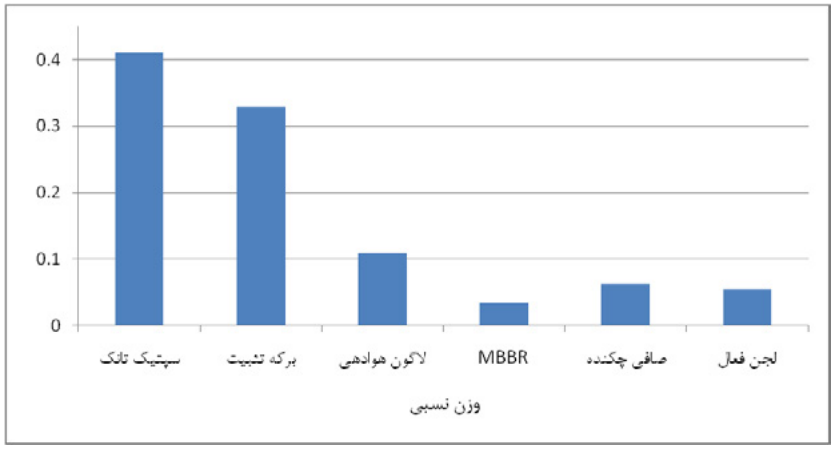
نتایج به دست آمده دلالت بر آن دارد که از نظر هزینه‌های سرمایه‌گذاری فرایندهای سپتیک تانک، برکه‌ی تثبیت، لاگون هوادهی، لجن فعال، صافی چکنده و MBBR به ترتیب در رتبه‌های اول تا ششم قرار می‌گیرند. همچنین در میان گزینه‌های موجود، فرایندهای MBBR و سپتیک تانک به ترتیب بیشترین و کمترین هزینه‌ی بهره‌برداری و نگهداری را به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که فرایندهای سپتیک تانک، برکه‌ی تثبیت، لاگون هوادهی، لجن فعال، صافی چکنده و MBBR از نقطه‌نظر سهولت اپراتوری به ترتیب در رتبه‌های اول تا ششم قرار می‌گیرند. علاوه بر این فرایندهای لجن فعال و MBBR در مقایسه با سایر گزینه‌های مورد بررسی از کارایی بالاتری برخوردار هستند. بررسی‌ها همچنین نشان داد که فرایندهای MBBR و برکه‌ی تثبیت به ترتیب با ارزش نسبی ۰/۳۶۳ و ۰/۰۲۹ از بالاترین و پایین‌ترین قابلیت اعتماد برخوردار هستند. علاوه بر این انعطاف‌پذیری فرایند MBBR در مقایسه با سایر گزینه‌های تصفیه، به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. مقایسات زوجی انجام شده دلالت بر آن دارد که فرایندهای لجن فعال و MBBR از قابلیت ارتقای کمی و کیفی بالاتری برخوردار هستند. همچنین سپتیک تانک و برکه‌ی تثبیت فاضلاب در ارتباط با زیرمعیار سهولت اجرا به ترتیب در رتبه‌های اول و دوم قرار دارند. از نظر عدم وابستگی به تکنولوژی کشور سازنده نیز، فرایندهای سپتیک تانک و برکه‌ی تثبیت در مقایسه با سایر گزینه‌ها از ارجحیت بالاتری برخوردار هستند.

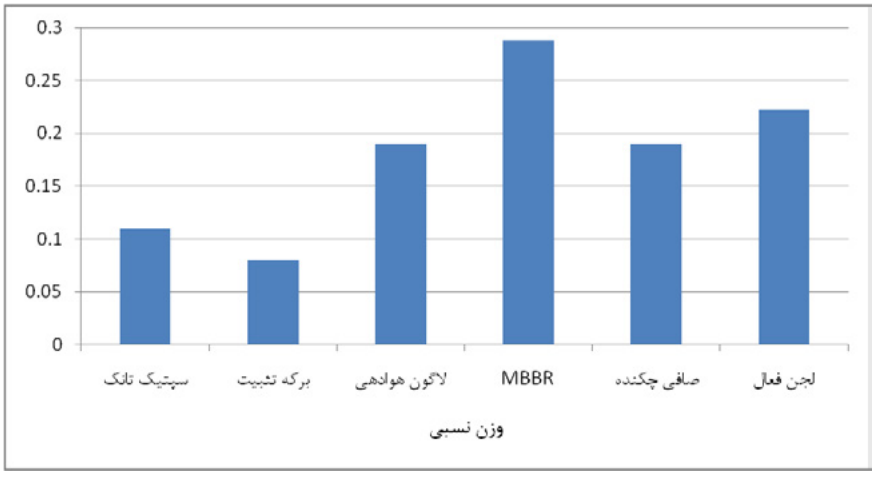
در ارتباط با زیرمعیارهای محیط‌زیستی، فرایندهای MBBR و لجن فعال با وزن نسبی ۰/۴۰۳ و ۰/۲۶۵، از نظر مشکلات بهداشتی (انتشار بو، حشرات موذی و ناقلان) گزینه‌های تصفیه‌ی مناسب‌تری به حساب می‌آیند. همچنین در ارتباط با معیار تأمین استانداردهای محیط‌زیستی پساب خروجی، فرایندهای لجن فعال و MBBR نسبت به سایر روش‌های تصفیه، وزن بالاتری را به خود اختصاص داده‌اند.

در ادامه با تلفیق ارزش نسبی به دست آمده برای گزینه‌ها و وزن نسبی زیرمعیارهای مختلف، ارزش نسبی هر گزینه نسبت به معیارهای سه‌گانه سنجیده می‌شود. در تحقیق حاضر از نرم‌افزار Expert Choice برای تعیین وزن نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها استفاده شده است که نتایج آن در تصاویر ۳ تا ۵ ملاحظه می‌گردد.

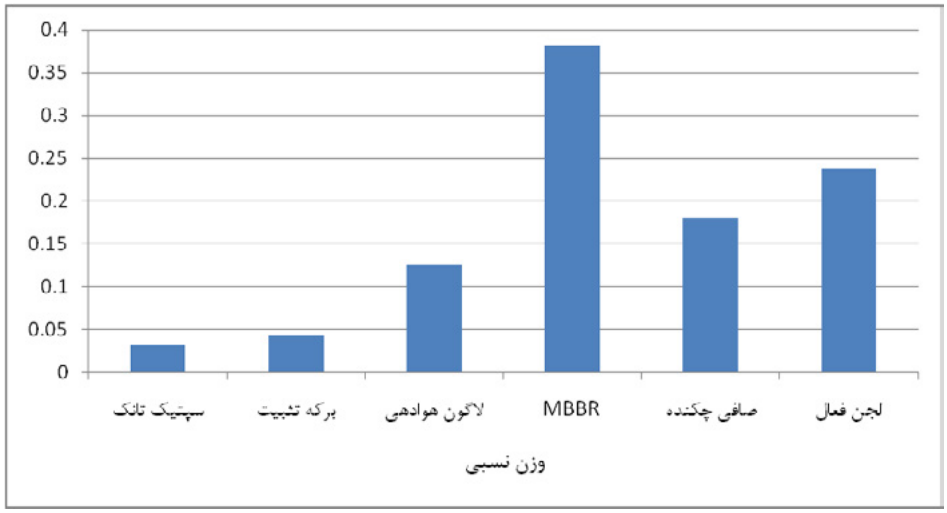
همان‌طور که در تصاویر ۳ تا ۵ ملاحظه می‌گردد از نقطه‌نظر معیار اقتصادی فرایندهای سپتیک تانک، برکه‌ی تثبیت،



تصویر ۲: اولویت گزینه‌ها از نظر معیار اقتصادی با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی



تصویر ۳: اولویت گزینه‌ها از نظر معیار فنی- اجرایی با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی



تصویر ۴: اولویت گزینه‌ها از نظر معیار محیط‌زیستی با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی

تصویر ۵: اولویت گزینه‌ها بر اساس وزن نسبی نهایی با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی

لاگون هوادهی، صافی چکنده، لجن فعال و MBBR به ترتیب با وزن‌های نسبی ۰/۴۱۱، ۰/۳۳۰، ۰/۱۰۹، ۰/۰۶۳ و ۰/۰۵۴ و ۰/۰۳۴ در رتبه‌های اول تا ششم قرار گرفته‌اند. همچنین از نظر معیار فنی- اجرایی گزینه‌های MBBR، لجن فعال، صافی چکنده، سپتیک تانک، لاگون هوادهی و برکه‌ی تثبیت به ترتیب با ارزش‌های نسبی ۰/۲۸۸، ۰/۲۲۲، ۰/۱۹۰، ۰/۱۱۰ و ۰/۱۰۹ و ۰/۰۸۰ در اولویت‌های مختلف قرار گرفته‌اند. در ارتباط با معیار محیط‌زیستی نیز فرایندهای MBBR، لجن فعال، صافی چکنده، لاگون هوادهی، برکه‌ی تثبیت و سپتیک تانک با وزن‌های نسبی ۰/۳۸۲، ۰/۲۳۸، ۰/۱۸۰، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۴۴ و ۰/۰۳۱ رتبه‌های اول تا ششم را به خود اختصاص داده‌اند.

در نهایت برای تعیین وزن نهایی گزینه‌ها، وزن نسبی فرایندهای تصفیه نسبت به هر معیار با ارزش نسبی معیارها نسبت به هدف تلفیق می‌گردد. تصویر ۶ وزن نهایی گزینه‌ها در فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی را نشان می‌دهد.

همانطور که در تصویر ۵ مشاهده می‌شود، روش MBBR با ارزش نهایی ۰/۲۸۰ بالاترین اولویت را از آن خود کرده است. فرایندهای لجن فعال، صافی چکنده، سپتیک تانک، لاگون هوادهی و برکه‌ی تثبیت نیز به ترتیب با وزن‌های نهایی ۰/۱۹۷، ۰/۱۶۲، ۰/۱۳۳، ۰/۱۱۶ و ۰/۱۱۲ در رتبه‌های دوم تا ششم قرار گرفته‌اند.

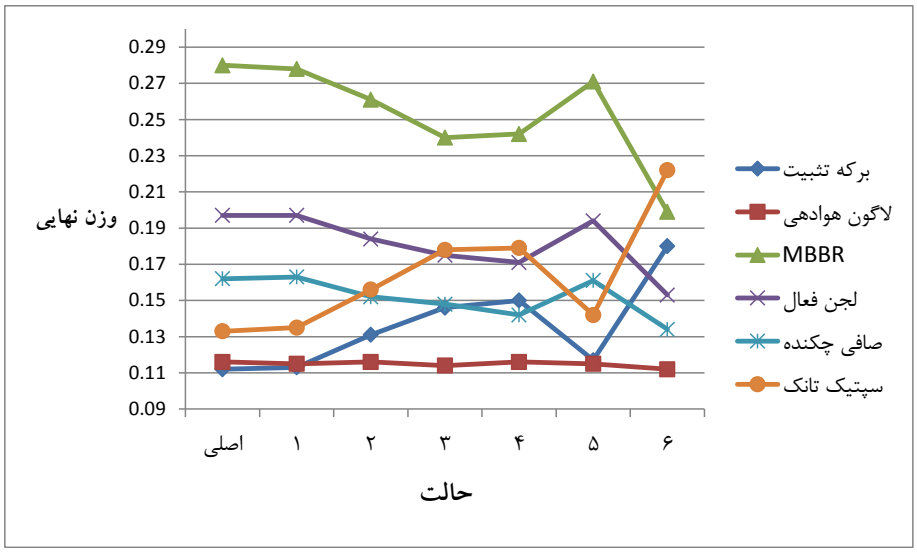
تحلیل حساسیت در روش تحلیل سلسله‌مراتبی

گذشت زمان، دگرگونی شرایط و به وجود آمدن ضرورت‌های تازه، باعث تغییر اهمیت پارامترهای مختلف نزد کارشناسان می‌شود. اهمیت بالای مسائل محیط‌زیستی در کشورهای توسعه یافته و در مقابل، اولویت‌های اقتصادی- اجرایی در کشورهای در حال توسعه، نمونه‌ای از وابستگی ارزش‌ها به شرایط و فرهنگ هر منطقه هستند. از همین رو لازم است که با در نظر گرفتن شرایط مختلف در اولویت‌بندی معیارها، به بررسی نتایج حاصل پرداخته شود. به همین منظور در تصویر ۶ میزان حساسیت تصمیم و رتبه‌بندی گزینه‌ها به وزن نسبی معیارها، در شش حالت مختلف توسط نرم‌افزار Expert Choice سنجیده شده است. جدول ۵ جزئیات مربوط به هر کدام از این حالت‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به تصویر ۶ می‌توان گفت که با تغییر در وزن معیارها تغییر چندانی در نتیجه‌ی نهایی ایجاد نمی‌گردد. به عبارت دیگر تقریباً در تمامی حالت‌ها فرایند MBBR در رتبه‌ی نخست قرار گرفته است مگر در حالتی که وزن‌های نسبی معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی جابه‌جا شوند که در این حالت گزینه‌ی سپتیک تانک با اختلاف اندکی بالاتر از MBBR قرار می‌گیرد. ذکر این نکته ضروری است که به دلیل اینکه در حالت کلی وزن معیار اقتصادی کمتر از دو معیار دیگر است، با تغییر در وزن معیار اقتصادی (افزایش وزن معیار) جابه‌جایی در سایر گزینه‌ها اتفاق می‌افتد؛ به‌طور مثال در حالتی که وزن معیار اقتصادی با وزن معیار محیط‌زیستی برابر باشد، گزینه‌ی سپتیک تانک به گزینه‌ی دوم ارتقا پیدا می‌کند و گزینه‌ی برکه‌ی تثبیت به رده‌ی پنجم می‌رسد و یا در حالتی

جدول ۵: ارزش نسبی معیارها در تحلیل حساسیت مدل تصمیم‌گیری

حالت	شرح	ارزش نسبی معیارها در ارتباط با هدف		
		اقتصادی	فنی- اجرایی	محیط‌زیستی
حالت موجود	ارزش‌های نسبی مشابه جدول ۳-۱ هستند.	۰/۲۰۷	۰/۳۵۸	۰/۴۳۶
حالت ۱	ارزش‌های نسبی فنی- اجرایی و محیط‌زیستی برابرند.	۰/۲۰۷	۰/۳۹۷	۰/۳۹۷
حالت ۲	ارزش‌های نسبی معیارهای اقتصادی و فنی- اجرایی برابرند.	۰/۲۸۲	۰/۲۸۲	۰/۴۳۶
حالت ۳	ارزش‌های نسبی معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی برابرند.	۰/۳۲۱	۰/۳۵۸	۰/۳۲۱
حالت ۴	ارزش‌های نسبی معیارهای اقتصادی و فنی- اجرایی جابه‌جا شده‌اند.	۰/۳۵۸	۰/۲۰۷	۰/۴۳۶
حالت ۵	ارزش‌های نسبی معیارهای فنی- اجرایی و محیط‌زیستی جابه‌جا شده‌اند.	۰/۲۰۷	۰/۴۳۶	۰/۳۵۸
حالت ۶	ارزش‌های نسبی معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی جابه‌جا شده‌اند.	۰/۴۳۶	۰/۳۵۸	۰/۲۰۷



تصویر ۶: میزان حساسیت تصمیم به وزن نسبی معیارها در روش تحلیل سلسله مراتبی

که وزن معیار اقتصادی با وزن معیار محیط‌زیستی یا معیار فنی- اجرایی جابه‌جا می‌شود گزینه‌های سپتیک تانک و برکه‌ی تثبیت که در معیار اقتصادی دارای وزن بالاتری بودند به جایگاه‌های بالاتر می‌رسند تا جایی‌که حتی سپتیک تانک در حالت آخر به گزینه‌ی برتر تبدیل می‌شود. البته باید توجه داشت هیچگاه در موضوع تصفیه‌ی فاضلاب و به طور کلی محیط‌زیست وزن معیار اقتصادی بیشتر از وزن معیار محیط‌زیستی نخواهد شد (ارجحیت محیط‌زیست بر مسائل اقتصادی) و این حالت صرفاً برای آنالیز حالت‌های مختلف برای تصمیم‌گیری مدیران تحت بررسی قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در تحقیق حاضر، نتایجی به دست آمده است که از مهم‌ترین آن‌ها به موارد زیر می‌توان اشاره نمود:

- بر اساس مقایسات زوجی انجام شده توسط متخصصان و کارشناسان وزن معیارهای اقتصادی، محیط‌زیستی و فنی- اجرایی در روش تحلیل سلسله‌مراتبی به ترتیب معادل ۰/۲۰۷، ۰/۳۵۸ و ۰/۴۳۶ به دست آمده است.
- هزینه‌ی سرمایه‌گذاری در میان زیرمعیارهای اقتصادی بالاترین ارزش نسبی را به خود اختصاص داده است.
- از نظر کارشناسان تأمین استانداردهای محیط‌زیستی پساب خروجی در بین زیرمعیارهای محیط‌زیستی از بالاترین اولویت برخوردار است.
- در میان زیرمعیارهای فنی- اجرایی، کارایی و قابلیت اعتماد فرایند بیشترین نقش را در انتخاب بهترین گزینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب بر عهده داشته‌اند. در مقابل سهولت اجرا کمترین ارزش نسبی را از نظر فنی و اجرایی به خود اختصاص داده است.
- به طور کلی در بین ۱۰ زیرمعیار در نظر گرفته‌شده برای انتخاب بهترین فرایند تصفیه، زیرمعیارهای تأمین

استانداردهای محیط‌زیستی پساب خروجی و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری مهم‌ترین و زیرمعیارهای سهولت اجرا و قابلیت ارتقا کمی و کیفی کم‌اهمیت‌ترین زیرمعیارهای مؤثر در انتخاب نهایی بوده‌اند.

- از میان شش گزینه‌ی مورد بررسی (برکه‌ی تثبیت، لاگون هوادهی، MBBR، صافی چکنده و لجن فعال و سپتیک تانک)، فرایندهای MBBR و سپتیک تانک به ترتیب بهترین و بدترین گزینه از نظر معیار محیط‌زیستی بوده‌اند.
- از نظر معیار اقتصادی، سپتیک تانک مقرون به صرفه‌ترین فرایند تصفیه‌ی فاضلاب انتخاب شده است. فرایندهای برکه‌ی تثبیت، لاگون هوادهی، صافی چکنده، لجن فعال، MBBR نیز به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند.
- وزن نسبی گزینه‌ها حاکی از آن است که فرایند MBBR از نظر فنی- اجرایی در مقایسه با سایر گزینه از مطلوبیت بیشتری برخوردار است. علاوه بر این فرایند برکه‌ی تثبیت از این نظر نامناسب‌ترین گزینه تشخیص داده شده است.
- با توجه به وزن نهایی گزینه‌ها، فرایند MBBR برای طراحی و اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب انسانی این مجتمع تحقیقاتی- صنعتی باید در اولویت قرار بگیرد و فرایندهای لجن فعال، صافی چکنده، سپتیک تانک، لاگون هوادهی و برکه‌ی تثبیت به ترتیب اولویت‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند.

پی‌نوشت

1. Reverse Osmosis
2. Chemical Precipitation
3. Biolac
4. Upflow Anaerobic Sludge Blanket
5. Upflow Anaerobic Baffled Reactor
6. Upflow Anaerobic Fixed-Bed
7. Contact Process
8. Multi Criteria Decision Making
9. Multi Attribute Decision Making
10. Ranking
11. Alternative
12. Analytical Hierarchy Process
13. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

منابع

1.Hunt, D. V, Rogers, C. D, (2014).A benchmarking system for domestic water use. Sustainability, 6 (5), 2993-3018.

2. Karimi, a, Mehrdadi, N, Hashemian, S, (2011). Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 8 (2), 267-280.

۳. مؤمنی، م.؛ شریفی سلیم، ع. (۱۳۹۰). *مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه*. تهران.

۴. دباغیان، م. ر.؛ هاشمی، س. ح. (۱۳۸۸). ارزیابی فنی اقتصادی و زیست‌محیطی روش‌های تصفیه‌ی فاضلاب صنایع آبکاری به روش AHP. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۱(۳).

۵. فتایی، الف.؛ ترابیان، ع.؛ حسین‌زاده کلخوران، م.؛ عالیقدری، م.؛ حسین‌زاده، ش. (۱۳۹۲). انتخاب فرایند بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب شهری با استفاده از روش AHP مطالعه‌ی موردی: (شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه). *مجله‌ی سلامت و بهداشت*، ۴ (۳)، ۲۶۰ - ۲۷۲.

6. Karimi, a, Mehrdadi, N, Hashemian, J. (2010). Investigation of wastewater treatment plants of Iran's industrial estates and proposed a suitable model for optimum wastewater treatment process selection. PhD, Tehran University.

۷. طاهرزاده، م.؛ گنجی دوست، ح. (۱۳۸۹). تعیین سیستم بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب در مناطق گرم و خشک بر اساس مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP). *چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست*، تهران.

8. Curiel-Esparza, J, Canto-Perello, J. (2012).Understanding the major drivers for implementation of municipal sustainable policies in underground space. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology,* 19(6), 506-514.

9. Singhirunnusorn,W, Stenstrom, M. (2009).Appropriate wastewater treatment systems for developing countries. Criteria and indictor assessment, Thailand.

10. George, T, Franklin, L, Stensel, H. D. (2003).Wastewater engineering: treatment and reuse. Metcalf & Eddy, New York.

11. Huang, I. B, Keisler, J, Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. *Science of the total environment*, 409(19), 3578-3594.

12. Mianabadi, H, Afshar, A. (2008).Multi attribute decision making to rank urban water supply schemes. *Water and Wastewater*, 66, 34-45.

13. Karimi, a, Mehrdadi, N, Hashemian, S. J. (2010).Using AHP for selecting the best wastewater treatment process. *Water and Wastewater*, 76, 2-12.

۱۴. میرابی، م.؛ میان آبادی، ح.؛ شریفی، م. (۱۳۹۰). کاربرد تصمیم‌گیری چندشاخصه در انتخاب گزینه‌ی مناسب جهت جمع‌آوری فاضلاب شهر نیاسر. *ششمین کنگره ملی مهندسی عمران*، سمنان.

15. Ishizaka, A, Labib, A. (2011).Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert systems with applications,* 38(11), 14336-14345.

16. Kalbar, P. P, Karmakar, S, Asolekar, S. R. (2012).Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. *Journal of environmental management,* 113, 158-169.

۱۷. سرمد، ز.؛ بازرگان، ع.؛ حجازی، ا. (۱۳۷۶). *روش‌های تحقیق در علوم رفتاری*. انتشارات آگه، تهران.

۱۸. قدسی پور، س.ح. (۱۳۸۷). مباحثی درتصمیم‌گیری چندمعیاره: فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP). دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران.

19. Ramezanian, M. r, Bahrkazemi, M. (2011). Selection the best external wall of buildings for energy saving by AHP technique, 14(3), 21-36.

20. Guangming, Z, Ru, J, Guohe, H, Min, X, Jianbing, L. (2007).Optimization of wastewater treatment alternative Selection by hierarchy grey relational analysis. *Journal of environmental Management*, 82, 250 -259.

ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی پل‌های خاص به‌منظور تداوم خدمت‌رسانی در شرایط بحران

زهرا جمشیدی: دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
محمدیاسر رادان *: استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، Radan@mut.ac.ir
محمدعلی نکوئی: استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

پل‌ها یکی از عناصر کلیدی و راهبردی در شبکه‌ی حمل‌ونقل یک کشور هستند و از این رو، از اولین اهداف حملات انفجاری در زیرساخت‌های حمل و نقل هستند. انهدام پل‌ها در یک شبکه منجر به کاهش قابل توجه دسترسی و بروز تأخیر در جابه‌جایی می‌شود. به‌منظور مقابله و کاهش اثرات پیامدهای ناشی از این‌گونه تهدیدات، رعایت الزامات طراحی و ساخت بهینه‌ی سازه‌های مستحکم و مقاوم در برابر امواج انفجاری، ضروری و حیاتی است. علیرغم افزایش هر روزه‌ی این نوع تهدیدات در سراسر جهان، تاکنون پژوهش‌های بسیار محدودی در مورد ارزیابی ریسک پل انجام شده است.

در این پژوهش، ضمن بررسی انواع روش‌های ارزیابی ریسک، به دلیل وجود ارتباط منطقی، جامعیت و سهولت استفاده، روش مطرح شده در دستورالعمل FEMA ۴۵۲ انتخاب شد. به‌منظور تعیین اهمیت نقاط آسیب‌پذیر پل‌ها، پرسش‌نامه‌ای بر اساس معیارهای FEMA طراحی و در اختیار خبرگان و کارشناسان مرتبط قرار داده شد. در این پرسش‌نامه، ابتدا تهدیدات متوجه شبکه‌ی راه شناسایی و رتبه‌بندی شده و سپس، ارزش دارایی‌های پل مورد بررسی قرار گرفته و میزان آسیب‌پذیری محتمل در هر سناریوی تهدید محاسبه گردید. به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل شده، یکی از پل‌های مسیر راه آهن درود - خرم آباد برای مطالعه‌ی موردی انتخاب و محاسبات ریسک روی اجزای آن صورت پذیرفت. نتایج تحلیل‌ها، عدد ریسک ۲۵۰ را آستانه‌ی تعیین دارایی‌های همراه با ریسک بالا و خیلی بالا معرفی نموده و بر همین اساس، عرشه و ستون با اعمال ضریب تهدید، ارزش دارایی و آسیب‌پذیری بیشترین عدد ریسک را به خود اختصاص دادند.

به‌منظور تحلیل خرابی پل در اثر وقوع انفجار، با کمک نرم‌افزار ANSYS نسخه‌ی شماره‌ی ۱۵، پل مورد نظر مدل‌سازی شده و دارایی‌های با ریسک بالاتر از مقدار تعیین شده تحت بارهای ناشی از انفجار مقادیر مختلف TNT قرار گرفته و رفتار پل از نظر پایداری کلی و خرابی بتن مورد توجه قرار گرفت. با بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی، راهکارهایی به‌منظور کاهش ریسک در مقابل تهدیدات انفجاری تروریستی ارائه گردید که به تداوم خدمت‌رسانی پل در زمان بحران کمک خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: *پل، بارگذاری انفجار، ملاحظات پدافند غیرعامل، مدیریت بحران، ارزیابی ریسک*

Passive Defense Considerations in the Design of Specific Bridges for Continuous Service in Crisis Situations

Zahra Jamshidi[1], Mohammad yaser Radan[*2], Mohammad ali Nekooie[3]

Abstract

Bridges are one of the key elements in a country's transportation network; thus, they are the first targets of exsplosive attacks on transport infrastructure. Destruction of bridges in a network leads to a significant reduction in access and latency in the transmission. In order to counteract and mitigate the consequences of these types of threats, it is essential to meet the requirements for designing and constructing optimal structures resistant to explosive waves. Despite the rising number of such threats every day around the world, there has been very limited research on the risk assessment of the bridge.

In this research, along with a review of a variety of risk assessment methods, the method proposed in the FEMA452 instruction was selected due to its rationale, comprehensiveness and ease of use. In order to determine the importance of vulnerable bridges, a questionnaire was developed based on FEMA criteria and was made available to experts. In this questionnaire, network threats were first identified and ranked, and then, the value of bridge assets was investigated and the probable vulnerability was calculated in each threat scenario. In order to evaluate the results, one of the bridges of Dorood-Khorramabad railway route was selected as the case study and risk calculations were made on its components. The results of the analyses revealed the risk number of 250 as the threshold for identifying assets of high and ultra high risks. Accordingly, the deck and column introduced the highest risk number by applying the coefficient of threat, asset value, and vulnerability.

In order to analyze the breakdown of the bridge due to the explosion, version 15 of ANSYS software was used. In this regard, the bridge was modeled and the assets with a higher risk than the specified value were subjected to the loads of explosion of different values of the TNT. Then, the bridge behavior of the overall stability and concrete damage was noticed. By reviewing the results of modeling, solutions to reduce the risk of explosive threats have been presented, which will help to continue the service of the bridge in the time of crises.

Keywords: *Bridge, Explosive loading, passive defense, Crisis Management, Risk Assessment*

1. MSc student, Departement of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran
2. Assitance profesor, Departement of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran, Radan@mut.ac.ir
3. Assistant professor, Departement of Passive Defence, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran

مقدمه

شریان‌های حیاتی یا همان زیرساخت‌ها جزء بنیان‌های اصلی و چارچوب‌های پایه‌ی هر جامعه به شمار می‌آیند که دربرگیرنده‌ی تمامی تأسیسات، خدمات و تسهیلات مورد نیاز آن جامعه‌اند. در زندگی مدرن، با افزایش وابستگی سریع به این امکانات، این نیاز روزافزون شده است. عملیات تروریستی روی پل‌های ملی یک تهدید روزافزون در جوامع امروزی است. اطلاعات گردآوری‌شده توسط مؤسسه‌ی حمل‌ونقل مینتا امریکا نشان می‌دهد که دست‌کم ۵۳ حمله‌ی تروریستی در سراسر جهان در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ به‌طور خاص پل‌ها را هدف گرفته و ۶۰ درصد این حملات بمب‌گذاری بوده‌اند. برای حملات اخیر نیز می‌توان به بمب‌گذاری پل‌ها و معابر اصلی موصل توسط داعش، عملیات انفجاری بر روی پل راوه در غرب استان الانبار، اشاره کرد.

افزون بر این، ریزش ناگهانی پل‌ها در ایالات متحده و حملات تروریستی بر پل‌ها در عراق عواقب اقتصادی- اجتماعی خرابی‌های ویرانگر پل‌ها را نشان می‌دهد. برای کمک به تضمین ایمنی پل‌ها به‌منزله‌ی یکی از اصلی‌ترین زیرساخت‌های شبکه‌ی حمل‌ونقل در مواجهه با بحران‌های ناشی از جنگ، نیاز به طراحی مقاوم اجزای پل در برابر انفجار وجود دارد.

با انهدام این بخش از زیرساخت‌ها، خطوط مواصلاتی کشور مورد تهاجم، قطع گردیده و امکان حمل‌ونقل و به طبع خدمات‌رسانی و پشتیبانی سلب می‌شود، بنابراین کشورهایی که طعم خرابی و خسارات ناشی از جنگ را تجربه نموده‌اند برای حفظ سرمایه‌های ملی و منابع خود توجه ویژه‌ای به دفاع غیرعامل نموده و در راهبردهای دفاعی خود جایگاه والایی برای آن قائل شده‌اند [۱].

انجام اقدامات دفاع غیرعامل در جنگ‌های امروزی برای مقابله با تهاجمات دشمن و تقلیل خسارات ناشی از حملات هوایی، زمینی و دریایی مهاجم، موضوعی بنیادی است که وسعت و گستره‌ی آن، تمامی زیرساخت‌های کلیدی، مراکز حیاتی، حساس و مهم نظامی و غیرنظامی کشور نظیر پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، جاده‌ها، بندرها، فرودگاه‌ها و ... را در بر می‌گیرد. هر یک از این تهدیدات (که در حال حاضر به‌صورت بالقوه هستند) در صورت بروز می‌توانند خسارات جبران‌ناپذیر مالی، انسانی و ... برای کشور به همراه داشته باشند. در زمینه‌ی امنیت حمل‌ونقل، تقریباً ۶۰ درصد حملات تروریستی به زیرساخت‌های بزرگراه‌ها متشکل از حملات انفجاری بوده است که نشان‌دهنده‌ی نیاز به سازه‌های مقاوم در برابر انفجار است. با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، در این مطالعه اثر انفجار به‌منزله‌ی یکی از عوامل تهدید بر روی پل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

از منابع و مراجع مهمی که تاکنون در زمینه‌ی تحلیل و طراحی سازه‌ها در برابر انفجار تدوین شده‌اند می‌توان به دستورالعمل TM 5-1300 [۲]، دستورالعمل TM 5-855-1 [۳]، دستورالعمل‌های FEMA 452,426,427,428[۴، ۵، ۶]، نشریه‌ی شماره‌ی ۴۲ انجمن مهندسان عمران امریکا [۷]، راهنمای طراحی سازه‌ای مقاوم در برابر انفجار در تأسیسات پتروشیمی [۸]، طراحی سازه‌ای برای حفاظت فیزیکی [۹] و راهنمای توصیه‌های امنیت پل توسط مؤسسه‌ی آشتو [۱۰] اشاره کرد. در این میان تنها دستورالعملی که مستقیماً برای پل‌ها تدوین شده است، دستورالعمل توصیه‌های امنیت پل است که در سال ۲۰۱۱ توسط آشتو منتشر شده است و تأکید آن بیشتر بر پایه‌ی پل‌ها است.

فوجیکارا و برونیو آزمایش‌هایی با مقیاس ¼ روی ستون‌های بتن مسلح شکل‌پذیر (از لحاظ لرزه‌ای) و ستون‌های غیر شکل‌پذیر با پوشش فولادی انجام دادند. آن‌ها مشاهده کردند که هیچ یک از این ستون‌ها رفتار شکل‌پذیری در برابر انفجار از خود نشان ندادند و دچار گسیختگی برشی در پای ستون شدند [۱۱].

عبدالأحد و آروکیاسامی ظرفیت پل‌های با سیستم عرشه‌ی دال بتنی و تیر T شکل را در برابر انفجارهای ضعیف و متوسط مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. آن‌ها همچنین اثر الیاف FRP را در بالا بردن ظرفیت پل در اثر انفجار بررسی کردند. از نتایج مهم تحقیق آن‌ها این بود که استفاده از بتن با مقاومت بالا تأثیر چندانی در افزایش مقاومت پل در برابر انفجار نداشته و همچنین الیاف FRP تأثیر بسیار خوبی در بالا بردن ظرفیت پل ایجاد کرده است.

توکال احمد و همکارش تحقیقاتی در مورد «پاسخ پل‌ها در اثر بارگذاری انفجار و روش‌های محافظت برای کاهش خطرات ناشی از انفجار در پل‌ها» انجام داد [۱۳]. آن‌ها ابتدا طیف‌های بارگذاری معادل استاتیکی را برای دستگاه یک درجه‌ی آزادی الاستیک تهیه نمودند. برای در نظر گرفتن اثرات پلاستیسیته، طیف حاصل را بر فاکتور شکل‌پذیری که تابعی است از شاخص شکل‌پذیری تقسیم کردند. سپس به مدل‌سازی پل با استفاده از نرم‌افزار ELS پرداختند و راهکارهایی برای کاهش خطرات انفجار در پل‌ها ارائه کردند.

ژو و آروکیاسامی نحوه‌ی ارزیابی اثرات انفجار روی پل‌های با عرشه‌ی مختلط را مورد تحقیق قرار دادند [۱۴]. آن‌ها یک نمونه پل را در معرض چند سناریوی محتمل انفجار با استفاده از نرم‌افزار ANSYS تحلیل کردند. آن‌ها روشی برای مدل‌سازی انفجار در یک پل با عرشه‌ی کامپوزیت ارائه کردند.

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر نوع تحقیق در زمره‌ی تحقیقات کاربردی - توسعه‌ای و از نظر ماهیت تحقیق در زمره‌ی تحقیقات توصیفی محسوب می شود. روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش از نوع ترکیبی (توصیفی- اکتشافی- نمونه‌ی موردی) است.

به‌منظور بررسی اثر انفجار بر روی پل‌ها، در این پژوهش ابتدا نرم‌افزار مناسب برای شبیه‌سازی انتخاب گردید. در ادامه یک پل خاص به پیشنهاد صنعت به‌منظور شبیه‌سازی انتخاب شد. پس از آن به بررسی بهترین روش شبیه‌سازی مدل با کمترین ساده‌سازی پرداخته شد. سپس برای وزن خرج‌های مختلف در فواصل افقی متفاوت تحلیلی انجام شد که مبنای سایر تحلیل‌ها قرار گرفت. بررسی اثر انفجار با توجه به سناریوی انتخابی و تهدید مبنا در پایه‌ی پل و عرشه از سایر تحلیل‌هایی است که صورت گرفته است.

علاوه بر آن، به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز روش تحلیل محتوا (کیفی) و روش کمی انتخاب و نرم‌افزار Ansys workbench به‌منزله‌ی ابزار تحلیل پل انتخاب گردید.

جامعه‌ی آماری مطلوب در این تحقیق کارشناسانی هستند که مشترکاً در حوزه‌ی دفاع غیرعامل و مهندسی عمران دارای تجربه و تخصص باشند که بر این اساس در حدود ۴۰ نفر از کارشناسان این دو حوزه شناسایی گردیدند. لیکن با توجه به عدم دسترسی به کل جامعه‌ی آماری و کمبود وقت به‌منظور تکمیل پرسش‌نامه‌های این پژوهش، از فرایند نمونه‌گیری قضاوتی استفاده گردید. در فرایند نمونه‌گیری قضاوتی بخشی از جامعه که اعضای آن بر پایه‌ی داوری محقق مشخص می‌شود، گزینش می‌گردند. تعداد نفرات گزینش‌شده نیز توسط فرمول کوکران استخراج خواهد شد [۱۵].

مبانی نظری

- پدافند غیرعامل:

پدافند غیرعامل عبارت است از مجموعه اقدامات غیرمسلحانه‌ای که باعث افزایش قدرت بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقای پایداری ملی و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی می‌گردد [۱۶].

- اصول پدافند غیرعامل عبارت‌اند از:

۱. انتخاب عرصه‌های ایمن در جغرافیای کشور؛
۲. تعیین مقیاس بهینه‌ی استقرار جمعیت و فعالیت در فضا؛
۳. پراکندگی در توزیع عملکردها متناسب با تهدیدات و جغرافیا؛
۴. کوچک‌سازی و ارزان‌سازی و ابتکار در پدافند غیرعامل؛
۵. انتخاب مقیاس بهینه از پراکندگی و توجیه اقتصادی پروژه؛
۶. عدم وابسته‌سازی سامانه‌های حیاتی به هم؛
۷. مقاوم‌سازی، استحکامات و ایمن‌سازی سازه‌های حیاتی؛
۸. مکان‌یابی بهینه‌ی استقرار عملکردها در فضا؛
۹. مدیریت بحران دفاعی در عرصه‌ها و حوزه‌ها؛
۱۰. استتار و نامرئی‌سازی سامانه‌ها در برابر سنجنده‌ها؛
۱۱. کور کردن سامانه‌ی اطلاعاتی دشمن؛
۱۲. اختفا با استفاده از عوارض طبیعی؛
۱۳. پوشش در همه‌ی زمینه‌ها؛
۱۴. فریب، ابتکار عمل و تنوع در کلیه‌ی اقدامات؛
۱۵. حفاظت اطلاعات سامانه‌های حیاتی و مهم؛
۱۶. تولید سازه‌های دومنظوره [۱۷].

- پدافند غیرعامل در حوزه‌ی حمل و نقل:

هنگامی‌که یک پل آسیب جدی می‌بیند، ترافیک عبوری مختل می‌شود. سرعت، ابتکار و خلاقیت باعث بازگشت شرایط عادی به پل می‌شود.

شرایط ویژه‌ی کشور از نظر امنیتی و احتمال انجام حملات تروریستی و تهدیدات بالقوه باعث شده است که سیستم‌های حمل‌ونقل نیاز فوری به توسعه‌ی برنامه‌ی مدیریت اضطراری به‌منظور انجام عکس‌العمل سریع داشته باشند. پل‌ها در جاده‌های اصلی، یکی از اجزای حیاتی شبکه‌ی حمل‌ونقل هستند. دلایلی که باعث اهمیت پل‌ها در شبکه‌ی حمل نقل هستند، عبارت‌اند از:

۱. پل ظرفیت سیستم حمل‌ونقل را کنترل می‌کند؛
۲. پل بیشترین هزینه در کیلومتر را در سیستم دارد؛
۳. اگر پل از بین برود، سیستم از بین می‌رود [۱].

برخی سناریوهای رخداد تهدید در پل‌ها

سناریو دیدگاهی است با سازگاری درونی و محتوایی نسبت به آنچه در آینده می‌تواند رخ دهد. همچنین سناریوها ابزاری برای نظم‌دهی به ادراک یک فرد درباره‌ی محیط‌های آینده است که تصمیم‌های فرد در آن محیط‌ها گرفته خواهد شد [۱۸].

- اهداف تدوین سناریو:
  - بسترسازی برای برنامه‌ریزی و ارائه‌ی راهکارهای دفاعی؛
  - ارتقای فرهنگ و دانش سازمانی و یادگیری گروه‌های هدف؛
  - شناسایی نقاط ضعف، قوت و قابلیت‌های زیرساخت؛
  - شناسایی قابلیت‌ها، شیوه‌ها و ابزار دشمن در تهاجم به زیرساخت‌ها [۱۹].

همچنین بیان این سناریوها نقطه‌ی شروعی در استخراج سناریوی پایه‌ی تهدیدات برای پل‌ها خواهد بود، به‌نحوی‌که با بهره‌گیری از نظرات متخصصان و جامعه‌ی خبرگان تحقیق که نظراتشان در قالب پرسش‌نامه اخذ می‌گردد، سعی می‌شود سناریوهای اولویت‌دار شناسایی و در نهایت سناریوی پایه استخراج گردد تا مدل‌سازی بر مبنای سناریوی پایه انجام شود.

سناریوی اول: بمب‌گذاری تروریستی

عامل اجرای این سناریو گروه‌های تروریستی مورد حمایت معاندان جمهوری اسلامی ایران هستند. اعضا یا مربیان این گروه‌ها با دیدن آموزش‌های لازم در کشورهای معاند، وارد خاک کشور شده و با تجهیز از سوی کشورهای معاند، اقدام به عملیات بمب‌گذاری، با هدف خدشه‌دار کردن وجهه‌ی بین‌المللی امنیت کشور، مخالف پرور نشان دادن حاکمیت ملی، وارد ساختن جراحات و تلفات شدید انسانی و شکاف بین مردم و نظام می‌نمایند [۱۷].

این‌گونه عملیات تروریستی در محدوده‌ای می‌تواند رخ دهد که دسترسی جزو مهم‌ترین پارامتر این رویداد است. پایه‌ی ستون‌ها (در پل‌هایی که امکان دسترسی آن وجود دارد)، عملیات تروریستی بر روی عرشه‌ی پل و یا تکیه‌گاه، محتمل‌ترین گزینه‌ها برای بمب‌گذاری است.

در هر یک از موارد فوق، نتایج زیر قابل پیش‌بینی است:

- تخریب شدید محیط خارجی و داخلی که در معرض اثرات ناشی از انفجار بمب قرار دارند؛

- کاهش اعتماد عمومی نسبت به راه‌ها؛
- اخلال در سیستم حمل‌ونقل؛
- از بین رفتن کمک‌رسانی و انتقال تجهیزات دفاعی در زمان بحران و احتمال نابودی دارایی‌های ارزشمند در معرض انفجار.

سناریوی دوم: حمله‌ی موشکی

با توجه به اوضاع بین‌المللی و شرایط حساس منطقه، اسرائیل با چراغ سبز امریکا و تحت حمایت‌های این کشور، مجری این سناریو خواهد بود. در ادامه، امریکا نیز وارد عمل شده و با استفاده از فرصت‌های منطقه‌ای که برای خود ایجاد نموده اقدامات عملیاتی و تهاجمی خود را گسترش خواهد داد. در این بین احتمال تهاجم موشکی به زیرساخت‌های حیاتی کشور و ازجمله پل‌ها، وجود دارد. دشمن در این سناریو، وارد ساختن خسارات اقتصادی کلان، از بین بردن راه‌های ارتباطی، شکاف بین مردم و نظام و تخریب زیرساخت‌ها را دنبال می‌نماید [۱۷].

در این سناریو، نتایج عمده‌ی زیر را بر اثر رخداد تهدید می‌توان متصور شد:

- کاهش شدید اقبال عمومی به استفاده از سیستم حمل‌ونقل؛
- انهدام پل‌های استراتژیک کشوری که ثروت ملّی محسوب می‌شوند؛
- توقف کنترل ترافیک عبوری؛
- ایجاد اختلال در کمک‌رسانی و تجهیزات دفاعی در زمان بحران.

راهکارهای ارزیابی خطر برای پل‌ها

پس از رخداد هر تهدیدی، شناسایی پیامدهای آن، یکی از اصلی‌ترین پیش‌نیازهای استخراج نقاط آسیب‌پذیر دارایی است. پیامدها باید در حوزه‌های مختلف بررسی شوند.

- پیامدهای کالبدی:

آسیب‌های کالبدی ناشی از وقوع تهدید بر دو دسته‌ی آسیب‌های اولیه و ثانویه تقسیم‌پذیرند. آسیب‌های اولیه شامل کلیه‌ی صدماتی که بلافاصله پس از وقوع تهدید وارد می‌شوند، است؛ منظور از آسیب‌های ثانویه نیز تشدید و بسط دامنه‌ی آسیب‌های اولیه براثر عملکرد محیطی است [۲۰].

آسیب‌های اولیه و ثانویه در انهدام پل:

الف. اثر تخریبی ناشی از موج انفجار و ترکش؛

ب. اثر تخریبی بر دیگر اجزای شبکه‌ی حمل‌ونقل.

- پیامدهای انسانی:

هرچه ابعاد تهدید گسترده‌تر باشد، میزان خسارت و تلفات انسانی بیشتر خواهد شد. علاوه بر تلفات انسانی ناشی از انفجار، حرارت، ترکش و ... درصدی از خسارت و تلفات انسانی ناشی از هجوم افراد برای خروج سریع است. این هجوم منجر به ازدحام شدید در مسیرهای ارتباطی خروجی می‌گردد.

- پیامدهای اجتماعی:

ایجاد رعب و وحشت در بین عموم جامعه و بی‌اعتمادی مردم نسبت به سیستم حمل‌ونقل ازجمله‌ی مهم‌ترین این پیامدها است.

- پیامدهای اقتصادی:

پیامدهای اقتصادی ناشی از رخداد تهدیدات در پل‌ها خارج شدن آن از مدار خدمات‌رسانی است.

- مهم‌ترین پیامدهای اقتصادی:
  - وارد شدن هزینه‌های سنگین برای جایگزینی و بهسازی آسیب‌ها؛
  - کنسل شدن حمل‌ونقل عبوری و تعلیق بسیاری از امور که وابسته به آن‌ها است؛
  - هزینه‌های سنگین ایجاد وقفه در راه‌اندازی مجدد و انتقال بار ترافیکی بر دیگر سیستم‌های حمل‌ونقل؛
  - اتلاف هزینه و زمان ناشی از تأخیر در خدمات وابسته؛
  - زیان‌های اقتصادی ناشی از عدم اطمینان مردم به سیستم حمل‌ونقل؛
  - زیان‌های ناشی از عدم استفاده از این سیستم حمل‌ونقل.

AASHTO LRFD

آیین‌نامه اشتو ال ار اف دی راهنمایی است که در بخش ارزیابی ریسک به طراحی جزئیات از قبیل نوع، هندسه و اهمیت پل پرداخته است. در زمان برنامه‌ریزی و ساخت پروژه‌های جدید پل‌سازی و یا در مورد مقاوم‌سازی پل‌های بهره‌برداری شده باید نسبت به ارزیابی درجه‌ی اهمیت پل پرداخته شود، که شامل شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی است و همچنین وجود مسیرهای جایگزین به پل نسبت به حفاظت و امنیت پل مورد توجه قرار گیرد. همچنین در این آیین‌نامه ذکر می‌گردد که باید مطالعه‌ی آسیب‌پذیری به‌طور رسمی انجام شود و راهکارهایی برای کاهش آسیب‌پذیری در طراحی مدنظر قرار گیرد. در بحث نیازهای طراحی در آیین‌نامه بیان شده است که اندازه و مکان وقوع تهدید در کنار نوع و هندسه و اهمیت سازه در تحلیل پل‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. نیازهای طراحی باید از تجزیه‌وتحلیل یک تهدید مبنا تعیین شود.

پس از ارزیابی آسیب‌پذیری و ارزیابی ریسک، با توجه به نقاط آسیب‌پذیرتر باید پل برای یک‌بار انفجاری مناسب طراحی گردد.

در مدل‌سازی بار انفجاری باید به موارد زیر توجه گردد:

- اندازه‌ی ماده‌ی منفجره؛
- شکل ماده‌ی منفجره؛
- نوع ماده‌ی منفجره؛
- فاصله‌ی توقف (فاصله‌ی بین مرکز یک‌بار انفجاری و هدف موردنظر)؛
- مکان ماده‌ی منفجره ؛
- انواع مختلف پرتاب یا برخورد ماده‌ی منفجره.

نوع ماده‌ی منفجره و مکان و شکل و اندازه‌ی آن تعیین‌کننده‌ی شدت نیروی انفجاری است.

برای مقایسه مواد منفجره معمولاً به معادل TNT تبدیل می‌شوند، معادل TNT نسبت وزن ماده‌ی منفجره به وزن TNT است. افزایش فاصله‌ی توقف باعث کاهش فشار در هدف به‌صورت تابعی درجه‌ی سوم نسبت به فاصله می‌گردد، مکان مواد منفجره تعیین‌کننده‌ی اثرات تقویت‌کننده‌ی موج انفجار انعکاسی از سطح پیرامون اجزای سازه‌ای است، همچنین شدت آسیب ایجادشده براثر متلاشی شدن اجزای نزدیک به انفجار را تعیین می‌کند.

دستورالعمل FEMA452

یکی از اهداف این تحقیق تحلیل ریسک شرایط غیرمترقبه به روش FEMA452 است. FEMA452 برای مقابله با تهدیدات انسان‌ساز و حملات خرابکارانه تدوین شده و در اختیار مراکز حساس دولتی و عمومی قرار داده شده است. مزیت شاخص این دستورالعمل، سادگی کار با آن ضمن جامعیت روش است. در این دستورالعمل با رسم جداولی، مراحل مختلف تحلیل آسیب‌پذیری و مدیریت ریسک سامانه‌ی موردنظر امتیازدهی شده و در نهایت مقدار ریسک برای قسمت‌های اصلی سامانه، محاسبه می‌شود [۲۱].

گام اول شناسایی و رتبه‌بندی تهدیدات است که تهدیدات محتمل شناسایی و با توجه به معیارها امتیازدهی می‌شوند و طبق دستورالعمل (FEMA) تهدیدات با امتیاز بالا برای مراحل بعدی انتخاب خواهند شد. در گام بعد ارزیابی ارزش دارایی‌ها صورت می‌گیرد که در این مرحله برآورد شدت خسارت جانی و مالی وارد به یک اجزا در اثر وقوع یک تهدید خاص است. در این گام با شناسایی دارایی‌های کلیدی با تدوین معیارها، شدت خسارت در برابر تهدیدات تعیین می‌شود. در گام سوم آسیب‌پذیری دارایی‌های کلیدی در برابر تهدیدات شناسایی‌شده، محاسبه می‌شود و در آخر ارزیابی ریسک هر اجزا با تکمیل سه مرحله‌ی قبل مشخص می‌شود.

معرفی و وزن‌دهی به شاخص‌های ارزیابی تهدیدات

روند شناسایی، غربالگری و معرفی تهدیدات با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان و سوابق رخداد تهدیدات که دارایی‌های کلیدی پل را در معرض ریسک قرار می‌دهند استخراج گردیدند. در ادامه به‌منظور تعیین تهدید مبنای پل و اولویت‌بندی تهدیدات استخراج‌شده لازم است به ارزیابی تهدیدات پرداخته شود تا امکان اثرگذاری هر یک از آن‌ها بر دارایی‌های کلیدی پل مشخص شود. در این راستا به‌منظور ارزیابی تهدیدات نیاز به شاخص‌های ارزیابی تهدید داریم. جدول ۱ معیارهای ارزیابی تهدیدات پل را بیان می‌دارد.

در ادامه به‌منظور نمره‌دهی و اولویت‌بندی دارایی‌های کلیدی استخراج‌شده لازم است به ارزیابی دارایی‌های موجود در یک پل پرداخته شود تا میزان اهمیت هر یک از آن‌ها مشخص شود. جدول ۲ معیارهای ارزیابی دارایی‌های کلیدی پل را بیان می‌دارد.

در ادامه به‌منظور اعتبار نتایج حاصل از ارزیابی دارایی‌های کلیدی پل باید در گام اول شاخص‌های ارزیابی دارایی مورد

جدول ۱ : معیارهای ارزیابی تهدیدات اجزا پل [۱۹]

ردیف	شاخص
۱	شدت خسارت
۲	توانایی دشمن
۳	سابقه تهدید
۴	هزینه-فایده

جدول ۲ : معیارهای ارزیابی دارایی‌های کلیدی پل [۱۹]

ردیف	شاخص
۱	ارزش اقتصادی
۲	کمیت بهره‌برداران
۳	عدم امکان جایگزینی و ترمیم
۴	تأثیر فرایندی
۵	نقش سیستمی

جدول ۳: ارزش دارایی اجزای پل

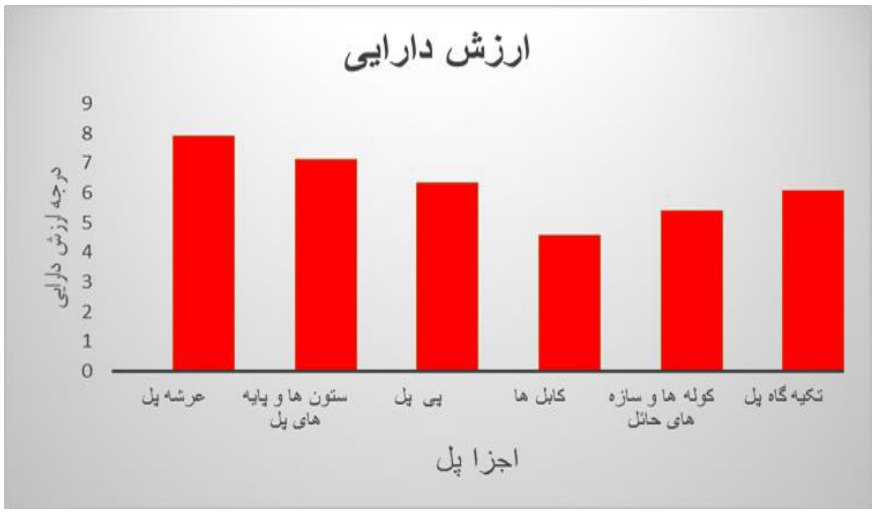
ارزش دارایی	
میانگین	اجزای پل
۷،۹	عرشه‌ی پل
۷،۱۲۵	ستون‌ها و پایه‌های پل
۶،۳۲۸۸۸۹	پی پل
۴،۵۵۸۳۳۳	کابل‌ها
۵،۴۱۲۷۷۸	کوله‌ها و سازه‌های حائل
۶،۰۶۰۵۵۶	تکیه‌گاه پل

وزن‌دهی قرار گیرند. این امر بدان خاطر است که تأثیر هر شاخص به‌اندازه‌ی وزن خود در میزان اهمیت یک دارایی لحاظ شود. چرا که همه‌ی شاخص‌های معرفی‌شده در جدول ۲ از وزن یکسانی برخوردار نیستند.

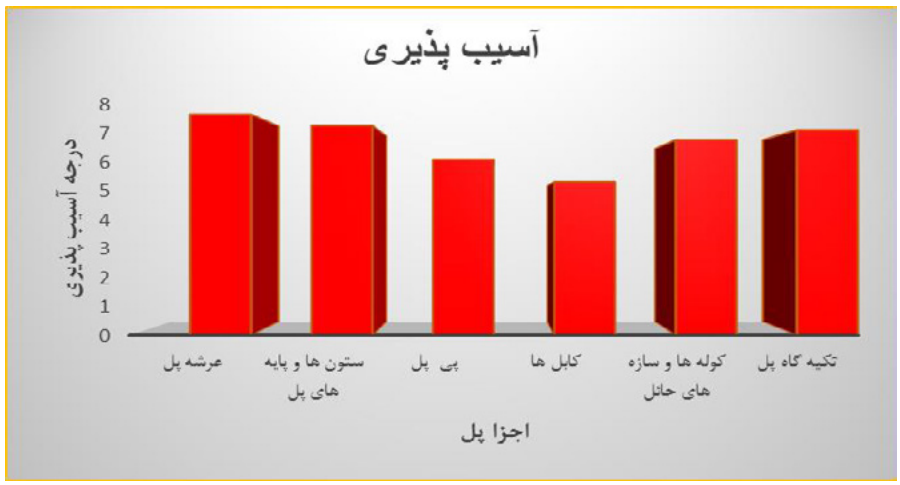
مطابق جدول ۳ نمره‌دهی شاخص‌ها با اعمال ضرایب لحاظ گردیده است که نتیجه‌ی آن در تصویر ۷ قابل مشاهده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نظرات جامعه‌ی خبرگان بیشترین ارزش دارایی عرشه و ستون‌ها است و کابل‌ها در رتبه‌ی آخر جای گرفته است.

وزن‌دهی به شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری اجزای پل

شناسایی هر نقطه‌ضعفی از دارایی‌های کلیدی که باعث بهره‌گیری مهاجمین برای حساس کردن آن دارایی در برابر تهدیدات می‌شود را می‌توان آسیب‌پذیری آن دارایی تلقی نمود. به‌طور کلی منظور از کاهش آسیب‌پذیری، برطرف کردن نقاط



تصویر ۱: نمودار ارزش دارایی



تصویر ۲: آسیب‌پذیری اجزای پل

جدول ۴: شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری پل [۱۹]

ردیف	شاخص
۱	ضعف ساختاری
۲	ضعف تجهیزات دفاعی
۳	امکان دسترسی و شناسایی

ضعف در طراحی، به‌کارگیری و یا اقدام عملی برای کاهش خسارت دارایی‌ها با هدف مصون‌سازی است. در این راستا به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری نیاز به شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری داریم که در جدول ۴ بیان می‌شود.

مطابق جدول ۵ نمره‌دهی شاخص‌ها با اعمال ضرایب لحاظ گردیده است که نتیجه‌ی آن در تصویر ۸ قابل مشاهده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نظر جامعه‌ی خبرگان بیشترین آسیب‌پذیری در عرشه و ستون‌ها است و کابل‌ها در رتبه‌ی آخر جای گرفته است.

جدول ۵: آسیب‌پذیری اجزای پل

آسیب‌پذیری	
میانگین	اجزای پل
۷،۵۸۶۶۶۷	عرشه‌ی پل
۷،۲۰۰۵۵۶	ستون‌ها و پایه‌های پل
۶،۰۳۷۷۷۸	پی پل
۵،۲۶۵	کابل‌ها
۶،۷۱۲۲۲۲	کوله‌ها و سازه‌های حائل
۷،۰۵۱۶۶۷	تکیه‌گاه پل

تعیین ریسک دارایی‌های کلیدی پل

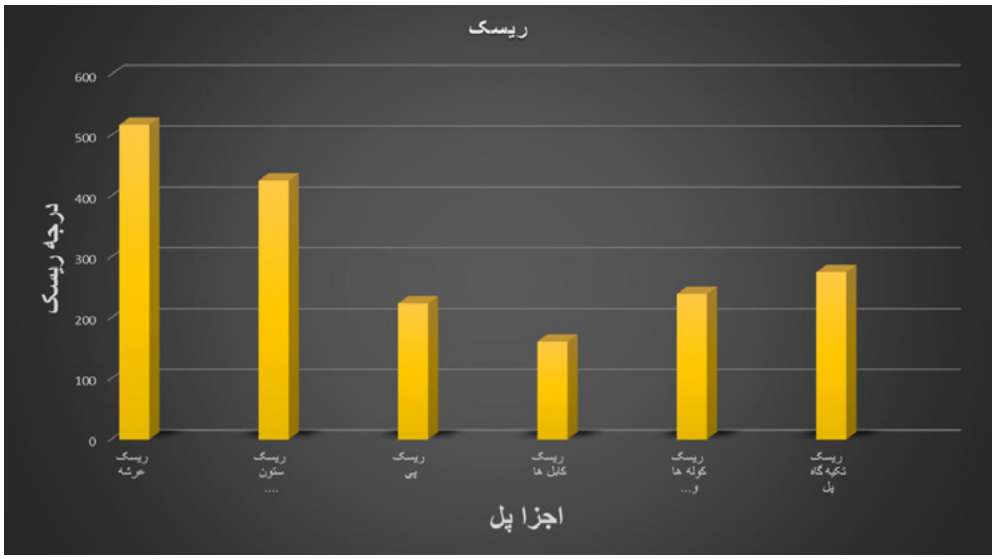
در این پژوهش با شناخت زیرساخت سعی گردید تا شاخص‌های اصلی ارزیابی ریسک پل از منظر پدافند غیرعامل استخراج و با ترکیب روش کیفی و کمی، میزان ریسک دارایی‌های پل تعیین گردد. با این ارزیابی می‌توان نقاط ضعف و آسیب‌پذیر پل‌ها را شناسایی کرد و برای رفع کاهش ضعف آن‌ها اقدام نمود. ریسک از روش FEMA از حاصل‌ضرب تهدید در آسیب‌پذیری در ارزش دارایی به دست می‌آید، که در آن عدد ریسک هر چقدر بالاتر

جدول ۶: مقیاس نهایی درجه‌ی ریسک

مقیاس	نمره	تفسیر	
خیلی بالا	۶۰۰-۱۰۰۰	دارایی به‌شدت مستعد تهاجم هستند	گروه ۱
بالا	۲۵۰-۶۰۰	دارایی خیلی زیاد مستعد تهاجم است	
متوسط رو به بالا	۲۰۰-۲۵۰	دارایی خیلی مستعد تهاجم است	گروه ۲
متوسط	۱۵۰-۲۰۰	دارایی نسبتاً مستعد تهاجم است	
متوسط رو به پایین	۱۰۰-۱۵۰	دارایی کمی مستعد تهاجم است	
پایین	۵۰-۱۰۰	دارایی خیلی کم مستعد تهاجم است	گروه ۳
خیلی پایین	۱-۵۰	دارایی به‌ندرت مستعد تهاجم است یا ارزش تهاجم ندارد	

جدول ۷: درجه‌ی ریسک

ریسک	MAX ریسک عرشه	MAX ریسک ستون	MAX ریسک پی	MAX ریسک کابل ها	MAX ریسک کوله ها و...	MAX ریسک تکیه گاه پل
میانگین	517.3646111	425.9338889	223.8484556	161.0299389	239.4167778	274.9688889
درجه ریسک	بالا	بالا	متوسط رو به بالا	متوسط	متوسط رو به بالا	بالا



تصویر ۳: میزان ریسک اجزای مختلف پل

باشد نشان‌دهنده‌ی احتمال بیشتر ایجاد خطرات و خسارات برای زیرساخت مورد نظر است.

محاسبه‌ی ریسک = آسیب‌پذیری × تهدید × ارزش دارایی

سه مؤلفه‌ی تهدید، آسیب‌پذیری و دارایی بر اساس جدول محاسباتی اعداد اولویت ریسک، عددگذاری شده و از حاصل‌ضرب سه عدد مذکور، عدد اصلی ریسک به دست می‌آید [۲۱].

بر این مبنا، برای هر دارایی ماتریس ریسک تشکیل گردید. در ماتریس ریسک با داشتن اعداد دارایی، تهدید و آسیب‌پذیری که از بخش‌های پیشین به دست آمده بود عدد نهایی ریسک به دست می‌آید. اعداد ریسک به دست آمده حامل نتایج مفهومی مفیدی هستند، لیکن باید مشخص شود که بالا یا پایین بودن اعداد ریسک به چه معنی است که در اینجا به وجود مقیاسی برای تفسیر اعداد ریسک احتیاج می‌شود. این مقیاس در سند شماره‌ی ۴۵۲ مربوط به آژانس مدیریت شرایط اضطراری فدرال ایالات متحده امریکا موجود است اما به علت اینکه مقیاس ارائه‌شده در آن سند با توجه به تهدیدات مبنای کشور ایالات متحده است طبیعتاً نمی‌تواند مقیاس صحیح و قابل استنادی برای تهدیدات حوزه‌ی این تحقیق باشد، پس به مقیاسی بومی که قابلیت استناد داشته باشد نیاز پیدا می‌کنیم که بدین منظور با مشورت با کارشناسان و به‌منظور کسب نتایج منطقی، مقیاس قابل مشاهده در جدول ۶ تدوین شد و مبنای قیاس در تحلیل ریسک پل‌ها قرار گرفت.

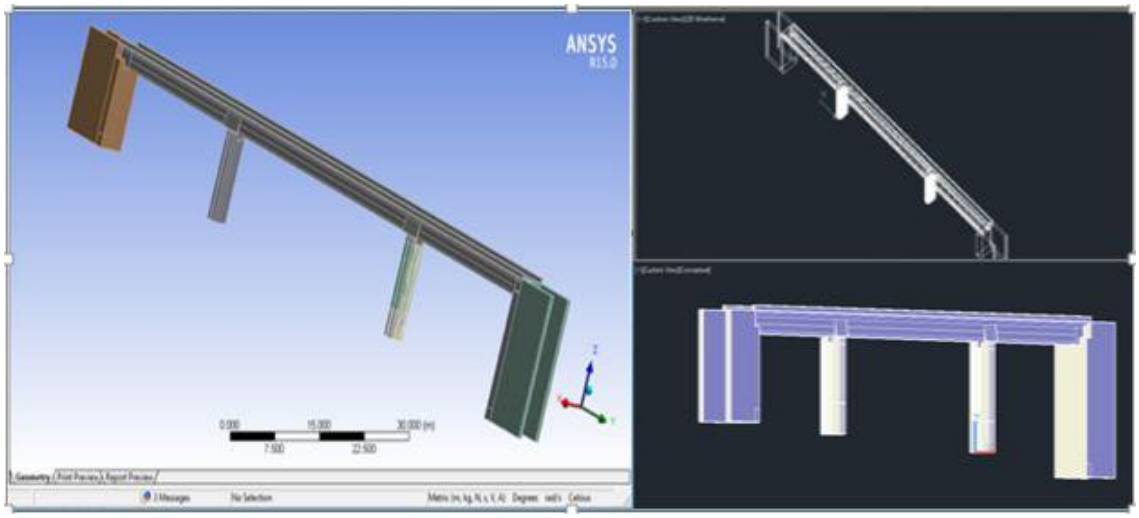
با ارزیابی ریسک و تعیین ارزش دارایی‌ها مهندسان و مسئولان می‌توانند تصمیمات و پیش‌بینی‌های واقعی‌تر نسبت به گذشته

در مورد افزایش بازدارندگی و یا مقاوم‌سازی نسبت به دارایی‌های کلیدی اتخاذ کنند.

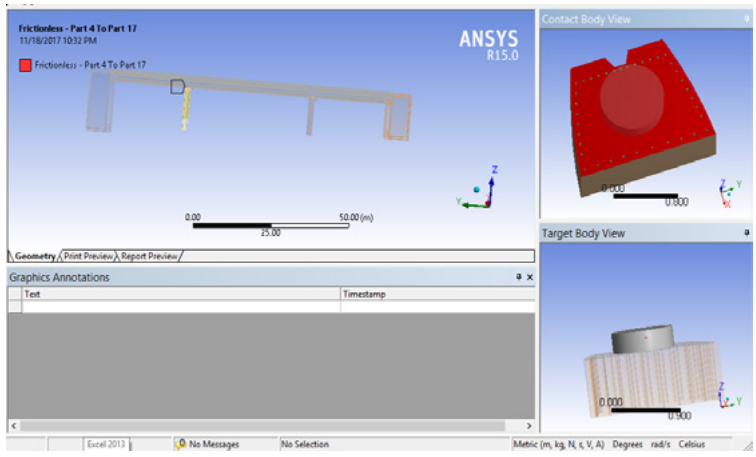
نحوه‌ی شبیه‌سازی پل در نرم‌افزار

برای شبیه‌سازی پل و سایر مدل‌ها در نرم‌افزار انسیس ابتدا مدل موردنظر را در نرم‌افزار اتوکد ترسیم نموده و سپس وارد محیط نرم‌افزار انسیس نموده‌ایم. علت این کار طراحی ساده‌تر با زمان کمتر است. در تصویر ۴ مدل ترسیم شده در اتوکد و انسیس قابل مشاهده است.

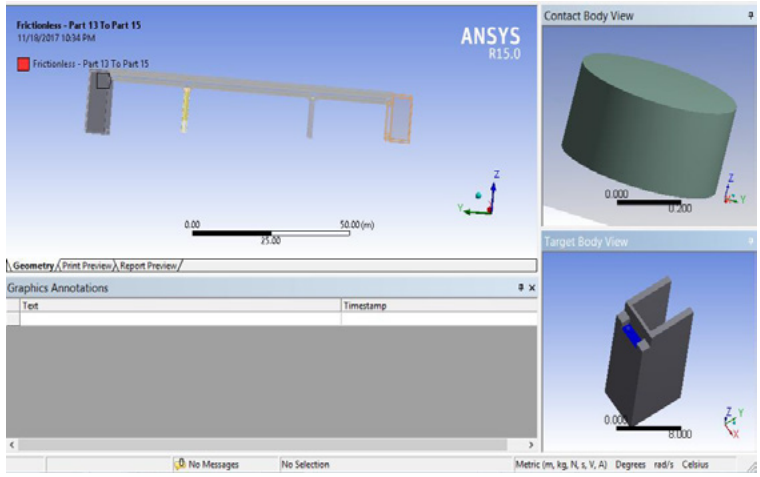
پس از وارد نمودن مدل به نرم‌افزار انسیس، با استفاده از کتابخانه‌ی نرم‌افزار، تخصیص متریال به اجزای سازه‌ای پل صورت می‌گیرد که این بخش در قسمت Geometry تعریف شده



تصویر ۴: مدل ترسیم‌شده در اتوکد و انسیس

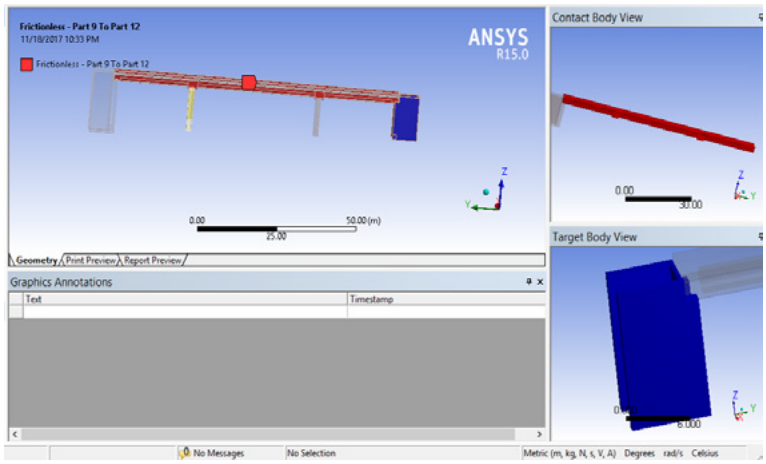


تصویر ۵: اتصال نئوپرن به ستون

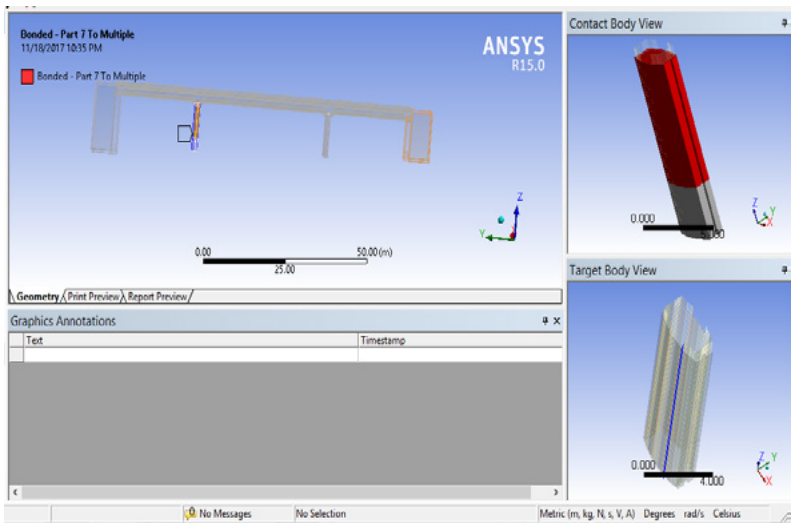


تصویر ۶: اتصال نئوپرن به کوله و عرشه

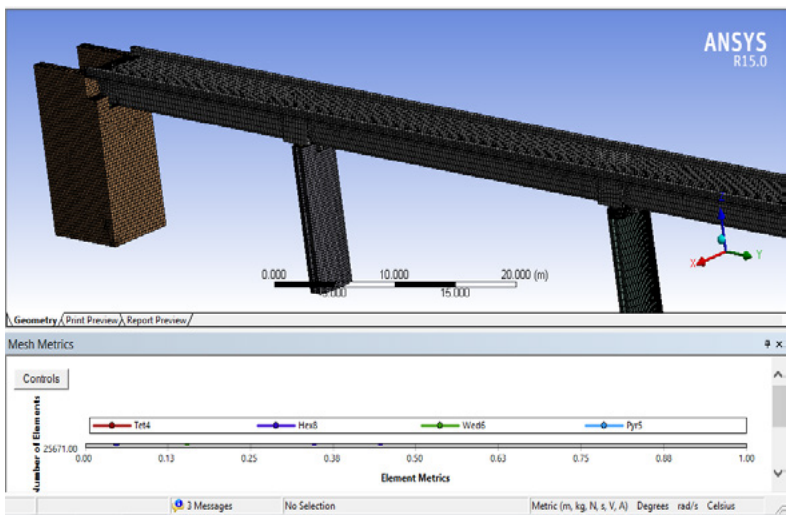
است، در مرحله‌ی بعد نحوه‌ی اتصالات اجزا (Connection) تعریف می‌شود که در تصویر ۵، ۶، ۷ و ۸ بعضی از اتصالات برای نمونه نمایش داده شده است، در این پژوهش اتصال بین بتن و میلگرد به دلیل چسبندگی بالا از نوع Bonded تعریف شده است،



تصویر ۷: اتصال کوله به عرشه



تصویر ۸: اتصال میلگرد با بتن



تصویر ۹: مش زدن مدل

مرحله‌ی بعد عمل مش‌زنی است که در تصویر ۹ قابل مشاهده است. همچنین در قسمت Explicit Dynamics شرایط مرزی و اولیه و نیز نتایج مورد انتظار تعریف می‌گردد.

به‌منظور مدل‌سازی بتن مسلح تلاش شده است تا حد امکان این شبیه‌سازی به واقعیت نزدیک باشد. بدین منظور میلگردهای طولی با استفاده از المان لینک که یک المان دوبعدی است مدل‌سازی گردید و خاموت‌های عرضی نیز به‌صورت معادل در مقاومت بتن لحاظ گردیده است. در این مدل‌سازی ماده‌ی منفجره به‌صورت جسم کروی با اختصاص ماده‌ی TNT است، وزن این جسم کروی برابر خواهد بود با وزن معادل TNT ماده‌ی منفجره.

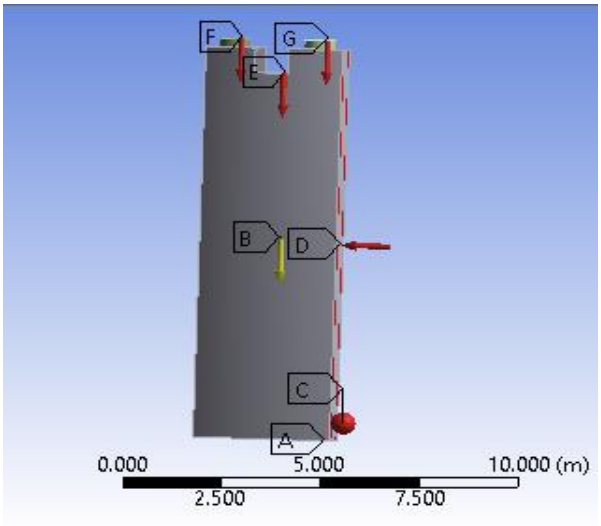
اثر انفجار روی پایه‌ی پل

بعد از مدل‌سازی پل در نرم‌افزار انسیس و اعمال بارگذاری بر سازه، مکان ماده‌ی منفجره را مشخص می‌کنیم، در تصویر ۱۰ اعمال بار (بار وزن مرده و بار زنده و نیروی گرانش و نیروی باد) و مکان ماده‌ی منفجره در ستون مشخص شده است.

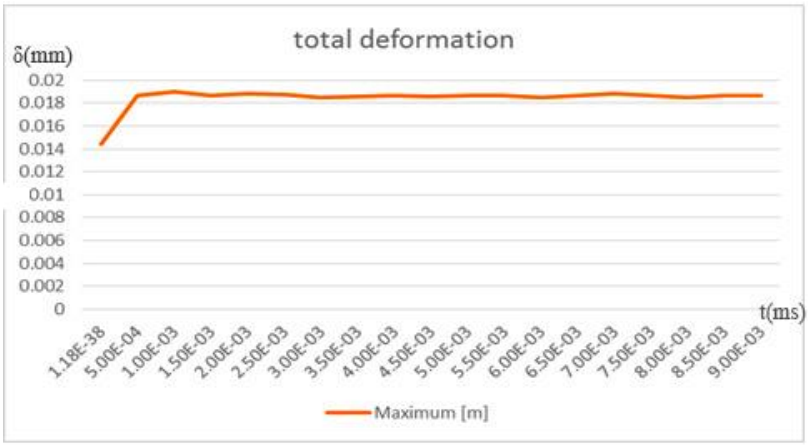
با افزایش وزن ماده‌ی منفجره میزان خرابی افزایش می‌یابد. برای وزن خرج ۱۰ کیلوگرم، شعاع تأثیری که موجب شکست بتن با مقاومت ۳۵ مگا پاسکال می‌شود تقریباً برابر ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر است و خرابی به‌صورت موضعی است. برای سایر وزن‌ها نیز شعاع تخریب‌شده با نتایج به‌دست‌آمده قابل تطبیق دادن است. می‌توان گفت که برای وزن خرج بالای ۱۰۰ کیلوگرم خرابی بتن می‌تواند به خرابی پایه و درنتیجه ریزش موضعی پل منجر شود. باید به این نکته توجه داشت که در صورت خرابی پایه، پل‌ها بر اساس نحوه‌ی اجرا و ساخت و میزان تکیه‌ی پل به پایه‌ها با اشکال متفاوتی از خرابی و یا ریزش روبه‌رو خواهند شد.

مقدار بیشینه تغییر شکل ستون از لحظه‌ی شروع انفجار به حداکثر میزان خود رسیده و بعد از چند ثانیه این تغییر شکل نوسان کوچکی را در بر خواهد داشت که تقریباً ثابت می‌شود پس از ثانیه‌های آغازین انفجار بیشترین فشار بر ستون اعمال می‌شود.

پس از انجام تحلیل‌های صورت گرفته بر روی مدل بیشینه تنش قائم از نتایج استخراج گردید که بیشینه تنش قائم نیز در چند دوره‌ی آغازین انفجار به وجود آمده است.

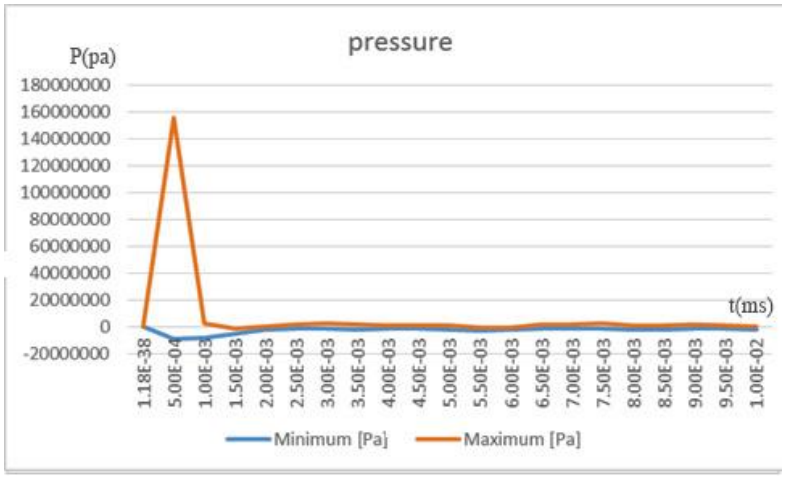


تصویر ۱۰: نحوه‌ی اعمال بار بر ستون

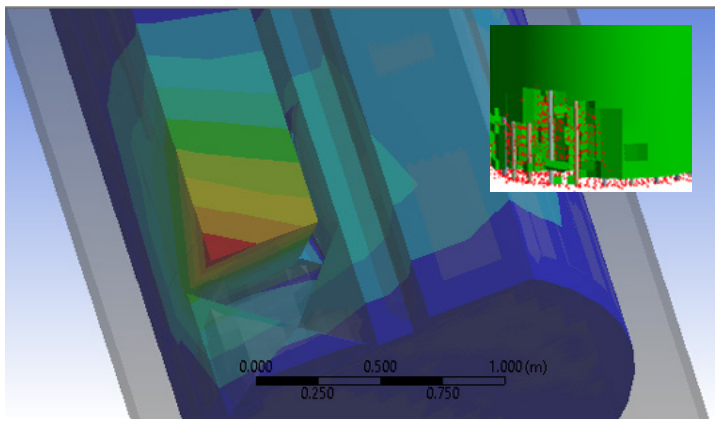


تصویر ۱۱: تغییر شکل ستون بر حسب زمان

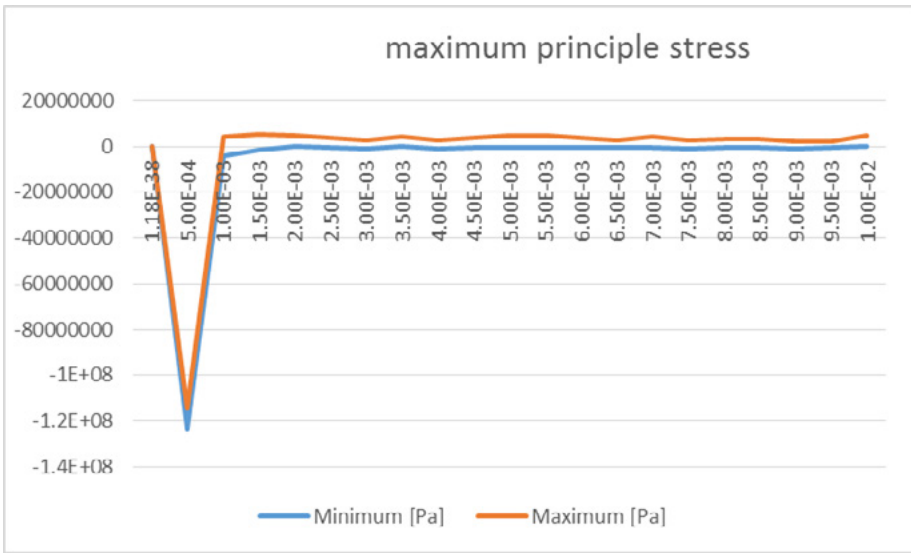
در این تحلیل‌ها تنش‌های فشاری با علامت منفی و تنش‌های کششی با علامت مثبت نمایان می‌شوند، ازاین‌رو min principal نشان‌دهنده‌ی تنش‌های فشاری و max principal نشان‌دهنده‌ی تنش‌های کششی است. ضمناً با توجه به این موضوع که نقاط در نظر گرفته شده در روی مدل در قسمت فشاری است نمودارهای مربوط به تنش اصلی مینیمم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



تصویر ۱۲: فشار ناشی از انفجار



تصویر ۱۳: تغییر شکل ستون در اثر وقوع انفجار

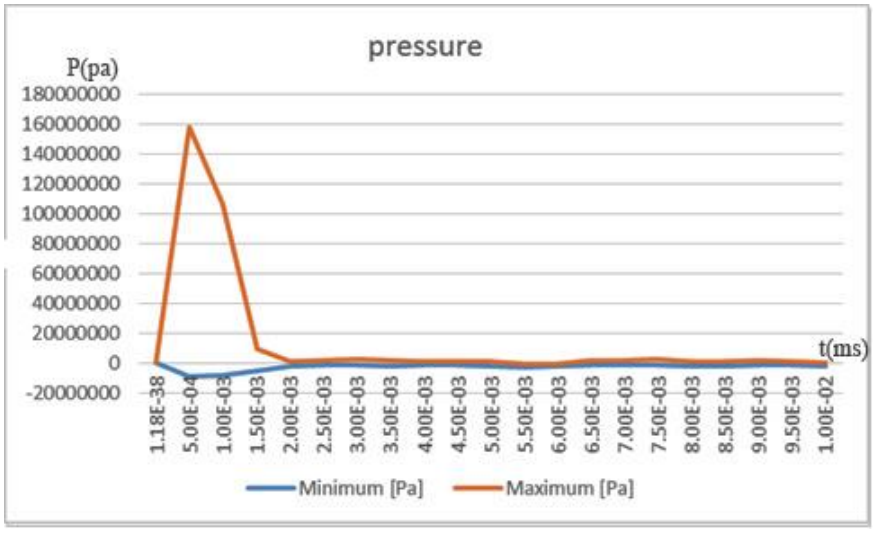


تصویر ۱۴: ماکزیمم تنش قائم

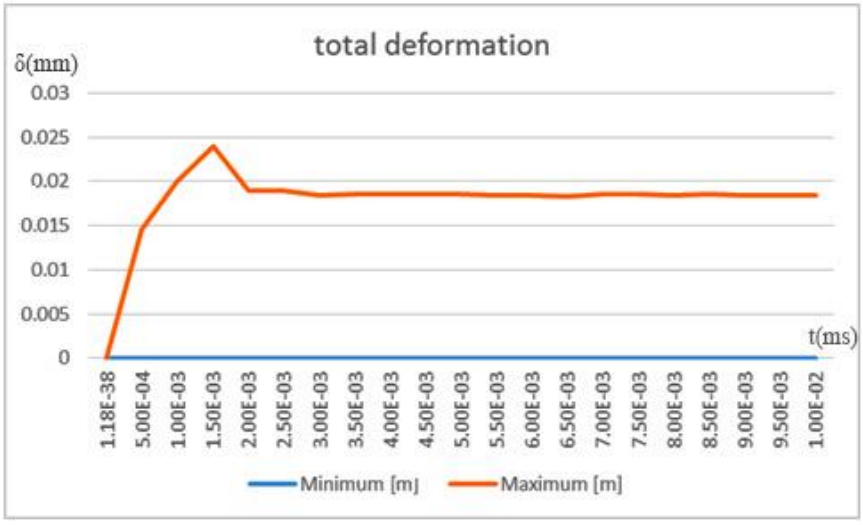
شبیه‌سازی پایه‌ی پل بتن مسلح در اثر انفجار با TNT مورد تحلیل قرار گرفت، وزن خرج ۱۰۰ کیلوگرم، برای مدل‌سازی در نظر گرفته شد که موجب خرابی پایه و درنتیجه ریزش موضعی پل می‌گردد.

اثر انفجار روی عرشه‌ی پل

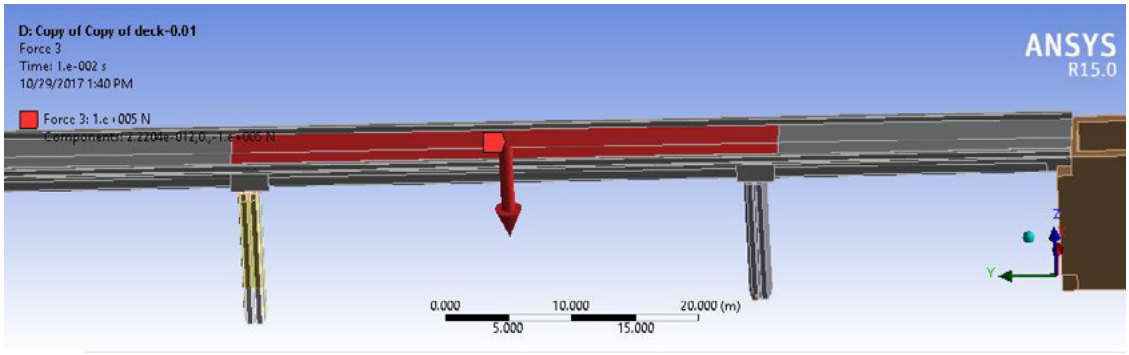
به‌منظور بررسی اثر انفجار بر روی عرشه‌ی پل و با توجه به نتایج به‌دست آمده در مباحث قبل و برای ساده‌سازی و کاهش زمان تحلیل، تنها یک دهانه از پل مورد تحلیل قرار گرفت. در تصویر ۱۷ مدل آماده شده برای شبیه‌سازی مشاهده می‌گردد. برای بررسی اثر مکان ماده‌ی منفجره، نقطه‌ی میانی دهانه برای



تصویر ۱۵: فشار ناشی از انفجار



تصویر ۱۶: تغییر شکل عرشه



تصویر ۱۷: نحوه‌ی بارگذاری روی عرشه

بارگذاری انفجار انتخاب شده است. اثر انفجار با وزن خرج‌های پایین بر روی عرشه به‌صورت تخریب موضعی بتن است. شعاع این تخریب نیز با دقت بالایی به نتایج به‌دست‌آمده نزدیک است. همچنین مشخص گردید که برای این پل وزن خرج بالای ۱۰۰ کیلوگرم موجب خرابی شدید می‌شود.

ارائه‌ی راهبردهای کاهش آسیب‌پذیری در طراحی پل‌ها

رویکرد مقابله با انواع تهدیدات زیرساخت‌های حیاتی کشور دارای دو مرحله است: مرحله‌ی اول «کاهش احتمال وقوع تهدید» و مرحله‌ی دوم «حداقل سازی آسیب درصورت وقوع تهدید» است. در هر دو مرحله پنج رویکرد اصلی به شرح ذیل وجود دارد:

- به حداقل رساندن احتمال وقوع تهدید؛
- حداکثر کردن زمان هشدار یا اخطار دهی؛
- به حداقل رساندن توان آسیب‌رسانی اولیه‌ی تهدید؛
- به حداقل رساندن تأثیرات موجی تهدید (دومینو)؛
- به حداقل رساندن زمان بازسازی پس از وقوع تهدید.

بنابراین، برخی از مهم‌ترین روش‌های تحقق اهداف موردنظر که منجر به اقدامات عملی می‌گردند، عبارت‌اند از:

- احداث راه‌های جایگزین در صورت امکان در شرایط اضطرار و خاص؛
- پیش‌بینی و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف تهدید و ایجاد سازوکار مناسب برای رفع موانع موجود و سرویس‌دهی به‌موقع و مناسب؛
- پیش‌بینی و احداث کنارگذر برای پل‌های مهم و حساس؛
- ایجاد مراکز مدیریت ترافیک راه‌ها در شرایط تهدید و بحران در راهدارخانه‌ها؛
- تدوین دستورالعمل مناسب در طراحی پل‌ها بر اساس تلفیق راهکارهای مهندسی و پدافند غیرعامل؛
- بهسازی، تعمیرات، مقاوم‌سازی و نگهداری پل‌های حساس و استراتژیک؛
- احداث انبارهای کوچک با منابع ضروری نزدیک به پل‌های استراتژیک مهم به‌منظور استفاده در مواقع ضروری و حساس؛
- شناسایی و تهیه‌ی مشخصات فنی پل‌ها (BMS) و اجرای مدیریت پل‌ها.

علاوه بر راهبردهای پیشنهادی فوق که متناسب با اولویت‌بندی ارائه‌شده لازم است به‌کار گرفته شوند، در ادامه راهکارهای موضوعی در خصوص کاهش آسیب‌پذیری پل‌ها ارائه شده‌اند.

هر محور راه چندین پل دارد که تخریب هر یک، آن محور را تا بازسازی، غیرقابل استفاده می‌نماید. معمولاً حفاظت کامل از پل‌ها در برابر حملات هوایی یا موشکی مقدور نیست، با این حال در شبکه‌ی ترابری باید شناسایی پل‌های خاص صورت پذیرد. پل‌های با دهانه‌های بالای ۵۰ متر و برون‌مرزی، پل‌هایی که از نظر انتقال تجهیزات دفاعی به نقاط مرزی دارای اهمیت بسیار بالایی قرار دارند و برای حفاظت هر یک راهکارهای لازم اجرا شود. به‌طور کلی روش‌های ذیل برای کاهش اختلال در حمل‌ونقل نیروهای خودی و ایجاد اخلال در استفاده‌ی دشمن از پل‌ها قابل توجه است:

- با توجه به سابقه‌ی تهدیدات پل باید نسبت به پل‌های استراتژیک کشور توجه ویژه‌ای داشته باشیم و روش‌هایی برای کاهش خطرات احتمالی پیش‌بینی کنیم که می‌توان به کاهش دسترسی، روش‌های استتار، روش‌های جایگزین و فریب اشاره کرد.
- استفاده از قطعات پیش‌ساخته – ممکن است انفجار در یکی از دهانه‌های پل صورت گیرد، پس بهتر است از این روش برای بازسازی استفاده کنیم چون در زمان کوتاه‌تری به نتیجه‌ی دلخواه خود می‌رسیم.
- دسترسی به اطلاعات پل – برای بازسازی بعد از انفجار مهندسان باید به اطلاعات پل ساخته‌شده دسترسی داشته باشند تا بتوانند پل را به بهترین روش مورد بهسازی و مقاوم‌سازی قرار دهند.
- روش‌های امنیتی – یکی از روش‌ها که در حوزه‌ی پدافند غیرعامل مورد توجه ویژه‌ای است، روش‌های امنیتی است که پل مورد نظر دارای ایستگاه بازرسی باشد چون نقش مهمی در انتقال تجهیزات دفاعی دارد.
- مدیریت پل‌ها – باید پل‌ها به‌خوبی شناسایی و مشخصات فنی آن‌ها در دسترس باشد و با توجه به استانداردها مورد بازرسی فنی قرار بگیرند.
- روش‌های محافظتی
- روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌ای

در جدول ۸ سیاست‌های کلی را به تفکیک روش مهندسی و حوزه‌ی پدافند غیرعامل شرح داده‌ایم.

روش‌های افزایش مقاومت سازه‌ای

کاهش آسیب دال دسترسی در پل برحسب شدت آن، روش‌های متفاوتی دارد. یکی از آسیب‌های دال دسترسی نشست آن است. یکی از روش‌ها آن است که سیستم روسازی مجدداً تعبیه شود و یا علائمی هشداردهنده برای زمانی که آسیب آن جزئی باشد به‌منظور کاهش سرعت عبور و مرور استفاده نمود.

برای آسیب‌دیدگی ستون‌ها نیز برحسب شدت آسیب، روش‌های متفاوتی را می‌توان ارائه نمود. از آسیب‌هایی که به ستون وارد می‌شود می‌توان کنده شدن پوشش بتن، ترک‌های برشی ریز و یا عمیق، بیرون‌زدگی خاموت‌ها و آرماتورهای اصلی، گسیخته شدن آرماتورهای عرضی را نام برد، که دلیل آن ناکافی بودن آرماتورهای عرضی و یا فاصله‌ی زیاد بین خاموت‌ها است. بنا بر شدت آسیب‌ها می‌توان از تسمه‌های فولادی یا ورق FRP و یا تقویت رو سازه به‌وسیله‌ی پوشش‌های فولادی استفاده نمود، همچنین اگر آسیب به علت گسیختگی خمشی باشد که ستون

جدول ۸: راهبردهای کلی کاهش آسیب‌پذیری پل‌ها

سیاست‌های کلی	روش‌های مهندسی	روش‌های پدافند غیرعامل
کاهش دسترسی	ساخت راه‌های دسترسی کاذب با ترافیک کاذب	استفاده از توپوگرافی منطقه، استفاده از راه‌های کاذب، استفاده از حصار
روش‌های استتار	با استفاده از علوم راداری نوین این راهکارعملا قابل‌استفاده نیست	استتار مدرن از دید تجهیزات الکترونیکی و هدایت‌کننده موشک‌ها و استفاده از رنگ‌های ضدرادار، استفاده از توپوگرافی منطقه
روش‌های جایگزین برای پل	استفاده از قطعات پیش‌ساخته خرپایی	استفاده از راه‌های جایگزین در صورت امکان- راه های کنارگذر
دسترسی به اطلاعات پل	دسترسی به نقشه‌های پل برای مرمت سریع لازم و ضروری است	طبقه‌بندی اطلاعات مرتبط با پل شامل جانمایی، نوع سازه، روش‌های جایگزین، نحوه‌ی استتار و اختفا و . . . .
روش‌های فریب	استفاده از طرحی که پل سالم را به پل منهدم و غیرضروری نشان دهد	استفاده از ماکت‌های بزرگ پل
روش‌هایی برای اتصال سریع قطعات	استفاده از قطعات پیش‌ساخته	برای تخریب پل بتوان آن را به‌راحتی غیرقابل استفاده نمود و قطعات را جدا نمود برای عدم دسترسی دشمن در جنگ‌های نظامی
روش‌های امنیتی		پیش‌بینی مکان و سیستم مناسب برای اتصال دوربین مداربسته و سیستم روشنایی ،ایجاد ایستگاه‌های نگهبانی قبل از پل
روش‌های محافظتی	استفاده از دیوارهای بتنی اطراف ستون برای کاهش موج انفجار به سازه اصلی	
مدیریت پل‌ها	شامل شناسایی و تهیه مشخصات فنی پل‌ها (BMS)	ایجاد مراکز مدیریت ترافیک راه‌ها در شرایط تهدید و بحران

دچار پوسته‌پوسته شدن پوشش در بتن می‌شود، آرماتورهای بیرون زده، مشاهده‌ی ترک‌های عمودی کوتاه، خرد شدن موضعی بتن، بیرون‌زدگی آرماتورها، ترک‌های عمودی در طول همپوشانی نیز دیده می‌شود. می‌توان بتن آسیب‌دیده را حذف کرد و با بتن پلیمری اصلاح‌شده جایگزین نمود و یا با برداشتن بتن آسیب‌دیده، تسمه‌های فولادی نصب کرد و نیز می‌توان از ورق‌های FRP استفاده نمود. همچنین در آسیب‌هایی از قبیل خردشدگی بتن در تمام طول مفصل یا دهانه، انحراف مفاصل، گسیختگی پانچ، گسیختگی نشیمن‌گاه رو سازه، نشست متفاوت پانل‌های عرشه‌ی بتنی برحسب شدت خسارت می‌توان از روش‌هایی مانند مسدود نمودن پل، تقویت و تثبیت رو سازه، جایگزینی پنل‌های آسیب‌دیده‌ی عرشه با اعضای پیش‌ساخته استفاده کرد. برای رفع دیگر آسیب‌هایی از قبیل ترک‌های مایل عرضی برشی و خمشی در کوله و همچنین آسیب عمده‌ی دیوارهای جانبی و پشتی می‌توان از روش‌هایی چون تنظیم نشیمن‌گاه‌ها، تعمیر بتن آسیب‌دیده، نصب ورق‌های FRP ، تزریق رزین اپوکسی در ترک‌ها برحسب شدت خسارت و آسیب‌دیدگی استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

هنگامی‌که یک پل آسیب جدی می‌بیند، ترافیک عبوری مختل می‌شود. سرعت، ابتکار و خلاقیت باعث بازگشت شرایط عادی به پل می‌شود. شرایط ویژه‌ی کشور از نظر امنیتی و احتمال انجام حملات تروریستی و تهدیدات بالقوه باعث شده است که سامانه‌های حمل‌ونقل نیاز فوری به توسعه‌ی برنامه‌ی مدیریت اضطراری به‌منظور انجام عکس‌العمل سریع داشته باشند. پل‌ها در جاده‌های اصلی، یکی از اجزای حیاتی شبکه‌ی حمل‌ونقل هستند. دلایلی که باعث اهمیت پل‌ها در شبکه‌ی حمل و نقل هستند، عبارت‌اند از:

۱. پل ظرفیت سیستم حمل‌ونقل را کنترل می‌کند؛
۲. پل بیشترین هزینه در کیلومتر را در سیستم دارد؛
۳. اگر پل از بین برود، سیستم از بین می‌رود.

نقش بی‌بدیل پل‌ها برای انتقال نیرو، امدادرسانی، حفظ یکپارچگی، تعادل‌بخشی و حفظ انسجام ملی در مواقع تهدید و بحران سبب شده است مسئولان و متولیان امر با نگاهی ویژه به تداوم خدمت این زیرساخت مهم، انجام مطالعات پدافند غیرعامل را در رأس امور قرار دهند.

امروزه یکی از اهداف مهم دشمن برای از پای درآوردن کشوری که مورد هجوم است وارد کردن آسیب‌های جدی به رگ‌های حیاتی کشور (محورهای مواصلاتی و حمل‌ونقل) است، بنابراین برای خنثی‌سازی این ترفند دشمن، باید راه‌های مقابله با آن را شناخت و به کار برد.

در این تحقیق می‌خواستیم به سه هدف زیر برسیم:

- آسیب‌شناسی پل و ارزیابی ریسک پل؛
- ارائـه‌ی راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری در طراحی پل‌های خاص؛
- تجزیه‌وتحلیل پل مورد مطالعه در برابر انفجار.

در این تحقیق ارزیابی ریسک صورت گرفت و با توجه به آسیب‌پذیری ستون و عرشه با نمره‌دهی بالا در برابر انفجار مدل‌سازی شده‌اند و راهکارهای مقاوم‌سازی نیز برای آن‌ها بیان گردید، همچنین راهکارهای ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی پل‌ها و دیگر راهکارهای حوزه‌ی پدافند نیز بیان شد. برای انفجار پل مورد مطالعه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و بارگذاری روی آن صورت گرفت.

هر محور راه چندین پل دارد که تخریب هر یک، آن محور را تا بازسازی، غیرقابل استفاده می‌نماید. معمولاً حفاظت کامل از پل‌ها در برابر حملات هوایی یا موشکی مقدور نیست، بااین‌حال در شبکه‌ی ترابری باید شناسایی پل‌های خاص صورت پذیرد. پل‌های با دهانه‌های بالای ۵۰ متر و برون‌مرزی، پل‌هایی که از نظر انتقال تجهیزات دفاعی به نقاط مرزی دارای اهمیت بسیار بالایی قرار دارند و برای حفاظت هر یک راهکارهای لازم اجرا شود. به‌طورکلی روش‌های ذیل برای کاهش اختلال در حمل‌ونقل‌ها قابل توجه است:

تا حد امکان از احداث پل جلوگیری کنیم، اگر گزینه‌ی خاکریز و تونل قابل‌اجرا است. حال اگر مجبور به احداث پل شدیم از همان ابتدا به روش‌های مقاوم‌سازی بپردازیم و برای پل‌های در حال ساخت این روش‌ها را اجرا نماییم که می‌توان از الیاف در بتن برای تقویت آن و یا از ورق‌های FRP برای افزایش مقاومت در برابر انفجار استفاده نمود. روش‌های جزئی‌تر برای عرشه، ستون و کوله و تکیه‌گاه به طور خلاصه ذکر گردید، روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌ای جدا از ملاحظات پدافند غیرعامل نیستند بلکه آن‌ها در راستای طولی هم قرار دارند و اگر این اصول قبل از احداث پل رعایت گردد اهداف پدافند غیرعامل احیا می‌شود و هزینه‌های روش‌های مختص پدافند بسیار زیاد کاهش می‌یابد، پس چه‌بهتر که در زمان ساخت سازه‌ای جدید تمامی گزینه‌های مهندسی سازه‌ای به همراه امنیت آن در وقوع حوادث را در نظر بگیریم تا موجب کاهش خسارات در زمان وقوع بحران شویم.

برای پل‌های ساخته‌شده به بحث بهسازی پل و تعمیر و نگهداری آن که تحقق آن پس از بازرسی فنی پل تحقق می‌یابد باید پرداخته شود، بنابراین باید مهندسان خبره‌ای را برای بازرسی پل‌های استراتژیک آموزش دهیم تا این اصل به‌خوبی اجرا گردد و پل ساخته‌شده از نظر سازه‌ای ضعیف و فرسوده نباشد؛ سپس اصول پدافند غیرعامل از قبیل استتار و اختفا و فریب و کاهش دسترسی و روش‌های محافظتی امنیتی و روش‌های جایگزین مانند احداث کنارگذر و ... اجرا گردد.

نتایج حاصل از مدل‌سازی و تحلیل پژوهش

- با افزایش فاصله از منبع انفجار تا یک فاصله‌ی خاص با کاهش شدید انرژی موج روبه‌رو هستیم و سپس روند کاهش با شیب نزدیک به صفر دنبال خواهد شد.
- نتایج به‌دست‌آمده در اثر شبیه‌سازی پایه‌ی پل بتن مسلح، دقت بالایی به‌منظور تعمیم آن برای بتن مسلح با شرایط مختلف را داراست. همچنین مشخص گردید که برای این پل وزن خرج بالای ۵۰ کیلوگرم موجب خرابی پایه و درنتیجه ریزش موضعی پایه‌ی پل می‌گردد.
- اثر انفجار با وزن خرج‌های پایین بر روی عرشه به‌صورت تخریب موضعی بتن است. همچنین مشخص گردید که برای این پل وزن خرج بالای ۱۰۰ کیلوگرم موجب خرابی شدید عرشه خواهد شد.
- وقـوع انفجار در روی عرشه و در ابتدای دهانـه‌ی آن موجب تحت تأثیر قرار گرفتن کلاهک پایه نیز می‌گردد لذا انفجار بـر روی عرشه در ابتدای دهانـه‌ها حالت مخرب‌تری به دنبال خواهد داشت.
- وجود مانع مسیر رسیدن موج انفجار به نقطه‌ی مورد نظر را افزایش می‌دهد و لذا مقدار انرژی رسیده کاهش می‌یابد. در واقع می‌توان بیان نمود که یکی از مزیت‌های مانع در کاهش انـرژی موج رسیده افـزایش فاصله در رسیدن امواج انفجار است.
- هر چه از پشت مانع به سمت بیرون می‌رویم به دلیل کـاهش مسیر حقیقی مـوج (بـرخـلاف افـزایـش مسیر مستقیم)، انـرژی مـوج رسیـده افـزایـش می‌یابد. لذا نقطه‌ای در پشت مانع که اولین نقطه‌ای از دیوار است که امواج به آن می‌رسند، دارای بیشترین تنش ناشی از موج است.
- پس از نقطه‌ی مورد نظر به دلیل خـارج شدن مانع از مسیر موج، با افزایش فاصله انرژی موج رسیده کاهش خواهد یافت. با این حال تا نقطه‌ای خاص هنوز امواج تحت تأثیر مانع قرار دارند.
- با عبور از نقطه‌ای خاص، نقاط مورد نظر کاملاً از پوشش مانع خارج شده و موج مستقیماً به آن‌ها خواهند رسید. لذا انرژی رسیده به این نقاط با حالت بدون مانع تفاوتی ندارد.
- نقاطی که در پوشش مانع قرار ندارند به‌مراتب تحت انـرژی مـوج بـالاتری نسبت بـه نـقاط پشت مـانع قرار می‌گیرند. این موضوع مؤید این مطلب است که امواج انحرافی بدون در نظر گرفتن فاصله از قدرت پایین‌تری نسبت بـه امـواج بـا نـحوه‌ی انتشار مستقیم برخوردار خواهند بود.
- وجود بتن ۳۵ مگا پاسکالی و بتن فوق توانمند تفاوتی در مقدار موج رسیده به پشت مانع ندارند و هر دو به یک میزان انرژی موج را منحرف می‌کنند و کاهش می‌دهند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که عامل اصلی کاهش انرژی

امـواج عـامـل انـحـراف اسـت و بـتـن ۳۵ مگا پاسکالی علی‌رغم تخریب شدن عمل انحراف را به اندازه‌ی بتن فوق توانمند انجام می‌دهد.

منابع

۱. خواجه نائینی، علی (۱۳۸۸). ملاحظات ناحیه‌ای و دفاعی در آمایش سرزمین (توازن ناحیه‌ای و پدافند غیرعامل). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه تهران.

2. US Army corps of engineers, (1990). TM 5-1300: Structures to resist the effects of accidental explosions.Washington: US Department of Defense (DoD).

3. US Army corps of engineers, (1986). TM-5-855-1: Fundamental of protective design for conventional weapons. Washington: US Department of Defense (DoD).

4. FEMA. (2003). FEMA 426: Reference manual to mitigate potential terrorist attacks against buildings. Federal Management Agency.

5. FEMA. (2003).FEMA 427: Primer for design of commercial building to mitigate terrorist attacks. Federal Management Agency.

6. FEMA. (2003). FEMA 428: Primer to design safe school projects in case of terrorist attacks. Federal Management Agency.

7. ASCE. (1985). Manual NO 42: Design of structures to resist nuclear weapons effects. American Society of Civil Engineers.

8. ASCE. (1997). Design of blast resistant buildings in petrochemical facilities. American Society of Civil Engineers.

9. ASCE. (1999). Structural design for physical security: state of practice. American Society of Civil Engineers.

10. AASHTO. (2011). Bridge security guidelines. American Association of State Highway and transportation Officials.

11. Fujikara, S. Bruneau, M. (2008). Blast resistant of seismically designed bridge piers. The 14th World Conference on Earthquake Engineering , Beijing , China.

12. Abdelahad, F A. Arockiasamy, M. (2008). Analysis of blast/explosion resistant reinforced concrete solid slab and T-beam bridges, MSc Thesis, Florida university.

13. Tokal-Ahmed, Y M. Najm, H S. (2009). Response of bridge structures subjected to blast loads and protection techniques to mitigate the effect of blast hazards on bridges. Ph.D Thesis, State University of New Jersey.

14. Zhou, F. Arockiasamy, M. (2009). Blast/Explosion resistant analysis of composite steel girder bridge system. MSc Thesis, Florida University.

۱۵. خاکی، غلامرضا (چاپ دوم ۱۳۹۱). *روش تحقیق با رویکردی به پایان‌نامه نویسی*. تهران: انتشارات فوژان.

۱۶. مرکز پدافند غیرعامل فاوا (۱۳۸۹). ملاحظات پدافند غیرعامل فاوا - جلد اول. تهران: نشر سازمان فناوری اطلاعات ایران - اداره کل روابط عمومی و امور بین‌الملل.

۱۷. عطایی،محمدحسن(۱۳۹۴) ارزیابی آسیب پذیری فرودگاه‌های غیر نظامی کشور در برابر تهدیدات و ارائه راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری ،نمونه موردی: فرودگاه بین المللی امام خمینی(ره). پایان‌نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۱۸. سازمان پدافند غیرعامل کشور، معاونت مدیریت بحران و دفاع غیر نظامی (۱۳۹۰). راهنمای پدافند غیرعامل در مدیریت بحران ناشی از جنگ.

۱۹. جلالی فراهانی، غلامرضا (۱۳۹۱). *مقدمه ای بر روش و مدل برآورد تهدیدات در پدافند غیرعامل*. تهران: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه جامع امام حسین(ع).

۲۰. حسینی، سید بهشید (۱۳۸۹). *معیارهای عمومی در طراحی ساختمان های عمومی شهری*. تهران: نشر عابد.

21. FEMA 452 (2005): Risk Assessment, a How to guide to Mitigation Potential Terrorist Attacks against Buildings, Federal Emergency Management Agency, USA.

مدل‌سازی مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی برای مدیریت بحران

حسین جمالی*: استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران Hjamali2022@gmail.com
مهدی بشیری: استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۲۶

چکیده

این مقاله به بررسی مکان‌یابی مراکز امدادرسانی افرادی که در یک ناحیه‌ی بحران زده قرار دارند، می‌پردازد و یک مدل‌سازی جدید برای آن ارائه می‌دهد. در چنین وضعیتی به دلیل محدودیت امکانات، این امر که تیم امدادرسان همه‌ی نقاط آسیب‌دیده را بازدید کند ممکن نیست و مردم روستاها باید برای به دست آوردن کالاهای حیاتی به شهرها مراجعه نمایند. شهرها باید در یک فاصله‌ی قابل دسترسی برای اهالی روستاها قرار گیرند. هدف این مسئله تشکیل یک تور همیلتونی روی زیر مجموعه‌ای از این شهرها با حداقل زمان (طول) است، به‌طوری‌که همه‌ی روستاهای حادثه‌دیده نیز پوشش یابند. برای حل مسئله‌ی مذکور در ابعاد بزرگ، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک ارائه و استفاده شده است. به‌منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، سه مسئله با ابعاد کوچک حل شده و جواب‌های به دست آمده از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی با جواب‌های دقیق به دست آمده توسط نرم‌افزار گمز (Gams) مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی کارا و همگرا به جواب بهینه است. همچنین مسئله‌ی تور پوششی و مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد متناظر با آن، توسط الگوریتم ژنتیک حل گردیده و جواب‌ها نشان می‌دهند که استفاده از مسئله‌ی تور پوششی برای مسائل امدادرسانی به مراتب کاراتر است. همچنین این مقاله به تحلیل حساسیت مسئله‌ی تور پوششی می‌پردازد که نتایج بررسی، شرایط الزام استفاده از مدل تور پوششی برای مسائل امدادرسانی را معین می‌کند.

واژه‌های کلیدی: *مسئله‌ی تور پوششی، مدل‌سازی، پنجره‌های زمانی سخت، امدادرسانی، الگوریتم ژنتیک*

Modeling for the Covering Tour Problem in Relief Condition for Disaster Management

Hossein Jamali*[1], Mahdi Bashiri[2]

Abstract

This paper deals with examining the locations of crisis relief zone for events of disruption and crisis to present a new modeling for it. Due to limited resources in such situations, it may be impossible for rescue teams to visit all the places; therefore, people in rural areas need to travel to the cities for seeking essential commodities. Cities should be located in an accessible distance for rural areas. The goal of this paper is to develop a Hamiltonian tour on a subset of cities located at the shortest distance in order to cover all affected rural areas during disaster. A genetic algorithm was proposed to solve the large-scale problems. In order to validate the proposed model, three small-scale problems were solved and the associated results were compared with optimum solutions obtained by GAMS software. The obtained results indicated that the proposed algorithm was efficient and convergent to optimal solutions. In addition, the corresponding covering tour problem and traveling salesmen problem were solved by the proposed algorithm. The comparison of results indicated that the covering tour problem was more efficient. Also, the sensitivity analysis was conducted for the covering tour problem identifying essential conditions of using the covering problem for crisis relief problems.

Keywords: *Covering tour Problem, Modeling, Hard Time Windows, Relief, and Genetic Algorithm.*

1. Assistant Professor of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Payam-e-Noor University, Tehran, Iran, Hjamali2022@gmail.com
2. Professor of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

مقدمه

تعداد زیاد بلایای طبیعی در سال‌های اخیر و آسیب‌های فراوان ناشی از این بلایا باعث شده است که علاقه‌مندی مجامع علمی در حوزه‌ی حمل و نقل اورژانسی در این سال‌ها افزایش یابد [۱]. مسئله‌ی تور پوششی، تعمیمی از مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد[۱] است. به عبارت دقیق‌تر، مسئله‌ی تور پوششی ترکیبی از مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد و مسئله‌ی پوشش مجموعه[۲] است. مسئله‌ی تور پوششی در حوزه‌ی مسائل لجستیک و به‌خصوص حمل و نقل قرار می‌گیرد که می‌توان از آن در حل مسائل دنیای واقعی بهره برد. برای درک بهتر مسئله، فرض کنید مجموعه‌ی معینی از رئوس وجود دارند که باید بازدید شوند، همچنین رأس‌هایی موجود است که می‌توانند برای بازدید شدن مورد استفاده قرار گیرند. مجموعه‌ی سومی از رئوس نیز موجودند که باید حداقل به‌وسیله‌ی یک شهر بازدید شده تحت پوشش قرار گیرند. منظور از پوشش این است که رأس در یک شعاع از پیش تعیین شده‌ای نسبت به یک شهر بازدید شده قرار گیرد. هدف در اینجا عبارت است از یافتن کوتاه‌ترین مسیری که از مجموعه‌ای از رئوس گذشته و مقاصد پوشش و نقاط لازم برای بازدید را به طور کامل در بر گیرد.

این مقاله به بررسی مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی با پنجره‌های زمانی سخت (RCTPHTW)[۳] برای افرادی که در یک ناحیه‌ی بحران‌زده قرار گرفته‌اند، می‌پردازد و یک مدل‌سازی جدید برای آن ارائه می‌دهد. فرض کنید حادثه‌ای در یک منطقه‌ی جغرافیایی رخ داده است. در چنین وضعیتی این امر که تیم امدادرسان همه‌ی خانه‌ها را یکی‌یکی بازدید کند ممکن نیست و در عوض مردم روستاها نیاز دارند برای به دست آوردن کالاهای اساسی به شهرها مراجعه نمایند. شهرها باید در یک فاصله‌ی قابل دسترسی با پای پیاده توسط اهالی روستاها قرار گیرند. معمولاً در حوادث طبیعی نظیر سیل و زلزله و غیره، شهرها و روستاها آسیب می‌بینند و شدت این آسیب‌ها در نواحی مختلف متفاوت است. هدف امدادرسانی به شهرها و روستاهای حادثه دیده است، بنابراین در این مسئله تعدادی شهر و روستا وجود دارد که در شرایط بحرانی بعد از وقوع حادثه قرار دارند. شهرها به دو گروه تقسیم می‌شوند: شهرهایی که حادثه دیده‌اند و شهرهایی که حادثه ندیده‌اند. شهرهایی که حادثه دیده‌اند باید حتماً در تور مورد نظر قرار بگیرند و آن دسته از شهرهایی که حادثه ندیده‌اند برای پوشش روستاهای حادثه‌دیده می‌توانند در تور قرار گیرند. به همین ترتیب روستاها نیز به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته‌ی اول شامل روستاهایی است که حادثه دیده‌اند و باید الزاماً توسط شهرهای بازدید شده پوشش یابند و دسته‌ی دیگر شامل روستاهایی است که حادثه ندیده‌اند و لازم نیست پوشش یابند. منظور از اینکه یک روستا پوشش یابد این است که در یک فاصله‌ی از پیش تعریف شده‌ی شهری در تور قرار گیرد. بنابراین در این مسئله چهار مجموعه از رئوس داریم؛ مجموعه‌ی اول شامل شهرهایی است که حادثه دیده‌اند و باید در تور قرار بگیرند. مجموعه‌ی دوم شامل شهرهایی است که حادثه ندیده‌اند و می‌توانند در تور قرار بگیرند. مجموعه‌ی سوم شامل روستاهایی است که حادثه دیده‌اند و باید پوشش داده شوند و در نهایت مجموعه‌ی چهارم شامل روستاهایی است که حادثه ندیده‌اند و لازم نیست پوشش داده شوند. هدف این مقاله تشکیل یک تور همیلتونی بر روی زیر مجموعه‌ای از این شهرهاست، به‌طوری که همه‌ی روستاهای حادثه‌دیده پوشش یابند. این تور باید شامل همه‌ی شهرهای حادثه‌دیده باشد، همچنین تعدادی از شهرهایی که حادثه ندیده‌اند نیز می‌توانند در این تور وجود داشته باشند. در این مقاله به تحلیل حساسیت مسئله‌ی تور پوششی از نظر شعاع پوشش، چیدمان نقاط، رابطه‌ی بین تعداد روستاها و تعداد شهرها و شعاع پوشش پرداخته شده است. در ابتدا مسئله در ابعاد کوچک به صورت دقیق توسط نرم‌افزار Gams حل شده است. از آنجایی که مسئله‌ی تور پوششی جزء مسائل Np-hard محسوب می‌شود [۲] و با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله، روش‌های دقیق برای حل مسئله مناسب نیستند، لذا برای ابعاد بزرگ‌تر مسئله از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. با مقایسه‌ی جواب‌های مسئله که برای نمونه‌های کوچک، با استفاده از هر دو روش دقیق و فراابتکاری به دست آمده است، کارایی الگوریتم مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مسئله‌ی تور پوششی و مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد متناظر با آن در محیط نرم‌افزار متلب (Matlab) کدنویسی شده و جواب آن‌ها با هم مقایسه شده‌اند.

کارنت و اسچیلینگ [۳] مقاله‌ای با عنوان مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی ارائه نمودند. در مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی (CSP)[۴] هدف شناسایی یک تور با حداقل هزینه بر روی P شهر است، به طوری که هر شهری که بر روی تور قرار نگرفته است در یک فاصله‌ی پوشش از پیش تعیین شده از یک شهر واقع در تور باشد. آن‌ها از CSP در مسیریابی تیم‌های مراقبت‌های بهداشتی در کشورهای در حال توسعه استفاده کردند، به‌طوری‌که تیم باید یک زیر مجموعه از روستاها را بازدید کند و بقیه‌ی افراد باید در یک فاصله‌ی قابل پیاده‌روی از شهرهای بازدید شده قرار گیرند. آن‌ها در این پژوهش از یک رویکرد برنامه‌ریزی عددی صحیح و یک روش ابتکاری دو مرحله‌ای به نام روش کاوتور[۵] بر پایه‌ی مسئله‌ی پوشش مجموعه استفاده کردند. در این مسئله حداکثر به p نقطه می‌توان سرکشی نمود، بنابراین هدف انتخاب p نقطه از مجموعه نقاط کاندیدا است، آنچنان که ضمن رعایت اصل TSP حداکثر پوشش نقاط تقاضا نیز تأمین شود. مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی به صورت یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی صفر و یک فرمول‌بندی شده است. همچنین این نویسندگان در مقاله‌ای [۴] یک مدل دو معیاره از مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی (CSP) را معرفی نمودند که مسئله‌ی تور میانه (MTP)[۶] و مسئله‌ی تور پوششی حداکثر (MCTP)[۷] نامیده شد. در هر دو مسئله تور تنها باید p روستا از n روستا را بازدید کند و طول این تور باید مینیمم باشد. بنابراین هدف اول هر دو مسئله مینیمم کردن کل طول تور است و هدف دوم هر دو مسئله ماکزیمم‌سازی دسترس‌پذیری تور برای گره‌هایی است که مستقیماً در تور قرار نمی‌گیرند. روشی که برای حل این مسئله در نظر گرفته شده است، یک روش ابتکاری به نام مدتور[۸]

است. ژندریو و همکاران [۲] برای اولین بار از ترکیب مسائل SCP[۹] و TSP[۱۰] مسئله‌ی تور پوششی را تعریف کردند، آن‌ها در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه دادند و سپس مسئله را با استفاده از یک روش دقیق و یک روش ابتکاری حل نمودند.

هاچیچا و همکاران [۵] مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای[۱۱] را مطرح کردند. در این مسئله حداکثر m وسیله‌ی نقلیه در ایستگاه موجود است. در این مسئله سه مجموعه از رئوس وجود دارد. همچنین نویسندگان سه روش ابتکاری برای حل مسئله با نام‌های ذخیره‌سازی‌های تعدیل شده، رفت و برگشت تعدیل شده، مسیر-اول/خوشه- دوم ارائه و نتایج آن‌ها را با یکدیگر مقایسه نمودند. موتا و همکاران [۶] یک الگوریتم فراابتکاری GRASP[۱۲] برای یک تعمیم از مسئله‌ی پوشش تور ارائه کردند. بالداسی و همکاران [۷] یک مدل دو کالایی از مسئله‌ی تور پوششی به همراه سه روش حل ابتکاری جستجوی پراکنشی ارائه نمودند. ژوزفویز و همکاران [۸] تعمیمی از مسئله‌ی پوشش تور با عنوان مسئله‌ی پوشش تور دوهدفه[۱۳] را مطرح کردند که در آن فاصله‌ی پوشش و محدودیت‌های مربوطه، با یک محدودیت جدید جایگزین می‌گردد. مسئله‌ی تور پوششی دو هدفه به دنبال تعریف یک تور روی زیر مجموعه‌ای از رئوس V است، به‌طوری‌که شامل همه‌ی رئوس T باشد و دو هدف مینیمم‌سازی طول تور و مینیمم‌سازی فاصله‌ی پوشش را برآورده سازد. منظور از فاصله‌ی پوشش در هدف دوم، بزرگ‌ترین فاصله بین یک رأس $v_1 \in W$ و نزدیک‌ترین رأس $v_k \in V$ است که بازدید شده است. برای حل این مسئله از یک روش دقیق دو هدفه بر اساس رویکرد ε-محدودیت[۱۴] همراه با یک الگوریتم شاخه و برش استفاده شده است. همچنین از یک الگوریتم تکاملی چند هدفه به نام $NSGA-II$ استفاده شده است.

نولز و همکاران [۹] یک مسئله‌ی تور پوششی چند هدفه[۱۵] را پیشنهاد دادند که در آن یک ایستگاه مرکزی و مجموعه‌ای از وسایل نقلیه‌ی یکسان فرض شده بود. در این مسئله تقاضای هر گره باید دقیقاً توسط یک حامل برآورده شود. هدف مسئله، کمینه‌سازی معیار مکان‌یابی تسهیلات mini-sum و کل طول تور و دیرترین زمان رسیدن به یک گره است. در پایان یک روش فراابتکاری جستجوی همسایگی و الگوریتم $NSGA-II$ پیشنهاد شده است. تریکور و همکاران [۱۰] مسئله‌ی تور پوششی تصادفی دو هدف[۱۶] را پیشنهاد دادند. در این مسئله یک مدل از مسئله‌ی تور پوششی دو هدفه با تقاضای تصادفی فرمول‌بندی شده است، به طوری که دو هدف زیر در این مسئله آورده شده است: ۱. هزینه (هزینه‌ی بازگشایی مراکز توزیع به‌علاوه هزینه‌ی مسیریابی یک ناوگان از وسایل نقلیه)، ۲. تقاضای پوشش داده نشده‌ی مورد انتظار. در این مدل فرض شده است که بسته به مسافت، درصد معینی از مشتری‌ها از خانه‌هایشان به سوی نزدیک‌ترین مرکز توزیع روانه می‌شوند. برای حل مسئله از یک روش دقیق مبتنی بر تکنیک شاخه و برش و همچنین از یک روش ابتکاری به نام H1 استفاده شده است. ناجی عظیمی و همکاران [۱۱] مسئله‌ی تور پوششی برای مکان‌یابی مراکز توزیع را ارائه دادند. این مسئله به بررسی مکان‌یابی مراکز توزیع برای کمک به ارائه‌ی خدمات بشردوستانه برای همه‌ی افرادی که در یک ناحیه‌ی حادثه دیده قرار گرفته‌اند، می‌پردازد. در چنین وضعیتی این امر که تیم‌های امدادرسان، همه‌ی خانه‌ها را یکی یکی بازدید نمایند، غیر ممکن است. اما مردم حادثه‌دیده نیاز دارند که به یک مرکز توزیع امداد برای به دست آوردن کالاهای ضروری و حیاتی بروند. برای حل این مسئله از روش ابتکاری Multi-start استفاده شده است. سالاری و ناجی عظیمی [۱۲] نوعی از مسئله‌ی مشهور فروشنده‌ی دوره‌گرد به نام مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی را بررسی نمودند. روش پیشنهادی که در این مسئله برای مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی استفاده شده است، SN نامیده شده است که در آن تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (ILP)[۱۷] و جستجوی هیوریستیکی با هم ترکیب شده است.

ابراهیمی و صحرائیان [۱۳] مسئله‌ی تور پوششی با بیشینه پشتیبانی تخصیص یافته را ارائه نمودند. در این مقاله مسئله‌ی تور پوششی که برای مسیریابی تیم‌های خدمات پزشکی سیار در کشورهای در حال توسعه به کار می‌رفت، توسعه داده شد. هدف مقاله، یافتن کوتاه‌ترین دور همیلتونی روی زیر مجموعه‌ای از نقاط کاندیدای توقف تیم‌های سیار است به گونه‌ای که تمامی نقاط متقاضی خدمات، در یک فاصله‌ی از پیش تعیین شده از نقاط توقف قرار گیرند. در مسئله‌ی ارائه شده، ماکزیمم‌سازی پوشش پشتیبانی به‌منظور افزایش امنیت خاطر متقاضیان از دسترسی به بیش از یک نقطه‌ی توقف، خواه در شعاع اول یا در شعاع دوم پوشش، به مدل مسئله‌ی تور پوششی افزوده شده است. این مسئله با استفاده از یک روش دقیق و کلاسیک بهینه‌یابی چند هدفه با عنوان روش معیار سراسری[۱۸] و همچنین الگوریتم فراابتکاری ترکیبی $NSGA-II$ و SA حل شده است. اولیویرا و همکاران [۱۴] نوعی از مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای به نام m-CTP[۱۹] را بررسی نمودند. این مسئله شباهت زیادی به مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای که هاچیچا و همکارانش در سال ۲۰۰۰ مطرح نمودند، دارد. این مسئله به طراحی چندین مسیر برای گشت‌زنی پلیس در شهر سائوپائولوی برزیل می‌پردازد. در این مسئله بررسی می‌شود که چگونه یک ناوگان از وسایل نقلیه با تعداد مشخص می‌توانند عملیات گشت‌زنی یک ناحیه‌ی جغرافیایی را به صورت مطلوبی انجام دهند. این مسئله، یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مدل‌سازی شده است که در آن هدف، حداقل‌سازی طول کل مسیرها است. برای حل این مسئله از چهار روش ابتکاری استفاده شده است. لوپز و همکاران [۱۵] یک الگوریتم شاخه و قیمت (BP)[۲۰] و یک روش ابتکاری به نام CGH[۲۱] را برای مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای ارائه نمودند. نتایج محاسباتی حاصل از حل مثال‌های مختلف نشان می‌دهند که کران‌های پایین به دست آمده توسط روش دقیق BP و کران‌های بالای به دست آمده توسط روش ابتکاری CGH از کیفیت خوبی برخوردار هستند. یک حالت خاص از مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای که در آن محدودیتی بر روی طول تور در نظر گرفته نشده است توسط هوانگ‌ها و همکاران [۱۶] ارائه شده

است. نویسندگان در این مقاله روش دقیق شاخه و برش و یک روش فراابتکاری را پیشنهاد دادند. برای توسعه‌ی الگوریتم شاخه و برش از یک فرمول‌بندی برنامه‌ریزی عدد صحیح بر پایه‌ی یک مدل جریان دوکالایی[۲۲] استفاده شده است. روش فراابتکاری نیز بر پایه‌ی روش جستجوی محلی تکاملی (ELS)[۲۳] پیشنهاد شده توسط پرینس [۱۷] است. در این مقاله برای آزمودن روش‌های حل از مثال‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی TSPLIB استفاده شده است. نتایج نشان دادند که روش شاخه و برش پیشنهادی کاراتر از الگوریتمی است که توسط ژوزفوویز و همکاران [۸] ارائه شده است. الهیاری و همکاران [۱۸] تعمیمی از مسئله‌ی مسیریابی وسایل حمل و نقل ظرفیت‌دار چند ایستگاهی MDCVRP[۲۴] با در نظر گرفتن امکان پوشش را که در آن فرض بازدید شدن تمامی متقاضیان وجود ندارد، پیشنهاد دادند. آن‌ها این مسئله را MDC-TVRP[۲۵] نام‌گذاری نمودند. در این مقاله چند ایستگاه و تعدادی متقاضی وجود دارد. مقدار تقاضای هر متقاضی می‌تواند به صورت مستقیم با بازدید شدن در تور و یا به صورت غیرمستقیم با پوشش یافتن توسط تور برآورده گردد. نویسندگان دو فرمول‌بندی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و یک الگوریتم فراابتکاری هیبریدی که ترکیبی از SA، GRASP و یک جستجوی محلی تکراری است را برای این مسئله گسترش دادند. کامون و همکاران [۱۹] در مقاله‌ای به حل مسئله‌ی تور پوشش چند وسیله‌ای با استفاده از روش ابتکاری جستجوی همسایگی متغیر (VNS)[۲۶] پرداختند. مسئله‌ی بیان شده در این تحقیق مانند مسئله‌ی تعریف شده توسط ژندریو و همکاران [۲] است با این تفاوت که در این مسئله چند وسیله‌ی نقلیه به مدل اضافه شده است. نویسندگان این مقاله با استفاده از حل چندین مثال معین از پایگاه اطلاعاتی TSPLIB نشان دادند که روش حل ارائه شده توسط آن‌ها کاراتر از روش حل ارائه شده توسط هوانگ‌ها و همکاران [۱۶] است. جدول ۱ به‌طور خلاصه ویژگی‌های برخی از کارهای انجام شده در حوزه‌ی مسئله‌ی تور پوششی را نشان می‌دهد.

با مشاهده‌ی جدول ۱، واضح است که تعریف مسئله‌ی تور پوششی با پنجره‌های زمانی سخت و مدل‌سازی آن، به کارگیری مسئله برای شرایط امدادرسانی، طراحی الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل مسئله در اندازه‌های واقعی و تحلیل حساسیت آن و همچنین مقایسه‌ی این مسئله با مسئله‌ی TSP تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته و لذا می‌توان از آن‌ها به‌منزله‌ی نوآوری‌های تحقیق نام برد. مقاله‌ی حاضر به صورت زیر سازماندهی شده است که در بخش دوم، مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی و مدل ریاضی آن بیان شده است. در بخش سوم روش حل مسئله توضیح داده شده است. بخش چهارم شامل ساختار الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسئله است، بخش پنجم مثال‌های عددی حل شده را در بر دارد، بخش شش شامل تحلیل حساسیت مسئله است، در بخش هفت به استفاده از طراحی آزمایش‌ها برای تنظیم پارامترهای مسئله پرداخته شده و نهایتاً بخش هشتم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

تعریف مسئله‌ی تور پوششی با پنجره‌های زمانی سخت در شرایط امدادرسانی و مدل ریاضی آن

مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی با پنجره‌های زمانی سخت (RCTPHTW)[۲۷] بیان شده در این تحقیق بر روی یک گراف بی‌جهت $G=(V\cup W,E)$ که در آن $V\cup W$ مجموعه رئوس و E مجموعه یال‌هاست تعریف می‌شود. V مجموعه‌ای از n رأس (شهر) است که به دو قسمت تقسیم می‌شود؛ قسمت اول شامل زیر مجموعه‌ای از رئوس V به نام T است که باید بازدید شوند و قسمت دوم شامل بقیه‌ی رئوس مجموعه V است که می‌توانند برای بازدید شدن انتخاب شوند. بنابراین رأس v_0 که بیانگر مرکز است به مجموعه‌ی T تعلق دارد. W مجموعه‌ای از رئوس (مجموعه نقاط تقاضا) است که به دو قسمت روستاهای حادثه‌دیده و روستاهای حادثه ندیده تقسیم می‌شود. زیر مجموعه‌ای از W که شامل روستاهای حادثه‌دیده هستند و باید پوشش داده شوند با Z نشان داده می‌شوند. پوشش بدین معناست که هر رأس $v_1\in Z$ باید در یک فاصله‌ی معینی از حداقل یک رأس روی تور قرار گیرد. به بیان ریاضی یک رأس پوشیده می‌شود اگر حداقل یک رأس $v_k\in V$ روی تور وجود داشته باشد، به‌طوری‌که $d_{lk}\le r$ باشد، آنچنان که d_{lk} فاصله‌ی دو رأس v_l و v_k است و r فاصله‌ی پوشش است. ماتریس فاصله و یا زمان مسافرت $C=c_{ij}$ طول نامنفی یال برای تمام رئوس مجموعه $V\cup Z$ در مجموعه یال‌های $E=\{(v_i,v_j):v_i,v_j\in V\cup Z,i<j\}$ را نشان می‌دهد به گونه‌ای که نامساوی مثلثی برای اعضای این مجموعه برقرار باشد. تئوری نامساوی مثلثی بیان می‌کند که طول یک ضلع معین در هر مثلث باید از مجموع طول دو ضلع دیگر کمتر باشد و در عین حال از تفاوت آن‌ها بیشتر باشد. در این مدل، برای هر نقطه یک بازه‌ی زمانی $[es_i,ls_i]$ تعریف شده است که بیانگر این موضوع است که باید در این بازه به این نقطه امدادرسانی صورت گیرد. در اینجا es_i زودترین زمان شروع دریافت خدمات امدادرسانی و ls_i دیرترین زمان شروع دریافت خدمات امداد در نقطه‌ی i است. یکی از علل تعریف این بازه می‌تواند میزان شدت آسیب به نقاط حادثه دیده باشد. هدف از این موضوع اولویت‌بندی نقاطی است که آسیب بیشتری دیده‌اند و نیاز به امدادرسانی سریع‌تری از زمان بروز حادثه دارند. در حالت پنجره‌های زمانی سخت، متقاضی باید خدمت را فقط در بازه‌ی زمانی تعریف شده دریافت نماید ولی در حالت پنجره‌ی زمانی نرم، اگر متقاضی خدمت مورد نظر را در بازه‌ی زمانی تعریف شده دریافت نکند آنگاه جریمه‌ای به مدل مسئله تحمیل می‌شود. در نظر گرفتن حالت پنجره‌ی زمانی نرم برای مسائل امدادرسانی بعد از وقوع حادثه که با جان مردم سروکار دارد، توصیه نمی‌شود. بنابراین از آنجایی که در این مسئله با جان افراد سروکار داریم و باید حتماً به افراد حادثه دیده امدادرسانی صورت گیرد، از پنجره‌های زمانی سخت استفاده شده است.

تصویر ۱ مثالی از مسئله‌ی مورد بررسی را نشان می‌دهد که در آن یک تور پوششی گذرنده از شش شهر مشتمل بر چهار شهر آسیب دیده و دو شهر آسیب ندیده تشکیل شده است. در تور مذکور دوازده

جدول ۱: مقایسه‌ی مطالعات مرتبط انجام شده در حوزه‌ی مسئله‌ی تور پوششی

نویسندگان	سال	مدل‌سازی ریاضی	نوع محدودیت			فاصله‌ی پوششی		گره های دارای تقاضا	ظرفیت وسایل نقلیه		تعداد مراکز بالقوه		روش حل دقیق	روش حل ابتکاری	روش حل فراابتکاری					
			پنجره های زمانی	وابسته به جریان	حذف زیر تور	یکسان	متفاوت		یکسان	متفاوت	معین	آزاد			GRASP[۲۸]	SA[۲۹]	ILS[۳۰]	NSGA II[۳۱]	Based on ELS[۳۲]	GA[۳۳]
کارنت و اسچیلینگ	۱۹۸۹	*		*			*				*			*						
کارنت و اسچیلینگ	۱۹۹۴	*			*	*		*			*			*						
ژندریو و همکاران	۱۹۹۷	*			*	*						*	*	*						
هاچیچا و همکاران	۲۰۰۰	*			*	*			*		*			*						
موتا و همکاران	۲۰۰۱					*						*			*					
بالداسی و همکاران	۲۰۰۵	*		*		*								*						
ژوزفوویز و همکاران	۲۰۰۷						*					*	*					*		
نولز و همکاران	۲۰۱۰	*			*	*		*	*			*	*					*		
ابراهیمی و صحرائیان	۲۰۱۲	*			*		*	*				*	*			*		*		
تریکور و همکاران	۲۰۱۲	*			*		*	*		*		*	*							
سالاری و ناجی عظیمی	۲۰۱۲	*			*		*				*									
ناجی عظیمی و همکاران	۲۰۱۲	*			*	*		*		*		*		*						
اولیویرا و همکاران	۲۰۱۳	*			*	*			*			*		*						
لوپز و همکاران	۲۰۱۳	*			*	*			*				*	*						
هوانگ ها و همکاران	۲۰۱۳	*		*		*		*	*			*	*						*	
الهیاری و همکاران	۲۰۱۴	*			*		*	*	*			*			*	*	*				
کامون و همکاران	۲۰۱۵					*			*			*		*							
تحقیق حاضر		*	*		*	*						*	*								*

روستای آسیب دیده توسط شهرهای بازدید شده، تحت پوشش قرار گرفته‌اند.

هدف مسئله RCTPHTW یافتن یک دور همیلتونی با کوتاه‌ترین طول روی زیر مجموعه‌ای از رئوس Vاست آنچنان که هر رأس $v_l \in Z$ توسط تور تشکیل یافته پوشش داده شود. تور مورد نظر از $v_0 \in T$ آغاز شده و در آن خاتمه می‌یابد. این تور به وسیله‌ی زیر مجموعه‌ی معینی از V تعریف می‌شود، به‌طوری‌که همه‌ی رئوس زیر مجموعه T بازدید شده و هر رأس مجموعه Z در یک فاصله‌ی از پیش تعیین شده r از حداقل یک رأس متعلق به تور قرار گیرد. مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی می‌تواند به عنوان یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح فرمول‌بندی شود. پارامترهای استفاده شده در این مدل به صورت زیر تعریف می‌گردد:

M عددی بسیار بزرگ

c_{ij} طول مسافت از رأس i تا رأس j

t_{ij} مدت زمان طی مسیر از رأس i تا رأس j

es_i زودترین زمان رسیدن به نقطه‌ی i

ls_i دیرترین زمان رسیدن به نقطه‌ی i

st_i مدت زمان ارائه سرویس به نقطه‌ی i

همچنین متغیرهای مورد نیاز در این مدل به صورت زیر معرفی می‌شوند:

y_k: برای هر $v_k \in V$ متغیر باینری y_k برابر یک است اگر رأس v_k بازدید شود و در غیر این صورت متغیر y_k برابر صفر خواهد بود. واضح است که چنانچه $v_k \in T$ باشد، آنگاه متغیر y_k همواره باید برابر یک باشد.

x_{ij}: برای هر $v_i, v_j \in V$ که $i < j$ است، متغیر باینری برابر یک است اگر بین دو رأس مذکور یال (v_i, v_j) شکل گیرد و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

δ_{lk}: ضریب باینری معادل یک است اگر و تنها اگر رأس $v_l \in Z$ بتواند به‌وسیله‌ی رأس $v_k \in V$ پوشش داده شود. بدین معنا که فاصله‌ی d_{lk} بین دو رأس $v_l \in Z$ و $v_k \in V$ کوچک‌تر از یا مساوی شعاع پوششی از پیش تعیین شده r باشد، در غیر این صورت ضریب δ_{lk} معادل صفر است.

S_l: زیر مجموعه‌ی $S_l = \{v_k \in V \mid \delta_{lk} = 1\}$ حاوی رئوسی از مجموعه V است که می‌توانند رأس $v_l \in Z$ در فاصله‌ی پوشش r پوشش دهند. این مجموعه برای تمام اعضای مجموعه Z تعریف می‌شود. از مفروضات لازم برای این مسئله، شرط عدم امکان تشکیل تور تک رأسی v_0 است.

TW_i: متغیری نامنفی که زمان رسیدن یک وسیله‌ی نقلیه به نقطه‌ی i را نشان می‌دهد.

حال با تعاریف فوق می‌توان مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی را به صورت زیر نشان داد:

رابطه‌ی ۱:
$$Min \sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} c_{ij} x_{ij}$$

$$Subject \quad to:$$

رابطه‌ی ۲:
$$\sum_{k \in V} x_{0k} = 1$$

رابطه‌ی ۳:
$$\sum_{\forall j \in V} x_{ij} \le 1 \quad ; \quad \forall i \in V$$

رابطه‌ی ۴:
$$\sum_{\forall i \in V} x_{ij} \le 1 \quad ; \quad \forall j \in V$$

رابطه‌ی ۵:
$$\sum_{v_k \in S_l} y_k \ge 1 \; ; \begin{pmatrix} \forall l \in W \;\; , S_l = \{v_k \in V \mid \delta_{lk} = 1\}, \\ \delta_{lk} = \begin{cases} 1 \; if \; d_{lk} \le r \\ 0 \qquad ow \end{cases} \end{pmatrix}$$

رابطه‌ی ۶:
$$\sum_{i=0}^{k-1}(x_{ik} + x_{ki}) + \sum_{j=k+1}^{n}(x_{kj} + x_{jk}) = 2y_k \; ; \forall v_k \in V$$

رابطه‌ی ۷:
$$es_i \le TW_i \le ls_i \quad ; \quad \forall i \in V$$

رابطه‌ی ۸:
$$TW_0 + + t_{0k} - M(1 - x_{0k}) \le TW_k \qquad ; \forall k \in V$$

رابطه‌ی ۹:
$$TW_k + st_k + t_{kj} - M(1 - x_{kj}) \le TW_j \quad ; \forall k, j \in V$$

رابطه‌ی ۱۰:
$$TW_j + st_j + t_{j0} - M(1 - x_{j0}) \le TW_0 \quad ; \quad \forall j \in V$$

رابطه‌ی ۱۱:
$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall i, j \in V, i < j$$

رابطه‌ی ۱۲:
$$y_k \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall v_k \in V \setminus T$$

رابطه‌ی ۱۳:
$$y_k = 1 \quad ; \quad \forall v_k \in T$$

تابع هدف ۱ کل مسافت پیموده شده برای دسترسی به تمامی رئوس مجموعه T و برخی از رئوس مجموعه را به‌منظور پوشش همه‌ی رئوس مجموعه Z حداقل می‌کند. محدودیت ۲ بیان می‌کند که تور مورد نظر دقیقاً یکبار از پایگاه امداد مرکزی خارج می‌گردد. محدودیت ۳ اطمینان می‌دهد که تور مذکور می‌تواند حداکثر یکبار از هر شهر خارج گردد و محدودیت ۴ نیز بیان می‌دارد که این تور حداکثر می‌تواند یکبار به هر شهر وارد شود. محدودیت ۵ تضمین می‌کند که تور مورد نظر حداقل از یکی از شهرهایی که روستای حادثه دیده $v_l \in Z$ را پوشش می‌دهد، عبور می‌کند. محدودیت ۶ مربوط به درجه رئوس است و این اطمینان را می‌دهد که تور به هر شهری که وارد شود باید از آن شهر نیز خارج گردد. محدودیت‌های ۷ تا ۸ مربوط به پنجره‌های زمانی هستند. محدودیت‌های ۹ و ۱۰ و ۱۱ اطمینان می‌دهند که متغیرهای x_{ij} و y_k باینری بوده و مدل را تبدیل به یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح می‌کنند و y_k همواره برابر یک است اگر $v_k \in T$.

روش حل مسئله

برای حل این مسئله از هر دو روش دقیق و فراابتکاری در این مقاله استفاده می‌شود. در ابتدا مسئله در ابعاد کوچک به صورت دقیق توسط نرم‌افزار Gams حل می‌شود. از آنجایی که مسئله‌ی تور پوششی جزء مسائل Np-hard محسوب می‌شود و با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله، روش‌های دقیق برای حل مسئله مناسب نیستند، لذا برای ابعاد بزرگ‌تر مسئله از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود، به این صورت که مسئله‌ی مذکور در نرم‌افزار Matlab کدنویسی شده و سپس حل می‌شود. با مقایسه‌ی جواب‌های مسئله که برای نمونه‌های کوچک، با استفاده از هر دو روش دقیق و فراابتکاری به دست آمده است و اینکه جواب‌ها یکسان هستند، عملکرد مناسب الگوریتم حل ارائه شده قابل تأیید است.

الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسئله

نمایش جواب و تولید جواب شدنی

تولید جواب شدنی برای مسائل یکی از مهم‌ترین گام‌ها است که در مسئله‌ی مورد نظر نحوه‌ی نمایش جواب با یک مثال ۱۶ رأسی توضیح داده می‌شود. مشخصات این مثال به صورت زیر است:

$$V=[1,2,3,4,5,6,7,8],\ T=[1,2,5,8],\ V\setminus T=[3,4,6,7]$$

$$Z=[9,10,11,12,13,14,15,16],\ r=3.5$$

به عبارتی در این مثال ۱۶ رأس وجود دارد که از این تعداد رئوس، ۸ رأس به مجموعه V و ۸ رأس نیز به مجموعه Z تعلق دارد. از مجموعه رئوس V، ۴ رأس به مجموعه T و ۴رأس به مجموعه $V\setminus T$ تعلق دارد. مجموعه T شامل رئوسی هستند که باید بازدید شوند و مجموعه رئوسی هستند که می‌توانند برای بازدید شدن مورد استفاده قرار گیرند. فاصله‌ی پوششی برابر ۳,۵ در نظر گرفته شده است و مجموعه Z همگی باید توسط مجموعه V پوشش داده شوند. در ادامه به تشریح روند تولید جواب شدنی پرداخته شده است. در ابتدا برای تعیین شدنی یا نشدنی بودن مسئله، ماتریس نقاط پوشش‌دهنده‌ی روستاها (ماتریس S) به صورت زیر ساخته می‌شود:

$$\forall i\in Z, j\in V\ ;If\ d(i,j)\le r\Rightarrow s(i,k)=j\ \ ;k\in N$$

برای مثال چنانچه ماتریس S بر اساس چیدمان رئوس و فاصله‌ی پوششی به یکی از صورت‌های زیر باشد:

$$S_1=\begin{bmatrix}2&8\\2&0\\8&0\\2&8\\2&8\\4&0\\5&0\\5&0\end{bmatrix}\qquad S_2=\begin{bmatrix}2&8\\2&0\\8&0\\2&0\\0&0\\4&0\\5&0\\5&0\end{bmatrix}$$

در آن صورت بر اساس ماتریس S_1 که تعداد سطرها برابر با تعداد اعضای ماتریس Z است، مثلاً سطر اول دارای اعداد ۲ و ۸ است، یعنی عنصر اول ماتریس Z توسط رئوس شماره‌ی ۲ و ۸ ماتریس V پوشش داده شده است و یا سطر ششم ماتریس S_1 به این معناست که عنصر ششم ماتریس Z فقط توسط رأس شماره‌ی ۴ از ماتریس V پوشش داده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تمام سطرهای ماتریس S_1 دارای عدد هستند و این بدان معناست که همه‌ی رئوس ماتریس Z تحت پوشش قرار گرفته‌اند و لذا S_1 نشان می‌دهد که مسئله‌ی مورد نظر شدنی است. از آنجایی که سطر پنجم ماتریس S_2 فقط عدد صفر است و این یعنی رأس پنجم ماتریس Z توسط هیچ رأسی از ماتریس Z پوشانده نشده است، بنابراین S_2 نشان می‌دهد که مسئله‌ی تور پوششی مذکور شدنی نیست. ماتریس S با در نظر گرفتن همه‌ی رئوس V و Z ساخته می‌شود و لذا این ماتریس نشان‌دهنده‌ی شدنی یا نشدنی بودن مسئله است. در این مقاله فرض بر این است که مسئله‌ی تور پوششی مورد نظر یک مسئله‌ی شدنی است. حال برای تولید یک جواب شدنی به صورت زیر عمل می‌شود. یک جواب اولیه (نه الزاماً شدنی) از مجموعه V به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$initial\ solution=[3-4-6-7-1-2-5-8]$$

باید توجه شود که اندازه‌ی بردار اولیه (initial solution) برابر با اندازه‌ی بردار V و اعضای آن همان اعضای V هستند با این شرط که ۴ عنصر اول بردار، اعضای بردار $V\setminus T$ هستند که می‌توانند بازدید شوند و ۴ عنصر آخر بردار، اعضای بردار T هستند که باید بازدید شوند و به صورت تصادفی در نظر گرفته شده‌اند. بردار Z به طول بردار اولیه (initial solution) و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$z=[binomial\ rand\quad 1-1-1-1]$$

بردار Z مانند بردار اولیه از دو قسمت تشکیل شده است: در قسمت اول، به تعداد اعضای بردار $V\setminus T$ عدد تصادفی صفر و یک، و در قسمت دوم به تعداد اعضای بردار T عدد یک وجود دارد. بنابراین ۴ درایه‌ی اول بردار، اعداد تصادفی صفر و یک و بقیه درایه‌ها همگی عدد یک هستند. برای مثال بردار Z و initial solution را در نظر بگیرید:

$$z=[\underbrace{1-1-0-0}-1-1-1-1]$$

$$initial\ solution=[\underbrace{3-4-6-7}-1-2-5-8]$$

با در نظر گرفتن بردار Z و initial solution، بردار tour plan به‌منزله‌ی یک جواب شدنی به این صورت ساخته می‌شود: در بردار z هر درایه‌ای که یک باشد عدد متناظر با آن در بردار initial solution، عیناً در بردار tour plan قرار می‌گیرد و هر درایه‌ای که صفر باشد عدد متناظر با آن در tour plan قرار نمی‌گیرد، بنابراین داریم:

$$tour\ plan=[3-4-1-2-5-8]$$

در تولید بردار tour plan اعداد اول، دوم و چهار درایه آخر از بردار initial solution استفاده شده است. (توجه شود که لازم نیست حتماً اندازه‌ی بردار tour plan برابر با بردار initial solution گردد) از آنجایی که چهار درایه‌ی آخر بردار initial solution عضو

بردار T است لذا باید حتماً در تور قرار گیرند و به همین علت همواره برای این مثال، چهار درایه‌ی آخر بردار Z برابر یک در نظر گرفته شده است. این یک جواب تولید شده به صورت تصادفی است که ممکن است شدنی باشد یا نباشد و لزوماً از همه‌ی اعضای بردار V تولید نشده است. برای تعیین شدنی بودن یا نشدنی بودن این جواب کافی است مشخص شود که آیا جواب تولید شده همه‌ی اعضای بردار Z را پوشش می‌دهد یا خیر؟ یا به عبارتی باید مشخص گردد که آیا همه‌ی اعضای بردار Z در شعاع پوشش (r=3.5) رئوس بازدید شده در تور قرار می‌گیرند یا خیر؟ برای این کار کافیست که بردار tour plan با ماتریس S_1 در نظر گرفته شده مقایسه گردد. با مشاهده‌ی ماتریس S_1 مشخص می‌گردد که برای پوشش تمام نقاط مجموعه Z کافیست که رئوس ۲ و ۴ و ۵ و ۸ در تور مورد نظر قرار گیرند. بنابراین توری شدنی است که حداقل شامل رئوس گفته شده باشد. از آنجایی که tour plan شامل رئوس فوق است، پس نتیجه می‌شود که tour plan یک جواب شدنی برای مسئله است. در اینجا تولید یک جواب شدنی برای مسئله مطرح گردید. واضح است که برای مسئله‌ی مذکور با توجه به الگوریتم ژنتیک، چندین جواب شدنی با هزینه‌های مختلف در هر مرحله تولید و بهینگی آن‌ها طی الگوریتم بررسی می‌شود.

عملگر تقاطع

این عملگر به دنبال جست‌وجوی محلی در فضای پاسخ است و دارای انواع مختلفی مانند یک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای، چند نقطه‌ای و غیره است. در این مقاله به‌منظور تولید دو مسیر جدید از دو مسیر اولیه از عملگر تقاطع یک نقطه‌ای استفاده شده است. فرض کنید Oldroute1 و Oldroute2 نشان‌دهنده‌ی والد اول و والد دوم، Cross point نقطه‌ی تقاطع، Newroute1 و Newroute2 فرزند اول و فرزند دوم، Part11 و Part21 به ترتیب قسمت ابتدایی تا نقطه‌ی تقاطع والد اول و والد دوم باشند همچنین Selection1 و Selection2 به ترتیب، بخش‌هایی از والد دوم و اول هستند که در Part11 و Part21 قرار ندارند، است. برای مثال نحوه‌ی به دست آمدن دو مسیر جدید از دو مسیر اولیه مانند زیر است:

$Crosspoint = 5$

$Oldroute1 = [6-5-4-3-\textcircled{2}-1-7-8-9]$

$Oldroute2 = [1-3-5-7-\textcircled{9}-2-4-6-8]$

$Part11 = Oldroute1(1:Crosspoint) = [6-5-4-3-2]$

$Part21 = Oldroute2(1:Crosspoint) = [1-3-5-7-9]$

$Newroute1 = [Part11 - Selection1] = [6-5-4-3-2-1-7-9-8]$

$Newroute2 = [Part21 - Selection2] = [1-3-5-7-9-6-4-2-8]$

عملگر جهش

بعد از اجرای عملگر تقاطع که روی مسیرهای اولیه $(Oldroute)$ صورت گرفت، باید عملگر جهش برای مسیرهای جدید تولید شده $(Newroute)$ اجرا شود. ابتدا به طور تصادفی از مسیرهای جدید، مسیرهایی انتخاب می‌شوند سپس برای یک مسیر جدید جای دو مقدار با هم به طور تصادفی عوض می‌شود که این امر باعث ایجاد جهش در فضای پاسخ‌ها خواهد شد. به عنوان مثال فرض کنید دو عدد تصادفی برابر ۳ و ۶ به دست آمده است، این بدان معناست که برای $Newroute1$ جای دو تسهیل شماره‌ی ۳ و ۶ با هم عوض شده و مسیر جهش یافته به وجود آید.

$$Newroute1 = [6-5-\textcircled{4}-3-2-\textcircled{1}-7-9-8]$$

مسیر جهش یافته به صورت زیر خواهد بود:

$$MutatedRoute = [6-5-1-3-2-4-7-9-8]$$

عملگر انتخاب

عملگر انتخاب عملگری است که برای تولید نسل جدید از آن استفاده می‌شود. نسل جدید همواره شامل تعدادی از مسیرهای برتر نسل قبل، مسیرهای جدید تولید شده و مسیرهای جهش یافته است. این عمل با استفاده از عملگر چرخ رولت[1] صورت می‌پذیرد. درصد مربوط به هر کدام از این قسمت‌ها با توجه به طراحی آزمایش‌ها برای هر مثال به دست آمده است. مثلاً برای مثال ۱۶ رأسی، ۵۰ درصد جمعیت نسل جدید از عملگر تقاطع، ۳۵ درصد از عملگر جهش و ۱۵ درصد بقیه نیز از جمعیت برتر نسل قبل به وجود آمده‌اند.

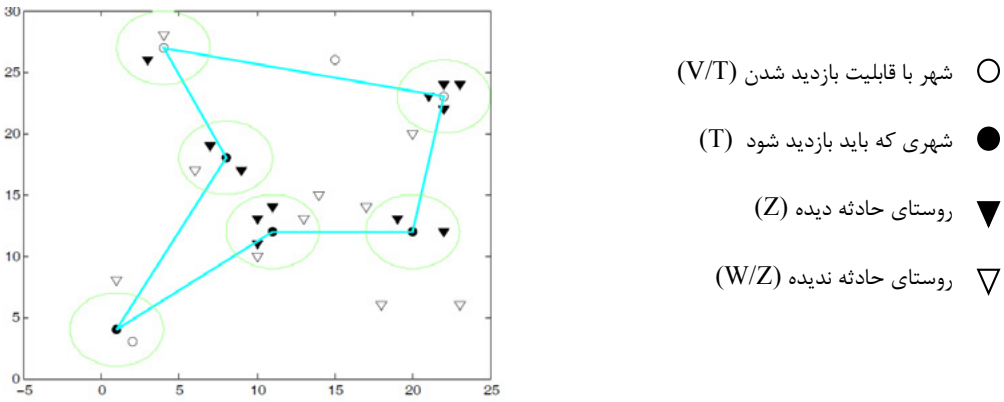
مثال‌های عددی

در ادامه ۱۲ مثال برای مسئله‌ی تور پوششی در اندازه‌های مختلف در نظر گرفته شده است. در ابتدا سه مثال اول مسئله با استفاده از نرم‌افزار Gams به صورت دقیق حل و جواب‌ها به دست آمده‌اند، سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای سه مثال اول مسئله در نرم‌افزار متلب کدنویسی صورت گرفته و حل گردیده‌اند. مشاهده می‌گردد که نتایج حل مسئله با استفاده از روش دقیق و فراابتکاری یکسان است، لذا کد مسئله‌ی ژنتیک نوشته شده کارا است و می‌توان از آن برای حل مسئله در ابعاد بزرگ بهره برد؛ بنابراین مثال‌های دیگر با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل گردیده‌اند. نتایج در جدول ۲ قابل مشاهده است.

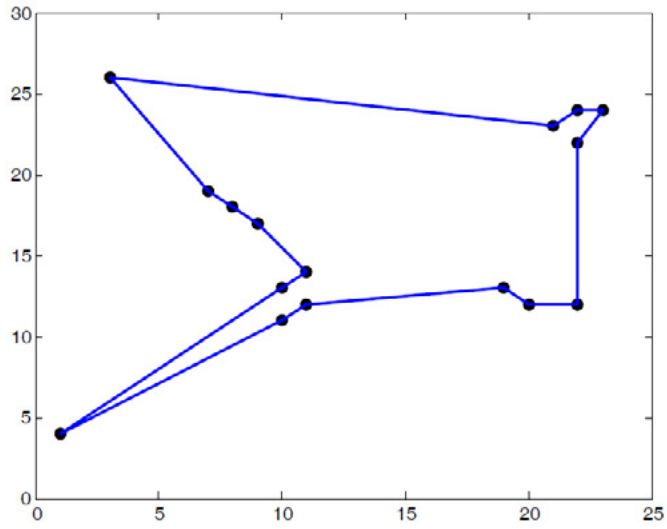
تصویر ۱ راه حل بهینه‌ی مثال ۲ از مسئله‌ی مورد بررسی در این مقاله را به تصویر می‌کشد. در این مثال تعداد اعضای مجموعه‌ی V برابر با ۸، مجموعه T برابر با ۴، مجموعه W برابر با ۲۲ و تعداد اعضای مجموعه Z برابر با ۱۲ و شعاع پوشش برابر با ۳,۵ کیلومتر است، زمان امدادرسانی (طول تور حاصل شده) برابر با ۷۶,۹۲۷۰ است. گاهی اوقات به دلیل محدودیت امکانات، زمان، هزینه و غیره امکان اینکه تیم‌های امدادرسان همه‌ی نقاط حادثه دیده را بازدید کنند وجود ندارد و همین دلیل محکمی بر موجودیت مسئله‌ی تور پوششی است. اگر هدف بازدید تمامی نقاط حادثه دیده از طرف تیم امدادرسان باشد، باید به مسئله‌ی TSP پرداخته شود. در مثال بالا اگر همه‌ی نقاط مشکی (شهرهایی که باید در تور قرار بگیرند به‌علاوه روستاهای حادثه دیده) بازدید شوند، مسئله‌ی CTP به نوعی از مسئله TSP با تعداد رئوس ۱۶ تبدیل شود که زمان امدادرسانی و یا طول تور حاصل شده برابر با

جدول ۲: حل مثال‌های تور پوششی با استفاده از نرم‌افزار Gams و الگوریتم ژنتیک

	مشخصات مسئله	Gams	الگوریتم ژنتیک	Gap
مثال ۱	$\|V\|=8,\|T\|=4,\ \|Z\|=8,\ n=16,\ r=3.5$	۶۸،۲۶۶۳	۶۸،۲۶۶۳	۰
مثال ۲	$\|V\|=8,\|T\|=4,\ \|Z\|=12,n=20,\ r=3.5$	۷۶،۹۲۷۰	۷۶،۹۲۷۰	۰
مثال ۳	$\|V\|=9,\|T\|=4,\ \|Z\|=16,n=25,\ r=3.5$	۷۸،۸۳۴۸	۷۸،۸۳۴۸	۰
مثال ۴	$\|V\|=9,\|T\|=4,\ \|Z\|=26,n=35,\ r=3.5$	–	۷۷،۱۵۸۸	–
مثال ۵	$\|V\|=10,\|T\|=4,\|Z\|=35,n=45,\ r=3.5$	–	۸۱،۰۹۵۷	–
مثال ۶	$\|V\|=11,\|T\|=5,\|Z\|=44,n=55,\ r=3.5$	–	۸۱،۰۹۵۷	–
مثال ۷	$\|V\|=12,\|T\|=5,\|Z\|=48,n=60,\ r=3.5$	–	۸۶،۹۵۷۴	–
مثال۸	$\|V\|=13,\|T\|=5,\|Z\|=48,n=61,\ r=3.5$	–	۸۵،۰۱۱۲	–
مثال ۹	$\|V\|=15,\|T\|=5,\|Z\|=55,n=70,\ r=3.5$	–	۹۶،۵۲۳۳	–
مثال ۱۰	$\|V\|=18,\|T\|=5,\|Z\|=62,n=80,\ r=3.5$	–	۱۰۱،۴۳۸۲	–
مثال ۱۱	$\|V\|=20,\|T\|=5,\|Z\|=70,n=90,\ r=3.5$	–	۱۰۲،۲۹۵۵	–
مثال ۱۲	$\|V\|=23,\|T\|=5,\|Z\|=77,n=100,r=3.5$	–	۱۰۳،۰۶۲۴	–



تصویر۱: مثالی از یک راه حل شدنی برای مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی

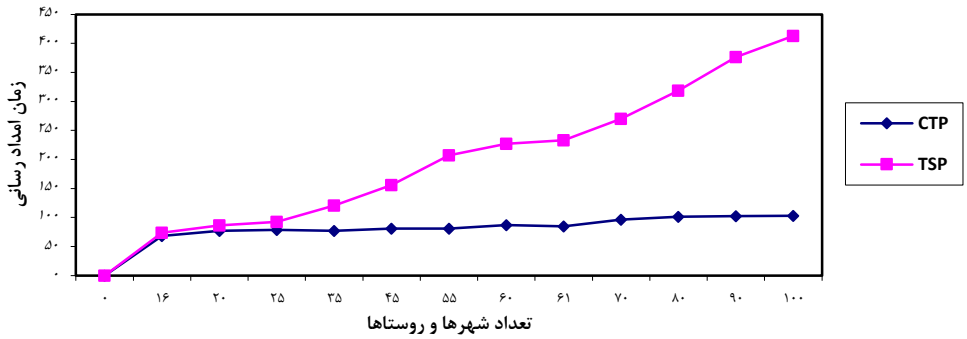


تصویر ۲: راه حل بهینه‌ی مسئله‌ی TSP در شرایط امدادرسانی

۸۶،۲۹۷۳ است. تصویر ۲ مسئله‌ی TSP حاصل شده از مسئله‌ی CTP را با تور به دست آمده از الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. در ادامه برای مثال‌های قبل، مسئله‌ی تور پوششی و مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد متناظر با آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک، در محیط نرم‌افزار متلب کدنویسی شده و جواب آن‌ها در جدول ۳ آورده شده و در تصویر ۳ نشان داده شده است. جواب‌ها نشان می‌دهند که استفاده از مسئله‌ی تور پوششی به مراتب کاراتر از مسئله‌ی فروشنده دوره‌گرد است و باعث کاهش چشمگیر زمان

جدول ۳: مقایسه‌ی جواب‌های مسئله‌ی تور پوششی و فروشنده‌ی دوره‌گرد مرتبط در اندازه‌های مختلف

	مشخصات مسئله	جواب *CTP* با الگوریتم ژنتیک	مشخصات مسئله *TSP*	جواب *TSP* با الگوریتم ژنتیک	*Gap*
مثال ۱	$\|V\|=8,\ \|T\|=4,\|Z\|=8,\ n=16,\ r=3.5$	۶۸،۲۶۶۳	$n=12$	۷۳،۵۵۹۲	۵،۲۹۲۹
مثال ۲	$\|V\|=8,\ \|T\|=4,\|Z\|=12,n=20,\ r=3.5$	۷۶،۹۲۷۰	$n=16$	۸۶،۲۹۷۳	۹،۳۷۰۳
مثال ۳	$\|V\|=9,\ \|T\|=4,\|Z\|=16,n=25,\ r=3.5$	۷۸،۸۳۴۸	$n=20$	۹۲،۳۶۹۶	۱۳،۵۳۸۴
مثال ۴	$\|V\|=9,\ \|T\|=4,\|Z\|=26,n=35,\ r=3.5$	۷۷،۱۵۸۸	$n=30$	۱۲۰،۹۲۷۲	۴۳،۷۶۸۴
مثال ۵	$\|V\|=10,\|T\|=4,\|Z\|=35,n=45,\ r=3.5$	۸۱،۰۹۵۷	$n=39$	۱۵۵،۸۵۴۱	۷۴،۷۵۸۴
مثال ۶	$\|V\|=11,\|T\|=5,\|Z\|=44,n=55,\ r=3.5$	۸۱،۰۹۵۷	$n=49$	۲۰۷،۰۶۵۴	۱۲۵،۹۶۹۷
مثال ۷	$\|V\|=12,\|T\|=5,\|Z\|=48,n=60,\ r=3.5$	۸۶،۹۵۷۴	$n=53$	۲۲۶،۹۰۷۷	۱۳۹،۹۵۰۳
مثال ۸	$\|V\|=13,\|T\|=5,\|Z\|=48,n=61,\ r=3.5$	۸۵،۰۱۱۲	$n=53$	۲۳۳،۳۷۶۸	۱۴۸،۳۶۵۶
مثال ۹	$\|V\|=15,\|T\|=5,\|Z\|=55,n=70,\ r=3.5$	۹۶،۵۲۳۳	$n=60$	۲۷۰،۲۰۹۴	۱۷۳،۶۸۶۱
مثال ۱۰	$\|V\|=18,\|T\|=5,\|Z\|=62,n=80,\ r=3.5$	۱۰۱،۴۳۸۲	$n=67$	۳۱۸،۶۴۱	۲۱۷،۲۰۲۸
مثال ۱۱	$\|V\|=20,\|T\|=5,\|Z\|=70,n=90,\ r=3.5$	۱۰۲،۲۹۵۵	$n=75$	۳۷۶،۲۹۶۶	۲۷۴،۰۰۱۱
مثال ۱۲	$\|V\|=23,\|T\|=5,\|Z\|=77,n=100,r=3.5$	۱۰۳،۰۶۲۴	$n=82$	۴۱۲،۷۰۶۳	۳۰۹،۶۴۳۹



تصویر ۳: مقایسه‌ی زمان امدادرسانی در CTP و TSP برای مثال‌های بیان شده

امدادرسانی و تلفات احتمالی می‌گردد. منظور از مسئله‌ی فروشنده دوره‌گرد متناظر با مسئله‌ی تور پوششی آن است که در مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد، اهداف و مقاصد مسئله‌ی تور پوششی برآورده شوند، یعنی همه‌ی روستاها و شهرهای حادثه‌دیده توسط تیم‌ها، امدادرسانی شوند. جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش تعداد رئوس اختلاف مدت زمان امدادرسانی در مسئله‌ی تور پوششی و مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد متناظر به طور صعودی افزایش می‌یابد.

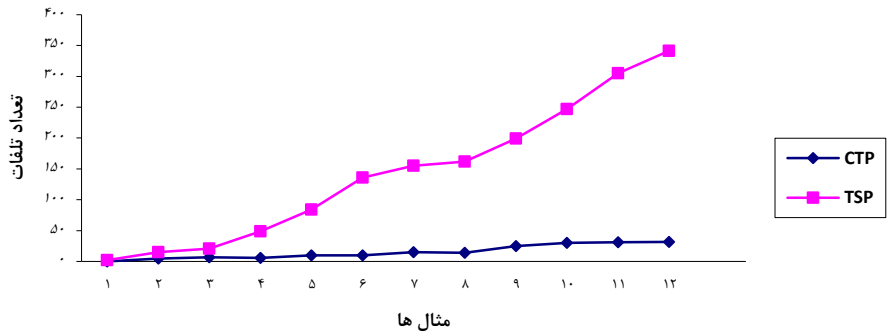
در تصویر ۳ زمان امدادرسانی (طول تورها) برای مسائل TSP و CTP متناظر با هم آورده شده‌اند. همان‌گونه که از نمودار مشخص است با افزایش تعداد رئوس طول تور TSP تشکیل شده نسبت به طول تور تشکیل شده در CTP به مراتب بیشتر می‌شود یا به عبارتی با افزایش تعداد رئوس اختلاف مدت زمان امدادرسانی در TSP و CTP به شدت در حال افزایش است.

زمانی که یک حادثه‌ی طبیعی فاجعه‌بار رخ می‌دهد، عملیات امدادرسانی اورژانسی (فوری) برای نجات جان افراد بسیار حیاتی است. بسیاری از افراد در نواحی فاجعه دیده در زیر ساختمان‌های فرو پاشیده و یا در زیر آوار زلزله به دام افتاده‌اند و ممکن است شانس بزرگی برای ادامه‌ی زندگی داشته باشند، اگر آن‌ها در "۷۲ ساعت طلایی[۲]" بعد از وقوع فاجعه نجات یابند[۲۰]. بر اساس تجربیات و آمارهای موجود در زمان حوادث، اگر تا ۷۲ ساعت پس از وقوع بحران امدادرسانی به خوبی انجام گیرد، می‌توان ادعا کرد که این بحران به خوبی مدیریت شده است و بی‌شک میزان تلفات جانی و مالی به طور چشمگیری کاهش می‌یابد اما پس از این زمان ساعت شنی خالی شده و دیگر امدادرسانی مگر در مواردی معجزه‌آسا، نمی‌تواند باعث نجات افراد حادثه دیده شود. همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته، کشور ما با توجه به مخاطرات موجود همچون زلزله و سیل و رانش زمین و غیره جزو کشورهای سانحه‌خیز دنیاست. همچنین اگر سطح خطرپذیری تنها با استفاده از مخاطره‌ی زلزله مورد بررسی قرار گیرد ششمین کشور دنیا از نظر خطرپذیری هستیم.

برای توضیح بیشتر، مثال ۲ را در نظر می‌گیریم. فرض کنید حادثه‌ای رخ داده است که داده‌های آن مطابق با داده‌های مثال ۲ باشد. در مسئله‌ی امدادرسانی CTP مدت زمان امداد برابر با ۷۶،۹۲۷ و در مسئله‌ی TSP متناظر با آن، مدت زمان امدادرسانی برابر با ۸۶،۲۹۷ واحد (ساعت) شده است. با توجه به اینکه مدت زمان امدادرسانی در این مسئله بیشتر از ۷۲ ساعت است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ممکن است در برخی از نقاط حادثه

جدول ۴: مقایسه‌ی تلفات به دست آمده در مسئله‌ی تور پوششی و فروشنده‌ی دوره گرد مرتبط در اندازه‌های مختلف

مثال	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
مسئله‌ی تور پوششی	0	5	7	6	10	10	15	14	25	30	31	32
مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد	2	15	21	49	84	136	155	162	199	247	305	341



تصویر ۴: مقایسه‌ی تعداد تلفات به دست آمده در CTP و TSP برای مثال‌های بیان شده

جدول ۵: تحلیل حساسیت مسئله‌ی تور پوششی با شعاع‌های پوشش متفاوت

	مشخصات مسئله	$r = 3.5$	$r = 5$	$r = 7$	$r = 10$
مثال ۱	$\|V\| = 8, \|T\| = 4, \ \|Z\| = 8, \ n = 16$	۶۸.۲۶۶۳	۶۸.۲۶۶۳	۶۸.۲۶۶۳	۵۰.۸۷۵۱
مثال ۲	$\|V\| = 8, \|T\| = 4, \ \|Z\| = 12, n = 20$	۷۶.۹۲۷۰	۷۶.۹۲۷۰	۷۶.۹۲۷۰	۶۳.۵۰۵۱
مثال ۳	$\|V\| = 9, \|T\| = 4, \ \|Z\| = 16, n = 25$	۷۸.۸۳۴۸	۷۶.۹۲۷۰	۷۶.۹۲۷۰	۶۳.۵۰۵۱
مثال ۴	$\|V\| = 9, \|T\| = 4, \ \|Z\| = 26, n = 35$	۷۷.۱۵۸۸	۷۷.۱۴۹۱	۷۷.۱۴۹۱	۷۶.۹۲۷۰
مثال ۵	$\|V\| = 10, \|T\| = 4, \|Z\| = 35, n = 45$	۸۱.۰۹۵۷	۸۱.۰۸۵۹	۸۱.۰۸۵۹	۷۳.۲۱۹۰
مثال ۶	$\|V\| = 11, \|T\| = 5, \|Z\| = 44, n = 55$	۸۱.۰۹۵۷	۸۱.۰۸۵۹	۸۱.۰۸۵۹	۸۰.۸۶۳۹
مثال ۷	$\|V\| = 12, \|T\| = 5, \|Z\| = 48, n = 60$	۸۶.۹۵۷۴	۸۶.۳۹۰۵	۸۶.۳۹۰۵	۸۰.۸۶۳۹
مثال ۸	$\|V\| = 13, \|T\| = 5, \|Z\| = 48, n = 61$	۸۵.۰۱۱۲	۸۴.۵۲۵۹	۸۴.۵۲۵۹	۸۰.۸۶۳۹
مثال ۹	$\|V\| = 15, \|T\| = 5, \|Z\| = 55, n = 70$	۹۶.۵۲۳۳	۹۵.۹۵۰۹	۹۵.۹۵۰۹	۹۲.۹۶۰۹
مثال ۱۰	$\|V\| = 18, \|T\| = 5, \|Z\| = 62, n = 80$	۱۰۱.۴۳۸۲	۹۹.۵۴۶۶	۹۵.۶۹۵۰	۸۹.۶۲۴۴
مثال ۱۱	$\|V\| = 20, \|T\| = 5, \|Z\| = 70, n = 90$	۱۰۲.۲۹۵۵	۱۰۰.۰۲۲۳	۹۰.۴۷۳۹	۹۰.۲۳۱۷
مثال ۱۲	$\|V\| = 23, \|T\| = 5, \|Z\| = 77, n = 100$	۱۰۳.۰۶۲۴	۱۰۱.۴۵۶۴	۹۰.۸۲۳۰	۸۱.۹۵۳۸

دیده تلفاتی وجود داشته باشد. همچنین فرض کنید که به ازای هر ساعت بیشتر از ۷۲ ساعت یک نفر تلفات وجود داشته باشد. بنابراین واضح است که اگر این حادثه با CTP مدیریت گردد، تعداد ۵ نفر تلفات وجود دارد و اگر با TSP مدیریت گردد تعداد ۱۵ نفر تلفات خواهد داشت. بنابراین به وضوح مشخص است که امدادرسانی با کمک مسئله‌ی CTP باعث کاهش تلفات خواهد شد. در جدول زیر برای ۱۲ مثال تعداد تلفات با در نظر گرفتن مسئله‌ی CTP و TSP محاسبه شده است.

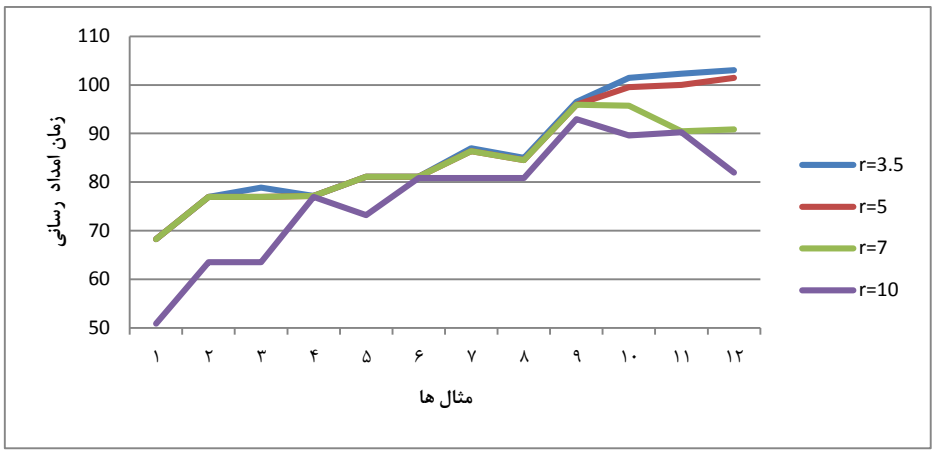
در تصویر ۴ مقایسه‌ی بین تعداد تلفات حاصل از امدادرسانی با در نظر گرفتن هر دو مسئله TSP و CTP آورده شده است. همان‌گونه که از نمودار مشخص است با افزایش تعداد نقاط حادثه دیده، تعداد تلفات حاصل شده در مسئله‌ی TSP نسبت به تعداد تلفات در CTP به مراتب بیشتر است یا به عبارتی با افزایش تعداد نقاط حادثه دیده، اختلاف تعداد تلفات حاصل شده در TSP و CTP به شدت در حال افزایش است.

تحلیل حساسیت مسئله RCTP

در این قسمت، پارامترهای مؤثر در مسئله مورد بررسی قرار گرفته و تحلیل حساسیت متناظر با آن‌ها انجام شده است.

شعاع پوشش

برای انجام تحلیل حساسیت، ۱۲ مثال برای مسئله در نظر گرفته شده و در جدول ۵ آورده شده‌اند. مثال‌ها در ابعاد مختلف از ۱۲ رأس تا ۱۰۰ رأس و با چهار شعاع پوشش ۳,۵، ۵، ۷ و ۱۰ در نظر گرفته شده‌اند. همان‌گونه که از این جدول قابل مشاهده است، با افزایش شعاع پوشش زمان امداد (طول تور) کاهش می‌یابد.



تصویر ۵: طول تور مربوط به مثال‌های مسئله‌ی تور پوششی به ازای شعاع‌های پوششی مختلف

جدول ۶: تحلیل حساسیت مسئله‌ی CTP نسبت به تعداد نقاط مجموعه‌ی Z

	مشخصات مسئله	جواب مسئله *CTP*	جواب مسئله *TSP* متناظر	اختلاف *CTP* و *TSP*
مرحله‌ی ۱	$n = 55, \|V\| = 11, \|T\| = 5, \ \|Z\| = 44, r = 3.5$	۸۱،۰۹۵۷	۲۰۷،۰۶۵۴	۱۲۵،۹۶۹۷
مرحله‌ی ۲	$n = 55, \|V\| = 11, \|T\| = 10, \|Z\| = 39, r = 3.5$	۸۵،۴۸۴۹	۲۰۷،۰۶۵۴	۱۲۱،۵۸۰۵
مرحله‌ی ۳	$n = 55, \|V\| = 11, \|T\| = 15, \|Z\| = 34, r = 3.5$	۹۰،۸۴۷۵	۲۰۷،۰۶۵۴	۱۱۶،۲۱۷۹
مرحله‌ی ۴	$n = 55, \|V\| = 11, \|T\| = 20, \|Z\| = 29, r = 3.5$	۱۱۰،۱۲۱۷	۲۰۷،۰۶۵۴	۹۶،۹۴۳۷
مرحله‌ی ۵	$n = 55, \|V\| = 11, \|T\| = 25, \|Z\| = 24, r = 3.5$	۱۱۹،۸۳۷۶	۲۰۷،۰۶۵۴	۸۷،۲۲۷۸
مرحله‌ی ۶	$n = 55, \|V\| = 11, \|T\| = 30, \|Z\| = 19, r = 3.5$	۱۲۴،۷۳۷۶	۲۰۷،۰۶۵۴	۸۲،۳۲۷۸
مرحله‌ی ۷	$n = 55, \|V\| = 11, \|T\| = 35, \|Z\| = 14, r = 3.5$	۱۴۴،۵۶۳۰	۲۰۷،۰۶۵۴	۶۲،۵۰۲۴
مرحله‌ی ۸	$n = 55, \|V\| = 11, \|T\| = 40, \|Z\| = 9, \ r = 3.5$	۱۷۴،۰۱۶۱	۲۰۷،۰۶۵۴	۳۳،۰۴۹۳
مرحله‌ی ۹	$n = 55, \|V\| = 11, \|T\| = 45, \|Z\| = 4, \ r = 3.5$	۱۹۰،۶۷۰۹	۲۰۷،۰۶۵۴	۱۶،۳۹۴۵
مرحله‌ی ۱۰	$n = 55, \|V\| = 11, \|T\| = 49, \|Z\| = 0, \ r = 3.5$	۲۰۶،۰۵۴۵	۲۰۷،۰۶۵۴	۱،۰۱۰۹

تصویر ۵ مدت زمان امدادرسانی به ازای چهار شعاع پوشش متفاوت را برای مسئله‌ی تور پوششی نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این تصویر مشخص است، با افزایش شعاع پوشش، مدت زمان امدادرسانی کاهش می‌یابد و همچنین مشاهده می‌شود که نمودار مربوط به شعاع پوشش $r = 10$ که بیشترین شعاع پوششی است دارای کمترین زمان امداد به ازای مثال‌های مختلف است.

تعداد نقاط تقاضا

در اینجا به تحلیل حساسیت مسئله از نظر تعداد نقاط مجموعه‌ی Z پرداخته شده است. در هر مرحله تعداد نقاط مجموعه‌ی Z کم و به مجموعه T افزوده می‌شود و جواب آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک به دست می‌آید. این عمل برای مثال ۶ انجام گرفته و نتیجه‌ی آن در جدول ۶ قابل مشاهده است. در این جدول طی چندین مرحله از رئوس مجموعه‌ی Z کاسته شده و به رئوس مجموعه‌ی T افزوده شده است. در هر مرحله جواب مسئله CTP با استفاده از الگوریتم ژنتیک به دست آمده است. با مشاهده‌ی جدول ۶ نتیجه‌گیری می‌شود که با کاهش تعداد رئوس از مجموعه‌ی Z و افزودن آن رئوس به مجموعه‌ی T در هر مرحله، طول تور تشکیل یافته مسئله CTP به تور TSP متناظر در حال نزدیک‌تر شدن است، به طوری که در مرحله‌ی ۱۰، طول تور CTP و TSP متناظر تقریباً برابر است و این خطای کوچک نیز ناشی از تعداد رئوس تقریباً زیاد مسئله و اجرای الگوریتم ژنتیک است. به بیان دیگر مسئله‌ی CTP زمانی از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود که تعداد روستاهای آسیب‌دیده که امکان بازدید مستقیم آن‌ها توسط تیم امدادی وجود ندارد، زیاد باشد.

استفاده از طراحی آزمایش‌ها برای تنظیم پارامترها

پارامترهای الگوریتم حل، نرخ جهش، نرخ تقاطع، جمعیت و تعداد تکرارها هستند. برای اینکه اثر تغییر این پارامترها را روی کیفیت جواب‌های تابع هدف بسنجیم از طرح آزمایشی تاگوچی در طراحی آزمایش‌ها استفاده شده است. برای هر یک از عوامل، سه سطح در نظر گرفته شده است؛ نرخ تقاطع ۰،۷ و ۰،۷۵ و ۰،۸ ، نرخ جهش ۰،۲ و ۰،۱۵ و ۰،۱ ، جمعیت ۴۰ و ۵۰ و ۶۰ و برای حداکثر تکرارها ۴۰۰ و ۵۰۰ و ۶۰۰ در نظر گرفته شده‌اند؛ برای حل هر یک از مسائل تنظیم پارامترها انجام شده و نهایتاً مسئله با الگوریتم تنظیم شده حل شده است. برای نمونه در جدول ۷ برای مثال ۶، طرح آزمایش تاگوچی دارای ۹ آزمایش است که توسط نرم‌افزار مینی‌تب به دست آمده است، در ستون پاسخ، جواب الگوریتم ژنتیک به صورت میانگین بعد از ۵ بار تکرار آورده شده است.

با در نظر گرفتن ستون میانگین در نرم‌افزار مینی‌تب، طرح ۳-۲-۲-۲ به عنوان بهترین طرح معرفی می‌گردد، یعنی برای

جدول ۷: نتایج طرح آزمایش تاگوچی برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک مثال ۶ در مسئله‌ی TSP

شماره طرح	طرح آزمایش	تکرار ۱	تکرار ۲	تکرار ۳	تکرار ۴	تکرار ۵	میانگین
۱	۱-۱-۱-۱	۲۵۹،۳۶۰۴	۲۵۳،۵۵۹۵	۲۱۱،۵۱۰۱	۲۴۶،۲۳۰۴	۲۲۷،۲۸۹۸	۲۳۹،۵۹۰۰۴
۲	۱-۲-۲-۲	۲۵۴،۴۴۵۰	۲۲۲،۹۰۴۳	۲۳۶،۷۵۱۸	۱۹۹،۶۲۷۳	۲۰۹،۴۱۷۳	۲۲۴،۶۲۹۱۴
۳	۱-۳-۳-۳	۲۲۳،۷۹۵۸	۲۳۵،۲۱۳۱	۲۰۵،۳۲۷۶	۲۴۵،۴۰۰۹	۲۱۵،۸۷۶۰	۲۲۵،۱۲۲۶۸
۴	۲-۱-۲-۳	۲۲۴،۵۲۴۳	۱۸۶،۳۰۱۳	۱۸۸،۸۰۳۹	۲۴۱،۷۱۵۱	۲۴۵،۲۴۶۰	۲۱۷،۳۱۸۱۲
۵	۲-۲-۳-۱	۲۳۶،۷۷۳۷	۲۴۰،۳۰۳۵	۲۰۹،۴۳۲۱	۲۴۲،۴۹۰۹	۲۱۵،۵۷۷۸	۲۲۸،۹۱۵۶
۶	۲-۳-۱-۲	۲۶۰،۸۶۸۲	۲۲۷،۸۱۶۱	۲۵۴،۵۴۵۷	۲۱۷،۷۴۰۳	۲۵۰،۴۷۸۰	۲۴۲،۲۸۹۶۶
۷	۳-۱-۳-۲	۳۶۷،۳۷۶۶	۳۷۱،۰۹۴۳	۲۸۹،۸۳۸۲	۳۳۶،۱۲۷۷	۲۴۴،۴۴۷۶	۳۲۱،۷۷۶۸۸
۸	۳-۲-۱-۳	۲۲۶،۴۸۶۳	۲۱۴،۱۱۱۶	۲۲۵،۷۵۳۵	۱۹۷،۹۳۵۰	۲۳۲،۷۵۸۶	۲۱۹،۴۰۹۰
۹	۳-۳-۲-۱	۲۳۶،۷۱۵۷	۲۷۴،۶۳۵۰	۲۳۰،۳۲۱۰	۲۳۲،۶۳۵۶	۲۱۳،۴۱۵۲	۲۳۷،۵۴۴۵

مثال ۶ باید نرخ تقاطع ۰،۷۵، نرخ جهش ۰،۱۵، تعداد جمعیت ۵۰ و حداکثر تکرارها برابر ۶۰۰ در نظر گرفته شود، که با وارد کردن اعداد بالا در الگوریتم ژنتیک و اجرای آن توسط نرم‌افزار متلب بعد از ۵ بار اجرا جواب به صورت میانگین برابر ۲۰۷،۰۶۵۴ شده است. برای بقیه‌ی مثال‌های TSP نیز آزمایش تاگوچی را انجام داده و نتایج در جداول قبل آورده شده‌اند. برای مسئله‌ی CTP نیز مانند مسئله‌ی TSP طرح آزمایشی تاگوچی انجام شده و با الگوریتم تنظیم شده مسائل حل شده‌اند.

نتیجه‌گیری

مسئله‌ی مورد بررسی در این تحقیق، مسئله‌ی تور پوششی با پنجره‌های زمانی سخت در شرایط امدادرسانی است. اهدافی که در این تحقیق در نظر گرفته شده است عبارت است از یافتن یک تور همیلتونی به گونه‌ای که از چندین شهر بگذرد و همه‌ی روستاهای حادثه دیده را پوشش دهد. برای این منظور در ابتدا مدل‌سازی مسئله با در نظر گرفتن محدودیت‌های پنجره‌ی زمانی انجام گرفت و سپس برای حل آن، با استفاده از الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب کدنویسی انجام گرفت و برای ۱۲ مثال اجرا شد. برای اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی، سه مثال ابتدایی از ۱۲ مثال با استفاده از نرم‌افزار گمز (Gams) به صورت دقیق حل گردید. سپس نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی با جواب‌های به دست آمده از حل روش دقیق توسط نرم‌افزار گمز مقایسه و مشاهده شد که جواب‌ها یکسان است. لذا الگوریتم ژنتیک مذکور، الگوریتمی کارا و کاربردی ارزیابی شد که برای حل مثال‌ها در ابعاد بزرگ‌تر مورد استفاده قرار گرفت. همچنین مسئله‌ی تور پوششی و مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد طی چندین مثال با هم مقایسه شده و نتیجه‌گیری شد که حل مسئله‌ی امداد با استفاده از مسئله‌ی تور پوششی به مراتب دارای جواب‌های بهتری بوده و موجب امدادرسانی سریع‌تر و درنتیجه بروز تلفات کمتری می‌شود. در ادامه به تحلیل حساسیت مسئله‌ی تور پوششی از نظر شعاع پوشش و تعداد نقاط تقاضا پرداخته شد و نتیجه‌گیری شد که هر چه شعاع پوشش بزرگ‌تر باشد، طول تور تشکیل شده کمتر می‌شود، همچنین هر چه از تعداد رئوس نقاط تقاضا کم و به مجموعه رئوس T اضافه کنیم، مسئله‌ی CTP به مسئله‌ی TSP نزدیک‌تر می‌شود. در این مقاله برای ارزیابی و تعیین پارامترهای مسئله از طرح آزمایشی تاگوچی استفاده شده است که جواب‌های مسئله در قالب مثال‌های گوناگون بعد از مشخص شدن پارامترهای مسئله، به دست آمده‌اند. بررسی مسئله‌ی تور پوششی با تیم‌های مکمل امدادرسانی و استفاده از سایر الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای مطالعات آتی این تحقیق پیشنهاد می‌شوند.

پی‌نوشت

1. Traveling Salesman Problem(TSP)
2. Set Covering Problem (SCP)
3. Covering salesman problem
4. COVTOUR
5. Median Tour Problem
6. Maximal Covering Tour Problem
7. MEDTOUR
8. Set Covering Problem
9. Traveling Salesman Problem
10. Multi-vehicle Covering Tour Problem(m-CTP)
11. Bi-Objective Covering Tour Problem(BOCTP)
12. ε-constraint
13. Multi-Objective Covering Tour Problem
14. bi-objective stochastic covering tour problem(BOSCTP)
15. Integer linear programming
16. Global Criterion(GC) Method
17. Multi-vehicle covering tour problem
18. Branch-and-Price
19. Column Generation Heuristic
20. two-commodity flow model
21. Evolutionary Local Search
22. Multi Depot Capacitated Vehicle Routing Problem
23. Multi Depot Covering Tour Vehicle Routing Problem
24. Variable Neighborhood Search
25. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures
26. Relief Covering Tour Problem with Hard Time Windows
27. Relief Covering Tour Problem with Hard Time Windows
28. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures

29. Simulated annealing
30. Iterated Local Search
31. Non-dominated sorting genetic algorithm ii
32. Evolutionary Local Search
33. Genetic Algorithm

منابع

1. Altay, N., Green, W.G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, vol. 175(1), 475-493.
2. Gendreau, M., Laporte, G., Semet, F. (1997). The covering tour problem. *Operation Research*, vol. 45(4), 568-576.
3. Current, J.R., Schilling, D.A. (1989). The covering salesman problem. *Transportation Science*, vol. 23(3), 208-213.
4. Current, J.R., Schilling, D.A. (1994). The median tour and maximal covering tour problems: Formulations and heuristic. *European Journal of Operational Research*, vol. 73(1),114-126.
5. Hachicha, M., Hodgson, M.J., Laporte, G., Semet, F. (2000). Heuristic for the multi-vehicle covering tour problem. *Computers and Operations Research*, vol. 27(1), 29-42.
6. Motta, L., Ochi, L.S., Martinhon, C. (2001). Grasp metaheuristics for the generalized covering tour problem, Paper presented at the MIC2001-4th Metaheuristics Int Conf. Porto, Portugal.
7. Baldacci, R., Boschetti, M.A., Maniezzo, V., Zamboni, M. (2005). Scatter search methods for the covering tour problem Metaheuristic optimization via memory and evolution, Springer, 59-91.
8. Jozefowiez, N., Semet, F., Talbi, E.-G. (2007). The bi-objective covering tour problem. *Computers & Operations Research,* vol. 34(7), 1929-1942.
9. Nolz, P.C., Doerner, K.F., Gutjahr, W.J., Hartl, R.F. (2010). A bi-objective metaheuristic for disaster relief operation planning Advances in multi-objective nature inspired computing, Springer, 167-187.
10. Tricoire, F., Graf, A., Gutjahr, W. J. (2012). The bi-objective stochastic covering tour problem. *Computers & Operations Research*, vol. 39(7),1582-1592.
11. Naji-Azimi, Z., Renaud, J., Ruiz, A., Salari, M. (2012). A covering tour approach to the location of satellite distribution centers to supply humanitarian aid. *European Journal of Operational Research*, vol. 222(3), 596-605.
12. Salari, M., Naji-Azimi, Z. (2012). An integer programming-based local search for the covering salesman problem. *Computers & Operations Research*, vol. 39(11), 2594-2602.
13. Ebrahimi, A., Sahraeian, R. (2012). The Maximal Backup Covering Tour Problem, Paper presented at the 6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management.
14. Oliveira, W. A., Mello, M. P., Moretti, A. C., Reis, E. F. (2013). The multi-vehicle covering tour problem: building routes for urban patrolling, arXiv preprint arXiv:1309.5502.
15. Lopes, R., Souza, V.A., da Cunha, A.S. (2013). A Branch-and-price Algorithm for the Multi-Vehicle Covering Tour Problem, Electronic Notes in Discrete Mathematics, vol. 44, 61-66.
16. Hà, M.H., Bostel, N., Langevin, A., Rousseau, L.-M. (2013). An exact algorithm and a metaheuristic for the multi-vehicle covering tour problem with a constraint on the number of vertices. *European Journal of Operational Research*, vol. 226(2), 211-220.
17. Prins, C. (2009). A GRASP× evolutionary local search hybrid for the vehicle routing problem Bio-inspired algorithms for the vehicle routing problem, Springer, 35-53.
18. Allahyari, S., Salari, M., Vigo, D. (2015). A hybrid metaheuristic algorithm for the multi-depot covering tour vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, vol. 242(3), 756-768.
19. Kammoun, M., Derbel, H., Ratli, M., Jarboui, B. (2015). A variable neighborhood search for solving the multi-vehicle covering tour problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, vol. 47, 285-292.
20. Lien, Y.-N., Jang, H.-C., & Tsai, T.-C. (2009). A MANET based emergency communication and information system for catastrophic natural disasters. Paper presented at the 29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. Montreal, QC, Canada.

مدل تخصیص آسیب‌دیدگان در زلزله به بیمارستان‌ها با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری

هادی پازوکی طرودی *: کارشناسی ارشد مهندسی صنایع و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر، ایران، h.pazoki.ums@gmail.com
مصطفی حاجی آقایی کشتلی: استادیار، عضو هیأت علمی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران
رضا توکلی مقدم: استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

امروزه بلایای طبیعی همواره جان انسان‌ها و اموال و دارایی‌های آن را مورد تهدید قرار می‌دهد. زنجیره‌ی تأمین امداد، چابک‌ترین و پویاترین زنجیره‌های تأمین است. درواقع، نقش محوری زنجیره‌ی تأمین امداد در واکنش به بحران‌ها و کاستن از مشقت‌های وارده به انسان‌ها مشخص شده است. در مسائل تخصیص و مکان‌یابی در امداد هدف آن است که هر فرد آسیب‌دیده با توجه به تقاضا، خدمات و کالاها را از مراکز توزیع دریافت نماید و تأمین‌کنندگان نیز کالاها و خدمات را به مراکز توزیع عرضه نمایند. در این مقاله، هدف ارائه‌ی مدل ریاضی برای مسئله‌ی تخصیص آسیب‌دیدگان در زلزله به بیمارستان‌های موجود و صحرایی بالقوه با بهره‌گیری از الگوریتم‌های فراابتکاری است. لذا ابتدا به طراحی مدل ریاضی و نوآوری آن با هدف کمینه نمودن هزینه‌های تأسیس بیمارستان‌های صحرایی بالقوه، ارسال آسیب‌دیدگان و ارسال خدمات و کالاها از تأمین‌کنندگان به مراکز توزیع بیمارستانی پرداخته شد. سپس با بهره‌گیری از نرم‌افزار گمز[1] به اعتبارسنجی و صحت مدل ریاضی پرداخته شد و پس از آن با کدنویسی در نرم‌افزار متلب[2] و بهره‌گیری از الگوریتم‌های فرا ابتکاری کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات، نتایج قابل قبولی حاصل شد. پس از محرز شدن کارآمدی و به‌منظور قیاس الگوریتم‌ها، اقدام به اخذ تست پرابلم[3] از داده‌ها[4] گردید و در نهایت مشخص گردید در هر دو عامل زمان اجرا و مقادیر هزینه، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب عملکرد و کارایی مناسب‌تری دارد.

واژه‌های کلیدی: *زنجیره‌ی تأمین امداد، بیمارستان‌های صحرایی بالقوه، آسیب‌دیدگان در زلزله، الگوریتم‌های فرا ابتکاری*

Model of allocating earthquake-injured people to hospitals using the meta-heuristics algorithms

Hadi pazoki toroudi*[1], mostafa haji aghaee keshteli[2], Reza tavakoli moghadam[3]

Abstract

Today, natural disaster is threatening the lives of people and their assets and properties. Relief supply chain is the most agile and dynamic supply chain. Indeed, the pivotal role of relief supply chain has been identified in responding to crises and reducing the burden on humans. In this regard, the goal of allocating and locating issues is to allow each injured person to receive the services and goods from the distribution centers according to demand, and suppliers will also provide goods and services for the distribution centers. The present study tried to provide a mathematical model for the problem of allocating earthquake victims to existing and potential hospitals using ultra-innovative algorithms. For this purpose, first, the design of its mathematical model and its innovation aimed at minimizing the costs of establishing potential hospitals, sending injured people and sending services and goods from suppliers to hospitals. Then, the validation and accuracy of the mathematical model were evaluated using Gamz software. In the next step, acceptable results were obtained with coding in MATLAB, using fire suppression algorithms and optimizing particle swarm. After the efficiency was established, the problem test was used for the data in order to compare the algorithms. Finally, it was identified that the particle swarm optimization algorithm was superior to the firewall algorithm in both runtime and cost values.

Keywords: *earthquake, relief supply chain, potential field hospital, cost minimization, firefly algorithm.*

1. Master of Industrial Engineering and Member of Young and Elite Research Club of Islamic Azad University, Qaemshahr Branch, Iran ,h.pazoki.ums@gmail.com
2. Assistant Professor, Faculty Member of Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Behshahr, Iran
3. Prof., School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

مقدمه

سوانح طبیعی بخشی از بلایای زیست‌محیطی است و فراوانی بسیار زیاد حوادث و سوانح طبیعی در جهان، خود گویای این مسئله است. اما علیرغم پیشرفت علم و فناوری، انسان هنوز در مقابل عوارض سوانح و بلایای ناشی از دگرگونی‌های طبیعت مانند سیل، زلزله، طوفان و همچنین بلایای ناشی از ابزار دست ساخت خود آسیب‌پذیر است[۱]. بر اساس تحقیقات انجام شده با گذشت زمان تعداد حوادث و بحران‌های طبیعی و غیر مترقبه زمینی و اقیانوسی در هر سال در حال افزایش است. سوانح و بلایای طبیعی به‌منزله‌ی بخش جدایی‌ناپذیری از طبیعت همواره جوامع بشری را تحت تأثیر خود قرار داده و بروز آن‌ها موجب خسارات فراوان جانی و مالی گردیده است. تعداد انسان‌هایی که در معرض بحران‌های طبیعی قرار می‌گیرند نیز همچنان در حال افزایش است، چراکه در این حوادث، هزاران انسان در جهان در جریان وقوع بلایای طبیعی جان خود را از دست می‌دهند و صدها هزار نفر کشته و زخمی می‌شوند و تعداد کثیری نیز خانه و کاشانه‌ی خود را از دست می‌دهند [۲]. در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۵ میلادی در منطقه‌ی آسیا و اقیانوسیه بیش از ۱۶۲۵ مورد بلایای طبیعی گزارش شده است و حدود ۲/۲ میلیارد نفر نیز مستقیم یا غیر مستقیم تحت تأثیر خسارات ناشی از بلایای طبیعی قرار گرفتند به طوری که تنها بیش از ۵۲۳ میلیارد دلار خسارات اقتصادی این بلایای طبیعی بوده است. ضمن این‌که بیش از ۶۰ درصد مرگ‌های مرتبط با بلایای طبیعی در این مناطق جهان اتفاق افتاده است، یعنی می‌توان اذعان داشت که بیش از ۸۰ درصد از تأثیرات ناشی از بلایای طبیعی در آسیا اتفاق می‌افتد. بنا بر گزارشات سازمان‌های بین‌المللی در ۴۵ سال گذشته میزان خسارات اقتصادی ناشی از این بلایای طبیعی بیش از ۲/۸ تریلیون دلار که زلزله، سیل و سونامی مقصر بیش از ۹۱/۸ درصد کل این خسارات بوده‌اند[۳]. همچنین طبق تحقیقاتی دیگر، تعداد انسان‌های آسیب‌دیده در بین سال‌های ۲۰۰۶ الی ۲۰۱۶ میلادی نسبت به سال‌های ۱۹۹۵ الی ۲۰۰۵ میلادی سه برابر شده است. این افزایش در تعداد انسان‌های آسیب‌دیده مربوط به رشد جمعیت از یک طرف و نیز افزایش تعداد بحران‌ها از طرف دیگر در طول سال‌های نامبرده است [۴].

طبق تحقیقات انجام شده و آخرین نظریه‌های دانشمندان جهان، ریشه‌ی افزایش بحران‌ها و بلایای طبیعی مواردی چون تغییرات شدید اقلیمی و آب و هوایی و رشد پدیده‌هایی چون گرم شدن کره‌ی زمین، آب شدن یخ‌های قطبی، فعال شدن فعل و انفعالات گسل‌ها، انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخریب پوشش گیاهی و مراتع و جنگل‌ها به وسیله‌ی انسان‌ها است که همگی سبب رشد صعودی بحران‌ها و بلایای طبیعی در دو سه دهه‌ی اخیر شده است. در ادامه بر اساس آمارهای موجود در سال ۲۰۱۶، تعداد حوادث و بلایای طبیعی و تعداد انسان‌های کشته شده در حوداث و بلایای مختلف در چند سال اخیر گردآوری شده است [۵].

یکی از مخرب‌ترین حوادث طبیعی، زلزله است. تجربه نشان داده است که همواره زلزله با خسارات جانی و مالی فراوانی همراه بوده است [۱]. در واقع زلزله لرزش ناگهانی پوسته‌ی جامد زمین است که هر از چند گاهی در نواحی‌ای که بر روی بند زلزله‌خیز قرار دارند رخ می‌دهد. این پدیده‌ی طبیعی دارای خصوصیات و ویژگی‌های منحصر به فردی است. به عبارت دیگر لرزش ناگهانی پوسته‌های جامد زمین، زلزله یا زمین‌لرزه نامیده می‌شود. همچنین پس از وقوع زلزله نیز امکان روی دادن حوادثی پر مخاطره‌تر از قبیل رانش زمین، بهمن، آتش‌سوزی و حتی سونامی و سیل نیز بسیار فراهم می‌گردد که خود مؤید مهم بودن این حادثه است [۶]. از طرفی رشد سوانحی نظیر زلزله در سال‌های اخیر منجر به افزایش خسارات وارده به انسان‌ها و جوامع بشری شده است. به طوری که امروزه این نوع حوادث در هر سال به ده‌ها میلیون انسان خسارت وارد کرده و منجر به کشته شدن هزاران نفر شده است. از طرفی ماهیت تصادفی و غیر قابل پیش‌بینی زلزله هم خود مزیدی بر افزایش خسارات جانی و مالی در جوامع بشری است که این مسئله خود مؤید جایگاه و نقش یک زنجیره‌ی تأمین امدادرسانی در این رویداد مهم است [۷].

به‌طور کلی پس از روی دادن زلزله دو اقدام اساسی صورت می‌پذیرد که یکی عملیات تخلیه و امداد و نجات است و دیگری مدیریت زنجیره‌ی تأمین امداد است. به بیانی دیگر، زنجیره‌ی تأمین امداد پس از وقوع بلایا و حوادث، به افراد آسیب‌دیده، خدمات اضطراری و امدادرسانی ارائه می‌دهد، لذا برای برآورده‌سازی نیازهای مصدومان و حادثه‌دیدگان

جدول ۱: آمار تعداد حوادث و بلایای طبیعی بر اساس نوع پدیده در جهان در سال‌های ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۵ میلادی [۵]

ردیف	نوع حوادث و بلایای طبیعی	سال					
		۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵
۱	خشکسالی	۲۷	۲۴	۳۱	۱۳	۲۲	۳۳
۲	زلزله	۲۴	۳۰	۲۹	۲۸	۲۶	۲۱
۳	گرما و دماهای شدید	۳۴	۱۹	۵۲	۱۷	۱۸	۱۱
۴	سیل	۱۹۰	۱۶۰	۱۴۱	۱۴۹	۱۴۰	۱۵۴
۵	رانش زمین	۳۲	۱۷	۱۳	۱۱	۱۵	۱۹
۶	طوفان	۹۵	۸۶	۹۰	۱۰۵	۹۹	۱۱۴
۷	فعالیت‌های آتشفشانی	۳۲	۱۷	۱۳	۱۱	۱۵	۱۹
۸	آتش‌سوزی	۷	۸	۷	۱۰	۴	۱۱

جدول ۲: آمار انسان‌های کشته شده براساس نوع پدیده در جهان در سال‌های ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۵ میلادی [۵]

ردیف	نوع حوادث و بلایای طبیعی	سال					
		۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵
۱	خشکسالی	۱۰،۰۰۰	۱۰،۰۰۰	>۱۰،۰۰۰	>۱۰،۰۰۰	>۱۰،۰۰۰	>۱۰،۰۰۰
۲	زلزله	۲۲۶،۷۳۳	۲۰،۹۴۶	۷۱۱	۱،۱۲۰	۷۷۳	۹،۵۲۶
۳	گرما و دماهای شدید	۵۷،۰۶۴	۸۰۶	۱،۶۷۴	۱،۹۸۲	۱،۱۶۸	۷،۴۱۸
۴	سیل	۸،۴۸۱	۶،۱۵۱	۳،۵۷۷	۹،۸۱۹	۳،۵۷۴	۳،۴۰۸
۵	رانش زمین	۳،۴۲۷	۳۰۹	۵۰۱	۲۳۵	۹۴۳	۱،۰۰۰
۶	طوفان	۱،۵۶۴	۳،۱۰۳	۳،۱۰۵	۸،۶۰۳	۱،۴۲۴	۱،۲۶۰
۷	فعالیت‌های آتشفشانی	۳۲۳	۳	۱۴	۳۷	۱۰۲	۸۲
۸	آتش‌سوزی	۱۶۶	۱۰	۲۲	۳۵	۱۶	۶۴

جدول ۳: آمار خسارات برخی از زلزله‌های اخیر از نگاه مؤسسه‌ی USGS (سازمان زمین‌شناسی امریکا) [۸]

نام زلزله	سال	مکان	تخمین خسارات		
			کشته	مصدوم	آسیب‌دیده
پروجیا	۲۰۱۶	ایتالیا	۳۶۸	۳۰۰۰۰	۶۵۰۰۰
گرخا	۲۰۱۵	نپال	۷۱۲۸	۲۳۰۰۰	۲۸۰۰۰۰۰
فیلیپین	۲۰۱۳	فیلیپین	۵۲۳۵	۲۳۵۰۱	۱۱۰۰۰۰۰
توهوکو	۲۰۱۱	ژاپن	۲۰۸۹۶	۲۶۹۹۲	۴۵۰۰۰۰
هائیتی	۲۰۱۰	هائیتی	۳۱۶۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰
سیچوان	۲۰۰۸	چین	۶۹۱۹۵	۳۷۴۱۷۷	۵۰۰۰۰۰۰
کشمیر	۲۰۰۵	پاکستان	۸۶۰۰۰	۶۹۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰
بم	۲۰۰۳	ایران	۳۱۰۰۰	۳۰۰۰۰	۷۵۶۰۰
منجیل	۱۹۹۰	ایران	>۴۰۰۰	>۶۰۰۰۰	>۵۰۰۰۰۰

کاربرد ویژه‌ای دارد و از طریق تأمین و توزیع به موقع منابع و کالاهای امدادی از قبیل دارو، غذا و چادر برای آسیب‌دیدگان و همچنین حمل و نقل و انتقال مصدومان و آسیب‌دیدگان به مراکز درمانی محقق می‌گردد. بنابراین قسمت اعظم مدیریت در بحران زلزله همان مدیریت زنجیره‌ی تأمین امداد است چرا که با مدیریت مناسب در زنجیره‌ی تأمین امداد می‌توان خسارات ناشی از زلزله را به مقدار زیادی کاهش داد و از هزینه‌های آن کاست [۹، ۱۰]. به عبارت دیگر زنجیره‌ی تأمین امداد مدیریت یکپارچه بر پشتیبانی، رسیدگی به امور، حمل و نقل و توزیع کالا و ارائه‌ی خدمات به آسیب‌دیدگان است. در این زنجیره هیچ عملیاتی بدون پشتیبانی نمی‌تواند به اهداف خود دست یابد، لذا پشتیبانی و تدارکات و تأمین نیازهای میدان حادثه از مهم‌ترین اهداف زنجیره‌ی تأمین امداد است که به موفقیت عملیات امداد منجر خواهد گشت [۳].

پیشینه‌ی تحقیق

حاجی آقایی-کشتلی (۲۰۱۱) در مقاله‌ای با عنوان تخصیص مشتریان به مراکز توزیع بالقوه در شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین با الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ایمنی مصنوعی، تخصیص مشتریان به مراکز توزیع را در یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق، مدل پیشنهاد شده هزینه‌ی کل را با انتخاب برخی مکان‌های بالقوه به‌منزله‌ی مراکز توزیع برای تأمین تقاضای همه‌ی مشتریان به حداقل می‌رساند. برای حل مشکل، دو الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ایمنی مصنوعی ارائه شدند. به‌منظور مقایسه‌ی الگوریتم‌های پیشنهاد شده، اندازه‌های مختلف در نظر گرفته شد و نتایج محاسباتی حاصل از الگوریتم‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. همچنین یکی از دیگر نتایج این تحقیق نیز بیان نمود که مؤثر بودن الگوریتم‌های فرا ابتکاری به طور معنی‌داری وابسته به انتخاب صحیح پارامترها است [۱۱].

پازوکی طرودی و همکارانش (۲۰۱۷) در مقاله‌ای به بررسی و حل مسئله‌ی کمینه نمودن هزینه‌ی کل در برنامه‌ریزی یکپارچه‌ی تولید و توزیع در یک زنجیره‌ی تأمین پرداختند. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مسئله حل شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد مسئله، الگوریتم ژنتیک جواب‌هایی نزدیک به جواب بهینه و در زمان حل کمتر به دست می‌دهد [۱۲].

احمدی و همکاران (۲۰۱۵) با توجه به از بین رفتن شبکه‌ی حمل و نقل پس از زلزله، با ارائه‌ی یک مدل تصادفی دو مرحله‌ای، سعی در تعیین مکان مراکز توزیع و تسهیلات دارد [۱۳].

والجو و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل تصمیم‌گیری دو سطحه در زنجیره‌ی تأمین امداد ارائه دادند که سطح اول آن برنامه‌ی توزیع اقلام و کالاها از انبارهای تعیین شده به نقاط آسیب‌دیده بوده و سطح دوم آن برنامه‌ریزی برای دریافت اقلام و کالاهای امدادی از سایر کشورهای جهان است [۱۴].

گان و همکاران (۲۰۱۵)، یک مدل تک دوره‌ای و قطعی مسیریابی و زمان‌بندی برای توزیع اقلام امـدادی از مرکز امدادرسانی به نقاط حادثه‌دیده با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت، ارائه دادند که امکان خدمت‌دهی به هر نقطه‌ی حادثه‌دیده را فقط توسط یک وسیله در نظر گرفته‌اند [۱۵].

سانگ و لی (۲۰۱۶) در پژوهشی مسئله‌ی مسیریابی و تعیین بیمارستان مقصد آسیب‌دیدگان در حوادث را به صورت همزمان مورد بررسی قرار دادند [۱۶].

ذکایی و همکاران (۲۰۱۶) برای عملیات امدادی و کمک‌های بشردوستانه که دارای شرایط غیرقطعی هستند، یک مدل زنجیره‌ی تأمین سه سطحی شامل تأمین‌کنندگان، مراکز امدادی و مناطق بحران زده در نظر گرفتند. مدل آنان در عین حداقل ساختن هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین، به دنبال بیشینه ساختن رضایت مردم آسیب‌دیده است [۱۷].

یانگ داعه کو و همکاران (۲۰۱۶) تصمیمات مکان‌یابی، تخصیص، ظرفیت مراکز تسهیلات پزشکی اضطراری را بر منطقه‌ای مفروض با قوانین مشخصی مطالعه کردند. در این پژوهش فرض شد هر مرکز کاندیدا شده، توانایی و ظرفیت اولیه‌ی مشخصی برای انجام خدمات پزشکی دارد. همچنین تعداد بیماران و نوع بیماری آن‌ها پارامتری دانسته شده در نظر گرفته شد. در این مطالعه، برای ارزیابی عملکرد مدل از شبیه‌سازی استفاده گردید. بنابراین، پاسخ‌های قطعی برای حل مدل در شرایط تصادفی ارائه شد [۱۸].

علی بزرگی امیری و همکاران (۲۰۱۶) در مدلی نشان دادند مکان‌یابی مجدد کالاها و مکان‌های امدادی به توزیع کارای امداد توسط شبکه‌ی لجستیک بحران کمک می‌کند. این پژوهش به ارائه‌ی مدل مکان‌یابی - تخصیص و برنامه‌ریزی توزیع در عین حال ارائه‌ی بهترین سیاست‌گذاری برای تجدید کالاهای فسادپذیر در فاز قبل بحران پرداخته است. همچنین، برای مقابله با عدم قطعیت مسئله از روش روباست استفاده کرده است. کارایی مدل با مطالعه‌ی موردی در ایران نشان داده شده است [۱۹].

توکلی مقدم و همکارانش (۲۰۱۶) در پژوهشی به طراحی یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امداد منسجم و قوی با توجه به توزیع کالاها با ماهیت فاسدشدنی پرداختند. در این پژوهش کالاهای فاسدشدنی از قبیل کالاهای پزشکی و غذایی از قبیل شیر دارای طول عمر مشخصی است که در شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امداد برای استفاده‌ی آسیب‌دیدگان در نقاط تقاضا توزیع می‌گردد. در این پژوهش، فاجعه چنین در نظر گرفته شد که ممکن است پس از یک مدت زمان طولانی رخ دهد [۲۰].

عابد اف و داودپـور (۲۰۱۷) در پـژوهش خـود یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای لجستیک مجروحان تحت شرایط عـدم قطعیت ارائـه دادنـد، کـه شامل اهـداف بشردوستانـه و هزینه‌ای است. همچنین مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه در انتقال مجروحان و مکان‌یابی ایستگاه‌های درمانی در صورت کمبود ظرفیت بیمارستان‌ها، لحاظ شده است. برای بهینه‌سازی مسئله‌ی تحت شرایط عدم قطعیت از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده است. با توجه به اولویت و اهمیت در اهداف روش لکسیکوگرافیک برای حل مسئله به کار گرفته شده است. مدل ارائه شده بر اساس طراحی یک مسئله در ابعاد واقعی پیاده‌سازی و نتایج آن به صورت کامل ارائه گردید [۲۱].

صبوحی و همکارانش (۲۰۱۷) شبکه‌ای شامل مراکز توزیع اقلام امـدادی و مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفتند و یک مدل چند کالایی برای مسیریابی و زمان‌بندی همزمان وسایل امدادی پیشنهاد و ارائه دادند. هدف مدل پیشنهادی، کمینه‌سازی کل زمان تحویل اقلام به مناطق آسیب‌دیده با در نظر گرفتن خرابی و اختلال در مسیرها ناشی از وقوع بلایا است که این اختلال به صورت سناریویی در نظر گرفته شد. همچنین برای نزدیک‌تر شدن به دنیای واقعی، چندین مرکز توزیع اقلام امدادی، محدودیت تعداد و ظرفیت برای وسایل امدادی در نظر گرفته شده است. در ادامه برای نشان دادن کاربردپذیری مدل پیشنهادی، مثال عددی بیان شده و مدل بر روی آن اجرا و نتایج محاسباتی ارائه گردید [۲۲].

روش تحقیق

تعریف مسئله: در این تحقیق، سه سطح از شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین، تحت عنوان تأمین‌کنندگان، مراکز توزیع (بیمارستان) و مشتریان (افراد آسیب‌دیده در زلزله) تحت مطالعه قرار گرفته است. در واقع مناطقی در یک شهر بر اساس مراکز جمعیتی تقسیم‌بندی شده که هر منطقه نیز دارای یک نرخ تقاضا است. در این مناطق نیز یکسری مراکز توزیع بالقوه به نام بیمارستان‌های صحرایی بالقوه برای خدمات‌دهی به مردم حادثه دیده در زلزله پیش‌بینی گردیده است. همچنین در شهر نیز تعدادی بیمارستان‌های فیزیکی بالفعل و موجود نیز از قبل موجود است. همچنین یکسری تقاضای امدادرسانی بعد از وقوع زلزله در یک شهر توسط مردم آسیب‌دیده وجود دارد که هر بیمارستان موجود و صحرایی موصوف می‌تواند به مردم آسیب‌دیده خدمات مورد نظر را ارائه نماید.

هر کـدام از ایـن مراکـز تـوزیـع (بـیـمارسـتـان‌هـای مـوجـود و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه) نیز می‌توانند نوع خدمت را به مردم آسیب‌دیده در زلزله ارائه نمایند.

از طرفی نـوع هزینه‌هایی که در ایـن مطالعه در نظر گرفته شده است شامل هزینه‌ی افتتاح (تأسیس) و دیگری هزینه‌ی انتقال (ارسال) است. در هزینه‌ی افتتاح فرض بر این شده است که این هزینه برای افتتاح مراکز توزیع (بیمارستان‌های صحرایی بالقوه) مورد بهره‌برداری قرار گیرد و هزینه‌های انتقال هم که در بر گیرنده‌ی هزینه‌های انتقال مـردم آسیب‌دیده (مشتریان) از مناطق زلزله‌زده است به مراکز توزیع و ارسال کالاها و خدمات به آسیب‌دیدگان در زلزله اختصاص یابد.

به عبارت دیگر از هر مرکز توزیع به مناطقی که زلزله روی داده است طبیعتاً یک فاصله و یک هزینه برای انتقال مردم آسیب‌دیده و ارائه‌ی خدمات و کالاهای امدادی و درمانی وجود دارد.

در این تحقیق هدف آن است که ابتدا مراکز توزیع بالقوه‌ای به‌منظور تأمین خواسته‌ها و نیازهای مـردم آسیب‌دیده از زلزله تأسیس گردد و در ادامه با احتساب عرضه‌ی کالاها و خدمات از تأمین‌کنندگان و تقاضای موجود و مراکز توزیع (بیمارستان‌های

موجود و صحرایی بالقوه)، هزینه‌ی افتتاح و هزینه‌ی انتقال با یک نوع خدمت و چند نوع خدمتی، کمینه گردد. ضمناً در این تحقیق فرض شد که مراکز توزیع بالقوه، ظرفیت مشخص و محدودی دارند. به‌منظور حل مدل در این تحقیق از الگوریتم‌های فرا ابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات و کرم شب‌تاب بهره برده شده است.

مفروضات مسئله

به‌منظور توسعه‌ی مدل ریاضی زنجیره‌ی تأمین امداد در حادثه‌ی زلزله فرضیات زیر مد نظر قرار گرفته است:

۱. سطوح شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امداد در این تحقیق به صورت سه سطحی شامل تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان است که همان آسیب‌دیدگان در زلزله هستند.
۲. شهر بر اساس مراکز جمعیتی به مناطقی تقسیم شده است و هر منطقه دارای یک نرخ تقاضا است.
۳. در مناطق مورد نظر در شهر هم یکسری مراکز توزیع بالقوه به نام بیمارستان‌های صحرایی بالقوه برای خدمات‌دهی به مردم حادثه دیده در زلزله پیش‌بینی شده است.
۴. یکسری هم تأمین کننده برای عرضه‌ی کالاها و خدمات به مراکز توزیع موجود است.
۵. در شهر مورد مطالعه هم تعدادی بیمارستان موجود با جایگاهی ثابت وجود دارد که آماده‌ی خدمات‌دهی به آسیب‌دیدگان است.
۶. با توجه به بروز زلزله و امکان خرابی و یا آسیب ساختمان‌های بیمارستان‌های موجود در شهر مورد مطالعه، ظرفیت سرویس‌دهی بیمارستان‌های موجود شهر موصوف برای خدمات به آسیب‌دیدگان در زلزله، ۵۰ درصد فرض شده است.
۷. ظرفیت سرویس‌دهی بیمارستان‌های صحرایی بالقوه هم مشخص و محدود است.
۸. بعد از وقوع زلزله در شهر هم یکسری تقاضای امدادرسانی توسط مردم آسیب‌دیده وجود دارد که بیمارستان‌های موجود و بالقوه‌ی صحرایی می‌توانند خدمات مورد نظر را ارائه دهند.
۹. هر کدام از این مراکز توزیع (بیمارستان‌های موجود و بالقوه) نیز می‌توانند نوع خدمت را به مردم آسیب‌دیده ارائه نمایند.
۱۰. دو نوع هزینه در این تحقیق وجود دارد که یکی هزینه‌ی افتتاح است که این هزینه برای افتتاح مراکز توزیع بالقوه (بیمارستان‌های صحرایی) مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و دیگری هزینه‌ی انتقال است که در برگیرنده‌ی هزینه‌های انتقال مردم آسیب‌دیده از مناطق زلزله‌زده به مراکز توزیع برای بهره‌مندی از خدمات و کالاها در نظر گرفته شده است.
۱۱. از هر مرکز توزیع به مناطقی که زلزله روی داده است هم طبیعتاً یک فاصله و یک هزینه برای انتقال مردم آسیب‌دیده و ارائه‌ی خدمات امدادی و درمانی وجود دارد.
۱۲. توابع هدف شامل کمینه‌سازی هزینه‌های ارسال افراد آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها، انتقال کالا و خدمات از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها و در نهایت هم هزینه‌ی احداث بیمارستان‌های صحرایی بالقوه است.

نمادها

به‌منظور توسعه‌ی مدل ریاضی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امداد در زلزله نمادهای زیر استفاده شده‌اند.

مجموعه‌ها

i : اندیس تأمین‌کنندگان : $i = 1,...,I$
j : اندیس بیمارستان‌های موجود: $j = 1,...,J$
k : اندیس بیمارستان‌های صحرایی بالقوه: $k = 1,...,K$
h : اندیس بیمارستان‌ها: $H = J \cup K,\ h = 1,...,H$
r : اندیس افراد آسیب‌دیده در زلزله: $r = 1,...,R$
l : اندیس نوع کالا و خدمات برای سرویس‌دهی به افراد آسیب‌دیده در زلزله: $l = 1,...,L$

پارامترها

f_k : هزینه‌ی ثابت تأسیس یا افتتاح بیمارستان صحرایی بالقوه‌ی k
Q_i : ظرفیت عرضه‌ی کالا و خدمات توسط تأمین‌کننده‌ی i (در حالت تک خدمتی)
Q_{il} : ظرفیت عرضه‌ی کالا و خدمات نوع توسط تأمین‌کننده‌ی i (در حالت چند خدمتی)
q_h : ظرفیت هر بیمارستان
d_r : میزان تقاضای شخص آسیب‌دیده‌ی r به کالا و خدمات (در حالت تک خدمتی)
d_{rl} : میزان تقاضای شخص آسیب‌دیده‌ی r به کالا و خدمات نوع (در حالت چند خدمتی)
c_{rh} : هزینه‌ی انتقال فرد آسیب‌دیده‌ی r به بیمارستان h
c_{ih} : هزینه‌ی ارسال کالا و خدمات از تأمین‌کننده‌ی i به بیمارستان h (در حالت تک خدمتی)
c^l_{ih} : هزینه‌ی ارسال کالا و خدمات نوع از تأمین‌کننده‌ی i به بیمارستان h (در حالت چند خدمتی)
n : حداکثر تعداد بیمارستان صحرایی بالقوه‌ی k

متغیرهای تصمیم

x_{rj} : برابر است با یک اگر شخص آسیب‌دیده‌ی r در زلزله به بیمارستان موجود j تخصیص یابد در غیر این صورت صفر.
w_{rk} : برابر است با یک اگر شخص آسیب‌دیده‌ی r در زلزله به بیمارستان صحرایی بالقوه‌ی k تخصیص یابد در غیر این صورت صفر.
Y_k : برابر است با یک اگر بیمارستان صحرایی بالقوه‌ی k تأسیس شود در غیر این صورت صفر.
Z_{ih} : میزان کالا یا خدمات ارسال شده از تأمین‌کننده‌ی i به بیمارستان h (در حالت تک خدمتی).

Z_{ih}^{l}: میزان کالا یا خدمات نوع ارسال شده از تأمین‌کننده‌ی i به بیمارستان h (در حالت چند خدمتی).

مدل ریاضی

در این مدل هدف کمینه نمودن هزینه‌ها مدنظر است. در واقع این مدل از حاصل جمع چهار بخش ایجاد شده است که تابع هدف این مدل به ترتیب شامل هزینه‌های ارسال افراد آسیب‌دیده به بیمارستان‌های موجود، ارسال افراد آسیب‌دیده به بیمارستان‌های صحرایی بالقوه، انتقال کالا و خدمات از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها و در نهایت هم هزینه‌ی احداث و راه اندازی بیمارستان‌های صحرایی بالقوه است.

$$MinZ = \sum_{r=1}^{R}\sum_{j=1}^{J} c_{rj}\, x_{rj} + \sum_{r=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} c_k\, w_k + \sum_{l=1}^{L}\sum_{i=1}^{I}\sum_{h=1}^{H} c_h^l\, Z_h^l + \sum_{k=1}^{K} f_k Y_k$$

s.t.

رابطه‌ی ۱:
$$\sum_{j=1}^{J} x_{rj} + \sum_{k=1}^{K} w_k = 1 \quad \forall r = 1,\ldots,R$$

رابطه‌ی ۲:
$$\sum_{k=1}^{K} Y_k \le n$$

رابطه‌ی ۳:
$$\sum_{r=1}^{R} x_{rj} \le q_j \qquad \forall j = 1,\ldots,J$$

رابطه‌ی ۴:
$$\sum_{r=1}^{R} w_{rk} \le q_k Y_k \quad \forall k = 1,\ldots,K$$

رابطه‌ی ۵:
$$\sum_{h=1}^{H} Z_{ih}^{l} \le Q_l \qquad \forall i = 1,\ldots,I,\ \forall l = 1,\ldots,L$$

رابطه‌ی ۶:
$$\sum_{i=1}^{I} Z_{ij}^{l} = \sum_{r=1}^{R} d_{rt}\, x_{rj} \qquad \forall l = 1,\ldots,L,\ \forall j = 1,\ldots,J$$

رابطه‌ی ۷:
$$\sum_{i=1}^{I} Z_{ik}^{l} = \sum_{r=1}^{R} d_{rt}\, w_{rk} \qquad \forall k = 1,\ldots,K$$

رابطه‌ی ۸:
$$x_{rj},\ w_{rk},\ Y_k \in \{0,1\},\ Z_h^l \ge 0$$

محدودیت ۱ بیان می‌دارد هر فرد آسیب‌دیده در زلزله را دقیقاً به یک بیمارستان موجود یا صحرایی بالقوه تخصیص می‌دهد.

محدودیت ۲ حداکثر تعداد بیمارستان‌های صحرایی بالقوه را بیان می‌نماید.

محدودیت ۳ و ۴ محدودیت ظرفیت بیمارستان‌های موجود و صحرایی بالقوه است. علاوه بر آن محدودیت ۴ تضمین می‌نماید که هر فرد آسیب‌دیده در صورتی به بیمارستان‌های صحرایی بالقوه تخصیص می‌یابد که آن بیمارستان تأسیس شده باشد.

محدودیت ۵ محدودیت عرضه‌ی تأمین‌کنندگان است.

محدودیت ۶ و ۷ محدودیت بالانس عرضه و تقاضای مراکز توزیع (بیمارستان‌ها) است.

محدودیت ۸ متغیرهای تصمیم مسئله را نشان می‌دهد.

یافته‌های تحقیق

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[۵]

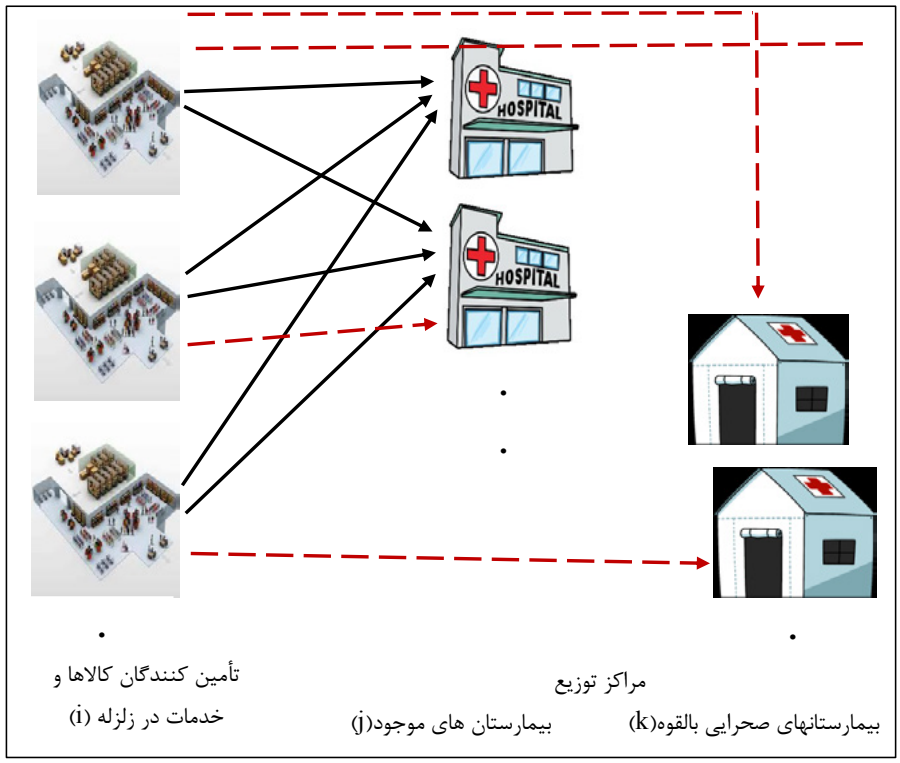
الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌منزله‌ی یک تکنیک جستجو اولین مرتبه توسط ابرهارت[۶] و کندی[۷] و در سال ۱۹۹۵ با الهام از حرکت و رفتار اجتماعی گروهی پرندگان و ماهی‌ها هنگامی‌که دنبال غذا می‌گردند پیشنهاد و معرفی گردید. این الگوریتم یک الگوریتم پیوسته است و اعضای جمعیت جواب‌ها، به صورت مستقیم با یکدیگر در ارتباط هستند و از طریق تبادل اطلاعات، به حل مسئله می‌رسند [۲۳].

اساس کار آن بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون خود در آن قرار گرفته و بهترین مکانی که در کل یافت شده است، تنظیم می‌کند. در pso، ذرات در فضای جستجو جاری می‌شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خودشان و همسایگانشان است. بنابراین موقعیت دیگر ذرات روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. نتیجه‌ی مدل‌سازی این رفتار اجتماعی، فرایند جستجویی است که ذرات به سمت نواحی موفق حرکت می‌نمایند.

در این راستا، ذرات از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش به دست آمده به سمت بهترین همسایگان خود حرکت می‌نمایند. در این تکنیک از مفهوم «جانمایی همسایگی[۸]» استفاده می‌شود. مفهوم جانمایی، یعنی هر ذره بهترین موقعیت قبلی خود و هر یک از ذرات موجود در جمعیت را به خاطر می‌آورد و به عبارت دیگر در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند. هر راه حل که به آن یک ذره گفته می‌شود، یک مقدار شایستگی دارد که توسط یک تابع شایستگی محاسبه می‌شود. همچنین در این الگوریتم هر ذره دارای یک بردار سرعت نیز هست که هدایت حرکت ذره را بر عهده دارد. هر ذره با دنبال کردن ذرات بهینه در حالت فعلی، به حرکت خود در فضای مسئله ادامه می‌دهد. به عبارت دیگر گروهی از ذرات در آغاز به کار، به صورت تصادفی به وجود می‌آیند و با به روز کردن نسل‌ها سعی در یافتن راه حل بهینه می‌نمایند [۲۴].

الگوریتم کرم شب‌تاب[۹]

الگوریتم کرم شب‌تاب یکی از جدیدترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش دسته‌جمعی است که اولین بار در سال ۲۰۰۸ توسط فردی به نام یانگ[۱۰] و بر اساس رفتار خاموش و روشن شدن کرم‌های شب‌تاب معرفی و طراحی شد. استفاده از این الگوریتم نیز روز به روز رو به افزایش است. نحوه‌ی عملکرد الگوریتم



تصویر۱: نمای کلی از شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امداد مورد مطالعه در تحقیق

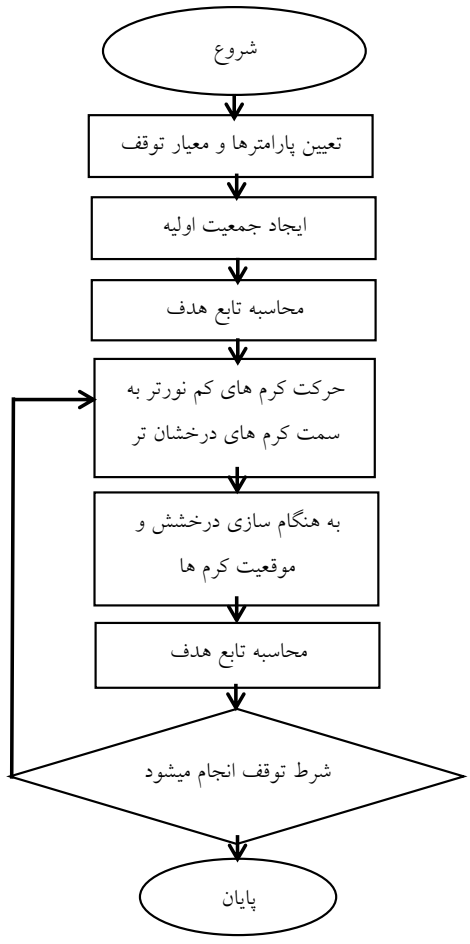
کرم شب‌تاب بدین صورت است که ابتدا تعدادی کرم شب‌تاب به طور تصادفی توزیع می‌شوند و سپس هر کرم شب‌تاب از خود نوری ساطع می‌کند که شدت آن متناسب با میزان بهینگی نقطه‌ای است که آن کرم شب‌تاب در آن واقع شده است. سپس شدت نور هر کرم شب‌تاب مرتباً با شدت نور سایر کرم‌های شب‌تاب مقایسه شده و کرم شب‌تاب کم نورتر به سوی کرم‌های شب‌تاب پر نور تر جذب می‌شود. در عین حال پرنورترین کرم شب‌تاب نیز با هدف افزایش شانس یافتن جواب بهینه‌ی سراسری به طور تصادفی در دامنه‌ی مسئله حرکت می‌کند. در این الگوریتم کرم‌های شب‌تاب از طریق انتشار نور به تبادل اطلاعات با یکدیگر می‌پردازند. ترکیب این عملیات دسته‌جمعی باعث می‌شود که گرایش کلی کرم‌های شب‌تاب به سوی نقطه‌ی بهینه‌تر باشد [۲۵].

تولید کروموزوم برای حل مدل توسط الگوریتم‌های مورد مطالعه

با توجه به مدل ارائه شده برای تولید کروموزوم و جواب‌های اولیه، به ذکر مثالی نمونه در این خصوص پرداخته می‌شود.

داده‌ها برای حل مثال نمونه

در این مثال مراکزی به‌منزله‌ی تأمین‌کننده که به بیمارستان‌های موجود و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه ارائه خدمت می‌کنند و به آن‌ها کالاها و خدمات مورد نظر را ارائه و ارسال می‌کنند با عنوان I وجود دارند. همچنین تعدادی بیمارستان موجود در شهر تحت عنوان J و تعدادی هم بیمارستان‌های صحرایی بالقوه در مناطقی تعیین شده تحت عنوان K موجود است. ضمناً چندین خدمت و کالا هم برای ارسال به این بیمارستان‌ها برای مصدومین تحت عنوان L قابل تعریف است. همچنین تعدادی هم افراد آسیب‌دیده در زلزله تحت عنوان R با تقاضاهای خاص



تصویر۲: نمودار مراحل عملیاتی الگوریتم کرم شب‌تاب [۲۶]

وجود دارند که مقرر است به بیمارستان‌های موجود و پس از آن به بیمارستان‌های صحرایی بالقوه اعزام و ارسال گردند تا تحت مداوا و درمان قرار گیرند. در ادامه داده‌هایی به شرح ذیل برای این مدل تعیین شده است.

- تعداد مراکز تأمین‌کننده: ۳ مرکز (i=3)
- تعداد بیمارستان‌های موجود بالفعل: ۲ بیمارستان (j=2)
- تعداد بیمارستان‌های صحرایی بالقوه: ۴ بیمارستان (k=4)
- ماکزیمم بیمارستان‌های صحرایی (n=2)
- تعداد کلی بیمارستان‌ها: ۶ بیمارستان (h=j+k)
- تعداد آسیب‌دیدگان در زلزله: ۱۲ نفر (r=12)
- ظرفیت هر بیمارستان: (q=3 4 3 2 4 3)
- هزینه‌ی تاسیس یا افتتاح بیمارستان‌های صحرایی بالقوه: (f=30 20 40 30)
- هزینه‌ی ارسال و حمل و نقل افراد آسیب‌دیده در زلزله (r) به بیمارستان‌ها (h) :

C1=[5 5 3 4 1 1; 2 2 3 4 5 2; 5 4 1 3 1 1; 2 4 2 1 4 1; 1 2 1 2 5 5; 2 3 4 5 5 3; 4 1 2 1 1 3; 3 1 3 5 2 1; 2 3 1 3 2 5; 5 4 4 5 5 4; 3 5 2 1 3 2; 3 1 4 3 5 3]

- هزینه ارسال و حمل و نقل خدمات و کالاهای درمانی و امدادی (l) از تأمین‌کننده (i) به بیمارستان‌ها (h):

C2 (:,:,1)=[3 5 2 2 3 1; 1 3 3 5 2 5; 2 3 1 1 4 4]

C2 (:,:,2)=[1 2 1 1 1 3; 1 5 5 1 4 3; 2 2 5 4 1 3]

C2 (:,:,3)=[3 1 3 4 2 2; 1 4 1 4 4 3; 5 2 2 3 4 3]

- مقدار تقاضای آسیب‌دیدگان در زلزله (r) برای کالاها و خدمات (l):

d=[6 4 8; 5 5 5; 6 5 7; 7 7 4; 7 4 4; 5 7 7; 5 4 6; 8 7 6; 4 6 8 ;8 7 7; 8 7 7; 7 8 8]

اعتبارسنجی مدل با بهره‌گیری از نرم افزار گمز

در ادامه‌ی کار برای اعتبار سنجی مدل با استفاده از داده‌ها و بهره گیری از نرم‌افزار گمز، کد نویسی در آن محیط انجام شد و نتایج آن به شرح تصاویر ۳ و ۴ ارائه گردیده است.

در تصویر ۳ مقادیر متغیرهای تصمیم و همچنین تخصیص آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های فعال مشخص شده است. همچنین در این تصویر بیمارستان‌های فعال نیز با توجه به ماهیت صفر و یک بودن متغیر Yk مشخص شده است.

در تصویر ۴ نیز با توجه به تخصیص آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های فعال، میزان عرضه‌ی خدمات و کالاها از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها با احتساب سه نوع خدمت در نرم‌افزار گمز ارائه شده است.

در واقع پس از ورود داده‌ها و کدنویسی در نرم‌افزار گمز و اخذ خروجی از آن، بیمارستان‌های فعال و نحوه‌ی تخصیص ۱۲ نمونه از آسیب‌دیدگان در زلزله به بیمارستان‌ها مشخص گردید که در جدول ۴ نشان داده شده است. با نگاهی به جدول مذکور می‌توان پی برد که هر دو بیمارستان موجود j_1 و j_2 فعال هستند

```
----     110 VARIABLE X.L

            j1          j2

r1                   1.000
r2          1.000
r5          1.000
r6                   1.000
r7                   1.000
r8          1.000
r9                   1.000
```

```
----     110 VARIABLE W.L

            k1          k2

r3          1.000
r4                      1.000
r10         1.000
r11                     1.000
r12         1.000
```

تصویر ۳: نتایج خروجی متغیرهای تصمیم در نرم‌افزار گمز

```
----     110 VARIABLE Y.L

k1 1.000,     k2 1.000


----     110 VARIABLE Z.L

              l1          l2          l3

i1.j2                   18.000      29.000
i1.k1       21.000      20.000
i1.k2       10.000       4.000
i2.j1       20.000      16.000      15.000
i2.j2       10.000
i2.k2                   10.000
i3.j2       10.000       3.000
i3.k1                               22.000
i3.k2        5.000                  11.000


----     110 VARIABLE obj.L                  =      439.000
```

تصویر ۴: نتایج تخصیص تأمین‌کننده‌ها به بیمارستان‌های فعال در نرم‌افزار گمز و مقدار بهینه‌ی تابع هدف

جدول ۴: تخصیص آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌ها

		بیمارستان‌های موجود و صحرایی بالقوه					
		j_1	j_2	k_1	k_2	k_3	k_4
آسیب دیدگان در زلزله	r_1		*				
	r_2	*					
	r_3			*			
	r_4				*		
	r_5	*					
	r_6		*				
	r_7		*				
	r_8	*					
	r_9		*				
	r_{10}			*			
	r_{11}				*		
	r_{12}			*			

جدول ۵: تخصیص و مقادیر نوع خدمت از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها

		نوع خدمت		
		L_1	L_2	L_3
تأمین کنندگان	$i_1 . j_2$	۰	۱۸	۲۹
	$i_1 . k_1$	۲۱	۲۰	۰
	$i_1 . k_2$	۱۰	۴	۰
	$i_2 . j_1$	۲۰	۱۶	۱۵
	$i_2 . j_2$	۱۰	۰	۰
	$i_2 . k_2$	۰	۱۰	۰
	$i_3 . j_2$	۱۰	۳	۰
	$i_3 . k_1$	۰	۰	۲۲
	$i_3 . k_2$	۵	۰	۱۱

و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه k_1 و k_2 نیز فعال و در نهایت بیمارستان‌های صحرایی بالقوه k_3 و k_4 غیر فعال هستند.

همچنین با توجه به سه نوع خدمت تعریف شده در مثال و با عنایت به نتایج نرم‌افزار گمز مقادیر هر کدام از این سه نوع خدمت در تعامل با تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌های فعال در جدول ۵ منعکس شده است.

در واقع تأمین‌کننده‌ی اول فقط به بیمارستان موجود دوم و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه‌ی اول و دوم کالاها و خدمات را ارسال می‌نماید و تأمین‌کننده‌ی دوم نیز به بیمارستان‌های موجود اول و دوم و بیمارستان صحرایی بالقوه‌ی دوم کالا و خدمات ارسال می‌نماید و در نهایت نیز تأمین‌کننده‌ی سوم به بیمارستان موجود دوم و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه اول و دوم کالا و خدمات ارسال می‌نماید.

براساس جدول فوق مشخص می‌گردد که از سه نوع خدمت با توجه به نوع بیمارستان هر تأمین‌کننده چه مقدار کالا و خدمات را به بیمارستان‌های فوق‌الذکر ارسال می‌نماید.

همچنین طبق جدول ۵ نیز می‌توان گفت هر بیمارستان فعال چه میزان کالاها و خدمات به تفکیک نوع خدمت از تأمین‌کننده‌ها دریافت می‌نماید.

همچنین طبق جدول ۷ میزان کالاها و خدمات عرضه‌شده از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌های فعال به تفکیک نوع خدمت منعکس شده است.

جدول ۶ : میزان تقاضای کالاها و خدمات بیمارستان‌ها بر اساس نوع خدمت

		نوع خدمت		
		L_1	L_2	L_3
بیمارستان‌ها	j_1	۲۰	۱۶	۱۵
	j_2	۲۰	۲۱	۲۹
	k_1	۲۱	۲۰	۲۲
	k_2	۱۵	۱۴	۱۱

جدول۷: میزان عرضه کالاها و خدمات از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها بر اساس نوع خدمت

		نوع خدمت		
		L_1	L_2	L_3
تأمین کنندگان	i_1	۳۱	۴۲	۲۹
	i_2	۳۰	۲۶	۱۵
	i_3	۱۵	۳	۳۳

جدول ۸: محاسبه‌ی مقدار هزینه‌ها به تفکیک چهار بخش مدل ریاضی تحقیق

ردیف	نوع هزینه	مقدار محاسبه شده
۱	بخش اول تابع هدف: هزینه‌ی ارسال آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های موجود فعال	۱۸
۲	بخش دوم تابع هدف: هزینه‌ی ارسال آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های صحرایی بالقوه‌ی فعال	۱۱
۳	بخش سوم تابع هدف: هزینه‌ی ارسال خدمات از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌های فعال	۳۶۰
۴	بخش چهارم تابع هدف: هزینه‌ی استقرار بیمارستان‌های صحرایی بالقوه (فعال)	۵۰
جمع کل (مقدار تابع هدف محاسبه شده)		۴۳۹

در ادامه نیز با توجه به مدل ریاضی تحقیق و مقادیر دیتاهای هزینه و با توجه به بیمارستان‌های فعال و خدمات و کالاهای ارسالی از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌های فعال، مقادیر هزینه‌ها به شرح جدول ذیل و به صورت دستی محاسبه شده است:

$$MinZ = \sum_{r=1}^{R}\sum_{j=1}^{J} c_{jr}\, x_{jr} + \sum_{r=1}^{R}\sum_{k=1}^{K} c_k\, w_k + \sum_{l=1}^{L}\sum_{i=1}^{I}\sum_{h=1}^{H} c_h^l\, Z_h^l + \sum_{k=1}^{K} f_k Y_k$$

مقدار بهینه‌ی تابع هدف مدل مسئله نیز با بهره‌گیری از نرم‌افزار گمز عدد ۴۳۹ حاصل شده است که صحت و درستی مدل و فرایند انجام حل آن را تضمین می‌نماید.

تشکیل کروموزوم برای حل مسئله

با توجه به دیتاهای تعریف شده و مدل ریاضی تحقیق، کروموزومی به تعداد آسیب‌دیدگان در زلزله تشکیل می‌دهیم که در هر خانه (ژن) این کروموزوم یک عدد که نشان‌دهنده‌ی بیمارستان‌های موجود یا بیمارستان‌های صحرایی بالقوه هست قرار می‌گیرد. در واقع بیانگر آن است که آن فرد آسیب‌دیده به یکی از بیمارستان‌های مشخص شده اختصاص می‌یابد. در تشکیل این کروموزوم این نکته رعایت شده است که حداکثر n بیمارستان صحرایی بالقوه به آسیب‌دیدگان در زلزله اختصاص می‌یابد و بیمارستانی هم از حداکثر ظرفیت تعریف‌شده‌ی خود، فرد آسیب‌دیده‌ی بیشتری پذیرش ننماید.

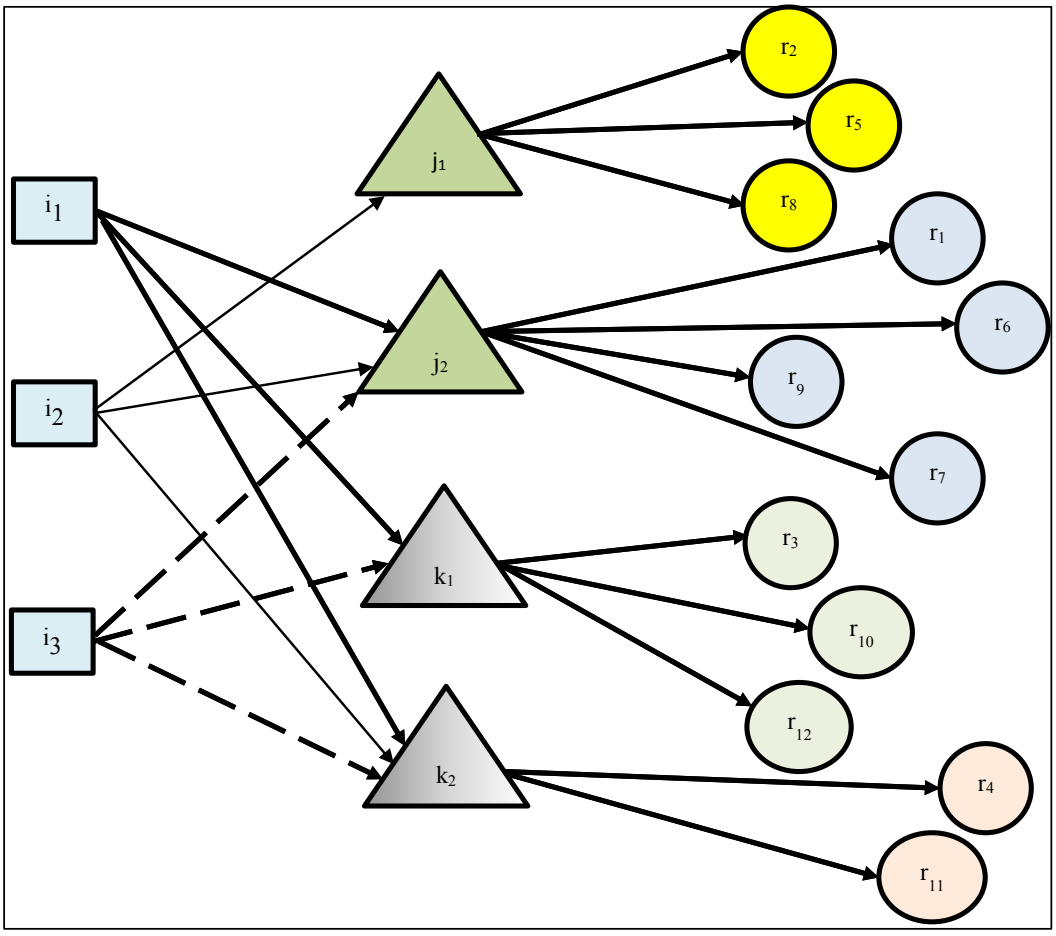
نتایج و خروجی دو الگوریتم فرا ابتکاری

با توجه به کدنویسی انجام شده و با در نظر گرفتن داده‌های به کار رفته در این بخش نتایج حاصل شده در دو الگوریتم فرا ابتکاری به شرح ذیل است:

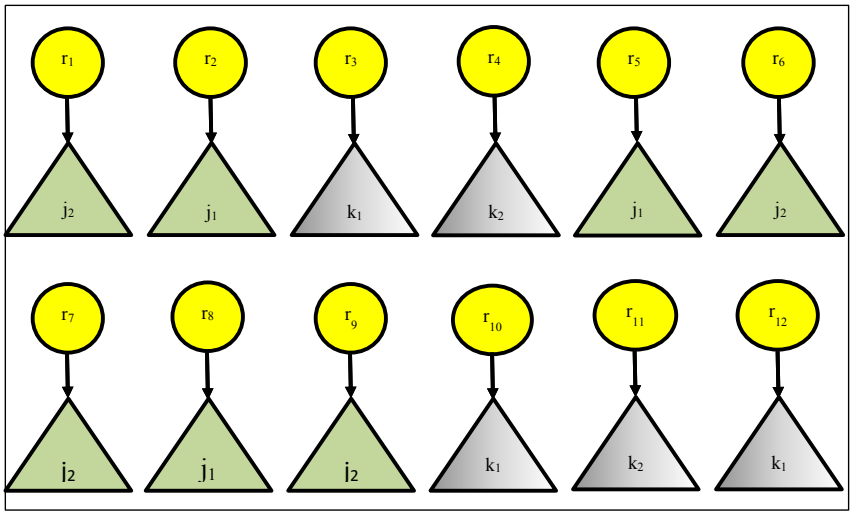
- الگوریتم کرم شب‌تاب: در خروجی این الگوریتم مقدار بهینه‌ی تابع هدف عدد ۴۳۹ حاصل شد. همچنین بیمارستان‌های موجود j_1 و j_2 و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه‌ی k_1 و k_2 به‌منزله‌ی بیمارستان‌های فعال و k_3 و k_4 بیمارستان‌های صحرایی بالقوه‌ی غیر فعال مشخص گردید که ۱۲ آسیب‌دیده به این ۴ بیمارستان فعال به شکل ذیل تخصیص یافته‌اند.

با توجه به تصویر ۶ مشخص گردید در این الگوریتم کدام آسیب‌دیدگان به کدام بیمارستان‌های فعال تخصیص یافتند و هیچ محدودیت ظرفیت بیمارستانی نیز نقض نگردید.

پس از اینکه مشخص شد کدام آسیب‌دیدگان به چه بیمارستان‌های فعالی تخصیص یافتند در مرحله‌ی بعدی میزان



تصویر ۵: شبکه‌ی ارتباط تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌های فعال و آسیب‌دیدگان حاصل از خروجی نرم‌افزار گمز



تصویر ۶: نحوه‌ی تخصیص آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های فعال در الگوریتم کرم شب‌تاب

تقاضای هر بیمارستان مشخص می‌گردد که این میزان تقاضا برابر مجموع تقاضاهای آسیب‌دیدگان تخصیص یافته به همان بیمارستان‌ها و به تفکیک هر خدمت است، بنابراین میزان تقاضای بیمارستان‌ها در حالت کلی و به تفکیک چهار بیمارستان فعال چنین است: $j_1=51$ و $j_2=70$ و $k_1=63$ و $k_2=40$. اطلاعات جزئی و تفکیکی این موضوع نیز در جدول ۹ آورده شده است.

در مرحله‌ی بعدی یک سری نقاط تقاضا تحت عنوان بیمارستان‌های فعال و یک سری نقاط عرضه یا همان تأمین‌کنندگان داریم. در واقع این مسئله نیز به بیان ساده‌تر همان مسئله‌ی حمل و نقل است لذا برای حل این مسئله به صورت دستی ابتدا با روش راسل یک جواب شدنی (اولیه) حاصل شد سپس با بهره‌گیری از روش توزیع تعدیل شده [۱۱] جواب حاصل از

جدول ۹: وضعیت میزان تقاضای بیمارستان‌ها بر اساس نوع خدمت و آسیب‌دیدگان تخصیص یافته

ردیف	نوع بیمارستان	نوع خدمت			آسیب‌دیدگان
		L_1	L_2	L_3	
۱	j_1	۵	۵	۵	r_2
۲		۷	۴	۴	r_5
۳		۸	۷	۶	r_8
	جمع	۲۰	۱۶	۱۵	جمع کل تقاضا: ۵۱
۴	j_2	۶	۴	۸	r_1
۵		۵	۷	۷	r_6
۶		۵	۴	۶	r_7
۷		۴	۶	۸	r_9
	جمع	۲۰	۲۱	۲۹	جمع کل تقاضا: ۷۰
۸	k_1	۶	۵	۷	r_3
۹		۸	۷	۷	r_{10}
۱۰		۷	۸	۸	r_{12}
	جمع	۲۱	۲۰	۲۲	جمع کل تقاضا: ۶۳
۱۱	k_2	۷	۷	۴	r_4
۱۲		۸	۷	۷	r_{11}
	جمع	۱۵	۱۴	۱۱	جمع کل تقاضا: ۴۰

روش راسل بهینه گردید و در نهایت با انجام محاسبات فوق هم مقدار تابع هدف عدد ۴۳۹ حاصل گردید. در ادامه و در تصویر ۷ ماتریس تقاضا و عرضه با هزینه‌های ارسال خدمات و کالاها از تأمین‌کننده‌ی i به بیمارستان‌های فعال h به تفکیک سه نوع خدمت و مقدار بهینه‌ی تابع هدف مشخص شده است.

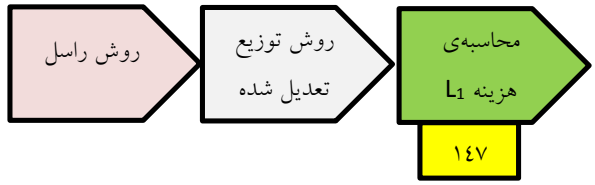
با توجه به تصویر ۷ ابتدا هر ماتریس در روش راسل به صورت دستی محاسبه و جوابی اولیه حاصل شد، در گام بعدی هم با روش تعدیل ضرایب محاسبات انجام گردید و در پایان با توجه به آنکه مقادیر Zj-Cj متغیرهای پایه‌ای کمتر مساوی صفر گردید این نتیجه حاصل شد که تمامی سه ماتریس خدمت‌های سه گانه‌ی فوق بهینه هستند، لذا از مجموع سه هزینه‌ی هر خدمت، مقدار هزینه‌ی بهینه‌ی انتقال کالا و خدمات از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها عدد ۳۶۰ حاصل شد که در نهایت با حاصل جمع سه هزینه‌ی دیگر در تابع هدف مدل ریاضی، یعنی هزینه‌های ارسال آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌ها و تأسیس بیمارستان‌های صحرایی بالقوه که عدد ۷۹ است، مقدار بهینه‌ی تابع هدف (با محاسبات دستی) عدد ۴۳۹ حاصل و صحت و درستی روش‌های حل انجام شده تأیید گردید.

– الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات: در خروجی این الگوریتم نیز بیمارستان‌های موجود j_1 و j_2 و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه‌ی k_1 و k_2 به‌منزله‌ی بیمارستان‌های فعال و k_3 و k_4 بیمارستان‌های صحرایی بالقوه‌ی غیر فعال مشخص گردید که ۱۲ آسیب‌دیده به این ۴ بیمارستان فعال مانند تصویر ۸ تخصیص یافته‌اند.

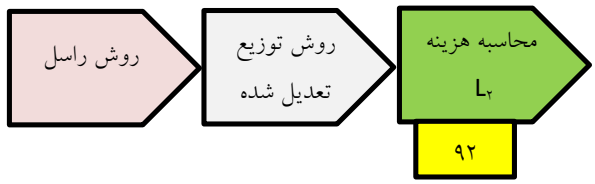
در این الگوریتم هم همانند الگوریتم کرم شب‌تاب، میزان تقاضای بیمارستان‌های فعال به شرح ذیل حاصل گردید j_1=51 و j_2=70 و k_1=63 و k_2=40. همچنین میزان تقاضای بیمارستان‌ها و مقادیر عرضه‌ی تأمین‌کنندگان نیز در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است و در نهایت هم مقدار بهینه‌ی تابع هدف در این الگوریتم نیز عدد ۴۳۹ حاصل گردید. همچنین محاسبات به صورت دستی و با بهره‌گیری از روش راسل و روش تعدیل ضرایب، مقدار بهینه‌ی تابع مجدداً عدد ۴۳۹ حاصل گردید.

با توجه به آنکه دو الگوریتم به جوابی منطقی و واحد دست یافتند می‌توان نتیجه گرفت هر دو الگوریتم برای حل این مدل و داده‌های مورد نظر مناسب و کارآمد است. لذا در مرحله‌ی بعدی، با توجه به آنکه اثبات شد روش حل در این تحقیق کارآمد است، باید دو الگوریتم فراابتکاری کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات را با هم مقایسه نمود تا بهترین روش حل (بهترین الگوریتم) برای این تحقیق مشخص شود. چرا که شرط قیاس بین دو الگوریتم اثبات کارآمدی آن‌ها است. بنابراین در مرحله‌ی بعدی ۱۲ تست پرابلم (مسئله آزمایشی) بدین منظور کد گردید که نتایج حاصل شده در این دو الگوریتم با هم مقایسه شده است.

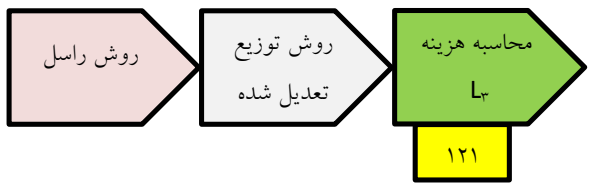
خدمت اول L_1				
i_1=31	3	5	2	2
i_2=30	1	3	3	5
i_3=15	2	3	1	1
	j_1= 20	j_2= 20	k_1= 21	k_2= 15

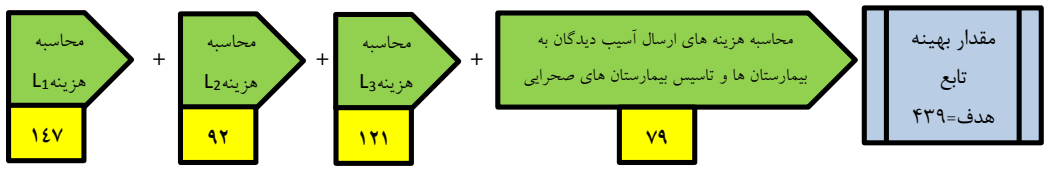


خدمت دوم L_2				
i_1=42	1	2	1	1
i_2=26	1	5	5	1
i_3=3	2	2	5	4
	j_1= 16	j_2= 21	k_1= 20	k_2= 14

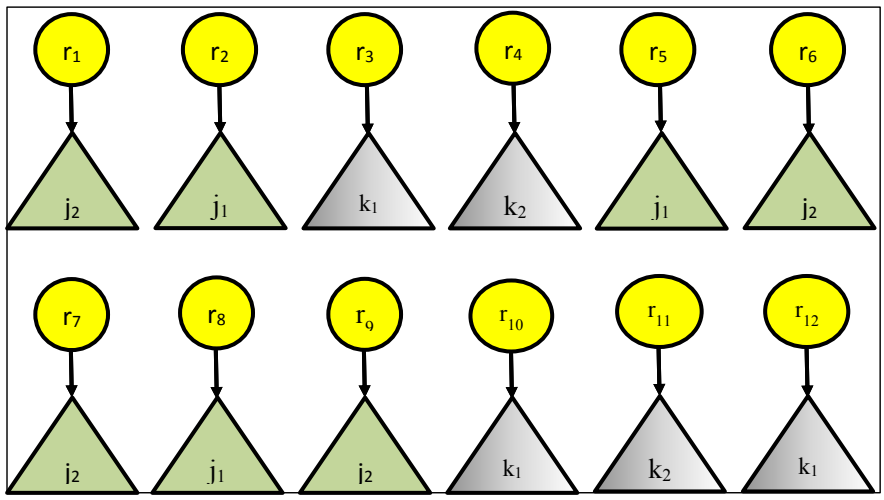


خدمت سوم L_3				
i_1=29	3	1	3	4
i_2=15	1	4	1	4
i_3=33	5	2	2	3
	j_1= 15	j_2= 29	k_1= 22	k_2= 11





تصویر ۷: ماتریس اولیه و روند محاسبات مقدار بهینه‌ی تابع هدف با بهره‌گیری از روش راسل و روش توزیع تعدیل شده



تصویر ۸: نحوه‌ی تخصیص آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های فعال در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

تست (مسئله آزماینده) پرابلم داده‌ها با بهره‌گیری از الگوریتم‌های کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات

با توجه به دیتاهای موصوف، در ادامه‌ی کار، عملیات تست پرابلم از داده‌های فوق و با بهره‌گیری از الگوریتم‌های کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات و به‌منظور مقایسه‌ی عملکرد دو الگوریتم مذکور انجام گردید که نتایج آن با ۱۲ تست پرابلم و در سه تکرار و با دو عامل هزینه و زمان اجرا در جدول ۱۰ به شرح ذیل ارائه شده است.

جدول ۱۰: نتایج تست پرابلم در دو الگوریتم کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ذرات در سه تکرار

شماره‌ی تست	الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات		الگوریتم کرم شب‌تاب	
	زمان اجرا	هزینه	زمان اجرا	هزینه
۱	۲۱	۲۶۲	۴۶	۲۶۷
	۲۱	۲۶۲	۴۴	۲۶۲
	۱۸	۲۶۹	۴۴	۲۶۲
۲	۲۶	۶۳۶	۷۰	۶۳۱
	۲۵	۶۳۰	۷۰	۶۳۱
	۲۶	۶۳۶	۸۲	۶۲۸
۳	۳۳	۱۰۰۵	۸۹	۹۶۴
	۳۰	۹۵۹	۸۲	۹۶۷
	۲۹	۹۶۳	۸۲	۹۶۱
۴	۲۵	۶۰۵	۵۴	۵۸۶
	۱۷	۵۷۶	۵۱	۵۹۲
	۲۴	۵۹۲	۶۴	۵۹۵
۵	۶۹	۹۹۸	۱۷۲	۹۹۴
	۷۰	۱۰۰۰	۱۵۷	۱۰۰۷
	۵۰	۱۰۰۱	۱۶۶	۱۰۱۰
۶	۸۰	۱۵۸۱	۱۹۵	۱۵۹۹
	۶۶	۱۵۹۱	۱۷۴	۱۶۲۲
	۷۹	۱۵۸۲	۱۹۰	۱۶۱۵
۷	۷۰	۱۱۷۹	۱۶۴	۱۲۳۵
	۵۸	۱۱۸۶	۱۸۲	۱۲۷۳
	۶۱	۱۲۰۱	۱۴۷	۱۲۳۹
۸	۸۵	۱۸۵۴	۲۸۰	۱۹۰۸
	۱۱۴	۱۷۴۹	۲۷۰	۱۹۰۶
	۱۱۶	۱۷۵۱	۲۵۹	۱۹۴۱
۹	۱۵۸	۲۸۶۱	۴۶۳	۲۹۴۷
	۱۵۷	۲۸۷۹	۴۲۷	۲۹۴۴
	۲۲۱	۲۹۳۳	۴۵۶	۲۹۴۸
۱۰	۱۸۶	۲۵۱۳	۳۶۳	۲۶۹۸
	۱۷۷	۲۵۱۵	۳۷۹	۲۶۹۱
	۱۷۶	۲۴۹۰	۳۵۴	۲۶۶۳
۱۱	۲۷۱	۴۰۸۷	۵۱۰	۴۳۰۳
	۲۱۹	۴۲۶۱	۵۲۱	۴۳۱۵
	۲۸۷	۴۰۰۶	۴۹۱	۴۳۳۸
۱۲	۴۰۲	۵۶۶۹	۶۰۲	۶۰۴۰
	۳۵۰	۶۰۸۸	۶۴۸	۶۰۳۵
	۴۰۲	۵۶۵۷	۶۰۱	۶۰۲۱

جدول ۱۱: میانگین تست پرابلم‌ها در دو الگوریتم کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات

شماره‌ی تست	الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات		الگوریتم کرم شب‌تاب	
	زمان اجرا	هزینه	زمان اجرا	هزینه
۱	۲۰	۲۶۴	۴۴	۲۶۳
۲	۲۵	۶۳۴	۷۴	۶۳۰
۳	۳۰	۹۷۵	۸۴	۹۶۴
۴	۲۲	۵۹۱	۵۶	۵۹۱
۵	۶۳	۹۹۹	۱۶۵	۱۰۰۳
۶	۷۵	۱۵۸۴	۱۸۶	۱۶۱۲
۷	۶۳	۱۱۸۸	۱۶۴	۱۲۴۹
۸	۱۰۵	۱۷۸۴	۲۶۹	۱۹۱۸
۹	۱۷۸	۲۸۹۱	۴۴۸	۲۹۴۶
۱۰	۱۷۹	۲۵۰۶	۳۶۵	۲۶۸۴
۱۱	۲۵۹	۴۱۱۸	۵۰۷	۴۳۱۸
۱۲	۳۸۴	۵۸۰۴	۶۱۷	۶۰۳۲

همان‌طور که می‌دانیم عملکرد هر الگوریتم فراابتکاری به دو عامل هزینه و دیگری زمان اجرا بستگی دارد لذا با توجه به کدنویسی و تحلیل این دو الگوریتم فراابتکاری مورد مطالعه در محیط متلب، در این جدول در یک ستون میزان هزینه‌ی نهایی هر تست در هر الگوریتم فراابتکاری و در سه تکرار و در ستون دیگر زمانی که هر تست پرابلم برای اجرا صرف نموده است منعکس شده است.

با توجه به جدول ۱۰ گفتنی است هر تست سه مرتبه اجرا شده است چرا که ماهیت الگوریتم‌های فرا ابتکاری تقریبی بودن پاسخ‌هاست. با نگاهی به نتایج تست‌ها می‌توان دریافت که با هر بار اجرا نمودن تست‌ها در دو الگوریتم مورد مطالعه پاسخ‌های متفاوتی حاصل شده است لذا به همین علت هر الگوریتم مورد مطالعه در هر تست سه مرتبه اجرا گردید و در نهایت از میان پاسخ‌ها میانگین‌گیری انجام شد که به‌منزله‌ی نتیجه‌ی نهایی در ادامه‌ی کار و در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

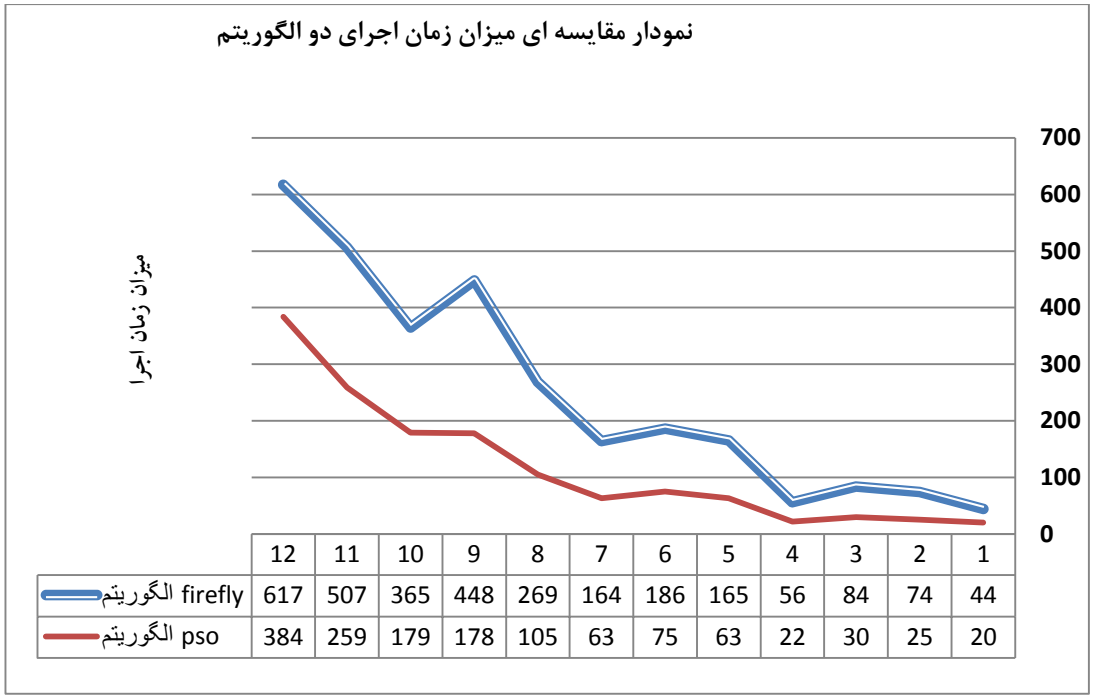
قیاس دو الگوریتم و انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد میانگین زمان اجرا و مقدار هزینه‌ی دو الگوریتم از دوازده تست پرابلم با سه تکرار گردآوری و اخذ شد که جزئیات آن در جدول ۱۱ منعکس شده است.

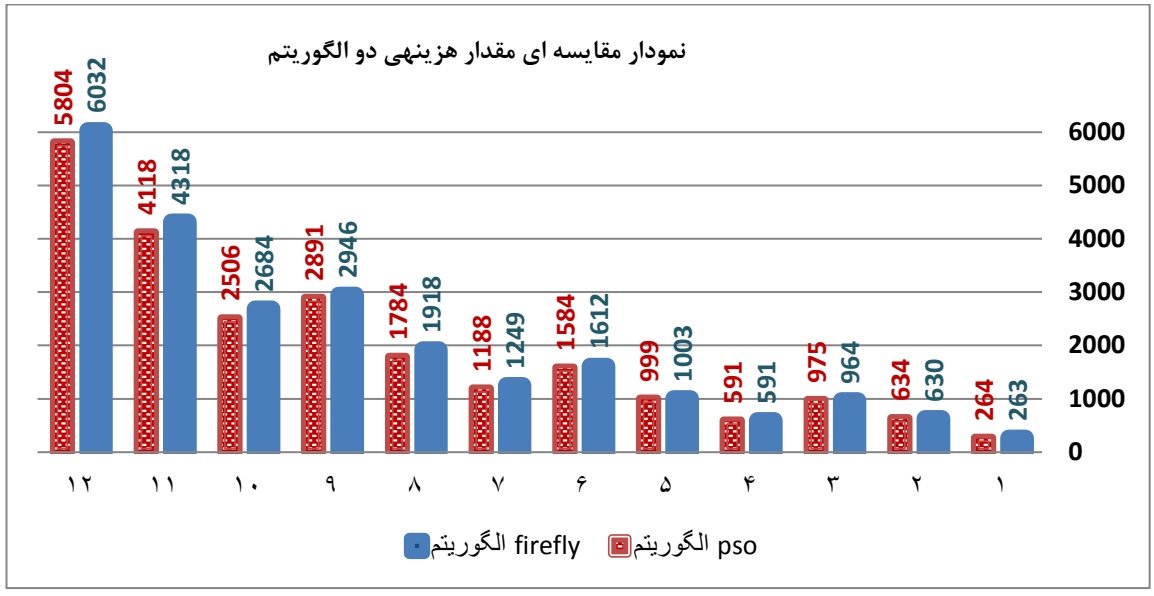
پس از اخذ میانگین برای هر تست از دو الگوریتم و عوامل زمان اجرا و مقدار هزینه، در نهایت نتایج نهایی حاصل گردید و برای مقایسه‌ی دو الگوریتم، عملکرد زمان اجرای دو الگوریتم و عملکرد مقدار هزینه‌ی دو الگوریتم در نمودارهای ۲ و ۳ با هم مقایسه شده‌اند.

با توجه به تصویر ۹ می‌توان دریافت در عملکرد میزان زمان اجرا، الگوریتم pso نسبت به الگوریتم firefly زمان کمتری را در ۱۲ تست سپری نموده است، لذا می‌توان نتیجه گرفت این الگوریتم در عملکرد زمان اجرا نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب عملکرد مناسب‌تری داشته است.

با توجه به تصویر ۱۰ می‌توان دریافت در قیاس دو الگوریتم فراابتکاری موصوف از حیث میزان هزینه، الگوریتم pso نسبت به الگوریتم firefly مقدار هزینه‌ی کمتری را در بیشتر تست‌ها به خود اختصاص داده است لذا می‌توان نتیجه گرفت این الگوریتم عملکرد مناسب‌تری از نظر مقدار هزینه نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب داشته است.



تصویر ۹: مقایسه‌ی عملکرد زمان اجرا در دو الگوریتم کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات



تصویر ۱۰: مقایسه‌ی عملکرد مقدار هزینه در دو الگوریتم کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل شده و با بهره‌گیری از نرم‌افزار گمز و نرم‌افزار متلب در این مقاله، مثال عددی، برای نشان دادن کارایی و صحت درستی مدل و اخذ خروجی نهایی ارائه شد که برای اعتبارسنجی از نرم‌افزار گمز، نتایج خوبی حاصل گردید. در سایز متوسط و بزرگ همان‌طور که در بالا گفته شد به دلیل پیچیدگی کار از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده است که با توجه به انجام ۱۲ تست پرابلم از دو الگوریتم، به قیاس دو الگوریتم و مقایسه‌ی عملکرد زمان اجرا و مقدار هزینه‌ی آن‌ها مبادرت ورزیده شد.

در نهایت نیز پس از قیاس دو الگوریتم، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب جواب بهتر و مناسب‌تری کسب نموده است چرا که هم میزان زمان اجرای آن نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب کمتر بوده است و هم مقدار هزینه‌ی آن نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب کمتر حاصل گردیده است.

پی‌نوشت

1. Gamz Software
2. Matlab Software
3. Test Problem
4. Data
5. Particle Swarm Optimization Algorithm

6. Eberhart
7. Kennedy
8. Gbest
9. Firefly Algorithm
10. Yang
11. MODI Method

منابع

۱. اسلامی، عاطفه؛ حسنی، نعمت (۱۳۹۵). کاربرد آینده‌پژوهی در مدیریت ریسک زلزله با تقسیم دوره‌ی بازگشت به انواع آینده (مطالعه‌ی موردی: زلزله‌ی شهرری). *فصلنامه‌ی دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، دوره‌ی ششم، شماره‌ی اول، صفحه ۴۸-۵۷.

2. Wahlström, Margareta. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, United Nations Special Representative of the Secretary-General for Disaster Risk Reduction, www.unisdr.org.

۳. قلاوند، کیانوش (۱۳۹۵). تأثیرات بلایای طبیعی بر توسعه‌ی پایدار و ضرورت انعطاف‌پذیری در همکاری‌های منطقه‌ای آسیا و اقیانوسیه، انجمن اقتصاد کشاورزی ایران، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی دانشگاه تهران، http://iranianaes.ir/find.php?item=1.116.160.f.

4. World Weather Related Natural Catastrophes By Overall And Insured Losses, 1980-2016. (2017). ,Available at: http://www.iii.org/fact-statistic/catastrophes-global, Source: ©2017 Munich Re, Geo Risks Research, NatCatSERVICE.

5. www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201610/WDR%202016-FINAL-web.pdf. (2016).

۶. درویش زاده، علی (۱۳۹۴). *زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم*. تهران، مؤسسه امیرکبیر، چاپ ششم.

۷. نجفی، مهدی؛ عشقی، ساسان (۱۳۹۳). ماهنامه‌ی علمی- تخصصی لجستیک و زنجیره تأمین، مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، سال سوم، شماره ۳۶، ۸ – ۱۹.

8. Earthquake Lists and ststistic. (2017). Available at:https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/ browse/.

9. Jabbarzadeh, Armin, Zokaee, Shiva. (2015). Humanitarian relief supply chain network design using interval robust optimization. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, Vol 26, Number 4, 543–556.

10. Kovács, Gyöngyi, Spens, Karen M. (2012). Relief Supply Chain Management for Disasters: Humanitarian, Aid and Emergency Logistics, Published in the United States of America by Business Science Reference (an imprint of IGI Global), DOI: 10.4018/978-1-60960-824-8.

۱۱. سعیدی، بهنام؛ فخری بافقی، بی بی الهام؛ آزاده، حسن؛ احمدی توانا، بهمن؛ بختیاری، علی؛ حاج احمدی، رسول (۱۳۹۴). چارچوب سندای برای کاهش خطرپذیری سوانح۲۰۱۵-۲۰۳۰، تهران، انتشارات کتاب پدیده، اول.

12. M. Najafi, K. Eshghi, W. Dullaert. (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase, Transportation Research Part E, vol 49, 217-249.

13. Ahmadi M., Seifi A., Tootooni B. (2015). A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district, Transportation Research Part E Vol 75, 163_145 .

14 . Camacho-Vallejo, José-Fernando. (2015). A bi-level optimization model for aid distribution after the occurrence of a disaster, Journal of Cleaner Production, Vol 105, 15_145.

15 . Gan, X., Wang, Y., Kuang, J., Yu, Y., Niu, B. (2015). Emergency Vehicle Scheduling Problem with Time Utility in Disasters, Mathematical Problems in Engineering, Article ID 164194, 7 pages, http://dx.doi.org/10.1155/2015/164194.

۱۶. منصوری، الهام؛ توکلی مقدم، رضا؛ حاجی آقایی کشتلی، مصطفی (۱۳۹۴). مدل‌سازی شبکه لجستیک پیشرو و معکوس خدمات درمانی در شرایط بحران تحت عدم قطعیت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع دانشگاه علم و فناوری مازندران.

17. Zokaee Sh., Bozorgi-Amiri A., Sadjadi S.J. (2016). A Robust Optimization Model for Humanitarian Relief Chain Design under Uncertainty, Applied Mathematical Modelling, 43_1 .

18. Young DaeKo, Byung DukSong , Hark Hwang. (2016). Location capacity and capability design of emergency medical centers with multiple emergency diseases, Computers & Industrial Engineering Vol 101,10–20.

19 . Bozorgi-Amiri, A.Rezaei-Malek, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities, Computers & Industrial Engineering, Vol 94 , 201_215.

20. Rezaei-Malek, Mohammad, Tavakkoli-Moghaddam, Reza, Zahiric, Behzad, Bozorgi-Amiri, Ali. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities, Computers & Industrial Engineering, Vol 94, 201_215.

۲۱. عابداف، سجاد؛ داودپور، حمید (۲۰۱۷). ارائه‌ی مدل بهینه‌سازی استوار برای مسئله چندهدفه لجستیک امداد با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و زمان امدادرسانی، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع (IIEC ۲۰۱۷)، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابلسر.

۲۲. صبوحی، فاطمه؛ جبل عاملی، محمد سعید؛ بزرگی امیری، علی (۲۰۱۷). برنامه‌ریزی ناوگان وسایل حمل و نقل برای توزیع امداد در فاز پاسخ به بحران با در نظر گرفتن اختلال در مسیر. سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع (IIEC ۲۰۱۷)، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابلسر.

۲۳. اسمعیلی مرزونی، حامد؛ قلی پور کنعانی، یوسف (۱۳۹۵). ارائه‌ی یک مدل زمان‌بندی سیستم چند فرابارانداز با چندین درب در شبکه‌ی زنجیره‌ی

تأمین و حل آن ، ۱۳۹۵، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر.

24. Pan, Hongxia., Ma, Qingfeng., Wei, Xiuye. (2006). Research on Fault Diagnosis of Gearbox Based on Particle Swarm Optimization Algorithm., ICM 2006 IEEE 3rd International Conference on Mechatronics.

25. Yang, X.-S. (2009). Firefly algorithms for multi modal optimizatiom, Computer Sciences, pages 169-178.

۲۶. سیف زرگر، امید؛ اسماعیلی، حمید (۲۰۱۷). طراحی اقتصادی ـ آماری نمودار MEWMA به وسیله الگوریتم کرم شب‌تاب. سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع (IIEC ۲۰۱۷)، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابلسر.

شاخص‌های سنجش تاب‌آوری سازمانی خبرگزاری‌های ایران در بلایای طبیعی

سعید قنبری*: کارشناسی ارشد مدیریت رسانه دانشگاه علامه طباطبائی، s.ghanbary@atu.ac.ir
سیاوش صلواتیان: استادیار گروه مدیریت رسانه دانشکده ارتباطات و رسانه دانشگاه صداوسیما
علی‌اصغر کیا: دانشیار و مدیر گروه روزنامه‌نگاری دانشکده ارتباطات دانشگاه علامه طباطبائی

تاریخ دریافت:۹۷/۲/۱
تاریخ پذیرش:۹۸/۹/۲۶

چکیده

تاب‌آوری سازمانی و سنجش آن امروزه یک راهبرد سازمانی تلقی می‌شود، اما خبرگزاری‌های کشور ما علی‌رغم وجود مخاطرات گسترده‌ی طبیعی در اطراف خود نگاهی به این مقوله‌ی راهبردی ندارند، چرا که اصولاً شاخص‌های قابل اندازه‌گیری و برنامه‌ریزی برای تاب‌آوری آن‌ها با توجه به تفاوت‌هایشان با سازمان‌های تجاری ارائه نشده است. از این رو این مقاله با هدف ارائه‌ی شاخص‌های سنجش تاب‌آوری سازمانی خبرگزاری‌های ایران در بلایای طبیعی و تعیین میزان اهمیت هر یک از این شاخص‌ها با استفاده از روش دلفی انجام شد و دور اول دلفی به‌منظور استخراج شاخص‌های ممکن با پانزده تن از کارشناسان مرتبط با موضوع مصاحبه‌ی عمیق صورت گرفت. استخراج ۷۱ زیرشاخص، ۱۴ شاخص و ۵ بعد نتیجه‌ی تجزیه و تحلیل دور اول دلفی بر اساس دو مرحله کدگذاری باز و محوری بود و بر همین مبنا زیرشاخص‌های استخراج شده ملاک تهیه‌ی پرسش‌نامه‌هایی برای دورهای دوم و سوم و بررسی اجماع بین کارشناسان در مورد «ضرورت وجود هر زیرشاخص» و «میزان اهمیت هر یک از آن‌ها» بر اساس معیار مد و میانگین شد. نتیجه نشان داد که بر روی ۷۰ زیرشاخص در قالب ۱۴ شاخص و ۵ بعد «تاب‌آوری ارتباطی»، «تاب‌آوری اطلاعاتی»، «تاب‌آوری سازه‌ای»، «تاب‌آوری فردی» و «سازمانی- فنی» برای سنجش تاب‌آوری سازمانی خبرگزاری‌های کشور در بلایای طبیعی اجماع وجود دارد. این ۷۰ زیرشاخص با نگاهی همه‌جانبه به ابعاد سازمانی خبرگزاری‌های کشور به‌گونه‌ای مطرح شده‌اند که می‌توانند تاب‌آوری آینده‌نگرانه، تاب‌آوری همزمان و تاب‌آوری گذشته‌نگر را برای خبرگزاری‌ها در بلایای طبیعی رقم بزنند.

واژه‌های کلیدی: *تاب‌آوری سازمانی، خبرگزاری‌ها، بلایای طبیعی، مدیریت بحران، سازمان‌های رسانه‌ای*

Indicators of Organizational Resilience of Iranian News Agencies in Natural Disasters

Saeid Ghanbary*[1], Siavash Salavatian[2], Aliasghar Kia[3]

Abstract

Today, organizational resilience and its measurement is viewed as an organizational strategy. Nonetheless , our country ‘s news agencies are not particularly keen to look at this strategic paradigm despite the existence of vast natural hazards around them, since there are no measurable indicators to manage their resileince regarding their differences with business organizations. Hence , this paper was carried out with the aim of providing resilience assessment indexes of iranian news agencies in natural disasters and determining the importance of each of these indices using Delphi method. In the first round of Delphi, 15 experts of the field were deeply interviwed to extract indices. As a result, extraction of 71 sub-indexes, 14 indexes and 5 dimensions were based on two steps of coding: open and axial. BAsd on the extracted sub-indices, questionnaires were developd for a second and third rounds Delphi to examine the consensus among experts on the “The Need for Each Sub-Indicator” and “The Importance of Each of them”. The results showed the consensus of exprts on applying 70 sub-indicators in the form of 14 indicators and 5 dimensions of “Communication Resilience”, “Information Resilience”, “Structural Resilience”, “Individual Resilience” and “Organizational-Technical” to assess the rsileince of our country’s news agencies in natural disasters. With a comprehnsive consideration of the organizational dimensions of Iranian news agencis, these 70 sub-indexes have been proposed in such a way that they can address the resilience, simultaneous resilience and retrospective resilience for news agencies in natural disasters.

Keywords: *Organizational Resilience, News Agencies, Natural Disasters, Crisis Management, Media Organizations*

1. Media Management M.A., Allameh Tabataba'i University Email: aliasgharkia22@gmail.com, s.ghanbary@atu.ac.ir
2. Assistant Professor of Media Management, Faculty of Communication and Media, IRIB University
3. Associate Professor and Director of the Department of Journalism, Faculty of Communication, Allameh Tabataba'i University

مقدمه و بیان مسئله

بحران[1] از ابتدا یکی از واقعیت‌های اجتناب‌ناپذیر زندگی بشر بوده است. از بحران‌هایی چون قحطی، خشک‌سالی، سیل، زلزله، شیوع بیماری‌های واگیردار گرفته تا بحران‌هایی چون جنگ‌ها و آلودگی‌های زیست‌محیطی و ... تمامی این بحران‌ها به میزان حجمشان آسیب‌ها و لطمات متفاوتی به محیطی که در آن رخ می‌دهند، وارد می‌کنند [۱]. حجم بحران که بر اساس سه عامل دامنه‌ی فراگیری، شدت وقوع و مدت دوام بحران [۲] تعیین می‌شود، بشر را مجبور به مقابله‌ی متناسب در سطوح مختلف شهری، استانی، ملی، منطقه‌ای و جهانی می‌کند. در این بین بحران‌های طبیعی آن دسته از رویدادهای غیرمترقبه‌ای هستند که منشأ طبیعی دارند و به‌صورت ناگهانی رخ می‌دهند و وقوع آن‌ها با آسیب‌های جانی و مالی جدی‌ای همراه است. این بحران‌ها علاوه بر اینکه بر روی ابعاد مختلف زندگی فردی تأثیر می‌گذارند و افراد را قهراً برای مواجهه و مقابله درگیر می‌کنند بر سازمان‌ها، نهادها و ساختارهای یک جامعه نیز به‌شدت اثرگذارند، لذا لازم است افراد، ساختارها، نهادها و سازمان‌ها بر اساس درک شرایط و ابعاد فاجعه ظرفیت مقاومت در برابر بحران را در خود ایجاد کنند، اما بسیاری از سازمان‌ها اهمیت مدیریت بلایا و برنامه‌ریزی برای تداوم کسب‌وکار خود را نادیده گرفته‌اند [۳]؛ به‌طوری‌که بر اساس برخی گزارش‌ها ۴۳ درصد از شرکت‌هایی که تحت تأثیر بلایای شدید قرار گرفته‌اند هرگز مجدداً باز نشده و حدود ۳۰ درصد از آن‌ها در طول دو سال شکست خورده‌اند [۴]. در بین گونه‌های مختلف سازمان‌ها، خبرگزاری‌ها به‌منزله‌ی گونه‌ای از سازمان‌های رسانه‌ای که تحت عنوان سازمان‌های خبری مادر شناخته می‌شوند [۵] نیز نیازمند برنامه‌ریزی برای تداوم کسب‌وکار خود و مدیریت بلایا هستند. مطالعات گذشته نشان داده «رسانه‌ها ممکن است برنامه‌هایی برای پوشش دادن حوادث بزرگ داشته باشند، هر چند که این امر نادر است، اما آن‌ها معمولاً برنامه‌هایی در مورد نحوه‌ی ادامه‌ی فعالیت خود در حوادث مخرب ندارند» [۶] لذا می‌توان گفت رسانه‌های جمعی برای آمادگی خود در برابر فاجعه کار کمتری انجام داده‌اند و این عدم آمادگی زمانی اتفاق می‌افتد که مردم بیشتر از همیشه به رسانه‌های جمعی وابسته‌اند [۷]. در واقع اگر رسانه‌ها بخواهند به‌عنوان کلیدی‌ترین ابزار مدیریت بحران [۸] در بحران‌های طبیعی‌ای که در محیط اطراف آن‌ها رخ می‌دهد نقش ایفا کنند، پایایی خود آن‌ها پیش‌شرط عمل محسوب می‌شود و این مانایی و پایایی منوط به تاب‌آور بودن رسانه‌ای است که بحران طبیعی در محیط پیرامونی آن رخ داده است، بنابراین آن‌ها باید برای مدیریت بلایا به رویکردهای پیشگیرانه توجه کرده و بر پروسه‌های خود در برابر اختلال‌ها و کاهش تأثیرات منفی آن‌ها تأکید کنند [۹]. در واقع خبرگزاری‌ها نوعی از سازمان‌های رسانه‌ای هستند که باید با بهره‌گیری از رویکرد تاب‌آوری[2] سازمانی به منزله‌ی مجموعه‌ای از توانمندی‌ها که منجر به مصون‌سازی برابر حوادث و بحران‌ها می‌گردد [۱۰] قدرت و ظرفیت سازمانی را برای مواجهه با بلایا و بحران‌ها به وجود آورند و کاهش تأثیرات منفی بحران‌ها بر سازمان را دنبال کنند. تاب‌آوری سازمانی و به‌تبع آن تاب‌آوری خبرگزاری از دو جنبه حائز اهمیت است؛ نخست اینکه تاب‌آوری سازمانی و اجتماعی دو طرف یک سکه شناخته می‌شوند، به‌طوری‌که اگر سازمان‌ها آماده‌ی پاسخ‌گویی به شرایط اضطراری و بحران نباشند می‌توان گفت جوامع نیز آمادگی کافی را ندارد و دیگر آنکه پیوند عمیقی بین تاب‌آوری و رقابت وجود دارد [۱۱] لذا خبرگزاری‌ها به علت نقش مؤثرشان بر تاب‌آوری اجتماعی در هنگام بروز بحران‌های طبیعی و همچنین رقابت خبری که بین آن‌ها در این‌گونه مواقع شکل می‌گیرد، باید به مقوله‌ی برنامه‌ریزی برای مصون ماندن از بحران و فاجعه توجه داشته باشند، اما آنچه که تحقیقات نشان می‌دهد آن است که عمدتاً سازمان‌های رسانه‌ای در کشور ما و نیز خبرگزاری‌ها نگاه عمیقی به مسئله‌ی تاب‌آوری سازمانی ندارند [۱۲] و اصولاً شاخص‌های مرتبط با تاب‌آوری آن‌ها که قابل اندازه‌گیری و سنجش بوده و هم قابل دستیابی با برنامه‌ریزی باشد عطف به تفاوت‌هایی که با سازمان‌های تجاری دارند، تبیین نشده است. در تأیید همین موضوع به نتایج پژوهشی می‌توان اشاره کرد که در آن تنها ۱۹ درصد از ۴۶ تن از مدیران رسانه‌ای کشور به سؤال «آیا در فرایند مدیریتی شما (مدیران رسانه) ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ای انجام شده است؟» پاسخ مثبت داده‌اند و در توجیه عدم ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ای خود به دلایلی چون وجود اولویت‌های ضروری دیگر برای صرف هزینه، احساس نیاز نکردن، استیجاری بودن مکان استقرار رسانه، نبود متولی مافوق برای اجرا کردن سیاست‌هایی از این قبیل و غیره اشاره کرده‌اند و ۶۸ درصد آن‌ها به سؤالی درباره‌ی ارزیابی آسیب‌پذیری غیرسازه‌ای نیز جواب منفی داده‌اند [۱۳] بنابراین لازم است تا خبرگزاری‌ها با جامه‌ی عمل پوشاندن به الزامات تاب‌آوری رسانه‌ها شامل تلقی تاب‌آوری سازمان به‌منزله‌ی راهبرد و استراتژی، برنامه‌ریزی مدون برای تاب‌آوری و همچنین سنجش مداوم آن [۱۴] از متضرر شدن خود در هنگام بروز بلایای طبیعی در محیط پیرامونشان جلوگیری نمایند. این تحقیق با توجه به مسئله‌ی پیش‌تر ذکر شده و با توجه به اینکه یک بحران طبیعی شاخه و قسمت فنی، نیروی انسانی، زیرساخت و پشتیبانی در یک خبرگزاری را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد به دنبال ارائه‌ی شاخص‌های قابل سنجش برای تاب‌آوری سازمانی خبرگزاری‌ها است که الزام سنجش مداوم تاب‌آوری را برای خبرگزاری‌ها تحقق می‌بخشد. سنجش و ارزیابی تاب‌آوری سازمانی نیاز به نمایش پیشرفت برای تاب‌آورتر شدن، لزوم تقدم شاخص‌های تاب‌آوری و پرهیز از عقب ماندن آن‌ها، نیاز به برقراری پیوند بین پیشرفت‌های تاب‌آوری سازمانی با قابلیت‌های رقابت و نیاز به تجاری کردن مسئله‌ی سرمایه‌گذاری در حوزه‌ی تاب‌آوری [۱۵] را مورد تأکید قرار می‌دهد، از این رو این مقاله به این سؤالات پاسخ می‌دهد که «ابعاد، شاخص‌ها و زیر شاخص‌های تاب‌آوری خبرگزاری‌های داخلی برای مواجهه با بلایای طبیعی محیطشان چیست؟» و «هر کدام از زیرشاخص‌ها دارای چه درجه از اهمیت هستند؟». اهداف این پژوهش شامل شناسایی ابعاد و مؤلفه‌های تاب‌آوری خبرگزاری‌ها از طریق مصاحبه با کارشناسان

و خبرگان حوزه‌های مختلف و مرتبط با موضوع و مشخص کردن میزان اهمیت هر یک از مؤلفه‌های شناسایی شده است.

پیشینه‌ی پژوهش

«بررسی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری خوشه‌های صنعتی در مواجهه با تحریم‌های اقتصادی؛ مورد مطالعه: خوشه‌ی تجهیزات بیمارستانی تهران» [۱۶] عنوان پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشدی است که عظیمی (۱۳۹۳) از آن دفاع کرده است. در این پژوهش عوامل مؤثر بر تاب‌آوری به چهار بعد اجتماعی- فرهنگی، اقتصادی، فنی- سازمانی و نهادی- زیرساختی تقسیم و نتایج در پنج سطح فرد، بنگاه، خوشه، دولت و محیط ارائه شده است. توت‌کار بیدریغ، فاضلی و حسنی (۲۰۱۶) نیز تحقیقی را با عنوان «بررسی مؤلفه‌های مؤثر بر تاب‌آوری سازمانی در زمان بحران» [۱۷] با هدف تدوین مؤلفه‌های مؤثر برای سنجش میزان تاب‌آوری سازمانی - نهادی کلان‌شهر رشت در مواجهه با مخاطرات انجام دادند. آن‌ها در تحقیق خود به این نتیجه دست یافتند که برخورداری از تجربه‌ی بحران گذشته مهم‌ترین عامل مؤثر بر تاب‌آوری سازمانی است. پیغامی، سعدآبادی و عظیمی (۱۳۹۵) نیز در طرح پژوهشی خود با نگاهی بومی و با توجه به متن فرهنگی کشور به دنبال ارائه‌ی مدل جامع تاب‌آوری سازمانی رفتند. آن‌ها در این پژوهش به مدلی پنج بعدی با ۲۲ شاخص و ۸۲ زیرشاخص رسیدند که نام آن را مدل جامع سنجش تاب‌آوری سازمانی گذاشتند [۱۸]. همچنین ابراهیمی، فیض و چیت‌کران (۱۳۹۶) مقاله‌ای را با عنوان «تحلیل جامع عوامل مؤثر بر تاب‌آوری سازمانی در صنایع کوچک و متوسط» [۱۹] و با هدف شناسایی و رتبه‌بندی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تاب‌آوری در صنایع کوچک و متوسط انجام دادند که نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد دو دسته عوامل درون سازمانی و برون سازمانی در تاب‌آوری صنایع کوچک و متوسط دخیل‌اند. عوامل درون‌سازمانی شامل پنج تم اصلی مدیریت، نیروی انسانی، تولید و عملیات، بازاریابی و فروش و افزونگی داخلی بود و عوامل برون‌سازمانی نیز چهار تم اصلی حمایت‌های دولت، انجمن‌ها و تشکل‌های صنفی، همکاری و ارتباطات میان سازمانی و افزونگی خارجی را در بر می‌گرفت. ایزدی (۱۳۹۶) نیز در تحقیقی با عنوان «شناسایی مؤلفه‌های مؤثر در کاهش تاب‌آوری سازمان‌ها در شرایط بحرانی با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه‌ی موردی سازمان آتش‌نشانی شهرستان آمل)» [۲۰] هفت عامل (نقش‌ها و مسئولیت‌ها، درک خطرات و مأموریت‌ها، پایداری سازه‌ای، ساختارهای مدیریتی، کیفیت آموزش کارکنان، شناخت تجهیزات و ادوات موجود، توانایی نیروی انسانی) را از مهم‌ترین عوامل اثرگذار در کاهش تاب‌آوری سازمان آتش‌نشانی اولویت‌بندی کرده است. اریک هولن‌اگل[۳] (۲۰۱۰) در مقاله‌ی خود با عنوان «مقدمه بر مقیاس سنجش تاب‌آوری[۴]» [۲۱] به چهار قابلیت پاسخ‌گویی[۵]، قابلیت نظارت[۶]، قابلیت پیش‌بینی[۷] و قابلیت یادگیری[۸] برای تاب‌آوری اشاره کرده است. لی[۹]، وارگو[۱۰] و سویلا[۱۱] (۲۰۱۳) نیز پژوهشی را برگرفته از رساله‌ی دکتری استیفنسون[۱۲] با عنوان «توسعه‌ی ابزار برای اندازه‌گیری و مقایسه‌ی تاب‌آوری سازمانی»[۱۳] به سرانجام رساندند. آن‌ها دو عامل قابلیت سازگاری با هشت مؤلفه و برنامه‌ریزی با پنج مؤلفه را برای سنجش تاب‌آوری سازمانی ارائه کردند.

مبانی نظری پژوهش

استفاده از نظریه در روش کیفی با مبانی فلسفی پژوهش کیفی که به رویکردهای تفسیری - برساختی تأکید دارد، منافات دارد ولی این بدان معنا نیست که در پژوهش‌های کیفی هیچ چشم‌اندازی وجود ندارد. در واقع در پژوهش کیفی جایگاه نظریه متفاوت از جایگاه نظریه در پارادایم کمی است. مبانی نظری پژوهش که در این بخش مطرح می‌شود نیز با توجه به ماهیت کیفی پژوهش حاضر صرفاً به علت حساسیت نظری محقق مطرح شده است تا محقق را در تکوین استقرایی مقولات و استخراج برساخته‌های ذهنی یاری نماید.

تاب‌آوری سازمانی

صاحب‌نظران مختلف از دیدگاه خود به موضوع تاب‌آوری سازمانی نگریسته‌اند اما بر اساس مطالعات بروز، پدیدآیی، توسعه و اهمیت تاب‌آوری سازمانی از سه منظر شامل ۱. سازمان‌ها همواره توسط شوک‌های ناگهانی تهدید می‌شوند، ۲. تاب‌آوری اجتماع در گرو تاب‌آوری سازمانی است و ۳. تاب‌آوری سازمانی با مزیت رقابتی نسبت دارد، می‌تواند مورد بحث قرار گیرد. اما اینکه واقعاً تاب‌آوری سازمانی چیست و چه مفهومی دارد نیازمند تعریف آن است. در ابتدا برای پاسخ به این سؤال به نظر تأکید بر گفته‌ی دی‌اچ[۱۴] و کری[۱۵] می‌تواند کمک کننده باشد؛ آن‌ها می‌گویند: همواره توجه کمتری به این مسئله شده که سازمان‌ها علی‌رغم بروز بلایای طبیعی در محیط اطرافشان موفق شده‌اند. آن‌ها معتقدند تاب‌آوری سازمانی شروع به پر کردن خلأها در این زمینه کرده است [۲۲]؛ به بیان ساده‌تر منظور آن‌ها این است که تاب‌آوری سازمانی و مفهوم آن توانسته دلایل موفقیت سازمان‌ها در پشت سر گذاشتن بحران‌ها را پاسخ دهد. با این وصف می‌توان دریافت که تاب‌آوری سازمانی با عبور موفق سازمان از بحران مترتب بر آن رابطه دارد، لذا ازآنجایی‌که تاب‌آوری سازمانی با مفهوم بحران ارتباط تنگاتنگ پیدا می‌کند و بحران نیز با عدم قطعیت نسبت دارد، می‌توان این مسئله را در مورد تاب‌آوری سازمانی مورد تأکید قرار داد که سازمان‌ها به روش‌های مختلف به عدم قطعیت پاسخ می‌دهند؛ آن‌ها کنترل‌های داخلی را متمرکز می‌کنند، یاد می‌گیرند، خلاق هستند و انطباق می‌یابند [۱۱]. البته امروزه مفاهیم متعددی ظهور کرده‌اند که به‌نوعی عناصر تاب‌آوری سازمانی هم در آن‌ها بررسی می‌شود؛ برای مثال سازمان قابلیت اطمینان بالا از جمله این مفاهیم است [۲۳] اما تاب‌آوری سازمانی فراتر از این‌چنین مفاهیمی است. به عبارت دقیق‌تر می‌توان گفت تاب‌آوری یک پدیده‌ی چندبعدی، اجتماعی و تکنیکی است. بر این اساس نخستین تعریف از تاب‌آوری سازمانی می‌تواند این باشد که تاب‌آوری سازمانی درواقع توانایی سازمان در پاسخ به شرایط اضطراری و انجام کارکردهای حیاتی سازمان در آن شرایط است. [۲۴]. سویا و همکاران تاب‌آوری سازمانی را «توانایی برای زنده

ماندن و حتی رشد بالقوه در زمان بحران» [۱۱] تعریف می‌کنند. مک‌مانوس معتقد است تاب‌آوری سازمانی آگاهی از عملکرد کلی وضعیت سازمان، مدیریت آسیب‌پذیری‌های اساسی و ظرفیت سازگاری در محیط پیچیده و پویا است [۲۵]. عندلیب و کاظمی می‌نویسند: تاب‌آوری سازمانی میزان آمادگی، ظرفیت تطابقی اجزای سازمان، مدیریت بهینه برای بازیابی و پوشش سریع اثرات حادثه است و بازگشت به حد مطلوب کارکرد سازمان را دنبال می‌کند [۲۶]. البته این نکته در باب تاب‌آوری سازمانی نیز باید مدنظر قرار گیرد که این مفهوم لزوماً رهیافتی واکنشی نیست بلکه رهیافتی کنشی نیز می‌تواند باشد [۱۵] ازاین‌رو است که در تعریف تاب‌آوری سازمانی آمده است: «تاب‌آوری سازمانی یک هدف مداوم در حال حرکت است که به عملکرد کسب‌وکار در شرایط معمولی و بحرانی کمک می‌کند» [۱۱].

بر اساس مطالعات و عطف به تعاریف فوق دو رهیافت کلی را می‌توان در تعریف مفهوم تاب‌آوری سازمانی مدنظر قرار داد [۲۷]:

۱. تاب‌آوری سازمانی به توانایی بازگشت ساده از موقعیت‌های غیرمنتظره، استرس‌زا، موقعیت‌های نامطلوب اشاره دارد.
۲. تاب‌آوری سازمانی به‌منزله‌ی توسعه‌ی قابلیت‌های جدید و توانایی گسترش‌یافته برای حفظ سرعت و ایجاد فرصت‌های جدید برای مقابله با چالش‌های غیرمنتظره و تغییرات اهمیت یافته است.

با این‌حال تعریف مورد قبول در این تحقیق از تاب‌آوری سازمانی، برگرفته از نگاه رهیافت دوم به تاب‌آوری سازمانی است و آن را برآیندی کلی از فرایندها و توابعی نظیر توابع مدیریت ریسک، تداوم کسب‌وکار، بازیابی فاجعه، مدیریت بحران، امنیت اطلاعات، تداوم عملیات، امنیت فیزیکی می‌داند.

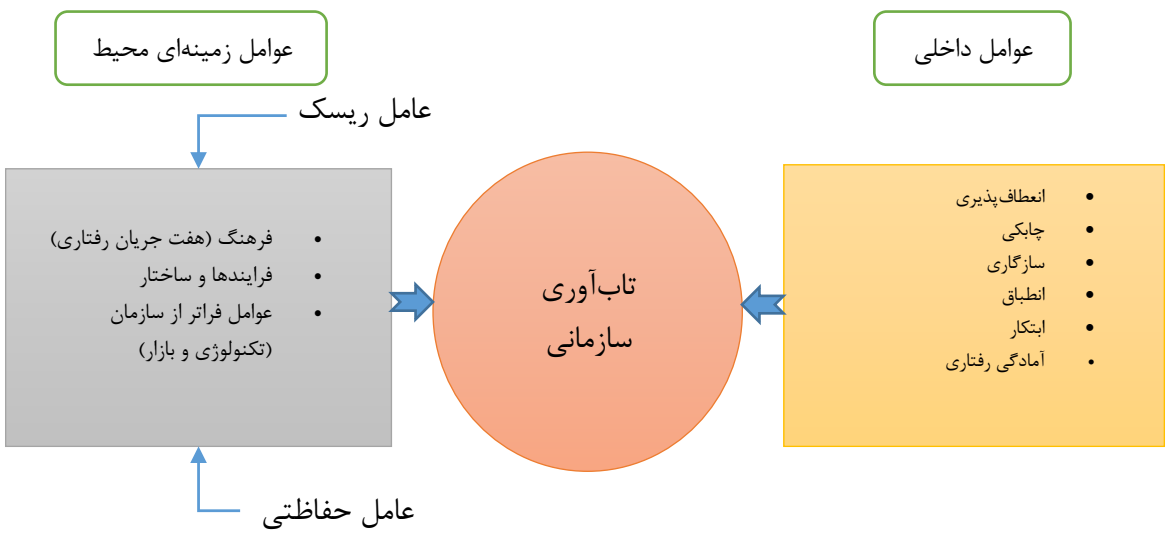
عوامل مؤثر بر تاب‌آوری سازمانی

عواملی را می‌توان برای تاب‌آوری سازمان برشمرد که تصویر ۱ آن‌ها را مشخص کرده است؛ این عوامل تحت عنوان عوامل تاب‌آوری داخلی[۱۶] (IRF) و عوامل زمینه‌ای محیط[۱۷] (ECF) در تاب‌آوری یک سازمان نقش ایفا می‌کنند. فاکتور تاب‌آوری داخلی سازمان‌ها توسط فاکتورهای زمینه‌ای محیط حمایت می‌شود و ظرفیت تاب‌آوری سازمانی را بالا می‌برد. در بین فاکتورهای داخلی، انعطاف‌پذیری به توانایی تغییر در زمان نسبتاً کوتاه و با هزینه‌ی کم اشاره می‌کند؛ چابکی توانایی توسعه و انجام اعمال رقابتی و پویایی را مورد توجه قرار می‌دهد؛ سازگاری بر توانایی بازسازی مناسب با توجه به محیط‌زیست تأکید دارد و در نهایت ابتکار به امکان انجام یا ساخت سریع منابع و استفاده‌ی منابع موجود بدون برنامه‌ریزی قبلی می‌پردازد. در بین عوامل زمینه‌ای محیط هم علاوه بر ساختار و فرایندها و همچنین عوامل فراتر از بازار، هفت جریان رفتاری در تاب‌آوری سازمانی نقش دارند که می‌توان از آن‌ها تحت عنوان ۷c نام برد؛ این جریان‌های رفتاری عبارت‌اند از: جامعه[۱۸]، صلاحیت[۱۹]، پیوندها[۲۰]، تعهد[۲۱]، ارتباطات[۲۲]، هماهنگی[۲۳] و ارزیابی[۲۴]. گفتنی است عوامل زمینه‌ای محیط هم می‌توانند به‌منزله‌ی عامل محافظتی تاب‌آوری یک سازمان نقش ایفا کرده و هم عامل ریسک باشند [۲۷].

الگوهای سنجش تاب‌آوری سازمانی

تاب‌آوری در سلامت و موفقیت سازمانی و همین‌طور در شکست‌های سازمانی نقش عمده‌ای ایفا می‌کند، بنابراین رسیدن به حد قابل قبول از تاب‌آوری اهمیت یافته است و میزان دستیابی به آن باید مرتباً اندازه‌گیری شود. سوابق پژوهشی نشان می‌دهد که در زمینه‌ی سنجش تاب‌آوری سازمانی چندین مدل ارائه شده است. مدل مک‌مانوس، مدل جامع سنجش تاب‌آوری سازمانی و مدل استیفنسون ازجمله مدل‌های شاخص انجام شده در این زمینه است.

یکی از شاخص‌ترین مدل‌های موجود در سنجش تاب‌آوری سازمانی مدل مک‌مانوس است. مک‌مانوس و همکاران وی با بررسی سازمان‌های نیوزلند مدلی را ارائه داده‌اند که ۳ بعد و هر



تصویر ۱: عوامل داخلی و خارجی مؤثر بر تاب‌آوری یک سازمان [۲۷]

جدول ۱: مدل ۱۵ مؤلفه‌ای سنجش تاب‌آوری سازمانی مک‌مانوس [۱۱]

آگاهی‌موقعیتی Situational awareness (SA)		مدیریت آسیب‌پذیری‌های کلیدی Key stone vulnerabilities (KV)		قابلیت تطابق‌پذیری Adaptive capacity (AC)	
نقش‌ها و مسئولیت‌ها	SA_1	استراتژی برنامه‌ریزی	KV_1	اندیشه سیلویی	AC_1
درک خطرات و پیامدها	SA_2	مشارکت در تمرینات	KV_2	ارتباطات و روابط	AC_2
آگاهی‌ارتباطی	SA_3	قابلیت و ظرفیت منابع داخلی	KV_3	چشم‌انداز استراتژیک و پیش‌بینی نتایج	AC_3
آگاهی‌بیمه‌ای	SA_4	قابلیت و ظرفیت منابع خارجی	KV_4	دانش و اطلاعات	AC_4
اولویت‌های بازسازی	SA_5	اتصال‌سازمانی	KV_5	ساختارهای رهبری، هدایت و مدیریت	AC_5

جدول ۲: ابعاد و شاخص‌های الگوی جامع سنجش تاب‌آوری سازمانی [۲۸، ۱۸]

ابعاد	شاخص‌ها
رهبری و مدیریت	مأموریت و خط‌مشی و اهداف سازمان، نگاه بلندمدت و استراتژیک، برنامه‌ریزی و نگهداشت و بهبود مستمر، حمایت مدیران سطوح عالی، روحیه و تحصیلات و مهارت‌ها
انسانی و اجتماعی	تحصیلات و مهارت‌ها، حس جمعی و پیوند منافع فردی و جمعی در سازمان، برنامه‌های آموزشی و توسعه‌ی دانش و مهارت‌ها، فرهنگ و سرمایه‌ی اجتماعی، مشارکت در برنامه‌های آمادگی مقابله با بحران
سازمانی و عملیاتی	ساختار منعطف و پویا، قابلیت و ظرفیت منابع داخلی، تحلیل و ارزیابی فعالیت‌های سازمان، تکنولوژی و استفاده از نرم‌افزار و اینترنت، مستندسازی و سناریوپردازی درباره‌ی مخاطرات بالقوه‌ی احتمالی، توجه به مدیریت کیفیت جامع و کاهش ضایعات و اتلاف‌ها
ارتباطی و اطلاعاتی	منابع اطلاعات سازمان، شبکه‌سازی و یکپارچگی دانش و اطلاعات در سازمان
نهادی و زیرساختی	مکان و دسترسی به تسهیلات و زیرساخت‌های شهری، مطابقت با قوانین و الزامات قانونی، دریافت حمایت از نهادها و سازمان‌های مرتبط، شدت رقابت و قدرت رقبا

بعد ۵ شاخص دارد [۱۱]. مدل معروف به مک‌مانوس در مجموع ۱۵ شاخص را در برمی‌گیرد. جدول ۱ الگوی مک‌مانوس را نشان می‌دهد.

استیفنسون هم در بخشی از رساله‌ی دکتری خود در پی سنجش کاربست‌پذیری ابزار سنجش تاب‌آوری سازمانی مدل مک‌مانوس، مدل جدیدی را ارائه می‌دهد. مدلی که او ارائه می‌دهد دارای دو بعد «ظرفیت تطبیقی» و «برنامه‌ریزی» بود. در بعد «ظرفیت تطبیقی» شاخص‌های به حداقل رساندن سیلوها، منابع داخلی، تعامل و مشارکت کارکنان، دانش و اطلاعات و رهبری، خلاقیت و نوآوری، تصمیم‌گیری، نظارت و گزارش وضعیت و برای بعد «برنامه‌ریزی» شاخص‌های استراتژی‌های برنامه‌ریزی، مشارکت در تمرین‌ها، وضع فعلی، منابع خارجی، اولویت‌های بازیابی ارائه شده است [۱۵].

مدل جامع سنجش تاب‌آوری سازمانی نیز مدلی ارائه شده توسط پژوهشگران دانشگاه امام صادق (ع) است که در کتابی به نام «جستارهایی در اقتصاد مقاومتی (پایش تاب‌آوری سازمانی)» منتشر شده است. در این مدل پنج بعد، ۲۲ شاخص و ۸۲ زیرشاخص ارائه شده است. ابعاد و شاخص‌های این الگو را می‌توان در جدول ۲ مشاهده کرد.

تاب‌آوری و تفاوت سازمان‌های رسانه‌ای و صنعتی

هر چند که رسانه‌ها خود در دایره‌ی صنعت می‌گنجند اما به نهادی تبدیل شده‌اند که قواعد و هنجارهای ویژه‌ی خود را دارند [۲۹] ازاین‌رو سازمان‌های رسانه‌ای تفاوت‌های عمده و چشمگیری با سازمان‌های صنعتی دارند و با ویژگی‌های منحصربه‌فرد نیازمند مدیریت متفاوتی نیز هستند. برای شناخت ویژگی‌های سازمان رسانه ابتدا باید جزئیات پیچیدگی در سازمان رسانه روشن شود. اکثر صاحب‌نظران ارتباطات از دیدگاه‌های مختلفی مانند مارکسیسم، فمینیسم، دروازه‌بانی خبر، کثرت‌گرایی و کنش اجتماعی درباره‌ی سازمان رسانه اظهار نظر کرده‌اند [۳۰] (جدول ۳).

همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد پیچیدگی در سازمان‌های رسانه‌ای به‌شدت بالاست. حال این مسئله سبب ویژگی‌هایی در سازمان‌های رسانه‌ای شده است که برای آن‌ها تمایز آفرین است. لاوین[۲۵] و واکمن[۲۶] ماهیت محصول، نوع کارکنان و متغیرهای سازمانی ویژه و نقش سازمان‌های رسانه در جامعه را از جمله عوامل متفاوت بودن سازمان‌های رسانه‌ای با سایر سازمان‌ها می‌دانند [۳۱]. مک‌مانوس نیز نقطه‌ی افتراق سازمان‌های رسانه‌ای با سایر سازمان‌ها را در بازارهای چهارگانه‌ی

جدول ۳: طبقه‌بندی ویژگی‌های سازمان رسانه‌ای [۳۰]

ویژگی	طبقه
ابهام مسئله	تأثیر دیدگاه و ارزش‌های افراد در درک اطلاعات و شکل‌دهی به محتوا تأثیر درک متفاوت افراد در انتخاب و شکل‌دهی به محتوا
ابهام هدف	نبود قواعد و دستورالعمل شغلی نبود امکان تعریف کامل شغلی
ابهام شغل	وجود اهداف و نیازهای متفاوت و گاه متضاد سازش، نبود قطعیت و جابه‌جایی اهداف
ابهام در قدرت	منابع مختلف اعمال قدرت در رسانه
افزایش پیچیدگی	تحولات بنیادین ناشی از فناوری اطلاعات و ارتباطات کثرت اطلاعات، ارزش‌ها و هنجارهای ورودی

آن‌ها شامل بازار تبلیغات، بازار مصرف‌کننده، بازار صنایع و بازار منابع می‌بیند [۲۹]. ترنستروم[۲۷] هم بازار سازمان‌های رسانه‌ای را شامل بازار مصرف‌کنندگان - بینندگان، خوانندگان، شنوندگان و بازار سیاستمداران می‌داند [۳۲]. فرهنگی و همکاران نیز بر اساس دیدگاه محیط‌های متغیر به ویژگی‌هایی برای سازمان‌های رسانه‌ای اشاره می‌کنند؛ آن‌ها معتقدند یکی از ویژگی‌های این سازمان‌ها «شتاب فناوری» است، بدین معنا که شتاب تغییر در فناوری ارتباطات در دو دهه‌ی اخیر بیش از هر زمان دیگری است و سازمان‌های رسانه‌ای را مجبور به تغییرات تکنولوژیکی کرده است. «واکنش سریع» نیز از دیگر ویژگی‌های مورد نظر برای سازمان رسانه‌ای به شمار می‌رود؛ مدیریت سازمان رسانه‌ای خصوصاً از نظر خبری مدیریت دائماً در بحران است و باید نسبت به رویدادهای اطراف به‌صورت سریع واکنش نشان دهد. «جو رقابتی شدید» هم جزو لاینفک سازمان‌های رسانه‌ای محسوب می‌شود و بین سازمان‌های رسانه به دلیل تهاجمات اطلاعاتی و رسانه‌ای و حتی تهاجمات فرهنگی رقابت بسیار شدیدی وجود دارد. «ارتباط ناپایدار با مخاطبان» و «کیفیت مخاطبان» هم از جمله ویژگی‌هایی است که محیط سازمان‌های رسانه‌ای را به‌شدت متغیر و پویا کرده است [۲۹]. خجسته (۱۳۹۴) نیز تفاوت سازمان‌های رسانه‌ای و صنعتی را در ۷ حوزه شامل محیط، فناوری، بازار، کارکرد، محصول، سازمان، فرایند تولید بررسی کرده است. با وجود مطالعات گذشته روشن است که صنعت رسانه متمایز از سایر صنایع به‌صورت ماهیتی است، بنابراین در مدیریت یک سازمان رسانه‌ای نیز این تفاوت‌ها باید لحاظ شود و می‌توان گفت که این تفاوت‌ها در نیل به تاب‌آوری نیز خود را نشان می‌دهد و مؤلفه‌های تاب‌آوری این سازمان‌ها متفاوت از سایر سازمان‌های صنعتی است.

روش پژوهش

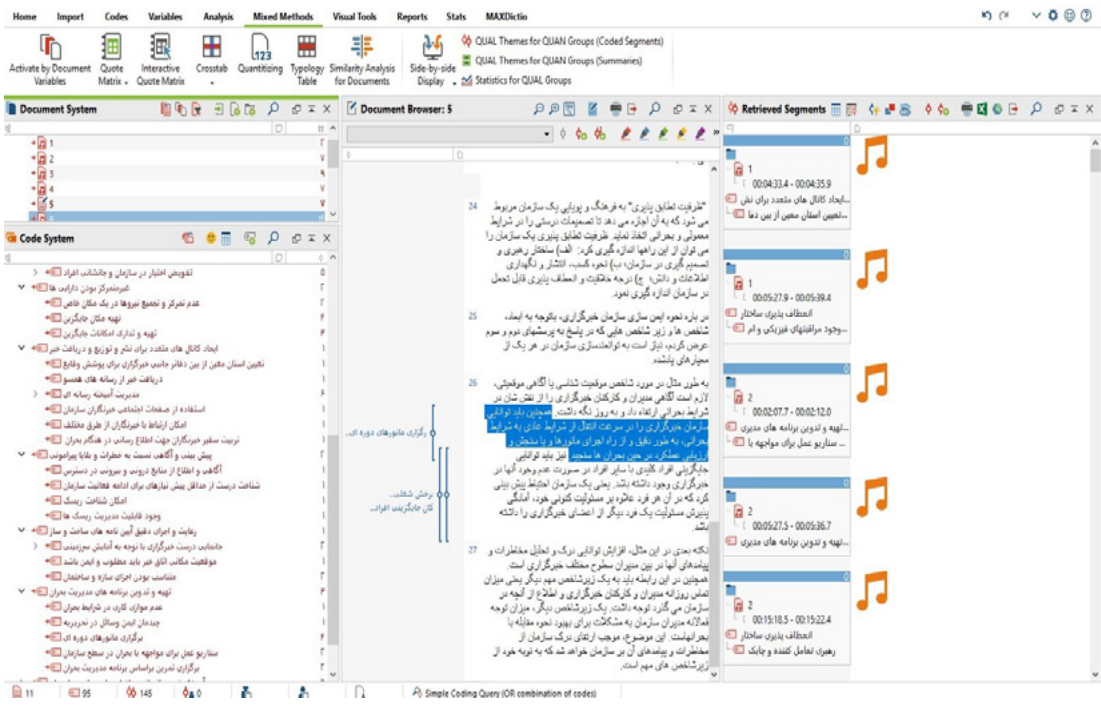
پژوهش حاضر بر اساس رویکرد استقرایی انجام شده و از نظر نوع، بنیادی محسوب می‌شود. در پژوهش استقرایی بدون هیچ فرض و چارچوبی و بر مبنای داده‌های به‌دست‌آمده تولید نظری انجام می‌شود. همچنین به دلیل نوین بودن حوزه‌ی مورد تحقیق، این پژوهش در قالب رویکردی اکتشافی به روش دلفی کلاسیک انجام شده است. تکنیک دلفی امروزه به‌منزله‌ی یک روش تحقیق به رسمیت شناخته شده است و ارزش آن از لحاظ علمی و عملی ثابت شده است [۳۴]. دلفی یکی از روش‌های کسب دانش گروهی شناخته می‌شود [۳۵] و برای به دست آوردن اجماع در میان یک گروه از کارشناسان کاربرد دارد [۳۶]. جامعه‌ی مورد بررسی این تحقیق را سه دسته‌ی اصلی صاحب‌نظران حوزه‌ی مدیریت، رسانه و بحران تشکیل داده‌اند. این سه دسته‌ی اصلی شامل اساتید رشته‌ی مدیریت، اساتید رشته‌ی مدیریت رسانه، صاحبان رسانه‌ها و خبرگزاری‌ها، دست‌اندرکاران مدیریت بحران و ایمنی بودند. نمونه‌گیری به دو روش هدفمند و گلوله برفی انجام شد و اندازه‌ی مناسب نمونه به‌وسیله‌ی اشباع تئوریکی تعیین گردید بدین معنا که انتخاب نمونه‌ها تا زمانی تداوم یافت که هیچ داده‌ی مرتبط جدیدی در رابطه با موضوع به دست نیامد. بر همین مبنا با ۱۵ تن از کارشناسان و خبرنگان مرتبط با موضوع تحقیق که مشخصات آن‌ها در جدول ۴ آمده است مصاحبه‌ی عمیق صورت گرفت.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از مصاحبه‌ها، تمامی مصاحبه صورت گرفته با خبرگان تحقیق تبدیل به متن شد و متن این مصاحبه‌ها به نرم‌افزار MaxQDA وارد شد (تصویر ۲). در مرحله‌ی بعدی کدگذاری داده‌ها انجام شد؛ کدگذاری باز و محوری متون مصاحبه‌های عمیق از طریق نرم‌افزار انجام و سبب شد تا ۷۱ زیرشاخص استخراج شود که آن‌ها ذیل ۱۴ شاخص اصلی و پنج بعد طبقه‌بندی شدند (کدگذاری محققان طبق نمونه‌ای که در جدول ۵ آمده است، انجام شد). زیرشاخص‌های به‌دست آمده ملاک تهیه‌ی پرسش‌نامه‌ای پنج مقیاسی بر اساس طیف لیکرت از «خیلی‌کم» با وزن ۱ تا «خیلی‌زیاد» با وزن ۵ برای دور دوم دلفی و رسیدن به اجماع در این دور شد.

در دورهای دوم و سوم دلفی که ۱۳ تن از ۱۵ کارشناس مشارکت‌کننده در دور اول حضور داشتند، ملاک اجماع برای دو هدف شامل «ضرورت وجود هر زیرشاخص» و «میزان اهمیت هر زیرشاخص» تعیین شد؛ در دور دوم این تحقیق بر اساس نظر محققان هر زیرشاخصی که بر اساس نظر کارشناسان، میانگین ۳ و بالاتر را کسب می‌کرد، ضرورت وجود آن مورد اجماع شناخته می‌شد. هر زیرشاخصی که میانگین رأی به آن بین ۲ تا ۳ قرار داشت مجدد در دور بعدی دلفی قرار می‌گرفت و زیرشاخص‌های

جدول ۴: مشخصات مشارکت‌کنندگان در پانل دلفی

ردیف	مشخصات مشارکت‌کنندگان در تحقیق	نحوه‌ی مشارکت در دوره‌های مختلف		
		دور اول	دور دوم	دور سوم
۱	استاد گروه مدیریت بحران دانشگاه یورک دارای مدرک دکتری برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای از دانشگاه نیوکاسل انگلستان	*		
۲	استادیار دانشگاه تهران، مشاور در وزارت‌خانه فرهنگ و ارشاد اسلامی و فعال در حوزه‌ی پژوهش‌های مدیریت رسانه و بحران	*	*	*
۳	دانشجوی دکتری مدیریت رسانه - سردبیر خبرگزاری تسنیم	*	*	*
۴	قائم مقام خبرگزاری خبرآنلاین - دارای مدرک ارشد مدیریت	*	*	*
۵	مدیر پژوهش‌های خبرگزاری تسنیم - دارای مدرک ارشد در رشته‌ی رسانه و فرهنگ	*	*	*
۶	معاون خبرگزاری ایسنا و دارای مدرک ارشد در رشته‌ی رسانه و فرهنگ	*	*	*
۷	استاد دانشگاه تهران و متخصص در حوزه‌ی خبر	*		
۸	مدیر اخبار و فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مدیریت رسانه	*	*	*
۹	سردبیر باشگاه خبرنگاران پویا با سابقه‌ی ۳۰ ساله در حوزه‌ی مطبوعات و خبرگزاری‌ها	*	*	*
۱۰	دانشیار دانشگاه و دارای مدرک دکترای ارتباطات از دانشگاه پنجاب دارای مقالات متعدد در حوزه‌ی خبرگزاری‌ها و مدیریت بحران	*	*	*
۱۱	استاد دانشگاه علامه طباطبائی و عضو انجمن بین‌المللی تحقیق در ارتباط جمعی با سابقه‌ی فعالیت در سمت سردبیر در مطبوعات	*	*	*
۱۲	دانش‌آموخته دکتری تخصصی علوم ارتباطات اجتماعی و مدیر مسئول اسبق روزنامه‌ی همشهری	*	*	*
۱۳	دانشیار گروه مدیریت دانشگاه امام صادق (ع) و مشاور سازمان صداوسیما و متخصص در حوزه‌ی مدیریت بحران و رسانه	*	*	*
۱۴	کارشناس پژوهشی پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران و دارای مدرک دکتری علوم ارتباطات اجتماعی از دانشگاه دوستی ملل روسیه	*	*	*
۱۵	دانشیار دپارتمان سلامت در بلایا و دارای مدرک دکتری تخصصی و پزشکی و سلامت عمومی	*	*	*



تصویر ۲: نمایی از نرم‌افزار MaxQDA 2018

جدول ۵: نمونه‌ای از متون کدگذاری‌شده‌ی مصاحبه‌شوندگان و استخراج کدهای اولیه

عبارت مصاحبه‌شوندگان	کد اولیه‌ی استخراج شده
باید توانایی جایگزینی افراد کلیدی با سایر افراد در صورت عدم وجود آن‌ها در خبرگزاری وجود داشته باشد. یعنی یک سازمان احتیاط پیش‌بینی کرد که در آن هر فرد علاوه بر مسئولیت کنونی خود، آمادگی پذیرش مسئولیت یک فرد دیگر از اعضای خبرگزاری را داشته باشد.	امکان جایگزینی افراد
یک سازمان خبری برای اینکه تاب‌آور باشد باید ارتباط مستقیم و نزدیکی با مخاطبان، رقبا و شرکا داشته باشد.	ارتباط و نزدیکی با خبرگزاری‌های همسو
در زمان جنگ روزنامه‌ها و صداوسیما مکان جایگزینی را برای خود تدارک دیده بودند و اگر بمباران سبب نابودی محل تحریریه می‌شد آن‌ها سریعاً با رفتن به آن محل که عمدتاً مناطقی در زیرزمین بود کار خود را از سر می‌گرفتند.	تهیه‌ی مکان جایگزین
در حادثه‌ی هواپیمای c۱۳۰ اگر مدیران به‌جای اینکه به فکر هزینه‌ی چند میلیونی پرواز خبرنگاران توسط پروازهای باشند این افراد را با پروازهای مختلف می‌فرستادند، آن دیه‌ی ۱ میلیارد تومانی به‌جای هزینه چند میلیون تومانی نمی‌نشست و ۳۰ نفر هم جان خود را از دست نمی‌دادند.	دیدگاه سرمایه محور به‌جای دیدگاه هزینه محور به تاب‌آوری سازمان
برای سازمان‌هایی که می‌خواهند تاب‌آور باشند باید قدرت یادگیری، تغییر و اصلاح ساختارها در آن زیاد باشد.	امکان بالای اصلاح ساختار

جدول ۶: روش‌های تعیین روایی و پایایی پژوهش [۳۷، ۳۸، ۳۹]

روایی	پایایی
در بستر پژوهش بودن پاسخ‌گویان	هدایت دقیق جریان مصاحبه
حداقل مداخله در توصیف	ایجاد فرایندهای ساختمند برای اجرا و تفسیر مصاحبه‌ها
بهره‌گیری از منابع مختلف داده	استفاده از کمیته‌ی تخصصی
بازخورد به مشارکت‌کنندگان	------

دارای میانگین کمتر از ۲ از فرایند دلفی کنار گذاشته می‌شدند. در مورد میزان اهمیت هر زیرشاخص در دور دوم ملاک اجماع متفاوتی در نظر گرفته شد. به این منظور از شاخص مد استفاده شد؛ در مورد اجماع با استفاده از مد آمده است: «اگر ارزش انتخاب شده معادل نظر ۵۰ درصد کارشناسان بود آنگاه اجماع حاصل شده است» [۳۴]. در دور سوم که پرسش‌نامه‌ی طراحی شده با توجه به نتایج دور دوم صرفاً دارای دو گزینه‌ی «موافق» و «مخالف» بود تنها ملاک اجماع بر روی هر دو موضوع یعنی هم ضرورت وجود یک زیرشاخص و هم میزان اهمیت آن، شاخص مد تعیین شد. ضمناً گرچه موضوع پایایی و روایی ریشه در پارادایم اثبات‌گرایی و تحقیقات کمی دارد و در تحقیقات کیفی این مسئله بر اصول مشخصی استوار نیست [۳۷] و هیچ آزمون استانداردی برای تعیین روایی تحقیقات کیفی وجود ندارد اما این تحقیق به‌عنوان یک تحقیق کیفی بر اساس راهبردهای پژوهش کیفی از معیارهایی برای روایی و پایایی تحقیق نیز بهره برد که در جدول ۶ به اختصار به آن‌ها اشاره شده است.

یافته‌های پژوهش

هدف غایی هر پژوهشی دستیابی به نتایجی است که به سؤال‌های مطرح شده در آن پژوهش پاسخ دهد. این پژوهش نیز در ابتدا با سه سؤال اصلی مبتنی بر شناسایی ابعاد، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های سنجش تاب‌آوری سازمانی خبرگزاری‌ها در بحران‌های طبیعی شکل گرفت و در ادامه مشخص شدن میزان اهمیت هر یک از زیرشاخص‌ها مورد توجه قرار گرفت. در دور اول دلفی مصاحبه‌های ۱۵ کارشناس مشارکت‌کننده در این دور کدگذاری شد و ۷۱ زیرشاخص از مصاحبه‌ها به دست آمد. در دور دوم دلفی ۷۱ زیرشاخص به دست آمده به کارشناسان و خبرگان عرضه شد تا در مورد هر یک از آن‌ها نظر دهند. نتیجه‌ی نظر کارشناسان و خبرگان مشارکت‌کننده در دور دوم دلفی نشان داد که بر روی ضرورت وجود ۷۰ زیرشاخص اجماع وجود دارد و تنها در مورد ضرورت وجود زیرشاخص «امکان اطلاع‌رسانی از طریق فکس» اجماع وجود نداشت؛ این در حالی بود که در مورد میزان اهمیت ۲۶ زیرشاخص نیز اجماع وجود نداشت و لازم بود تا در دور سوم در مورد آن‌ها مجدد از کارشناسان و خبرگان سؤال شود. در دور سوم در مورد ضرورت وجود زیرشاخص «امکان اطلاع‌رسانی از طریق فکس» دوباره اجماعی حاصل نشد و این زیرشاخص کنار گذاشته شد و طبیعتاً بررسی اهمیت آن درست نبود اما در این دور ۲۵ زیرشاخص دیگر که اجماع بر روی اهمیت آن‌ها در دور دوم به دست نیامده بود، مورد اجماع کارشناسان قرار گرفت و نتیجه‌ی مورد نظر تحقیق با ۷۰ زیرشاخص به وجود آمد. در بین این ۷۰ زیرشاخص، ضرورت وجود ۸ زیرشاخص از نظر کارشناسان با میانگینی بین ۳ تا ۴ و ضرورت وجود ۶۲ زیرشاخص دیگر با میانگینی بین ۴ تا ۵ مورد اجماع واقع شد. همچنین ۴۶ زیرشاخص با اهمیت «خیلی زیاد»، ۲۲ زیرشاخص با اهمیت «زیاد» و ۲ زیرشاخص با اهمیت «متوسط» نتیجه‌ی هدف دوم تحقیق را شکل دادند (جدول ۷).

جدول ۷: یافته‌های تحقیق در یک نگاه

ابعاد	شاخص‌ها	زیرشاخص‌ها	اجماع در مجموع سه دور	میزان اهمیت
تاب‌آوری ارتباطی	توزیع و ارسال اخبار و اطلاعات	۱. امکان اطلاع‌رسانی از طریق فکس	☒	-------
		۲. تبادل و توزیع اخبار از طریق شبکه‌های اجتماعی خبرگزاری	☑	خیلی زیاد
		۳. امکان اطلاع‌رسانی از طریق سیستم‌های پیامکی	☑	زیاد
		۴. امکان اطلاع‌رسانی مکتوب	☑	متوسط
		۵. استفاده از صفحات اجتماعی خبرنگاران سازمان	☑	زیاد
		۶. تربیت سفیر خبرنگاران برای اطلاع‌رسانی در هنگام بحران	☑	خیلی زیاد
		۷. ارتباط با خبرگزاری‌های همسو و امکان ارتباط از طریق آن‌ها	☑	زیاد
		۸. تعیین دفاتر جانبی معین برای پوشش وقایع	☑	خیلی زیاد
	دریافت داده و اطلاعات	۹. دریافت خبر از رسانه‌های مورد اعتماد و همکار	☑	متوسط
		۱۰. امکان حفظ ارتباط با خبرنگاران	☑	خیلی زیاد
تاب‌آوری اطلاعاتی	ذخیره‌سازی داده‌ها و اطلاعات	۱۱. ایمن و مطلوب بودن موقعیت مکانی سرورهای خبرگزاری	☑	خیلی زیاد
		۱۲. ذخیره‌سازی اطلاعات در نقاط مختلف	☑	خیلی زیاد
		۱۳. پشتیبان‌گیری از اطلاعات	☑	خیلی زیاد
		۱۴. وجود سرورهایی در خارج از سازمان	☑	خیلی زیاد
	دسترسی به سایت	۱۵. وجود سایت پشتیبان (HTML Basic)	☑	خیلی زیاد
		۱۶. استفاده از سرویس‌دهنده‌های مختلف برای اتصال به اینترنت	☑	زیاد
		۱۷. امکان دسترسی به پنل‌های کاربری در خارج محیط سازمانی	☑	خیلی زیاد
تاب‌آوری سازه‌ای	مقاوم‌سازی سازه	۱۸. رعایت و اجرای دقیق آیین‌نامه‌های ساخت‌وساز	☑	خیلی زیاد
		۱۹. متناسب بودن اجزای سازه و ساختمان	☑	خیلی زیاد
	جانمایی سازه	۲۰. جانمایی درست خبرگزاری با توجه به آمایش سرزمینی	☑	خیلی زیاد
		۲۱. مطلوب و ایمن بودن موقعیت مکانی اتاق خبر	☑	خیلی زیاد
تاب‌آوری فردی	تاب‌آوری فردی مدیران و کارکنان	۲۲. توانایی کنترل استرس	☑	خیلی زیاد
		۲۳. توانایی مدیریت صحیح در لحظه	☑	خیلی زیاد
		۲۴. توانایی کمک به دیگران	☑	خیلی زیاد
		۲۵. توانایی حفظ خونسردی	☑	خیلی زیاد
سازمانی-فنی	آینده‌نگری و ریسک‌پذیری و شناخت بحران‌های بالقوه	۲۶. روحیه‌ی ریسک‌پذیری	☑	خیلی زیاد
		۲۷. ترسیم افق و چشم‌اندازهای امیدوارکننده	☑	زیاد
		۲۸. عینی و واقعی نگاه کردن به اتفاقات و حوادث	☑	خیلی زیاد
		۲۹. پیش‌بینی و آگاهی نسبت به خطرات و بلایای پیرامونی	☑	خیلی زیاد
		۳۰. آگاهی و اطلاع از منابع درونی و بیرونی در دسترس	☑	خیلی زیاد
		۳۱. شناخت از حداقل پیش‌نیازها برای ادامه‌ی فعالیت سازمان	☑	زیاد
		۳۲. امکان شناخت ریسک و وجود قابلیت مدیریت ریسک‌ها	☑	خیلی زیاد
		۳۳. وجود سازوکار بیمه‌ای قوی	☑	زیاد
	ایمنی و تمرکززدایی	۳۴. عدم وجود نگاه مقطعی به مسئله‌ی ایمنی و فرهنگ‌سازی ایمنی	☑	خیلی زیاد
		۳۵. چیدمان ایمن وسایل در تحریریه	☑	خیلی زیاد
		۳۶. وجود دستگاه‌های هشدار بروز بلایا در سازمان	☑	زیاد
		۳۷. دسترسی مناسب به زیرساخت‌ها نظیر برق، تلفن، آب	☑	خیلی زیاد
		۳۸. عدم تمرکز و تجمیع نیروها در یک مکان خاص	☑	زیاد
		۳۹. تهیه‌ی مکان جایگزین	☑	زیاد
		۴۰. تهیه و تدارک امکانات جایگزین	☑	زیاد
		۴۱. وجود امکانات اولیه‌ی امدادرسانی و تجهیزات اضطراری	☑	خیلی زیاد
		۴۲. وجود تجهیزات اطفای حریق سالم	☑	خیلی زیاد
		۴۳. وجود مراقبت‌های فیزیکی و امنیتی	☑	زیاد

ادامه جدول ۷: یافته‌های تحقیق در یک نگاه

ابعاد	شاخص‌ها	زیرشاخص‌ها	اجماع در مجموع سه دور	میزان اهمیت
سازمانی-فنی	فرهنگ تاب‌آوری	دیدگاه سرمایه‌محور به‌جای دیدگاه هزینه‌محور بر تاب‌آوری	☑	زیاد
		نگاه راهبردی و اولویتی به مسئله‌ی تاب‌آوری	☑	خیلی زیاد
		آمادگی برای تأمین زندگی اعضا در هنگام بروز بحران	☑	خیلی زیاد
		وجود دیوار بلند اعتماد بین مسئولان و خبرنگاران و کارکنان	☑	خیلی زیاد
		واکنش و مواجهه‌ی فعالانه در قبال بحران و فرصت‌سازی از آن	☑	خیلی زیاد
		وجود باور کنترل خسارات در بین مسئولان سازمان	☑	خیلی زیاد
		آمادگی زیستن در شرایط متغیر	☑	زیاد
		ذهنیت باز و آماده‌ی تغییر	☑	خیلی زیاد
	فرهنگ تداوم کسب‌وکار	تعهد کارکنان و خبرنگاران در قبال سازمان	☑	خیلی زیاد
		تمایل به تداوم کسب‌وکار در شرایط بحرانی در سطوح مختلف	☑	زیاد
		آماده کردن سازمان توسط رهبر برای دوران پس از خود	☑	زیاد
		امکان چابک‌سازی و کوچک‌سازی سازمان	☑	زیاد
		بالا بودن امکان تغییر و اصلاح ساختار	☑	زیاد
		سیستم نقش‌های مجازی	☑	زیاد
	دانش سازمانی و آموزش	تبدیل دانش به رفتار فردی ایمن	☑	خیلی زیاد
		جریان داشتن اطلاعات مربوط به سازمان در بدنه‌ی سازمان	☑	زیاد
		ایجاد دستورالعمل‌ها برای مواجهه با بحران	☑	خیلی زیاد
		برگزاری مانورهای دوره‌ای و آموزش مواجهه با بحران	☑	خیلی زیاد
	ساختار مدیریت بحران سازمانی	تعریف مسئولیت مدیریت بحران و پدافند غیرعامل در سازمان	☑	خیلی زیاد
		تهیه و تدوین برنامه‌های مدیریت بحران	☑	خیلی زیاد
		عدم موازی کاری در شرایط بحران	☑	خیلی زیاد
		داشتن سناریوی عمل برای مواجهه با بحران در سطح سازمان	☑	خیلی زیاد
	رهبری و نیروی انسانی	وجود رهبری کاریزماتیک در سازمان	☑	خیلی زیاد
		تفویض اختیار در سازمان	☑	زیاد
		امکان جایگزینی افراد و چرخش شغلی	☑	خیلی زیاد
		وجود افراد چندکاره و ذوالفنو ن در بدنه‌ی خبرگزاری	☑	خیلی زیاد
		به‌کارگیری نیروهای جوان در صدر	☑	زیاد
		تربیت نیروی انسانی هوشمند با قابلیت تفکر استراتژیک	☑	خیلی زیاد

بحث و نتیجه‌گیری

در این بخش بر اساس پیشینه‌ی پژوهش و مبانی نظری تحقیق به مقایسه و تحلیل یافته‌های پژوهش پرداخته شده است. با توجه به اینکه این تحقیق خاص خبرگزاری‌ها انجام شد و خبرگزاری‌ها نیز همواره در ارتباط با مخاطب هستند، موضوع مهم برای آن‌ها حفظ فرایند دریافت اطلاعات - انتقال اطلاعات به مخاطب حتی در هنگام بحران است و عموماً شاخص‌های مؤثری برای ماندگاری و بقای این فرایند نیاز است که شاخص‌های «توزیع و ارسال اطلاعات» و «دریافت داده‌ها و اطلاعات» مبتنی بر فرایند ارتباطی گفته شده عمل می‌کند. دوهه[۲۸] (۲۰۰۸) در تحقیق خود راجع به تاب‌آوری سازمان‌های رسانه‌ای در طوفان کاترینا به سه نکته‌ی اساسی اشاره می‌کند که رسانه‌ها باید نسبت به آن توجه کنند: اول، شدت اثر بر کارکنان را کنترل کنند؛ دوم، فناوری جایگاهش کجاست و رسانه‌ها برای ارتباط خود در طول بحران چه می‌کنند؟ و سوم، مردم در طول بحران همواره به اطلاعات نیاز دارند و باید اطلاعات را به آن‌ها رساند. این دو شاخص به‌واسطه‌ی زیرشاخص‌های خود پایداری دریافت اطلاعات و انتقال آن را تضمین می‌کنند تا فرایند ارتباط در هنگام بحران پایدار و مانا باشد.

دو شاخص دریافت اطلاعات و انتقال اطلاعات نکات دوم و سوم مورد نظر تحقیق دوهه را جامه‌ی عمل می‌پوشاند. شاخص‌های بعد اطلاعاتی نیز در این تحقیق بر اهمیت مؤلفه‌های تکنولوژیکی در سازمان خبرگزاری تأکید دارد. اهمیت تکنولوژی در تاب‌آوری سازمانی در یافته‌های محققانی چون پیغامی و همکاران (۱۳۹۵)، گانسکاران[۲۹] و همکاران (۲۰۱۱) و عظیمی (۱۳۹۳) مورد تأکید قرار گرفته است. سازمان خبرگزاری باید بتواند با تاب‌آوری کردن تجهیزات فنی خود که اطلاعات در آن‌ها نگه‌داری می‌شود هم اسناد خود را به‌طور مناسب محافظت کند و هم از اطلاعاتی که برای مردم در قالب ژانرهای مختلف خبری تدارک دیده است، محافظت نماید و فرایند دسترسی به وب‌سایت خود را به‌عنوان کانال اصلی ارتباط با مخاطب - مشتری همواره پایدار نگه‌دارند و اطلاعات آن را حفظ کنند. دو شاخص «جانمایی سازه» و «مقاوم‌سازی سازه» که در قالب بعد تاب‌آوری سازه‌ای به آن‌ها اشاره شده است نیز در تحقیقات تنی چند از محققان به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم دیده شده است. زیرشاخص‌های این دو شاخص همگی دارای اهمیت خیلی زیاد از نظر کارشناسان بودند که با یافته‌ها و گفته‌های سایر محققان همخوانی زیادی

دارد. دابسون و دیگران قرار گرفتن در معرض یک تهدید را یکی از شاخص‌های اصلی آسیب‌پذیری قلمداد می‌کنند [۱۸]. گانسکاران و همکاران (۲۰۱۱) و کاتر و دیگران (۲۰۰۸) اشاره می‌کنند که اهمیت مکان هم در سطح اجتماعی و هم در سطح سازمانی دیده شده است. ایزدی (۱۳۹۶) هم در یافته‌های تحقیق خود پایداری سازه‌ای ایستگاه‌ها را مهم‌ترین و با اولویت‌ترین مؤلفه در تاب‌آوری سازمان مورد مطالعه معرفی می‌کند. «تاب‌آوری فردی کارکنان و مدیران» تک شاخص بعد تاب‌آوری فردی است که وجود این شاخص با یافته‌های تحقیق عظیمی (۱۳۹۳)، پیغامی و همکاران (۱۳۹۵)، محمودی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد. زیرشاخص‌های این شاخص همگی با میانگین بالا و با اهمیت «خیلی زیاد» مورد اجماع کارشناسان قرار گرفتند و این مسئله نشان از نقش بسیار مؤثر تاب‌آوری فردی در تاب‌آوری سازمانی دارد، چرا که قلب فعالیت‌های سازمان‌ها و صنایع، منابع انسانی است [۴۳] و به همین دلیل است که پیغامی و همکاران (۱۳۹۵) عامل انسانی را مهم‌ترین عامل در سازمان تاب‌آور معرفی می‌کنند. نتیجه‌ی یک تحقیق در سال ۲۰۱۶ در سازمان‌های هند نشان داده که مزیت رقابتی با توسعه‌ی تاب‌آوری در میان کارکنان قابل بهبود است [۴۴]. عظیمی در تحقیق خود در این باره می‌نویسد: «در سطح فردی، افزایش روحیه به افراد کمک می‌کند تا با انواعی از بحران‌های پیش رو برای خود آماده باشند. گروه کاری BSI یکی از مؤلفه‌های تاب‌آوری را تست کنترل استرس می‌دانند. «آینده‌نگری، ریسک‌پذیری و شناخت بحران‌های بالقوه» از جمله شاخص‌هایی است که در ادبیات مدیریت بحران سازمانی مورد تأکید قرار گرفته است. در متن ترجمه شده‌ی کتاب دانشکده‌ی بازرگانی هاروارد (۱۳۸۸) یکی از ارکان مدیریت بحران، شناخت بحران‌های بالقوه شناخته شده است. وردی نژاد و بهرامی رشتیانی نیز بر شناسایی مقوله‌های بحران‌زا تأکید کرده‌اند [۴۶]. درک خطرها و پیامدها نیز که هم‌وزن این شاخص است در الگوی مک‌مانوس آمده است و موضوع آینده‌نگری در این شاخص نیز به لحاظ مفهومی با یکی از مؤلفه‌های مورد نظر هولن‌اگل (۲۰۱۰) یعنی «قابلیت پیش‌بینی» قرابت دارد. «ایمنی و تمرکززدایی» یکی دیگر از شاخص‌های این پژوهش است که زیرشاخص‌های آن از اهمیت زیاد و خیلی زیادی از نظر کارشناسان تحقیق برخوردارند. بر اساس تعریف مورد قبول این تحقیق از تاب‌آوری، ایمنی از جمله توابعی است که در دل تاب‌آوری جای می‌گیرد. بر اساس مطالعات گذشته تعهد مدیریت مهم‌ترین عامل در وضعیت ایمنی یک سازمان محسوب می‌شود، چرا که بر تابعیت کارکنان از ایمنی تأثیر دارد [۴۳]. این در حالی است که بر اساس مطالعه‌ی کاستلا[۳۰] و همکاران (۲۰۰۹) گفته شده که ایمنی در اولویت مدیران ارشد نیست. در تحقیق امیدوار و همکاران (۱۳۹۵) نیز خط‌مشی ایمنی، تعهد به ایمنی و الزامات ایمنی در قالب شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری آمده است. شاخص «فرهنگ تاب‌آوری» در تحقیق حاضر با استفاده از مفهوم فرهنگ به کار برده شده است، چرا که تاب‌آوری نیازمند استقرار فرهنگی است که به پایداری، انطباق و یا دگرگونی در مواجهه با بحران‌ها به‌عنوان یک مقوله‌ی راهبردی، کلان، اصلی و با اولویت بنگرد. شاخص «فرهنگ تداوم کسب‌وکار» در این تحقیق در مؤلفه‌های مورد نظر گروه کاری BSI در باب تاب‌آوری سازمانی مورد تأکید قرار گرفته است و با یافته‌های تحقیق پیغامی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد؛ پیغامی و همکاران با ارائه‌ی زیرشاخص تدوین استراتژی‌های تداوم کسب‌وکار به این موضوع پرداختند و عنوان کردند سازمان باید بتواند با تدوین استراتژی ترتیباتی را فراهم کند که خود را توانمند ساخته و ضمن محافظت از فعالیت‌های حیاتی خود، آن را بهبود دهد. «آموزش و دانش سازمانی» از جمله شاخص‌هایی است که به عقیده‌ی تمامی محققان و گروه‌های دست‌اندرکار تاب‌آوری سازمانی در تاب‌آوری یک سازمان نقش دارد و می‌توان دلیل اهمیت خیلی زیاد و زیاد زیرشاخص‌های این شاخص در نظر کارشناسان مشارکت‌کننده در این تحقیق را همین موضوع ارزیابی کرد. سطح دانش و مهارت در الگوی ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۶)، استفاده از دانش در الگوی محمودی و همکاران (۱۳۹۶)، برنامه‌های آموزشی در الگوی امیدوار و همکاران (۱۳۹۵)، کیفیت آموزش پرسنل بر اساس متدهای جهانی در اولویت‌بندی ایزدی (۱۳۹۶) از عوامل مؤثر در تاب‌آوری سازمانی، دانش و اطلاعات در الگوی مک‌مانوس (۲۰۰۸)، آموزش و آگاهی در تحقیق عندلیب و کاظمی (۱۳۹۶)، دانش و اطلاعات در الگوی استیفنسون (۲۰۱۰)، برنامه‌های آموزشی و توسعه‌ی دانش و مهارت‌ها در الگوی جامع تاب‌آوری سازمانی همگی نشان‌دهنده‌ی آن است که شاخص آموزش و دانش سازمانی در تحقیقات تاب‌آوری بسیار حائز اهمیت است. ذکر این نکته ضروری است که آموزش نباید تنها از طریق منابع داخلی پیگیری شود و باید منابع خارجی نیز در آموزش کارکنان دخیل باشند [۱۸]. «ساختار مدیریت بحران سازمانی» که جزو بعد سازمانی و فنی در این تحقیق بوده است در تحقیق ایزدی (۱۳۹۶) جزء هفت عامل مهم در تاب‌آوری سازمانی به شمار رفته است. گرچه تحقیقات کمی به این شاخص اشاره کرده‌اند اما به نظر محققان وجود چنین ساختاری در چارت سازمانی موجب می‌شود تا سازمان‌ها به مقوله‌ی بحران نگاه اولویتی داشته باشند و برای آن برنامه‌ریزی مناسبی انجام دهند، چرا که یک ساختار تعریف شده با وظایف مشخص می‌تواند نه تنها در مورد بحران‌های طبیعی بلکه در مورد شقوق مختلف بحران تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری درستی انجام دهد. پیغامی و همکاران (۱۳۹۵) در این زمینه اشاره کرده‌اند که باید آشنایی با بحران، مخاطرات، ریسک و ... در بین مدیران ایجاد شود. «رهبری و نیروی انسانی» نیز مهم‌ترین رکن در تاب‌آوری سازمانی هر نوع سازمانی به شمار می‌رود. موضوع رهبری و مدیریت در تمامی تحقیقات مربوط به تاب‌آوری سازمانی برجسته شده است. البته در این تحقیق تمامی موارد مربوط به رهبری و مدیریت ذیل شاخص اخیر ارائه نشده و در شاخص‌های دیگر نیز به این مقوله پرداخته شده است. استیفنسون (۲۰۱۰) در مورد نقش رهبری در سازمان به دو وظیفه اشاره می‌کند: نخست رهبری بحران‌های شدید برای ارائه‌ی مدیریت مطلوب و تصمیم‌گیری در زمان بحران

و دیگر آنکه ارزیابی‌های مستمر استراتژی‌ها و برنامه‌های کاری در برابر هدف‌های سازمانی. پیغامی و همکاران (۱۳۹۵) رهبری و مدیریت را مهم‌ترین شاخص ارزیابی تاب‌آوری سازمانی دانسته‌اند و میزان اهمیت به‌دست آمده از زیرشاخص‌های این بعد در تحقیق حاضر نیز به‌خوبی نشان می‌دهد که این شاخص از مهم‌ترین شاخص‌ها در ارزیابی تاب‌آوری سازمانی است.

در مجموع می‌توان گفت یافته‌های این تحقیق در برخی بخش‌ها به دو دلیل کاملاً متفاوت از سایر تحقیقات تاب‌آوری سازمانی است؛ دلیل نخست مربوط به آن می‌شود که سازمان مورد مطالعه‌ی این تحقیق با جملگی تحقیقات در زمینه‌ی تاب‌آوری سازمانی تفاوت‌های ماهیتی ویژه‌ای دارد و دلیل دوم نیز در مورد بحران مورد مطالعه است چرا که اغلب تحقیقات به بحران‌های اقتصادی پرداخته‌اند و این در حالی است که این تحقیق مورد مطالعه‌ی خود را روی بحران‌های طبیعی قرار داده است. نکته‌ی بعدی شباهت‌های این تحقیق با سایر تحقیقات است؛ این تحقیق نقش مکملی را در حوزه‌ی تاب‌آوری سازمانی با رویکردی بنیادی به تاب‌آوری سازمانی خبرگزاری‌ها ایفا کرده است، به همین دلیل شباهت‌های زیادی در بین مؤلفه‌های این تحقیق و سایر تحقیقات یافت می‌شود اما نقطه‌ی عطف این تحقیق در مطالعه‌ی سازمان‌های رسانه‌ای و تاب‌آوری آن‌ها در بحران‌های طبیعی است، مقوله‌ای که توجه کمی به آن شده است. در نهایت می‌توان گفت مؤلفه‌های موجود در الگوی ارائه شده در این تحقیق می‌تواند تاب‌آوری آینده‌نگرانه، تاب‌آوری همزمان و تاب‌آوری گذشته‌نگر را برای سازمان‌های رسانه‌ای در بحران‌های طبیعی رقم بزند.

پی‌نوشت

1. Crisis
2. Resilience
3. Erik Hollnagel
4. Resilience Analysis Grid (RAG)
5. Ability to Respond
6. Ability to Monitor
7. Ability to Anticipate
8. Ability to Learn
9. Lee
10. Vargo
11. Seville
12. Stephenson
13. Developing a Tool to Measure and Compare Organizations' Resilience
14. Deitch
15. Corey
16. Internal Resilience Factor
17. Environmental Context Factor
18. Community
19. Competence
20. Connections
21. Commitment
22. Communication
23. Coordination
24. Consideration
25. Lavine
26. Wackman
27. Tjernstrom
28. Duhe
29. Gunasekaran
30. Costella

منابع

۱. روشندل اربطانی، طاهر؛ صلواتیان، سیاوش (۱۳۸۹). طراحی مدل نقش رسانه‌های جمعی در مدیریت مرحله‌ی پیش از بحران. فصلنامه‌ی علوم مدیریت ایران، ۵ (۱۷)، ۸۹ – ۱۱۲.

۲. دبیلیوپای، لوسین؛ اس کلمن، جیمز؛ بایندر، لئدونارد و دیگران (۱۳۸۰). بحران‌ها و توالی در توسعه‌ی سیاسی. مترجم غلامرضا خواجه‌سروی، تهران: پژوهشکده‌ی مطالعات راهبردی.

3. Herbane, B. (2010). The evolution of business continuity management: A historical review of practices and drivers. *Business History, 52*(6), 978-1002. doi:10.1080/00076791.2010.511185

4. Cerullo, V. & Cerullo, M. J. (2006). Business Continuity Planning: A Comprehensive Approach. *Information Systems Management, 21*(3), 70-78. doi.org/10.1201/1078/44432.21.3.20040601/82480.11

۵. صلواتیان، سیاوش؛ مسعودی، سارا. (۱۳۹۵). شناسایی پیشران‌های مؤثر بر آینده‌ی خبرگزاری‌ها در ایران. مطالعات فرهنگ و ارتباطات، ۱۷(۶۶)، ۴۷-۶۸.

6. Scanlon, J. (2007). Unwelcome Irritant or Useful Ally? The Mass Media in Emergencies. In *Handbook of Disaster Research* (pp. 413-429). New York, NY: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-0-387-32353-4_24

7. Duhe, S. F. (2008, August). Communicating Katrina: A Resilient Media. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 26*(2), 112–127.

۸. سام‌بند، میثم؛ قره‌باغ، سید محمد (۱۳۸۷). «مدیریت رسانه» کلیدی‌ترین ابزار برای «مدیریت بحران». *رسانه و مدیریت بحران*، پژوهشنامه پژوهشکده تحقیقات استراتژیک مجمع تشخیص مصلحت نظام.

9. Sahebjamnia, N., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2015). Integrated business continuity and disaster recovery planning: Towards organizational resilience. *European Journal of Operational Research*, *242*(1), 261-273. doi.org/10.1016/j.ejor.2014.09.055

۱۰. عباداله زاده ملکی، شهرام؛ خانلو، نسیم (۱۳۹۵). تبیین توانمندسازی اجتماعی به‌منظور تاب‌آوری جوامع محلی در مقابله با بحران (زلزله). *اولین همایش مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست‌محیطی ایران؛ راهکارها و چالش‌ها*. اردبیل: پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID).

11. Lee, A. V., Vargo, J., & Seville, E. (2013). Developing a Tool to Measure and Compare Organizations' Resilience. *Natural14-92 ,weiveR sdrazaH* . *41 ,(1)*. doi:10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000075

۱۲. قنبری، سعید (۱۳۹۶). تاب‌آوری در سازمان‌های رسانه‌ای. *پندار تخصصی (شماره‌ی ویژه‌ی ارتباطات بحران)*، ۴۷.

۱۳. پارسی‌زاده، فرخ؛ پیشنمازی، پروانه؛ نصراللهی، اکبر (۱۳۹۶). ارزیابی میزان و چگونگی آگاهی مدیران رسانه‌ها از زلزله و مدیریت آن. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۴ (۲)، ۱۷۵-۱۹۱.

۱۴. قنبری، سعید؛ صلواتیان، سیاوش (۱۳۹۶). مقدمه‌ای بر شناخت الزامات تاب‌آوری سازمانی خبرگزاری‌ها. *چهارمین همایش بین‌المللی مدیریت رسانه*، تهران.

15. Stephenson, A. V. (2010). Benchmarking the Resilience of Organisations. *Ph.D. thesis of University of Canterbury*. Retrieved from https://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/5303

۱۶. عظیمی، آرین (۱۳۹۳). بررسی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری خوشه‌های صنعتی در مواجهه با تحریم‌های اقتصادی؛ مورد مطالعه: خوشه‌ی تجهیزات بیمارستانی تهران. *پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مدیریت امور شهری دانشگاه تهران*.

۱۷. توت‌کار بیدریغ، محمد؛ فاضلی، مجتبی؛ حسنی، نعمت (۲۰۱۶). بررسی مؤلفه‌های مؤثر بر تاب‌آوری سازمانی در زمان بحران. *هشتمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران*. تهران: سیویلیکا.

۱۸. پیغامی، عادل؛ سعدآبادی، علی‌اصغر؛ عظیمی، آرین (۱۳۹۵). *پایش تاب‌آوری سازمانی*. تهران: دانشگاه امام صادق.

۱۹. ابراهیمی، سید عباس؛ فیض، داود؛ چیت کران، حسین (۱۳۹۶). تحلیل جامع عوامل مؤثر بر تاب‌آوری سازمانی در صنایع کوچک و متوسط. *پژوهش‌های مدیریت منابع سازمانی*، ۷ (۶)، ۳۷-۵۸.

۲۰. ایزدی، حسین (۱۳۹۶). شناسایی مؤلفه‌های مؤثر در کاهش تاب‌آوری سازمان‌ها در شرایط بحرانی با استفاده از مدل AHP (مطالعه‌ی موردی سازمان آتش‌نشانی شهرستان آمل). *فصلنامه علمی- ترویجی دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۷ (۴)، ۳۰۷-۳۱۹.

21. Hollnagel, E. (2010, May). How Resilient Is Your Organisation?An Introduction to the Resilience Analysis Grid (RAG). Toronto: Author manuscript. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/281803346_How_Resilient_Is_Your_Organisation_An_Introduction_to_the_Resilience_Analysis_Grid_RAG

22. Corey, C. M., & Deitch, E. A. (2011). Factors Affecting Business Recovery Immediately after Hurricane Katrina. *Contingencies and Crisis Management, 19*(3), 169-181. doi:10.1111/j.1468-5973.2011.00642.x

23. Bourrier, M. (2001). The Legacy of the High Reliability Organization Project. *Contingencies and Crisis Management, 19*(Special Issue(1)), 9-13. doi:10.1111/j.1468-5973.2010.00628.x

24. Chang, S.E & Shinozuka, M. (2004). Measuring Improvements in the Disaster Resilience of Communities. Earthquake Spectra: August 2004, Vol. 20, No. 3, pp. 739-755. https://doi.org/10.1193/1.1775796

25. McManus, S., Seville, E., Vargo, J., & Brunsdon, D. (2008). Facilitated Process for Improving Organizational Resilience. *Natural Hazards Review,, 9*. doi:10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:2(81)

۲۶. عندلیب، علیرضا؛ کاظمی، داود (۱۳۹۵). توسعه‌ی ابزار سنجش تاب‌آوری سازمانی شهر در برابر بحران. *نشریه علمی – پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران*، ۷۷-۸۹.

27. Abdullah, N. A., Noor, N. L., & Ibrahim, E. N. (2013). Resilient Organization: Modelling The Capacity for Resilience. *3rd International Conference on Research and Innovation in Information Systems.*

۲۸. پیغامی، عادل؛ سمیعی‌نصب، مصطفی؛ سلیمانی، یاسر (۱۳۹۴). *مقاوم‌سازی اقتصادی در ادبیات متعارف؛ مبادی علمی و نظری (جلد اول: تاب‌آوری و آسیب‌پذیری)*. تهران: دانشگاه امام صادق.

۲۹. فرهنگی، علی‌اکبر؛ روشندل اربطانی، طاهر؛ برقی، میکائیل (۱۳۸۳). نگرشی بر بنیان‌های نظری مدیریت سازمان‌های رسانه‌ای. *دانش مدیریت*، ۶۶، ۸۵-۱۱۴.

۳۰. علی عسگری، عبدالعلی؛ زارعی، آسیه. (۱۳۸۹). انتخاب روش‌شناسی در مدیریت سازمان‌های رسانه‌ای. *پژوهش‌های ارتباطی*، ۶۳، ۶۹-۹۰.

31. Wackman, D. B., & Lavine, J. (1987). *Managing Media Organizations: Effective Leadership of the Media.* New York: Longman Publishing, Inc.

32. Tjernstrom, S. (2002). Theoretical Approaches to the Management of the Public Service Media Firm. *Journal, 15*(4), 241-258. doi.org/10.1207/S15327736ME1504_2

۳۳. خجسته باقرزاده، حسن (۱۳۹۴). تفاوت سازمان‌های رسانه‌ای با سازمان‌های صنعتی. *رسانه و فرهنگ*، ۵ (۲)، ۲۱-۳۷.

۳۴. ایمانی جهرمی، حسین (۱۳۷۹). روش‌شناسی: آشنایی با روش دلفی و کاربرد آن در تصمیم‌گیری. *مدیریت شهری*، ۱، ۳۵-۳۹.

35. Gracht, H. A. (2012, October). Consensus measurement in Delphi studies Review and implications for future quality assurance. *79*(8), 1525-1536. doi:https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013

36. Keeney, S., Hasson, F., & McKenna, H. P. (2001). A critical review of the Delphi technique as a research methodology for nursing. *International Journal of Nursing Studies, 38*(2), 195-200. doi.org/10.1016/S0020-7489(00)00044-4

۳۷. عباس‌زاده، محمد (۱۳۹۱). تأملی بر اعتبار و پایایی در تحقیقات کیفی. *جامعه‌شناسی کاربردی*، ۴۵ (۱)، ۱۹-۳۴.

۳۸. فقیهی، ابوالحسن؛ علیزاده، محسن (۱۳۸۴). روایی در تحقیق کیفی. *فرهنگ مدیریت*، ۹، ۵-۱۹.

39. Stenbacka, C. (2001). Qualitative research requires quality concepts of its own. *Management Decision, 39*(7), 552. doi.org/10.1108/EUM0000000005801

40. Gunasekaran, A., Rai, B. K., & Griffin, M. (2011, Apr 11). Resilience and competitiveness of small and medium size enterprises: an empirical research. *International Journal of Production Research*, 5489-5509. doi.org/10.1080/00207543.2011.563831

41. Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008, October). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change, 18*(4), 598-606. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013

۴۲. محمودی، داوود؛ علیزاده، سید شمس‌الدین؛ رسول‌زاده، یحیی؛ اصغری جعفرآبادی، محمد (۱۳۹۶). مروری بر انعطاف‌پذیری سازمانی و مؤلفه‌های آن در سازمان‌های انعطاف‌پذیر. *دهمین همایش دانشجویی تازه‌های علوم بهداشتی کشور*. تهران: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی شهید بهشتی.

۴۳. جعفری ندوشن، رضا؛ جعفری، محمدجواد؛ شیرالی، غلام‌عباس و دیگران (۱۳۹۶). شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های رزیلینس سازمانی مجتمع‌های پالایشگاهی با استفاده از روش تاپسیس فازی. *بهداشت و ایمنی کار*، ۷ (۳)، ۲۱۹-۲۳۲.

44. Mallak, L. (1998). Putting organizational resilience to work. *Industrial Management (Norcross, Georgia), 40*(6 NOV./DEC.), 8-13.

۴۵. دانشکده بازرگانی هاروارد (۱۳۸۸). *مدیریت بحران*. مترجم سیدمحمد الوانی؛ علی جمالی؛ عباس ابراهیمی، کرج: مؤسسه تحقیقات و آموزش مدیریت.

۴۶. وردی‌نژاد، فریدون؛ بهرامی‌رشتیانی، شهلا (۱۳۹۵). *مدیریت بحران و رسانه‌ها*. تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).

47. Costella, M. F., SaurinbLi, T. A., & Guimarães, B. M. (2009, October). A method for assessing health and safety management systems from the resilience engineering perspective. *Safety Science, 48*(9), 1056-1067. doi:https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.11.006

48. bsigroup. (2018, 01 26). *Organizational Resilience*. Retrieved from https://www.bsigroup.com

۴۹. امیدوار، محسن؛ مظلومی، عادل؛ محمدفام، ایرج و دیگران (۱۳۹۵). ارائه الگویی جهت ارزیابی سطح عملکرد سازمان مبتنی بر مهندسی رزیلینس و با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP): مطالعه موردی در صنعت پتروشیمی. بهداشت و ایمنی کار. *مجله دانشکده پزشکی بهداشت و ایمنی کار*، ۶ (۳)، ۴۳-۵۸.

50. McManus, S. T. (2008). *ORGANISATIONAL RESILIENCE IN NEW ZEALAND*. University of Canterbury. Christchurch: https://www.resorgs.org.nz. Retrieved from http://www.resorgs.org.nz/images/stories/pdfs/organisational%20resilience%20in%20new%20zealand.pdf

شناسایی و تعیین شاخص‌ها و مؤلفه‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران

مطالعه‌ی موردی: سازمان امور مالیاتی

سعید عزیزی*: دانشجوی دکتری، دانشکده مدیریت، پژوهشگاه شاخص پژوه، اصفهان، ایران، S.aziizi@gmail.com
محمد مهدی رشیدی: استادیار، وزارت نفت، مؤسسه‌ی مطالعات بین‌المللی انرژی، تهران، ایران
اکبر نیلی پور طباطبایی: استادیار، دانشکده مهندسی صنایع- فن‌آوری، صنعتی مالک اشتر، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۲۳
تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۲۶

چکیده

غالباً سازمان‌ها در کسب اهداف فردی و یا سازمانی با چالش‌های متفاوتی مواجه می‌شوند و در پی آن دچار بحران می‌گردند. بحران سبب بروز اختلال در سازمان می‌شود. مدیریت سازمان برای غلبه بر بحران نیازمند ابزار خاص آن سازمان است. اما در تمامی سازمان‌ها سرمایه‌ی انسانی، عامل مشترکی است که در مواجهه با بحران مدیریت سازمان را یاری می‌کند. مدیریت سرمایه‌ی انسانی عامل مهم کسب مزیت رقابتی محسوب می‌گردد و توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی از جمله سازوکارهای ایجاد مزیت رقابتی در کسب و کار سازمان‌ها است.

توسعه‌ی منابع انسانی فرایندی است که در رفع نیازمندی‌ها و جهت‌گیری‌های راهبردی سازمان‌ها و با به‌کارگیری تمهیدات لازم، شرایطی را فراهم می‌کند تا شایستگی‌ها و استعدادهای بالقوه‌ی کارکنان بالفعل گردد و سپس در خدمت تحقق اهداف به کار گرفته شود. در این تحقیق به دنبال آن هستیم که تعیین کنیم شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران چه شاخص‌ها و مؤلفه‌هایی هستند. با استفاده از نظر خبرگان سازمانی و دانشگاهی و مطالعه‌ی ادبیات تحقیق پنج مولفه‌ی توسعه‌ی فردی، توسعه‌ی فرهنگی - اجتماعی، توسعه‌ی حرفه‌ای، توسعه‌ی مدیریتی و توسعه‌ی سازمانی و نوزده شاخص توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران مشخص گردیدند. مؤلفه‌ی فردی دارای شاخص‌های انگیزش، خلاقیت و حل مسئله است؛ مؤلفه‌ی توسعه‌ی فرهنگی - اجتماعی دارای شاخص‌های کار تیمی، اقناع فکری، روابط عمومی، فرهنگ‌سازی، روابط کاری و توزیع اطلاعات است؛ مؤلفه‌ی توسعه‌ی حرفه‌ای دارای شاخص‌های آموزش، دانش شغلی و تفویض اختیار است؛ مؤلفه‌ی توسعه‌ی مدیریتی دارای شاخص‌های نظارت و کنترل، برنامه‌ریزی و رهبری است؛ مؤلفه‌ی توسعه‌ی سازمانی دارای شاخص‌های مشارکت، ارزش‌یابی‌های مستمر، یادگیری سازمانی و شایسته‌سالاری است. در نهایت مدل تحقیق[1] مشتمل بر مؤلفه‌ها و شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران مشخص می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *مدیریت بحران، سرمایه‌ی انسانی، سازمان امور مالیاتی*

Identifying and determining the indicators and components of human resource development in crisis management

case study:Iranian National Tax Administration

SAEED AZIZI [1*], MOHAMMAD MEHDI RASHIDI[2], AKBAR NILIPOUR TABATABAEE[3]

Abstract

Often, organizations are facing different challenges in achieving individual or organizational goals; hence, they experience crisis. Crises cause a disruption in organizations. In this regard, the organizations' management needs a specific tool to overcome the crises. In all organizations, human capital is a common asset that helps the management in dealing with the crisis. Human capital management is an important factor in gaining competitive advantage and human capital development is among the mechanisms applied to create a competitive advantage in the organizations' business.

In response to the needs and strategic alignments of organizations and using necessary arrangements, human resource development is a process that provides the conditions to activate the potential competencies and talents of employees to be applied to realize the organizations' goals. The present study attempted to identify and determine the indicators and components of human capital development in crisis management in the Iranian National Tax Administration. Using the opinions of organizational and academic experts and literature revies, five components of individual development were identified: socio-cultural development, professional development, management development and organizational development. Also, 19 indicators of human capital development in crisis management were determined. Individual component has indicators of motivation, creativity and problem solving. The component of social-cultural development has the following indicators: cardimitism, persuasion, public relations, culture building, working relationships and information distribution; the component of professional development has indicators of education, Job knowledge and empowerment. The component of managerial development has indicators of monitoring, control, planning and leadership; the organizational development component has the indicators of participation, continuous evaluations, organizational learning, and meritocracy.

key words: *Crisis management, human capital, Iranian National Tax Administration.*

1. Ph.D. student, Faculty of Management, Research Institute of Research, Isfahan, Iran. S.aziizi@gmail.com
2. Assistant Professor, Department of Oil, Institute of International Studies, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Faculty of Industrial Engineering, Industrial Malek Ashtar, Isfahan, Iranm

مقدمه

با توجه به اینکه ساختار نامتوازن و تک محصولی وابسته به تولید نفت، از عوامل دخیل در رکود کشور بوده است و برای رفع این ساختار نامتوازن، در چارچوب سیاست‌های اقتصاد مقاومتی باید به سمتی حرکت کرد که بتوان هزینه‌های دولت را از محل مالیات‌ها تأمین کرد، کارکنان سازمان امور مالیاتی سربازان خط مقدم جهاد اقتصادی هستند و سازمان امور مالیاتی به‌منظور تحقق اهداف خود نیازمند نیروی انسانی توانمند است. نیروی انسانی به دلایل مختلف سازمانی (فقدان مدیریت استعدادها، مدیریت عملکرد، توانمندسازی، بی‌توجهی به کیفیت زندگی کاری) و غیر سازمانی (اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی) در معرض آسیب است و با عنایت به گستردگی سازمان امور مالیاتی (۴۶ اداره‌ی کل)، تعداد پست‌های سازمانی (۳۳۰۷۰ پست) و تعداد قابل توجه نیروی انسانی (۲۶۲۰۸) لزوم شایسته‌گزینی در پست‌های بلاتصدی و داشتن برنامه‌های راهبردی و دستورالعمل‌های نظام‌مند برگرفته از متون علمی و تجارب سازمانی در زمینه‌ی حفظ و نگداشت نیروی انسانی را مشهود می‌سازد در نظر گرفتن آمار ۱۰ ساله (از سال ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۴) مرکز آمار دفتر پژوهش و امور بین‌الملل که شامل ۷۲ نفر اخراجی، ۱۴۲ نفر استعفا، ۹۰ نفر بازخرید و ۲۱ نفر انفصال دائم است، علائم هشداردهنده‌ی بحران در نیروی انسانی ملموس است؛ بنابراین باید در راستای حل بحران‌ها، اقدامات هدفمند و منسجمی را دنبال نمود در سال‌های اخیر کارشناسان و متخصصان علم مدیریت برای رفع چالش‌های پیش روی سازمان، مدیریت بحران را شاخه‌ای نوظهور در عرصه‌ی مدیریت، که جزء لاینفک سازمان و مدیریت آن است، دانسته‌اند؛ سازمان امور مالیاتی نیز باید از مدیریت بحران به‌منظور حل مشکلات، مسائل و بحران‌ها استفاده نماید.

اجرای صحیح مدیریت بحران نیازمند نیروی انسانی کارآمد است. نیروی انسانی توانمند می‌تواند به طراحی، تنظیم و تدوین برنامه‌ی جامع مدیریت بحران با رویکرد تحلیل‌گرایانه بپردازد؛ تمایز برنامه‌های لازم در مراحل قبل، حین و بعد از بحران را در نظر بگیرد و به اجرای بهنگام آن‌ها همت بگمارد. مغز متفکر یک سازمان، سرمایه‌ی انسانی آن است. هر قدر این سرمایه از مهارت‌ها، تخصص‌ها، قابلیت‌ها و شایستگی‌های مناسب‌تری برخوردار باشد در مواجهه با بحران‌ها عملکرد بهتری خواهد داشت. لذا از آنجایی که سرمایه‌ی انسانی در سازمان امور مالیاتی به‌منزله‌ی مهم‌ترین منبع سازمانی محسوب می‌شود، در این تحقیق مؤلفه‌ها و شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی مؤثر در مدیریت بحران تعیین می‌گردد.

چارچوب نظری

سازمان به مجموعه‌ای از افراد که به‌منظور کسب اهداف مشترک به‌طور آگاهانه با یکدیگر فعالیت و همکاری می‌نمایند اطلاق می‌شود. غالباً سازمان‌ها در کسب اهداف فردی و یا سازمانی با چالش‌های متفاوتی مواجه شده و در پی آن دچار بحران می‌گردند. بحران‌ها بخشی از زندگی روزمره هستند، علیرغم آن ما قصد داریم بر این باور باشیم که این اتفاقات غیرمنتظره برای ما اتفاق نخواهد افتاد [۱]. واژه‌ی بحران یکی از واژه‌هایی است که به صورت بسیار گسترده‌ای در ادبیات دانشگاهی مورد استفاده قرار گرفته است و معنی دقیق آن هنوز مورد بحث است [۲]. بحران‌ها وقایعی هستند که به ندرت در اثر متغیرهای غیرقابل پیش‌بینی روی می‌دهند و لازمه‌ی پاسخ‌گویی به آن‌ها تغییر در منابع سازمان است [۳]. بحران می‌تواند به شکل‌های مختلف اتفاق بیفتد و پیامدهای متعددی از قبیل ایجاد مخاطره برای امنیت عمومی، خسارت مالی و صدمه به شهرت را در پی داشته باشد. به علاوه ممکن است هر سازمانی به زودی یا در آینده به واسطه‌ی بحران‌ها دچار آسیب شود [۴]. بحران وضعیت ناپایداری است که طی آن تغییر ناگهانی در یک یا چند بخش از اجزای منظم ایجاد می‌شود [۵]. بحران در اثر تغییر وضعیت معمولی به وضعیت غیرمعمولی و مخاطره‌آمیز ایجاد می‌شود [۶]. بحران یک واقعیت جهانی و جزء جدایی‌ناپذیر از کسب و کار است [۷]. بحران سبب بروز اختلال در سازمان می‌شود. بر این اساس می‌توان گفت اولاً بحران یک واقعه‌ی برنامه‌ریزی نشده است که بر فرایندها و محیط سازمان آسیب می‌رساند و کارکنان، خط‌مشی‌های کلیدی و ذی‌نفعان سازمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ثانیاً بحران ممکن است در هر سازمانی روی دهد [۸]. مدیریت بحران دربرگیرنده‌ی برنامه‌ریزی، سازماندهی، رهبری و کنترل دارایی‌ها و فعالیت‌ها قبل، حین و بعد از مواجهه با رویدادهای غیرمترقبه به‌منظور کاهش زیان‌های وارده به سازمان و بازسازی کامل سازمان است [۹]. مدیریت بحران شامل پیش‌بینی و برنامه‌ریزی، هدایت کارکنان و همکاری برای کنترل یک بحران است [۱۰]. مدیریت بحران علمی است کاربردی که به وسیله‌ی مشاهده‌ی نظام‌مند بحران‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها در جستجوی یافتن ابزاری است که از طریق آن بتوان از بروز بحران‌ها پیشگیری کرد [۱۱]. مدیریت بحران یک فرایند سیستماتیک و پویا است که مراحل پیشگیری، آمادگی، پاسخ و بازیابی را در بر می‌گیرد [۱۲]. مدیریت سازمان برای غلبه بر بحران نیازمند ابزار خاص آن سازمان است ولیکن در تمامی سازمان‌ها سرمایه‌ی انسانی، عامل مشترکی است که در مواجهه با بحران مدیریت سازمان را یاری می‌کند. سازمان امور مالیاتی در مدیریت کارآمد اقتصادی کشور و تحقق سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ ملی نقش بسیار حیاتی دارد. این سازمان به‌منزله‌ی یک سازمان در حال رشد، اصلی‌ترین تأمین‌کننده‌ی درآمدهای پایدار دولت محسوب می‌شود. معاونت پژوهش، برنامه‌ریزی و امور بین‌الملل سازمان امور مالیاتی کشور با مدنظر قرار دادن سند چشم‌انداز ۲۰ ساله، قانون اساسی و سیاست‌های کلی نظام، قانون برنامه‌ی پنجم توسعه، قانون بودجه و محورهای راهبردی وزارت امور اقتصادی و دارایی اقدام به تدوین سند راهبردی سازمان امور مالیاتی کشور نموده است. از بین اولویت‌های هفت‌گانه‌ی راهبردی سازمان امور مالیاتی (تأمین مالی پایدار دولت، هم‌افزایی درون سازمانی و همکاری فراسازمانی، افزایش توان ثروت‌آفرینی کشور، تقویت انضباط، سلامت و شفافیت مالی و اداری، توسعه‌ی هدفمند

سرمایه‌ی انسانی و سازمانی، مشارکت فعال در سیاست‌گذاری و قانون‌گذاری و ایجاد و یکپارچه‌سازی سامانه‌های اطلاعات مدیریتی و عملیاتی) توسعه‌ی هدفمند سرمایه‌ی انسانی و سازمانی زیربنای تحقق سایر اولویت‌های راهبردی است [۱۳].

سرمایه‌ی انسانی، به زبان ساده به هر چیزی غیر از سرمایه‌ی فیزیکی از قبیل اموال، تجهیزات و سرمایه‌ی مالی گفته می‌شود. در قرن گذشته، سهم سرمایه‌ی فیزیکی از تولید ناخالص داخلی در اقتصاد کشورهای پیشرفته، با افت شدیدی همراه بوده است؛ در حالی که سهم سرمایه‌ی انسانی به طور چشمگیری افزایش یافته است [۱۴]. سرمایه‌ی انسانی از استعداد ذاتی برخوردار است که می‌تواند هم خود را دگرگون کند و هم به دگرگونی یا تعدیل سایر نهادها منجر شود [۱۵].

به‌طورکلی می‌توان گفت سرمایه‌ی انسانی مجموعه‌ای منسجم از ویژگی‌های کیفیت تحصیلاتی، مهارتی و فرهنگی افراد سازمان است که سبب ایجاد ارزش افزوده برای سازمان می‌گردد [۱۶]. مدیریت سرمایه‌ی انسانی عامل مهم کسب مزیت رقابتی محسوب می‌گردد و توسعه‌ی منابع انسانی از جمله سازوکارهای ایجاد مزیت رقابتی در کسب و کار سازمان‌ها است، زیرا آنچه دارای قابلیت نامحدود است و ماندگاری پایدار را در بازار رقابت تضمین می‌کند منابع انسانی است [۱۷].

توسعه‌ی منابع انسانی فرایندی است که برای رفع نیازمندی‌ها و جهت‌گیری‌های راهبردی سازمان‌ها با به‌کارگیری تمهیدات لازم، شرایطی را فراهم می‌کند تا شایستگی‌ها و استعدادهای بالقوه‌ی کارکنان بالفعل گردد و سپس در خدمت تحقق اهداف به کار گرفته شود.

سازمان امور مالیاتی کشور به‌منزله‌ی سازمان انسان‌محور، تنها بر نیروی انسانی متخصص تکیه دارد. بر اساس آمار و اطلاعات ارائه شده از مرکز آمار بخش پژوهش و امور بین‌الملل سازمان امور مالیاتی، نرخ تحقق درآمدهای مالیاتی در وضعیت هشدار ۸۹٪ است و همچنین نرخ ترک کار، استعفا، اخراج و خاتمه‌ی قرارداد در این سازمان رو به افزایش است [۱۸] و از آن‌جایی که برای تربیت و پرورش یک کارشناس متخصص و کارآمد، سازمان باید هزینه‌های زیادی را صرف استخدام، آموزش و بهسازی نیروی انسانی نماید، بنابراین خروج حتی یک نفر از کارکنان سازمان، هزینه‌ای جبران‌ناپذیر به آن وارد می‌سازد و سبب ایجاد مسائل و مشکلات ذهنی و روانی برای سایر کارکنان خواهد شد. از طرفی با توجه به اینکه در سال‌های اخیر، تورم رشد فزاینده‌ای داشته و حقوق کارکنان و کارگران براساس نرخ تورم از رشد یکسانی برخوردار نبوده است، سطح رفاه عمومی در کشور پایین آمده و به تبع آن کارکنان سازمان امور مالیاتی نیز در معرض ابتلا به مسائل و مشکلات اقتصادی هستند؛ بنابراین با توجه به نوع و حساسیت مشاغل در سازمان، زمینه و احتمال بروز فساد اداری در سطوح مختلف وجود دارد. مشکلات مذکور، نشانه‌هایی از بروز بحران نیروی انسانی در سازمان امور مالیاتی است. به همین دلیل استفاده از مدیریت بحران برای پیشگیری و مقابله با بحران الزامی به نظر می‌رسد و این امر برای سازمان امور مالیاتی کشور امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود [۸] و معتقدند سازمان‌ها برای مقابله با شرایط بحرانی باید از مدیریت بحران استفاده نمایند.

با توجه به نقش حیاتی نیروی انسانی در تمامی مراحل بحران (پیش‌بینی، وقوع، مقابله و بهسازی) و محدودیت سایر منابع سازمانی می‌توان از ظرفیت نامحدود نیروی انسانی توانمند بهره گرفت که لازمه‌ی این امر، استفاده از رویکردی علمی و عملیاتی است. بنابراین در این مسیر، توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است و بر این اساس برخی از محققان به بررسی تأثیر مؤلفه‌های توسعه‌ی منابع انسانی در مدیریت بحران پرداخته‌اند [۱۹، ۲۰، ۲۱]. با توجه به مطالعه‌ی ادبیات تحقیق مشخص می‌شود توجه کافی به توسعه‌ی منابع انسانی در مدیریت بحران نشده است [۲۲]. بنابراین از لحاظ سوابق علمی و تحقیقاتی در زمینه‌ی توسعه‌ی منابع انسانی، مؤلفه‌ها و شاخص‌های تأثیرگذار آن در مدیریت بحران خلأ تحقیقاتی وجود دارد و آن‌طور که شایسته و بایسته است به این موضوع پرداخته نشده است.

روش تحقیق

روش این تحقیق آمیخته (روش تحقیق کیفی میدانی- استنادی با بهره‌گیری از مصاحبه با رویکرد اکتشافی و روش کمی) است. ابزار جمع‌آوری اطلاعات در بخش کیفی، مصاحبه و در بخش کمی، پرسش‌نامه است.

روش تحقیق کیفی

به‌منظور بررسی اعتبار درونی تحقیق از روش تثلیث داده‌ای استفاده می‌شود. بدین ترتیب داده‌ها از منابع متعدد شامل مصاحبه، اسناد، اطلاع‌دهندگان کلیدی (مدیران) جمع‌آوری و مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. به‌منظور انتقال‌پذیری (اعتبار بیرونی) از مجموعه داده‌ها در طول گردآوری داده‌ها استفاده می‌شود که این امر می‌تواند پتانسیل قابلیت انتقال را افزایش دهد. به‌منظور بررسی تأییدپذیری (اعتبار سازه‌ای)، در طول تحقیق، داده‌ها و یافته‌ها توسط یکی از اساتید دانشگاهی مورد نظارت قرار می‌گیرد. بدین ترتیب روایی تحقیق مورد تأیید قرار می‌گیرد. به‌منظور بررسی پایایی، از روش کسب اطلاعات از طریق مصاحبه با دو نفر از اساتید دانشگاهی استفاده می‌شود. نتایج نشان از انطباق حداقل ۸۰ درصدی یافته‌ها دارد؛ بدین ترتیب پایایی تحقیق مورد تأیید قرار می‌گیرد. علیرغم نتایج فوق، تعدادی از پژوهشگران عرصه‌ی پژوهش‌های کیفی، ادعا کردند که روایی و پایایی واژه‌های خاص پارادایم کمی بوده و با پژوهش کیفی سنخیت ندارند [۲۳]. از سوی دیگر، یکی از محورهای اساسی در انجام هر نوع پژوهشی، اعم از کمی و کیفی ممیزی پژوهشی است. ممیزی پژوهشی عبارت است از فرایند بازبینی، تأیید و حصول اطمینان و دستیابی به یقین. در پژوهش کیفی، ممیزی پژوهشی اشاره به سازوکارهایی دارد که برای تضمین تدریجی روایی و پایایی و در نتیجه دقت علمی یک پژوهش در طی فرایند انجام پژوهش استفاده می‌شود. این سازوکارها در هر کدام از مراحل پژوهش تزریق می‌شوند تا با شناسایی و اصلاح خطاها قبل از نفوذ

در مدل و قبل از اینکه تحلیل را مخدوش سازند نوعی یافته‌های پژوهشی معتبر ایجاد کند. برای اجرای ممیزی پژوهشی که روایی و پایایی داده‌ها را تضمین می‌کند استراتژی‌های مختلفی پیشنهاد شده است که مهم‌ترین آن‌ها حساسیت پژوهشگر، انسجام روش‌شناسی، متناسب بودن نمونه‌ی گردآوری و تحلیل همزمان داده‌ها و اندیشیدن علمی شکل‌دهی نظری است. بنابراین همه‌ی این راهبردها به صورت تدریجی و متعادل در ایجاد روایی و پایایی و در نتیجه دقت علمی نقش ایفا می‌کنند. در این پژوهش نیز موارد فوق به طور کامل اجرا شده است.

جامعه‌ی آماری تحقیق شامل کلیه‌ی اساتید دانشگاه با مدرک دکترای مدیریت در سطح دانشگاه پردیس فارابی و دانشگاه قم و همچنین کارکنان دارای مدرک فوق لیسانس و دکترا در سازمان امور مالیاتی استان قم است. برای انتخاب حجم نمونه افراد خبره‌ی دانشگاهی، با استفاده از روش نمونه‌گیری گلوله برفی، ابتدا با دو نفر از اساتید دارای مدرک دکترای مدیریت دانشگاه تهران (پردیس قم) مشورت گردید و سپس هر یک از آن‌ها اساتید دیگری را معرفی کردند که در مجموع ۱۵ نفر از این اساتید به صورت تصادفی انتخاب گردیدند. همچنین برای انتخاب حجم نمونه افراد خبره‌ی سازمانی، با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند (قضاوتی)، از لیست افراد فوق لیسانس و بالاتر، به صورت تصادفی ۱۵ نفر انتخاب شدند.

روش تحقیق کمی

برای تعیین رابطه‌ی بین مؤلفه‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی و مدیریت بحران و ارزیابی وضعیت مدیریت بحران از روش کمی استفاده شده است. روش تحقیق کمی از نوع همبستگی است. از دو پرسش‌نامه‌ی محقق‌ساخته[۲] برای جمع‌آوری اطلاعات تحقیق استفاده می‌شود. پرسش‌نامه‌ی توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی دارای پنج مؤلفه‌ی توسعه‌ی فردی، توسعه‌ی فرهنگی _ گروهی، توسعه‌ی حرفه‌ای، توسعه‌ی مدیریتی و توسعه‌ی سازمانی با ۸۹ سؤال است. پرسش‌نامه‌ی مدیریت بحران دارای چهار مؤلفه‌ی پیش‌بینی، آمادگی، مقابله و بازسازی با ۱۶ سؤال است. جامعه‌ی آماری، کارکنان سازمان امور مالیاتی کشور هستند. برای نمونه‌برداری از روش تصادفی ساده استفاده شده است. از فرمول کوکران برای محاسبه‌ی تعداد نمونه‌ی آماری استفاده شد. براساس این فرمول با توجه به اینکه تعداد جامعه‌ی آماری مورد بررسی ۲۶۲۰۸ نفر بودند، با در نظر گرفتن خطای ۰/۰۵، تعداد ۳۷۹ پرسش‌نامه کافی بود. برای دسترسی به این امر، ۴۵۵ پرسش‌نامه (تقریباً ۲۰ درصد بیشتر از تعداد مورد نیاز) در بین کارکنان توزیع گردید و در نهایت ۴۴۰ پرسش‌نامه جمع‌آوری گردید که برای تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. از نرم‌افزارهای SPSS و PLS و روش‌های آماری همبستگی پیرسون و t تک نمونه‌ای استفاده شد. برای بررسی روایی پرسش‌نامه‌ها از روایی محتوا، روایی همگرا و روایی واگرا (به روش‌های بارهای عاملی متقابل و فورنل و لارکر[۳]) استفاده شد. از ۳۰ متخصص دانشگاهی و سازمانی برای بررسی روایی محتوا استفاده گردیده است. در صورتی که حداقل مقدار نسبت نسبی روایی محتوا ۰/۳۳ باشد آن گویه تأیید می‌شود؛ در نهایت با توجه به اینکه این مقدار برای تمامی سؤالات بیشتر از ۰/۳۳ به دست آمد، روایی محتوا مورد تأیید قرار گرفت. مقدار میانگین واریانس استخراج شده‌ی (AVE) تمامی مؤلفه‌ها و شاخص‌ها بیش از ۰/۵ است؛ بنابراین روایی همگرای پرسش‌نامه‌ها مورد تأیید قرار می‌گیرد. بارهای عاملی تمامی شاخص‌ها مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد مقدار همبستگی میان مؤلفه‌ها با متغیرهای مربوط به خود، از همبستگی میان آن‌ها و سایر متغیرها بیشتر است؛ لذا روایی واگرا به روش بارهای عاملی متقابل مورد تأیید قرار می‌گیرد. از آن‌جایی که بیشترین همبستگی هر یک از مؤلفه‌ها با خودش است، بنابراین روایی واگرا به روش فورنل و لارکر نیز مورد تأیید قرار می‌گیرد. مقدار ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی برای توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی و مدیریت بحران و مؤلفه‌های آن‌ها به شرح جداول ۱ و ۲ است.

جدول ۱ : پایایی توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی و مؤلفه‌های آن

متغیر مستقل	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی	مؤلفه	تعداد سوال	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی
توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی	۰/۹۷	۰/۹۷	توسعه‌ی فردی	۱۵	۰/۸۷	۰/۸۹
			توسعه‌ی فرهنگی گروهی	۲۶	۰/۹۱	۰/۹۲
			توسعه‌ی حرفه‌ای	۱۳	۰/۸۹	۰/۹۱
			توسعه‌ی مدیریتی	۱۷	۰/۹۱	۰/۹۲
			توسعه‌ی سازمانی	۱۸	۰/۸۹	۰/۹۰

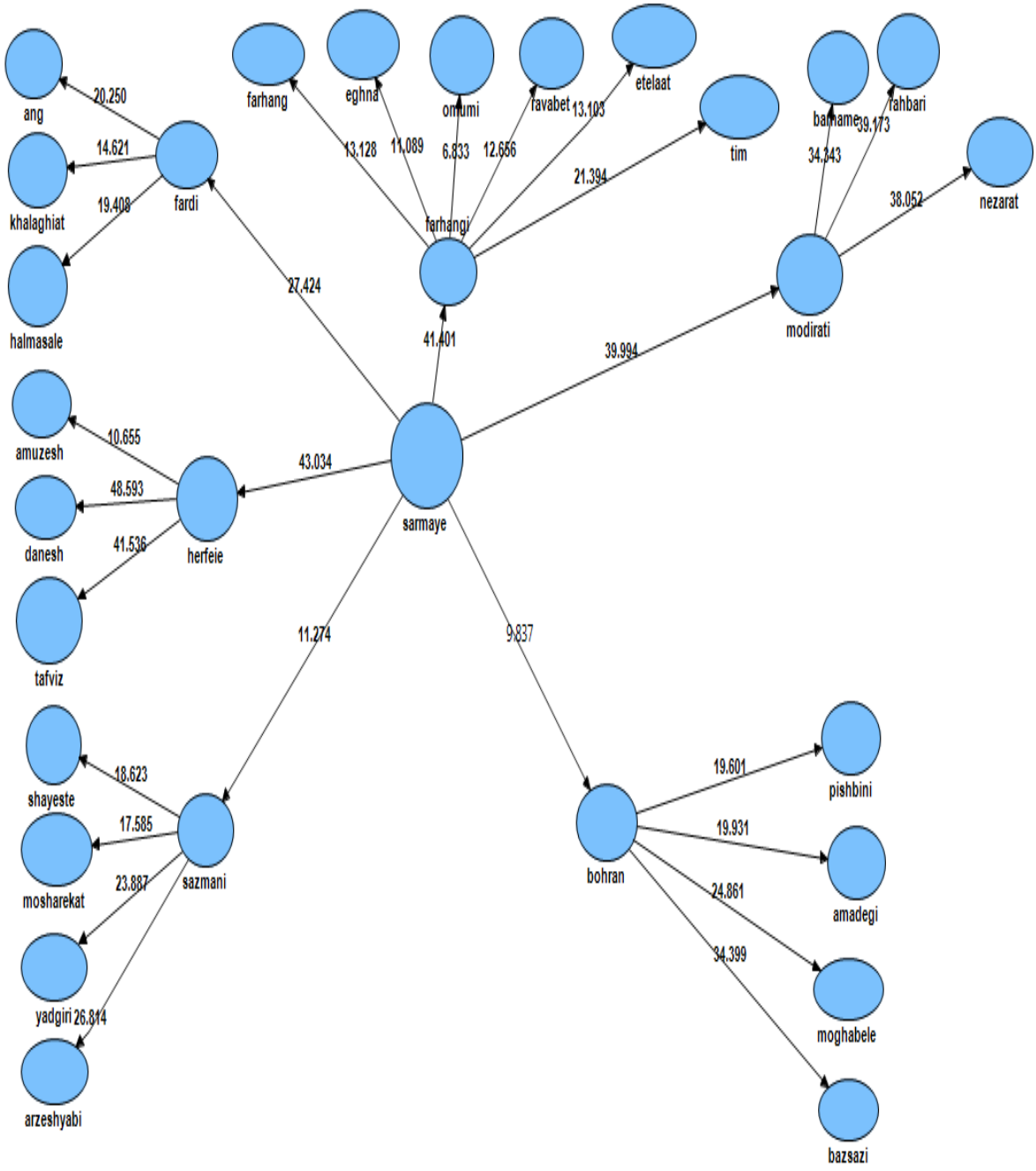
جدول ۲: پایایی مدیریت بحران و مؤلفه‌های آن

متغیر وابسته	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی	مؤلفه	تعداد سوال	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی
مدیریت بحران	۰/۹۲	۰/۹۳	پیش‌بینی	۳	۰/۸۵	۰/۹۱
			آمادگی	۵	۰/۷۸	۰/۸۵
			مقابله	۴	۰/۷۹	۰/۸۷
			بازسازی	۴	۰/۸۹	۰/۹۲

همان‌طور که در جداول ۱ و ۲ ملاحظه می‌شود مقدار ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی (CR) متغیرها و مؤلفه‌ها بیشتر از ۰/۷ و مورد تأیید قرار گرفت. از آن‌جایی که بارهای عاملی تمامی مؤلفه‌ها، شاخص‌ها و سؤالات بیشتر از ۰/۵ است، پایایی به روش بارهای عاملی نیز مورد تأیید قرار گرفت.

در ادامه با توجه به ادبیات تحقیق، مؤلفه‌های پیش‌بینی، آمادگی، مقابله و بازسازی برای مدیریت بحران در نظر گرفته شد و گویه‌های مربوط به آن‌ها طراحی گردید. سپس بارعاملی مدل با نرم‌افزار مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد تمامی مؤلفه‌ها دارای بار عاملی بیش از ۰/۵ است، بنابراین تمامی مؤلفه‌ها و شاخص‌ها مناسب هستند. در روش معادلات ساختاری اولین و اساسی‌ترین معیار برای بررسی عامل‌ها، ضرایب معناداری z یا همان مقدار t-values است. در تصویر ۱ این مقادیر نشان داده شده است. از آنجایی که این مقادیر بیشتر از ۱/۹۶ هستند مدل ساختاری مناسب است.

همان‌گونه که در تصویر ۱ مشخص است شاخص سرمایه‌ی انسانی به همراه مؤلفه‌های توسعه‌ی فردی، توسعه‌ی فرهنگی-گروهی، توسعه‌ی حرفه‌ای، توسعه‌ی مدیریتی و توسعه‌ی سازمانی در حدود ۹۸،۳۷ درصد بر روی مدیریت بحران تأثیر می‌گذارد. با توجه به بارهای عاملی، ۶۷/۶ درصد از مدیریت بحران توسط مؤلفه‌های توسعه‌ی منابع انسانی تبیین می‌شود. از آن‌جایی که



تصویر۱: بررسی ضرایب معناداری z

این میزان بیش از ۶۰ درصد است نشان‌دهنده‌ی تعیین مناسب مؤلفه‌های توسعه‌ی منابع انسانی در مدیریت بحران است.

جدول ۳ : بررسی تأثیر توسعه‌ی منابع انسانی بر مدیریت بحران

ضریب مسیر	آماره t	نتیجه
۰/۶۷۶	۹/۸۳۷	پذیرش

با تأیید مدل، روابط بین متغیر مدیریت بحران و متغیر توسعه‌ی منابع انسانی و همچنین رابطه‌ی بین متغیر مدیریت بحران و مؤلفه‌های توسعه‌ی منابع انسانی نیز مورد تأیید قرار گرفت. بنابراین مدیران می‌توانند با بهبود و ارتقای مؤلفه‌های توسعه‌ی منابع انسانی (فردی، فرهنگی- گروهی، حرفه‌ای، مدیریتی و سازمانی) وضعیت مدیریت بحران را بهبود ببخشند. از طرف دیگر با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید متغیر سرمایه‌ی انسانی، ۶۷/۶٪ از تغییرات مدیریت بحران را پیش‌بینی می‌کند. با توجه به اینکه در علوم اجتماعی در صورتی که میزان تبیین یک متغیر توسط متغیر دیگر بیشتر از ۶۰٪ باشد، مورد پذیرش قرار می‌گیرد، مشخص می‌شود متغیر سرمایه‌ی انسانی تأثیرگذارترین متغیر بر مدیریت بحران است و این بدان معنا است که مدیران اگر تنها در حوزه‌ی توسعه‌ی منابع انسانی اقدامات لازم را انجام دهند می‌توانند مدیریت بحران اثربخش داشته باشند.

بررسی معیار R2

دومین معیار برای بررسی برازش مدل ساختاری ضرایب R2 مربوط به متغیرهای پنهان درون‌زای (وابسته) مدل است. همان‌طور که در تصویر ۱ نشان داده شده است مقدار آن ۰/۴۵۸ است که نشان‌دهنده‌ی متوسط بودن این معیار برازش است (سه مقدار ۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ به‌منزله‌ی مقدار ملاک برای مقادیر ضعیف، متوسط و قوی R2 در نظر گرفته می‌شود؛ از آنجایی که ۰/۴۳۱ بین ۰/۳۳ و ۰/۶۷ است، این معیار متوسط است)، بنابراین با توجه به این معیار برازش مدل مناسب است.

بررسی معیار GOF

برازش کلی مدل با معیار GOF مشخص می‌شود. این معیار از مجذور میانگین مقادیر اشتراکی به غیر از مدیریت بحران و سرمایه‌ی انسانی (۰/۵۵۴۸۲۲) ضرب‌در میانگین مقادیر R2 به غیر از سرمایه‌ی انسانی (۰/۶۴۸۴۲) محاسبه می‌شود.

با توجه به سه مقدار ۰/۰۱، ۰/۲۵ و ۰/۳۶ که به‌منزله‌ی مقادیر ضعیف، متوسط و قوی برای GOF مشخص می‌شود، مقدار ۰/۶۰۰ برای این معیار به دست می‌آید، بنابراین برازش بسیار مناسب مدل تأیید می‌شود.

با توجه به اینکه مؤلفه‌های توسعه‌ی منابع انسانی در مدیریت بحران شناسایی و تعیین گردیدند، مدیران سازمان باید در راستای بهبود و ارتقای هر یک از این مؤلفه‌ها اقدام نمایند. مؤلفه‌های توسعه‌ی حرفه‌ای و توسعه‌ی سازمانی وضعیت مناسبی دارند، در حالی که مؤلفه‌های توسعه‌ی فردی، توسعه‌ی فرهنگی- گروهی و توسعه‌ی مدیریتی وضعیت نامناسبی دارند. بنابراین سازمان باید اقدامات ضروری در راستای بهبود این سه مؤلفه را انجام دهد. با توجه به نظر خبرگان، به ترتیب باید در راستای بهبود توسعه‌ی

جدول ۴ : بررسی معیار GOF

سازه	مقدار اشتراکی (Communality)	مقدار R^2
آمادگی	۰،۵۴۱۱۳۳	۰،۶۴۰۲۸۲
آموزش	۰،۵۶۸۱۲	۰،۴۹۱۹۴۳
انگیزش	۰،۵۹۶۴۲۴	۰،۶۵۷۰۳۶
ارزشیابی	۰،۶۰۰۱۸۷	۰،۷۱۵۸۰۵
برنامه‌ریزی	۰،۵۷۴۸۷۴	۰،۷۴۳۲۳۹
بازسازی	۰،۷۵۱۴۴۶	۰،۷۷۲۰۶۲
مدیریت بحران	۰،۴۵۵۸۶۸	۰،۴۵۷۶۴۴
دانش شغلی	۰،۶۵۸۷۹۶	۰،۷۹۵۱۱۶
اقناع فکری	۰،۵۴۱۴۰۲	۰،۴۶۹۸۸۸
توزیع اطلاعات	۰،۶۴۹۷	۰،۴۹۶۴۱
توسعه‌ی فردی	۰،۳۵۵۲۴۲	۰،۷۰۵۳۹۱
فرهنگ‌سازی	۰،۶۰۸۸۲۴	۰،۵۴۸۵۵۴
توسعه‌ی فرهنگی - اجتماعی	۰،۳۱۱۵۵۵	۰،۸۰۰۸۰۳
حل مسئله	۰،۶۱۲۱۷	۰،۶۴۸۷۴۹
توسعه‌ی حرفه‌ای	۰،۴۴۷۴۱۸	۰،۷۹۹۴۵۳
خلاقیت	۰،۵۰۶۷۵	۰،۵۶۷۵۷۳
توسعه‌ی مدیریتی	۰،۴۰۵۸۵۷	۰،۸۰۱۸۸۶
مقابله	۰،۶۱۹۱۴۳	۰،۷۳۶۳۸۷
مشارکت	۰،۵۳۴۱۷۸	۰،۶۱۰۳۰۵
نظارت و کنترل	۰،۵۰۰۲۳۹	۰،۷۶۶۴۰۴
روابط عمومی	۰،۵۸۳۸۷۵	۰،۳۱۶۶۳۱
پیش‌بینی	۰،۷۶۶۴۵۳	۰،۶۲۶۰۰۳
رهبری	۰،۴۹۶۴۲۳	۰،۸۳۷۳۱۹
روابط کاری	۰،۶۶۵۷۱۹	۰،۵۰۰۶۹۸
توسعه‌ی سازمانی	۰،۲۷۱۹۲۶	
شایسته‌سالاری	۰،۳۵۱۲۱۲	۰،۵۶۷۴۵۶
تفویض اختیار	۰،۴۶۲۹۵۱	۰،۵۶۸۵۳۱
کارتیمی	۰،۶۴۷۷۸۴	۰،۸۰۸۱۹۵
یادگیری	۰،۵۷۵۳۵۶	۰،۶۸۵۲۳۸

مدیریتی، توسعه‌ی فردی و توسعه‌ی فرهنگی- گروهی اقدام گردد. همچنین بعد از بهبود لازم در این سه مؤلفه، باید با توجه به نظر خبرگان به ترتیب به سمت ارتقای دو مؤلفه‌ی توسعه‌ی حرفه‌ای و توسعه‌ی سازمانی حرکت نمود.

نتایج

در ادامه ادبیات تحقیق مورد بررسی قرار گرفت و ۱۰ شاخص توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی مؤثر در مدیریت بحران شناسایی گردیدند. در جدول ۵ شاخص‌های مذکور ارائه شده‌اند.

جدول ۵: شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران در ادبیات تحقیق

ردیف	شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه انسانی مؤثر در مدیریت بحران	آموزش	مشارکت	برنامه ریزی	یادگیری سازمانی	رهبری	خلاقیت	جبران خدمات	فرهنگ سازمانی	توزیع اطلاعات	استعدادیابی
۱	دینز	*	*								
۲	پری و نایگ	*	*		*						
۳	بریتون	*	*								
۴	دنیس		*								
۵	ونگر			*							
۶	ولنسکی			*							
۷	اکترلینگ و همکاران			*							
۸	پتاک				*						
۹	لاگادک		*		*						
۱۰	پاچانت و میتراف	*	*		*						
۱۱	کوبان				*						
۱۲	بوگه		*								
۱۳	کونتز و پرووانت		*								
۱۴	سیلوز، پاوالاک و کارانتلی		*								
۱۵	رایت و همکاران			*							
۱۶	کایناستی و نوریس			*							
۱۷	داربک و مک اینتایر			*							
۱۸	استرن	*									
۱۹	روکس دوفورت	*									
۲۰	سایمون و پاچانت	*									
۲۱	فودور	*									
۲۲	باتورسکی	*									
۲۳	هولتسکوگ و رینجن	*								*	
۲۴	براورمن			*							
۲۵	بوریر					*					
۲۶	لالونده					*					
۲۷	کاپونیگرو						*				
۲۸	گروه		*								
۲۹	دمین و لالاپوپا								*		
۳۰	ازکور و همکاران			*							
۳۱	هولتسکوگ و رینجن	*	*								
۳۲	کستا و همکاران			*							
۳۳	استولاریک و کورید هالکت									*	
۳۴	بوگدان		*								
۳۵	یاتاگان				*						
۳۶	هاچینز و وانگ				*						
۳۷	جاکوز										*

ادامه‌ی جدول ۵: شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران در ادبیات تحقیق

ردیف	شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه انسانی مؤثر در مدیریت بحران	آموزش	مشارکت	برنامه ریزی	یادگیری سازمانی	رهبری	خلاقیت	جبران خدمات	فرهنگ سازمانی	توزیع اطلاعات	استعدادیابی
۳۸	برنمن										*
۳۹	میتراف										*
۴۰	پورعزت						*				
۴۱	امامی فر						*				
۴۲	رضایی دولت آبادی و همکاران	*						*			
۴۳	احمدی و همکاران							*			
۴۴	امام قلی زاده، ناصریان و آقایی						*				
۴۵	ایمانی و همکاران						*				
۴۶	اربطانی و همکاران	*									

جدول ۶ : شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران از منظر خبرگان

ردیف	شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی موثر در مدیریت بحران	تعداد خبرگان سازمانی ارائه دهنده‌ی شاخص	تعداد خبرگان دانشگاهی ارائه دهنده‌ی شاخص	تعداد کل
۱	ارزشیابی‌های مستمر	۴	۷	۱۱
۲	تفویض اختیار	۹	۱۵	۲۴
۳	آموزش	۱۵	۱۵	۳۰
۴	انگیزش	۸	۱۴	۲۲
۵	مشارکت	۸	۱۵	۲۳
۶	شایسته‌سالاری	۷	۱۲	۱۹
۷	دانش شغلی	۱۲	۱۵	۲۷
۸	اقناع فکری	۱۵	۷	۲۲
۹	خلاقیت	۶	۹	۱۵
۱۰	روابط کاری	۱۵	۱۱	۲۶
۱۱	روابط عمومی	۱۵	۹	۲۴
۱۲	روحیه‌ی همکاری	۶	۱	۷
۱۳	نظارت و کنترل	۱۰	۱۱	۲۱
۱۴	حل مسئله	۷	۱۴	۲۱
۱۵	فرهنگ‌سازی	۱۴	۵	۱۹
۱۶	همدلی	۳	۲	۵
۱۷	برنامه‌ریزی	۱۵	۱۵	۳۰
۱۸	کارتیمی	۱۴	۱۵	۲۹

با ۱۵ نفر از خبرگان سازمانی و ۱۵ نفر از خبرگان دانشگاهی مصاحبه برگزار گردید و ۱۸ شاخص توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی مؤثر در مدیریت بحران به شرح جدول ۶ شناسایی گردیدند.

شاخص‌های شناسایی شده از ادبیات تحقیق (۱۰ شاخص) و نظر خبرگان سازمانی و دانشگاهی (۱۸ شاخص) تلفیق گردید (۲۳ شاخص) و برای تعیین اولویت و اهمیت از نظر جامعه‌ی خبرگان (سازمانی و دانشگاهی) استفاده گردید. در ستون‌های میزان اهمیت تعداد افراد موافق با هر گزینه درج شده است. درجه‌بندی میزان اهمیت بر اساس مقیاس لیکرت است. امتیاز هر شاخص از مجموع تعداد افراد در درجه‌ی اهمیت (اهمیت خیلی زیاد=۵، اهمیت زیاد=۴، اهمیت متوسط=۳، اهمیت کم=۲ و اهمیت خیلی کم=۱) تقسیم بر ۳۰ نفر خبرگان به دست آمده است. در ستون انتهایی، اولویت هر یک از شاخص‌ها بر اساس امتیاز آن‌ها درج شده است. ۴ شاخص (روحیه‌ی همکاری، همدلی، فرهنگ سازمانی و جبران خدمات) به علت اینکه امتیاز کمتر از ۳ کسب کرده‌اند، حذف و در مجموع ۱۹ شاخص توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی مؤثر در مدیریت بحران تعیین گردید.

با استفاده از نظر خبرگان و بهره‌گیری از ادبیات تحقیق، ۹ مؤلفه به شرح جدول ۸ برای دسته‌بندی شاخص‌ها در نظر گرفته شد.

جدول ۷: شناسایی و تعیین شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران

شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی مؤثر در مدیریت بحران	میزان اهمیت					امتیاز هر شاخص	اولویت هر شاخص
	اهمیت خیلی زیاد	اهمیت زیاد	اهمیت متوسط	اهمیت کم	اهمیت خیلی کم		
آموزش	26	4	0	0	0	4/87	1
برنامه‌ریزی	25	5	0	0	0	4/83	2
نظارت و کنترل	14	15	1	0	0	4/43	3
مدیریت مشارکتی	10	14	6	0	0	13/4	4
دانش شغلی	8	17	5	0	0	4/10	5
انگیزش	8	16	6	0	0	4/07	6
کارتیمی	9	13	8	0	0	4/03	7
اقناع فکری	10	14	4	0	2	4/00	8
روابط عمومی	8	11	7	4	0	3/77	9
خلاقیت	7	8	12	3	0	3/63	10
تفویض اختیار	1	19	5	4	1	3/50	11
فرهنگ‌سازی	7	7	9	7	0	3/47	12
ارزشیابی‌های مستمر	5	11	8	4	2	3/43	13
رهبری	6	9	8	5	2	3/40	14
یادگیری سازمانی	2	13	10	4	1	3/37	15
روابط کاری	6	7	11	3	3	3/33	16
توزیع اطلاعات	4	8	12	5	1	3/30	17
حل مسئله	5	7	10	7	1	3/27	18
شایسته‌سالاری	4	5	17	2	2	3/23	19
روحیه‌ی همکاری	5	6	5	7	7	2/83	20
جبران خدمات	2	5	8	8	7	2/57	21
همدلی	0	6	7	8	9	2/33	22
فرهنگ سازمانی	2	4	6	8	10	2/33	23

جدول ۸: تعیین مؤلفه‌ها

	فردی	فرهنگی گروهی	حرفه ای	مدیریتی	سازمانی	فکری	ادراکی	رفتاری	نگرشی
انگیزش	۱۵	۱	۰	۳	۱	۲	۲	۵	۱
حل مسئله	۱۶	۱	۰	۱	۱	۷	۲	۰	۲
خلاقیت	۱۵	۱	۲	۲	۱	۶	۲	۰	۱
فرهنگ‌سازی	۲	۲۷	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰
کارتیمی	۰	۲۹	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
روابط کاری	۲	۱۷	۱	۱	۲	۰	۰	۷	۰
توزیع اطلاعات	۳	۱۶	۳	۲	۴	۰	۰	۰	۲
روابط عمومی	۲	۲۰	۲	۱	۳	۰	۰	۲	۰
اقناع فکری	۲	۱۵	۳	۲	۱	۷	۰	۰	۰
دانش شغلی	۴	۱	۱۶	۲	۱	۶	۰	۰	۰
تفویض اختیار	۱	۲	۱۵	۶	۳	۰	۰	۰	۳
آموزش	۴	۰	۱۶	۵	۱	۰	۲	۰	۲
برنامه‌ریزی	۰	۰	۲	۲۶	۲	۰	۰	۰	۰
رهبری	۰	۱	۰	۱۸	۴	۲	۰	۵	۰
نظارت و کنترل	۰	۰	۲	۱۹	۷	۰	۰	۰	۲
مشارکت	۰	۷	۱	۳	۱۵	۰	۰	۳	۱
ارزشیابی‌های مستمر	۱	۰	۳	۸	۱۷	۰	۱	۰	۰
یادگیری سازمانی	۱۰	۰	۲	۰	۱۸	۰	۰	۰	۰
شایسته‌سالاری	۶	۰	۱	۷	۱۵	۰	۰	۰	۱

با توجه به نظر خبرگان، ۵ مؤلفه‌ی توسعه‌ی فردی، توسعه‌ی فرهنگی- گروهی، توسعه‌ی حرفه‌ای، توسعه‌ی مدیریتی و توسعه‌ی سازمانی برای دسته‌بندی شاخص‌ها در نظر گرفته شد و سپس شاخص‌ها با استفاده از نظر آن‌ها به شرح تصویر ۲ در ۵ مؤلفه دسته‌بندی گردید.

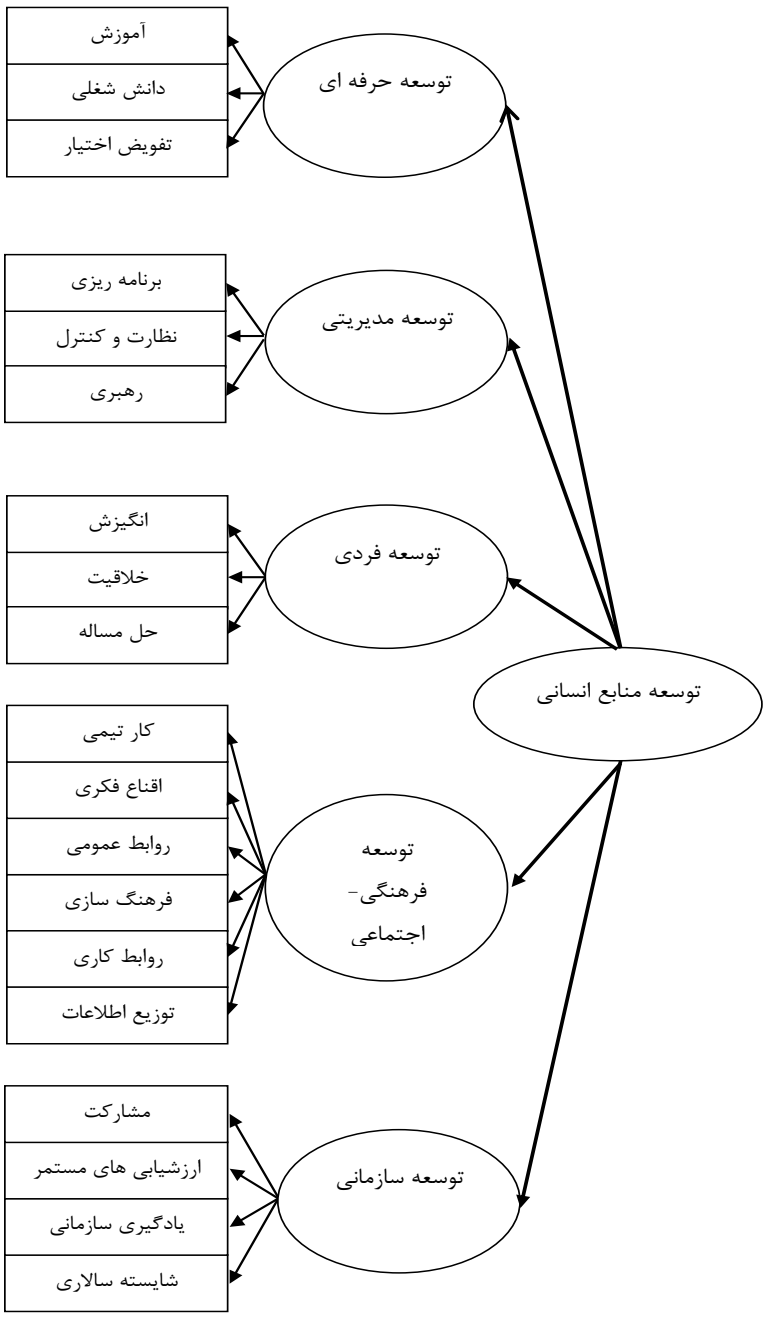
در جدول ۹ آمار توصیفی مربوط به مدیریت بحران و ابعاد آن ارائه شده است.

برای ارزیابی مدیریت بحران و مؤلفه‌های آن از آزمون t تک نمونه‌ای به شرح جدول ۸ استفاده شده است. در جدول ۱۰ هر آیتمی که سطح معناداری بیشتر از ۰/۰۱ دارد در سطح اطمینان ۹۹ درصد نامناسب است، در غیر این صورت مناسب است.

بنابراین وضعیت مؤلفه‌ی مواجهه مناسب و وضعیت مؤلفه‌های پیش‌بینی، آمادگی و بازسازی و همچنین متغیر مدیریت بحران نامناسب است.

برای بررسی رابطه‌ی بین مدیریت بحران و مؤلفه‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی از ضریب همبستگی پیرسون به شرح جدول ۱۱ محاسبه شد.

با توجه به اینکه سطح معناداری رابطه میان مؤلفه‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی و مدیریت بحران کمتر از ۰/۰۵ و برابر با ۰/۰۰۰ است، می‌توان نتیجه گرفت که بین مؤلفه‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی و مدیریت بحران رابطه‌ی معناداری وجود دارد.



تصویر۲: مدل مفهومی تحقیق

جدول ۹ : آمار توصیفی مدیریت بحران و مؤلفه‌های آن

آیتم	تعداد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین خطای استاندارد
پیش بینی	440	3/0515	0/90723	0/04994
آمادگی	440	2/9814	0/80925	0/04455
مواجهه	440	2/6765	0/80413	0/04427
بازسازی	440	2/8841	0/87888	0/04838
مدیریت بحران	440	2/8984	0/70372	0/03874

جدول ۱۰ : نتایج آزمون t تک نمونه‌ای مدیریت بحران و مؤلفه‌های آن

آیتم	آماره‌ی t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری	تفاوت با میانگین	فاصله‌ی اطمینان ۰/۹۵ اختلاف‌ها		وضعیت
					پایین‌ترین	بالاترین	
پیش بینی	1/032	439	0/303	0/05152	-0/0467	0/1498	نامناسب
آمادگی	-0/418	439	0/676	-0/01864	-0/1063	0/0690	نامناسب
مواجهه	-7/308	439	0/000	-0/32348	-0/4106	-0/2364	مناسب
بازسازی	-2/396	439	0/017	-0/11591	-0/2111	-0/0207	نامناسب
مدیریت بحران	-2/623	439	0/067	-0/10163	-0/1778	0/0254	نامناسب

جدول ۱۱: نتایج آزمون همبستگی

مؤلفه	میزان رابطه با مدیریت بحران	سطح معناداری	نوع رابطه
توسعه‌ی فردی	۰/۷۴۰**	۰/۰۰۰	قوی
توسعه‌ی فرهنگی و اجتماعی	۰/۵۹۲**	۰/۰۰۰	متوسط
توسعه‌ی حرفه‌ای	۰/۵۷۰**	۰/۰۰۰	متوسط
توسعه‌ی مدیریتی	۰/۴۹۳**	۰/۰۰۰	متوسط
توسعه‌ی سازمانی	۰/۵۸۳**	۰/۰۰۰	متوسط

** : همبستگی در سطح ۰/۰۱ قابل توجه است (دو طرفه)

جدول ۱۲: تعیین اولویت مؤلفه‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مراحل مدیریت بحران

مؤلفه	مراحل مدیریت بحران			اولویت
	قبل از بحران	حین بحران	بعد از بحران	
توسعه‌ی فردی	۱۸	۵	۷	قبل بحران
توسعه‌ی فرهنگی - گروهی	۸	۱۶	۶	حین بحران
توسعه‌ی حرفه‌ای	۱۹	۵	۶	قبل بحران
توسعه‌ی مدیریتی	۱۷	۱۲	۱	قبل بحران
توسعه‌ی سازمانی	۱۰	۲	۱۸	بعد بحران

نتایج تحقیق نشان داد وضعیت مدیریت بحران در سازمان امور مالیاتی نامناسب است. از طرف دیگر مشخص گردید رابطه‌ی قابل توجهی بین مؤلفه‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی با مدیریت بحران وجود دارد. بنابراین با استفاده از توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی و سرمایه‌گذاری بر روی آن می‌توان نیازهای سازمان در مراحل مختلف مدیریت بحران را برآورده نمود که این امر با توجه به مدل ارائه شده‌ی مدیریت بحران مبتنی بر توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی قابل دستیابی است. بر همین اساس، با توجه به نظر خبرگان سازمانی و دانشگاهی میانگین نمرات شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مراحل مدیریت بحران (قبل، حین و بعد) مشخص و سپس اولویت مؤلفه‌ها در مراحل مدیریت بحران مطابق با جدول ۱۰ تعیین گردید.

با توجه به تصویر ۳ مشخص گردید در مرحله‌ی قبل از بحران باید به مؤلفه‌های توسعه‌ی حرفه‌ای، توسعه‌ی فردی و توسعه‌ی مدیریتی و همچنین در مرحله‌ی حین بحران باید به مؤلفه‌ی توسعه‌ی فرهنگی- اجتماعی و در مرحله‌ی بعد از بحران به مؤلفه‌ی توسعه‌ی سازمانی توجه نمود. بنابراین در صورتی که

تصویر ۳: نمودار رادار بررسی مؤلفه‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مراحل مدیریت بحران

در برنامه‌ریزی‌های سازمانی اولویت‌های مذکور مدنظر قرار بگیرد، مدیریت بحران کارآمد و اثربخش به اجرا در می‌آید.

پیشنهادها

تحقیق حاضر با توجه به اهداف و همچنین محدودیت‌هایی که با آن‌ها مواجه بود، توانسته است بخش قابل توجهی از نیاز پژوهشی و کاربردی سازمان را پوشش دهد. با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش پیشنهادهای کاربردی و پیشنهادهای پژوهشی برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

پیشنهادهای کاربردی

- ایجاد نظام جامع ارزیابی و بررسی مدیریت بحران (ممیزی، خودارزیابی و ارزیابی) به‌منظور پایش مستمر وضعیت سازمان؛
- برنامه‌ریزی استراتژیک (استراتژی و اهداف با توجه به شاخص‌های مستخرج از مدل مفهومی)؛
- تهیه‌ی نیمرخ شایستگی کارکنان؛
- برگزاری جلسات مستمر برای مدیران ارشد سازمان در راستای توجیه و معرفی نقاط ضعف و چگونگی مدیریت آن‌ها و پرورش نقاط قوت موجود به‌منظور بهبود فرایند مدیریت و رهبری؛
- طراحی نظام جامع آموزش کارکنان و مدیران با هدف تأثیرگذاری بر بهبود شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی؛
- عزم جدی مدیران ارشد سازمان امور مالیاتی برای بهبود و ارتقای توسعه‌ی مؤلفه‌های سرمایه‌ی انسانی؛
- توجه به استراتژی‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران در تهیه و تدوین برنامه‌ریزی استراتژیک سازمان امور مالیاتی کشور؛
- استفاده‌ی صحیح و مناسب از فرصت‌های بین‌المللی برای کسب تجربه و مهارت خبرگان با ضرورت ثبت تجارب و دانش؛
- طراحی نظام جامع مدیریت عملکرد به‌منظور بررسی عملکرد مدیران و کارکنان؛
- تشکیل اتاق فکر برای حل مسائل سازمانی به‌منظور پرورش و رشد خلاقیت کارکنان؛
- طراحی برنامه‌های بهبود مستمر در راستای توسعه‌ی شغلی و همچنین بهبود فرایندها؛
- ایجاد تغییر در نگرش مدیران نسبت به ضرورت استفاده از ظرفیت بالقوه‌ی کارکنان در امر تصمیم‌گیری و پرهیز از تعصب غیرمنطقی و اخذ تصمیم‌گیری‌های یک‌جانبه؛
- بهسازی نظام پیشنهادات به‌منظور افزایش مشارکت کارکنان؛
- ارزش‌گذاری نسبت به تلاش‌های انجام شده در فرایند کسب اهداف (تلاش‌گرایی به جای نتیجه‌گرایی) ؛
- بررسی سطح انگیزش کارکنان در واحدهای مختلف و مقایسه‌ی آن‌ها به‌منظور ارتقای سطح انگیزش با استفاده از فنون طراحی مشاغل (چرخش شغلی، توسعه‌ی شغلی و غنی‌سازی شغلی)؛
- بازنگری در شاخص‌ها و قوانین انتخاب و انتصاب کارکنان و استفاده از متخصصان روانشناسی برای انتصاب کارکنان به پست‌های مدیریتی در راستای بهسازی نظام انتخاب و انتصاب مدیران.

پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده

- می‌توان از طریق مطالعات تطبیقی در سازمان‌های مختلف کشور، شاخص‌های توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی در مدیریت بحران را بررسی کرد و مدل ملی مدیریت بحران را ارائه نمود.
- جهت‌دهی به اولویت‌های تحقیقاتی در سازمان.

پی‌نوشت

۱. در این مقاله، تنها مدل برگرفته از روش کیفی ارائه می‌شود؛ نتایج کمی حاصل از اجرای مدل در قالب یک مقاله‌ی دیگر ارائه خواهد شد.

۲. برگرفته از پایان‌نامه‌ی دکتری سعید عزیزی با عنوان ارائه‌ی مدل مدیریت بحران با رویکرد توسعه و بهسازی سرمایه‌ی انسانی

3. Fornell & Larcker

منابع

1. Levente, B. (2018). Crisis Management Between Public Relations and the HolonicMulti-Agent Approach. 14th International Symposium in Management,Procedia - Social and Behavioral Sciences 238, 527 – 534.

2. Fischbacher-Smith, D., &Fischbacher-Smith, M. (2013). Tales of the unexpected: Issues around the development of a crisis management module for the MBA program. *Journal of Management Education, 37*(1), 51-78.

3. Loizou, M., Hartley, T., Slater, S., Newman, R., & Pannese, L. (2012). Emotions for intelligent agents in crisis management simulations: A survey. Paper presented at the Computer Games (CGAMES). 17th International Conference on.

4. Vardarlier, P. (2016). Strategic approach to human resources management during crisis. Procedia-social and behavioral sciences, 235, 463-472.

۵. نوری، محمد؛ خزایی، هوشنگ (۱۳۹۶). نقش ارتباطات در مدیریت بحران‌های شهری با رویکرد انتظامی. پژوهش‌های مدیریت انتظامی، ۱۲(۴)، ۷۰۴-۶۸۳.

6. Shrivastava, P., Mitroff, I., & Alpaslan, C. M. (2013). Imagining an education in crisis management. *Journal of Management Education*, 37(1), 6-20.

7. Prewitt, J. E., Weil, R., & McClure, A. Q. (2011). Crisis Leadership-An Organizational Opportunity. *Australian Journal of Business and Management Research*, 1(6), 60.

8. Liu, Yi and Guo, Yan, (2012). Organizational Crisis Management and Public Policy Problem, Second International Conference on Business Computing and Global Informatization, 380-383

9. NyBlom, S.E. (2003), Understanding crisis management: risk assessment and planning are key to effective response. *Professional Safety Journal*,18-25 .

10. Lalonde, C., & Roux-Dufort, C. (2013). Challenges in teaching crisis management: Connecting theories, skills, and reflexivity. *Journal of Management Education*, 37(1), 21-50.

۱۱. آقاحسینی اشکاوندی، مصطفی؛ رضایی دولت آبادی، حسین؛ نیلی پور طباطبایی، سید اکبر (۱۳۹۵). تأثیر چابکی منابع انسانی بر مدیریت بحران. *مدیریت بحران*، (۱۰) ۴۱-۴۹.

12. Milis, K., & Van de Walle, B. (2007). IT for corporate crisis management: Findings from a survey in 6 different industries on management attention, intention and actual use. Paper presented at the System Sciences, 2007. HICSS 2007. 40th Annual Hawaii International Conference on.

۱۳. سند راهبردی نظام مالیاتی (۱۳۹۳).

۱۴. جوانمرد، حبیب اله؛ محمدیان، فاطمه (۱۳۸۸). شاخص‌های مؤثر در سنجش سرمایه‌ی‌انسانی. *فصلنامه پژوهش‌های مدیریت منابع انسانی دانشگاه جامع امام حسین (ع)*، سال دوم، شماره‌ی ۱، ۶۷-۸۶.

15. Karthik, N. &Basak D. (2006) .Human Capital Vol. 7, No. 3, 381-393.

۱۶. حسنعلی زاده، صابر؛ سعادت، مهدی (۲۰۱۱). *آشنایی با مفاهیم سرمایه‌ی انسانی*، پایگاه مقالات علمی مدیریت.

۱۷. سلطانی، ایرج (۱۳۹۲). *پرورش سرمایه‌های انسانی*. انتشارات ارکان دانش، چاپ دوم.

۱۸. برنامه‌ی عملیاتی سازمان امور مالیاتی کشور (۱۳۹۵).

۱۹. رضایی دولت آبادی، حسین؛ خزائی پول، جواد؛ کیا لاشکی، جعفر؛ امانی، مجتبی و وریج کاظمی، رضا (۱۳۹۲). طراحی مدل تأثیرگذاری فرهنگ سازمانی بر تسهیم دانش و ایجاد چابکی در مهار شرایط بحرانی با رویکرد پدافند غیرعامل. *مجله‌ی مدیریت بحران*، شماره‌ی ۳، ۵۹- ۶۷.

20. Fodor, Peter, (2009). The Impact of the Economic and Financial Crisis on HRM and Knowledge-Management in Hungary and Slovakia - Empirical Research 2008-2009, ActaPolytechnicaHungarica, Vol. 6, No. 3, 69-91.

21. Holtskog, Halvor; Ringen, Geir (2013). Opportunities in the Wake of Crisis.Procedia CIRP. vol. 7

22. Hutchins, Holly M. & Wang, Jia, (2008). Organizational Crisis Management and Human Resource Development: A Review of the Literature and Implications to HRD Research and Practice, Advances in Developing Human Resources June 10: 310-330, first published on April 9

23. Guba, E. G. (1981). Criteria for assessing the trustworthiness of naturalistic inquiries. *Educational Communication and technology Journal*, 29 (2), 76

ارزیابی و سنجش نقش استفاده از فضای مجازی بر مؤلفه‌های مؤثر بر مدیریت بحران شهری مبتنی بر معنای مکان

مطالعه‌ی موردی: فضای شهری سنتی و مدرن شهر اصفهان

نرگس نونژاد: دانشجوی دکتری، گروه شهرسازی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
الهام ناظمی*: استادیار، گروه شهرسازی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، Nazemielham1@gmail.com
حمید صابری: استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

امروزه بحران معنای مکان به مفهوم بحران معنی اجتماعی از فضا و زمان، از بارزترین مشکلات شهرسازی معاصر است. به‌طور قطع بدون مدیریت شهری تعریف شده و در اختیار نهادن امکانات غنی و متناسب با نیازها و مقتضیات زمان، فضاهای شهری نمی‌تواند در تعیین هویت انسان‌ها کارکردی مناسب ایفا نماید. آمادگی و شناخت بحران یکی از وظایف مدیریت است اما از آن مهم‌تر، پیش‌بینی بحران است، چرا که بدون پیش‌بینی و قدرت نگاه به آینده، این بحران خواهد بود که ما را به هرسو خواهد کشاند. چنانچه در حوزه‌ی مطالعات شهری تاکنون مدیریت بحران بیشتر به مشکلات کمی و مادی ناشی از سیل، زلزله و جنگ پرداخته و مشکلات کیفی و به‌ویژه بحران‌های معنوی مورد غفلت واقع شده است. یکی از این بحران‌های معنوی که سرچشمه‌ی بسیاری از بحران‌ها است، بحران مکان است. لذا با توجه به تحولات همه‌جانبه‌ی عصر اطلاعات و ضرورت هماهنگی با این حرکت جهانی و اهمیت معنای مکان به‌منزله‌ی یکی از مهم‌ترین متغیرهای کیفی محیط، تحقیقات در زمینه‌ی بررسی و شناخت اثرات حوزه‌ی سایبری و فضای مجازی بر نحوه‌ی ادراک، دلبستگی و تعلق مردم به مکان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف این پژوهش، ارزیابی و سنجش نقش استفاده از فضای مجازی بر مؤلفه‌های مؤثر مدیریت بحران شهری مبتنی بر معنای مکان است. بر این اساس مؤلفه‌های چهارگانه‌ی کالبدی، فردی، اجتماعی و عملکردی تدوین و در نمونه‌های مطالعاتی دو فضای شهری سنتی و مدرن مورد آزمون قرار گرفته‌اند. این تحقیق از لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ ماهیت توصیفی - تحلیلی است. نتایج نشان می‌دهد، در اثر میزان استفاده‌ی کاربران از فضای مجازی، مؤلفه‌ی کالبدی بیشترین و مؤلفه‌ی فردی کمترین میزان همبستگی و تأثیرپذیری را با میزان استفاده‌ی کاربران از فضای مجازی دارا است. با توجه به این نتایج، می‌توان با ساماندهی و مدیریت بحران شهری بر مبنای عوامل تأثیرگذار بر معنای مکان، از بحران معنای مکان در فضاهای شهری پیشگیری نمود.

واژه‌های کلیدی: *بحران معنای مکان، مدیریت شهری، فضای مجازی، شهر اصفهان*

Evaluating and measuring the role of using cyberspace in components effective on Urban Crisis management Based on the meaning of place

Case study:traditional and modern urban spaces of Isfahan city

Narges Nonejad[1], Elham Nazemi[2*], Hamid Saberi

Abstract

Today, the crisis of the meaning of place interpreted as the crisis of the social meaning of space and time, is one of the most striking problems of contemporary urbanization. Certainly, without a pre-defined urban management and allocating the required facilities corresponding to the requirements of time, urban spaces cannot function in determining the identity of human beings. Readiness and recognition of crisis is one of the important tasks of management, but the prediction of a crisis is more important because without the power of predicting prospective potential crises, it will be the crisis that will control and pull us to some dangerous points. As in the field of urban studies, crisis management has so far focused on the quantitative and material problems caused by floods, earthquakes and wars, and the spiritual crises have been neglected. One of these spiritual which leads to many crises is the crisis of place. Therefore, given the comprehensive developments of the information age and the necessity of coordinating with this global movement as well as the importance of the meaning of the place as one of the most important qualitative variables in the environment, it is of significant importance to conduct research in investigating and identifying the effects of cyberspace on perception of and attachment to place. The present study is an attempt to evaluate and assess the role of using cyberspace in the components effective on urban crisis management in terms of place. Accordingly, the four components called physical, individual, social and functional have been formulated to test the cases studies of two spaces: traditional and modern urban spaces. This study is an example of applied and descriptive-analytical research in terms of purpose and nature respectively. According to the results, the user's share of cyberspace revealed that the physical component has the highest and the individual component has the least correlation with the user's use of cybercafe. Regarding these results, it is possible to prevent the crisis of the meaning of place through organizing and managing urban crisis considering the components and factors effective on the meaning of place.

Keywords: *Crisis of meaning of place, Urban management, Cyberspace, Isfahan.*

1. Ph.D. student ,Department of Urbanism, Najaf-Abad Unit, Islamic Azad University, Najaf Abad, Iran .
2. Assistant Professor, Department of Urbanism, Najaf-Abad Unit, Islamic Azad University, Najaf Abad, Iran. Nazemielham1@gmail.com
3. Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, , Department of Urbanism, Najaf-Abad Unit, Islamic Azad University, Najaf Abad, Iran.

مقدمه

بحران معنای مکان یکی از علل اصلی سرگردانی انسان امروز و ناتوانی فضاهای زیستی در فراهم آوردن محتوای لازم برای «بـودن» انسان‌ها است که در پی آن بحران بی‌هویتی جوامع به‌وجود می‌آید. معنای مکان از جمله مفاهیمی است که در جریان تعامل فرد با مکان به وجود می‌آید. در واقع معنای مکان بعدی درونی از احساساتی است که فرد نسبت به یک مکان دارد و از برهم‌کنش عوامل مختلف شکل می‌گیرد. این مفهوم همواره مورد چالش بوده و مطالعات بسیاری پیرامون آن تاکنون صورت گرفته است که در آن‌ها، پاره‌ای معنا را امری ذاتی در مکان می‌دانند و پاره‌ای دیگر بر این باورند که معنا توسط فرد و در شرایط مختلف به مکان القا می‌شود. در واقع معنای مکان به واسطه‌ی حضور در فضا و تداوم تجربه‌های فضایی باعث ایجاد حس رضایت افراد در تماس با مکان می‌شود که در شکل‌گیری ابعاد هویتی بسیار مؤثر است. برای افزایش مطلوبیت کیفیت فضاهای شهری، بررسی عوامل تأثیرگذار بر معنای مکان قابل توجه است. بنابراین ارتقای کیفیت فضاهای شهری برای معنادار نمودن آن با بهره‌گیری از قواعد، تدابیر و انتظام فضایی مناسب با بررسی و شکل بخشیدن به عوامل تأثیرگذار بر معنای مکان می‌تواند تحقق یابد. لذا برای بررسی این عوامل ناگزیر به شناخت تغییرات و تأثیرات در ارزش‌ها، نگرش‌ها و نیازهای جامعه هستیم. در حال حاضر شاهد وقوع تحولات سریعی در شهرها هستیم، که به نظر می‌رسد ایده‌ها و فرضیات قدیمی درباره‌ی توسعه، برنامه‌ریزی و مدیریت شهری کارایی کمتری پیدا نموده و به دنبال آن، مفاهیم پذیرفته شده درباره‌ی ماهیت فضا، مکان، زمان، فاصله و فرایندهای زندگی شهری نیز زیر سؤال می‌روند. در چنین فرایندی، اضمحلال یا تغییر اساسی ارزش‌ها به مفهوم پذیرش بی‌هویتی فرهنگی و از دست دادن هویت ملی و محلی و حذف ارتباطات جهانی به مفهوم چشم‌پوشی از انواع انتخاب‌های مفید برای رشد و رفاه جامعه‌ی محلی خواهد بود. بنابراین با فرض جهانی شدن به‌منزله‌ی جریانی که با استفاده از تکنولوژی و تجهیزات ارتباطات راه دور به فرایندی چندجانبه، فراگیر و اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است، لازم است که پیوند شهرها به جریان جهانی شدن با اتکا بر زیرساخت‌های اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی خود صورت گیرد، به شکلی که هم از تسهیلات و منافع ارتباطات جهانی بهره گیرند و هم ویژگی‌های بومی و محلی، و به طور کلی هویت محلی خود را حفظ نموده، ارتقا بخشند. این مهم حاصل نمی‌شود مگر با مدیریت متناسب و تعریف شده با بحران شهری پیش رو. بر این اساس در این پژوهش سعی می‌شود که به این سؤال پاسخ داده شود: میزان استفاده‌ی افراد از حوزه‌ی سایبری و فضای مجازی چه تأثیری بر مؤلفه‌های مؤثر بر مدیریت بحران شهری بر معنای مکان برای پیشگیری از بحران مکان دارد؟ تا بتوان با به دست آوردن نتایج حاصل از بررسی و ارزیابی این تأثیرات، عوامل مؤثر بر معنای مکان را برای پیشگیری از بحران مکان مدیریت و کنترل نمود. برای پاسخ به این سؤال پس از مرور ادبیات موضوع شامل پیشینه‌ی تحقیق و مبانی نظری، مؤلفه‌های چهارگانه‌ی تعریف‌کننده‌ی مکان شامل مؤلفه‌ی کالبدی، فردی، اجتماعی و عملکردی تدوین شده است و سپس بر اساس روش تحقیق و ابزارها، پرسش‌نامه برای آزمون در دو فضای شهری سنتی و مدرن در شهر اصفهان برای ارزیابی و سنجش متغیرها اجرا شده و در نهایت بحث و نتیجه‌گیری انجام شده است.

پیشینه‌ی تحقیق

ماهیت فضا و مکان یکی از ریشه‌ای‌ترین مباحث نظری در فرایند تحول جهانی است. در مقایسه با حرکت شتابان تحولات عصر حاضر، در حوزه‌ی مطالعات شهری پژوهش‌های اندکی به طور مشخص به ارتباط اثرات عصر اطلاعات و مقوله‌ی مکان و فضا پرداخته‌اند.

ازجمله می‌توان به مطالعات و پژوهش‌های عمیق کاستلز بر تحولات عصر اطلاعات [۱] اشاره کرد. گراهام و ماروین نیز بر تأثیر ارتباطات از راه دور بر شهر، با نگاه ویژه به فضاهای الکترونیک و مکان‌های شهری در عصر اطلاعات، پرداختند [۲]. میچل به بیان تأثیر ارتباطات از راه دور بر فضا و مکان پرداخت و به ایجاد شهری غیرفضایی و غیرجغرافیایی توسط ارتباطات الکترونیک اعتقاد داشت[۳]. سیمون چگونگی شکل‌گیری تجربیات محیطی انسان در فضا و مکان در محیط‌های فیزیکی و مجازی [۴] را بررسی کرد. پژوهش فریادی در زمینه‌ی بومی‌سازی مفاهیم شهرسازی در عصر جهانی است و به مطرح کردن شهرسازی به‌منزله‌ی یکی از ابزارهای مؤثر در حفظ و ارتقای ویژگی‌های فرهنگی مکان‌های خاص در شهر جهانی پرداخته است و معتقد به تکیه کردن بر ابعاد محلی فضا و مکان در فرایند جهانی شدن است [۵]، نیز عاملی با مطرح کردن دو فضایی شدن شهر به ضرورت بنیادین شهر مجازی برای کلان شهرهای ایران پرداخت و به شهر فرهنگی واقعی- مجازی که در آن توجه به عوامل محیطی در فضای شهری از اهمیت مرکزی برخوردار است، اشاره کرد [۶]، همچنین ابراهیم آبادی به بیان دو اصل در تحقیقات فضای سایبری پرداخت: یکی، نپرداختن به موضوعات پایه و صرفاً اشاره به آسیب‌ها و مشکلات ناشی از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات در مطالعات فضای مجازی و دیگری، پیش گرفتن ابزارها، همچنین راه‌های جدیدی هم در ابعاد نظری و هم در ابعاد روشی در مطالعات فضای مجازی به جای تکیه کردن بر روش‌های سنتی پیشنهاد داده است [۷]. نیز رستمی با مطرح کردن تأثیرات مثبت و منفی فضای مجازی در فرایند ارتباطات به ایجاد بحران هویت ملی و دینی به‌منزله‌ی یکی از آثار فضای مجازی [۸] اشاره نمود. مقالات متعددی جمع‌آوری و تحلیل شده است اما باز هم در مقایسه با حرکت شتابان تحولات عصر حاضر و شرایط حاکم بر جهان امروز و تحولات صورت گرفته در عرصه‌های مختلف علوم و فن‌آوری به‌ویژه جریان فن‌آوری اطلاعات و اهمیت و حضور آن در زندگی انسان معاصر [۹] و آثار ناشی از آن در ابعاد مختلف زندگی فردی و اجتماعی انسان فقدان پژوهش‌هایی کافی در این زمینه مشاهده می‌شود. علیرغم پژوهش‌ها و مطالعات عنوان شده، به نظر می‌رسد جای خالی پژوهش‌هایی کاربردی که به ارائه‌ی مدل

ارزیابی و سنجش عوامل مؤثر بر و متأثر از فضای مجازی در ارتباط مستقیم با عوامل تأثیرگذار بر معنای مکان در راستای مدیریت بحران شهری و پیشگیری از بحران مکان و نیز تلاشی در بررسی و تحلیل این نتایج در مکان‌های ملموس و عمومی باشد، کاملاً محسوس است.

مبانی نظری

معنای مکان

از دیدگاه گروهی از جغرافی‌دانان انسان‌گرا، مکان به‌منزله‌ی بخشی از فضای جغرافیایی که از سوی فردی یا چیزی اشغال شده و در آن ارزش‌هـای حس شده تجلی می‌یابند، تعریف می‌شود [۱۰]. مکان‌ها نمودهای عینی دارند و دارای چشم‌انداز و مشخصاتی هستند که در طول زمان تغییر می‌کنند. مکان می‌تواند به صورت‌های مختلف تعریف شود؛ برای نمونه به‌منزله‌ی یک واحد از فضا مانند یک شهر یا یک روستا و یا بخش خاصی از فضا باشد که به وسیله‌ی انسان اشغال شده باشد مانند مکان سکونت و یا مکان گذران اوقات فراغت. هر مکان تجربیات و آموزه‌های خود را داشته و متمایز از مکان‌های دیگر است لذا افتراق مکان‌ها به دلیل تمرکز ارزش‌هـا، دیدگاه‌ها و تجربه‌های مختلف امری قطعی تلقی می‌شود [۱۱]. در واقع مکان نه تنها از طریق بستر فیزیکی‌اش، بلکه به وسیله‌ی طیفی از فرایندهای اجتماعی- روان‌شناختی که در آن روی می‌دهد مشخص شده و نه تنها درون مواضع فیزیکی تجسم می‌یابد، بلکه سرشار از معانی نمادین و دلبستگی‌های عاطفی و احساساتی است که افراد در مورد یک موضع خاص در ذهن دارند [۱۲] از این رو مکان مظروف راکدی برای ویژگی‌های زیستی- فیزیکی نیست بلکه پدیده‌ای حاصل از مجموعه‌ای از مکانیزم‌های فرهنگی و اجتماعی است که ارزش‌ها و معانی ویژه‌ای را به آن نسبت می‌دهند [۱۳]. منظور از مکان، مفهوم مجرد و کلامی آن، به معنی یک جا نیست. مکان، جا یا قسمتی از فضاست که از طریق عواملی که در آن قرار دارند صاحب هویت خاصی شده است [۱۴]. واکنش افراد نسبت به محیط‌های مختلف متأثر از معانی‌ای است که از آن محیط‌ها ادراک می‌کنند [۱۵]. بنابر آنچه بیان شد معنای مکان از جمله مفاهیمی است که در جریان تعامل فرد با مکان به وجود می‌آید. فرایند تبدیل فضا به مکان و دلایل آن واجد پیچیدگی‌هایی است که همواره مورد بررسی و توجه بوده است. مکان محیطی است که تجارب، اعمال و معانی انسانی را هم از حیث فضایی و هم زمانی جمع‌آوری می‌کند [۱۶]. تعاریف مختلفی در ارتباط با مفهوم مکان در علوم مختلفی ارائه شده که گاه بسیار مبهم و پیچیده هستند[۱۷]. با این حال اتفاق‌نظر قابل ملاحظه‌ای وجود دارد که القای معنا یا معنادار شدن فضا برای انسان آن را به مکان تبدیل می‌سازد. معنادار شدن فضا به واسطه‌ی تضمین این مفهوم از ساختارهای اجتماعی پیچیده، تجارب فردی و تصاویر ذهنی در کنار مؤلفه‌های کالبدی مکان است [۱۸]. چنانچه گیفورد مکان را وابسته به ویژگی‌های فضایی محیط، عناصر اجتماعی و کالبدی آن می‌داند که ناشی از خصوصیات طبیعی یا انسان ساخت و نیز نمادهای اجتماعی هستند [۱۹]. این ارتباط درهم پیچیده مهم‌ترین عامل تجربه‌ی زیستن در مکان است، تجربه‌ی تعلق داشتن به مکان و معنا دادن به آن.

بحران معنای مکان

همان‌طور که معنای مکان با ارزش‌گذاری درونی همراه است، بحران مکان در نتیجه بی‌مکانی نکته‌ای منفی ارزیابی می‌شود [۲۰]. بحران مکان عدم حضور و یا از دست دادن معانی محیطی را همراه دارد. عارفی در «هیچ جایی در آنجا نیست» نگرانی روبه رشدی را از بی‌مکانی ابراز می‌دارد. بی‌مکانی عکس‌العملی به از دست رفتن یا عدم حضور محیط‌هایی است که مردم برای آن‌ها ارزش و اهمیت قائلند [۲۱]. در واقع بی‌مکان جایی است که در آن فردگرایی مسلط است، جایی که افراد و یا گروه‌های کوچک از طریق ارتباطات حضوری بسیار محدود و اندک به جامعه مرتبط می‌شوند، سیستم‌های ارتباطی جدید از جمله فضای مجازی اثرات بی‌سابقه‌ای بر مفاهیم مکان و هویت‌های بومی و محلی داشته است. تغییر و تحولات بطئی جوامع در گذشته و رویدادهای محدود آن‌ها باعث شده بود تا انسان‌ها و جوامع انسانی واجد هویت نسبتاً مشخص و تعریف شده‌ای باشند که کمتر با تغییرات ناگهانی مواجه می‌شد و بنابراین طی زمان، هویت جوامع، تکامل یا تغییراتی تدریجی داشت. ولی شرایط حاکم بر جهان امروز و تحولات صورت گرفته در عرصه‌های مختلف علوم و فن‌آوری به‌ویژه جریان فن‌آوری اطلاعات و اهمیت آن در زندگی انسان معاصر و مسائلی چون جهانی شدن و جهانی‌سازی، مسئله‌ی بحران‌های شهری را به یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌های انسان معاصر تبدیل نموده و به همین ترتیب بحران مکان نیز به یکی از مهم‌ترین چالش‌های انسان دنیای مدرن تبدیل شده است [۲۲]. در اصل احساس تعلق مردم در طول زمان به این محیط‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه شاهد بحران مکان می‌شویم. در واقع از دست رفتن معانی مکان‌ها تا حد زیادی به جهانی شدن و خلق فضاهای جهانی است که فضای مجازی ازجمله آن از دستاوردهای عصر اطلاعات است. هویت انسان‌ها با هویت مکان‌ها در آمیخته و در مکانی که واجد کاراکتر و معنی باشد، رشد می‌یابد. بدین ترتیب، بحران مکان حاضر، از یک بحران انسانی حکایت دارد؛ بحرانی که زمانی بهبود می‌یابد که شناخت ما از مفهوم و معنای مکان تصحیح شود؛ لذا تا زمانی که ماهیت واقعی و کیفی مکان‌ها مورد غفلت قرار گرفته باشد، شهرسازی هیچ کمکی نمی‌تواند بکند.

جایگاه فضای مجازی در مدیریت بحران معنای مکان

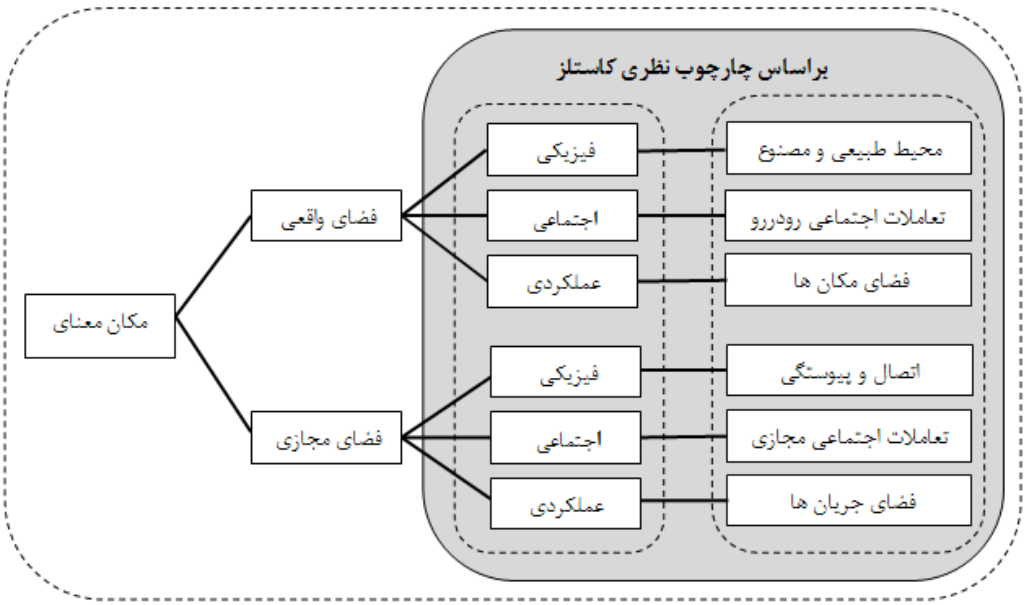
بسیاری از اندیشمندان، سال‌های پس از دهه‌ی ۹۰ را عصر جدیدی در حوزه‌ی ارتباطات و فناوری می‌دانند و این عصر با نام‌هایی همچون «عصر پسامدرن»[۱] توسط لیوتارد[۲] [۲۳] «عصر اطلاعات»[۳] توسط کاستلز [۲۴]، «عصرپساصنعتی»[۴] توسط بل[۵][۲۵]، «عصر جهانی شدن»[۶] توسط گیدنز[۷] [۲۶]، «عصر زیست فناوری»[۸] توسط ریفگین[۹] شناخته شده است. فضای مجازی در واقع یکی از مهم‌ترین محصولات علم و فناوری و عصر اطلاعات است. اصطلاح فضای مجازی اولین بار توسط ویلیام گیبسون[۱۰] در رمان علمی تخیلی نورومانسر عنوان شد [۲۷].

برخلاف فضای واقعی که وابسته به مکان و فیزیکی است، فضای مجازی، فضایی جهانی، بی‌مکانی و بی‌زمانی است [۲۸]. به عقیده‌ی میچل[۱۱] شبکه‌های رایانه‌ای مانند شبکه‌های ارتباطی معابر شهری، از عوامل بنیادی زندگی شهری محسوب می‌گردند. خاطرات و فضاهای تصویری مانند فضاهای واقعی دارای ارزش و اهمیت می‌شوند. بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی در فضای مجازی اتفاق می‌افتد [۲۹]. برای تحلیل تحول فضا در عصر اطلاعات، به دو شکل متفاوت آن اشاره می‌کند: یکی فضای جریان‌ها و دیگری فضای مکان‌ها. به اعتقاد کستلز فضای جریان‌ها از منطق فن‌آوری جدید تبعیت می‌کند که همان فضای جهانی است، فضایی الکترونیک و بدون تمرکز که مرزها و محدوده‌های آن نفوذپذیر و به صورت فضای مجازی و غیرمادی در حوزه‌ی رایانه‌ها و شبکه‌های اینترنتی واقع شده که انسان و پدیده‌های عینی در آن حضور فیزیکی ندارد. در حالی که فضای مکان‌ها از منطق خاص جامعه تبعیت می‌کند و مکان‌های ثابتی هستند که زندگی اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی در آن‌ها جاری است و یک فضای واقعی و وابسته به مکان است که مردم در آن حضور دارند، زندگی می‌کنند و دارای ارتباطات مستقیم و رودررو هستند [۳۰]. با توجه به نظریات کستلز، حضور همه جانبه‌ی فضای جریان‌ها اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به نظر کانتر[۱۲] از آنجایی‌که ارزش‌های فردی و جمعی بر چگونگی شکل‌گیری معنای مکان تأثیرگذار است، در نتیجه معنای مکان نیز دستخوش تغییرات می‌شود. بنابراین قرارگیری فرد در دو فضای واقعی و مجازی با ویژگی‌های فیزیکی، اجتماعی و کالبدی متفاوت، می‌تواند تأثیرات قابل ملاحظه‌ای بر شیوه‌ی ادراک آن‌ها از مکان و شکل‌گیری معنای مکان داشته باشد که با بررسی و مدیریت عوامل مؤثر از بحران پیش‌رو پیشگیری نمود.

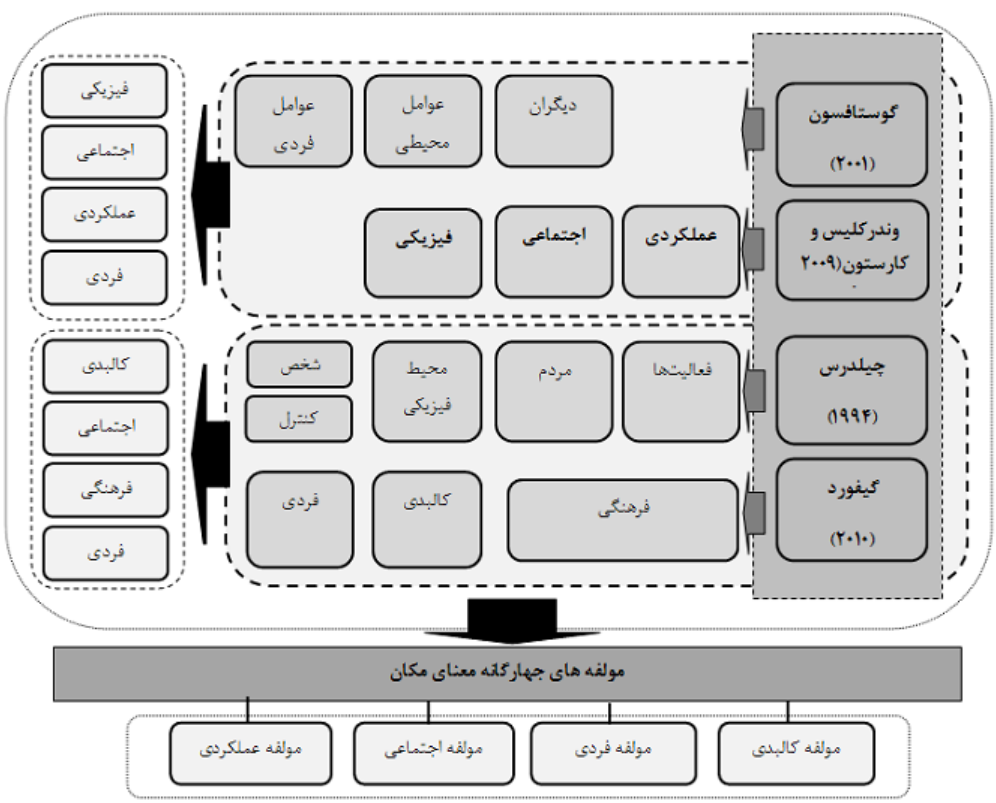
تبیین چارچوب مفهومی

با توجه به چارچوب نظری کستلز، می‌توان مؤلفه‌های تعریف‌کننده‌ی فضای مجازی را در قالب سه بعد «فیزیکی»، «عملکردی» و «اجتماعی» تعریف کرد که شامل فضای جریان‌ها، زیرساخت‌ها و اتصال و پیوستگی و تعاملات اجتماعی مجازی است. در مقابل مؤلفه‌های تعریف‌کننده‌ی فضای واقعی شامل فضای مکان‌ها، محیط طبیعی و مصنوع و تعاملات اجتماعی رودررو است که به ترتیب در سه بعد «عملکردی»، «فیزیکی» و «اجتماعی» در فضای واقعی شکل می‌گیرد (تصویر۱).

وندرکلیس وکارستون[۱۳] نیز در تحقیق خود برای معنای مکان سه پارامتر «فیزیکی»، «عملکردی» و «اجتماعی» را تعریف کرده‌اند [۳۱] طبق این مدل «ابعاد فیزیکی» به مسائل فرمی و کالبدی می‌پردازد، «ابعاد عملکردی» به فعالیت‌ها و کاربری‌هایی که در آن اتفاق می‌افتد و باعث معنی‌دار شدن می‌شود، توجه دارد و در نهایت «ابعاد اجتماعی» شامل روابط و ارتباطاتی است که با سایر افراد در داخل و خارج از محیط به وجود می‌آید، می‌پردازد. همچنین گوستافسون[۱۴] درباره‌ی عوامل شکل‌دهنده‌ی معنا، مدلی سه وجهی متشکل از «شخص»، «دیگران» و «محیط» ارائه داده و از ارتباط و تعامل این سه وجه لایه‌های زیرین معنا را معرفی می‌کند [۳۲]. چنانچه بیان شد، چیلدرس[۱۵] در مدل محتوای معنای مکان خود در ارتباط با عوامل تأثیرگذار بر محتوای معنای مکان، پنج عامل را نام می‌برد که شامل «محیط فیزیکی»، «فعالیت‌ها»، «مردم»، «شخص» و «کنترل محیطی» است [۳۳]. همچنین با توجه به چارچوب نظری گیفورد[۱۶] که بر اساس معنای موجود در زمینه، سه عامل «شخصی» (انسان و معانی موجود در ذهن او)، «کالبدی» (مکان، ویژگی‌های محیطی و معانی موجود در مکان) و «فرهنگی» (عقاید و ارزش های اجتماعی - فرهنگی) را معرفی نمود [۳۴]، در این فرایند، معانی موجود در ذهن انسان و همچنین معانی موجود در مکان بر مبنای سه عامل «فردی»، «کالبدی» و



تصویر۱: مدل تحلیلی عوامل تعریف‌کننده‌ی دو فضای واقعی و مجازی



تصویر ۲: مدل تحلیلی عوامل شکل‌دهنده‌ی معنای مکان از دیدگاه چیلدرس (۱۹۹۴)، گوستافسون (۲۰۰۱)، کارستون (۲۰۰۹) و گیفورد (۲۰۱۰)

«فرهنگی» می‌تواند به ابعاد گوناگون معانی مکان نائل آید. بنابر آنچه در مدل تحلیلی فوق مشاهده می‌شود، عامل «اجتماعی» در مدل کارستون با عامل «دیگران» در مدل گوستافسون هم ارز است. همچنین در مدل کارستون «عوامل محیطی» با عامل «فیزیکی» در مدل کارستون مطابقت دارد و «عوامل فردی» در مدل گوستافسون و عامل «عملکردی» در مدل کارستون در کنار چهار عامل همپوشانی شده قرار می‌گیرند. همچنین بر اساس چارچوب نظری ارائه شده توسط گیفورد و مدل محتوای معنای مکان چیلدرس، عوامل «فعالیت‌ها» و «مردم» در مدل چیلدرس معادل عامل «فرهنگی» مدل گیفورد است. همچنین عامل «محیط فیزیکی» در مدل چیلدرس با عامل «کالبدی» مدل گیفورد هم ارز است. عوامل «شخص» و «کنترل محیطی» در مدل چیلدرس را با عامل «فردی» در مدل گیفورد مطابقت دارد. معنای مکان از عواملی چون ارزش‌ها، نگرش‌ها، فرهنگ، هویت فردی و جمعی، ارتباطات اجتماعی، ساختار کالبدی و ویژگی‌های فضایی- مکانی تأثیرپذیر است. با توجه به مدل تحلیلی فوق و با همپوشانی نتایج و عوامل به دست آمده بر اساس چارچوب نظری ارائه شده توسط نظریه‌پردازان، عوامل مؤثر بر شکل‌گیری معنای مکان شامل چهارمولفه‌ی «فیزیکی»، «عملکردی»، «اجتماعی» و «فردی» تدوین می‌گردد (تصویر ۲).

روش تحقیق و ابزارها

پژوهش حاضر، بر اساس هدف کاربردی و از لحاظ ماهیت توصیفی - تحلیلی است که با ترکیبی از روش‌های تحقیق کیفی و کمی انجام گرفته است. در بخش کیفی با استناد به روش تحلیل محتوا با استفاده از مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای در ابتدا شاخص‌های بررسی معنای مکان با تأکید بر سنجش‌پذیری و قابلیت اندازه‌گیری آن‌ها از مروری بر متون معتبر خارجی و داخلی مربوط به ادبیات مفاهیم معنای مکان استخراج شده و سپس بر اساس شرایط فضاهای شهری هدف مطالعه و در راستای استفاده از شاخص‌های مناسب برای رسیدن به حداکثر نتیجه با روش همپوشانی، شاخص‌های نهایی به دست آمده است. در بخش کمی تحقیق از روش توصیفی - تحلیلی برای اجرای پژوهش استفاده شد. گردآوری اطلاعات با استفاده از ابزار پرسش‌نامه‌ی محقق‌ساخته «میزان استفاده از فضای مجازی» و «معنای مکان» براساس چارچوب نظری پژوهش، صورت گرفت. این پرسش‌نامه بر مبنای طیف ۵ قسمتی لیکرت از ۱ تا ۵ یعنی از بسیارکم تا بسیار زیاد در جامعه‌ی آماری مراجعان به دو فضای شهری سنتی میدان نقش‌جهان و فضای شهری مدرن سیتی‌سنتر در شهر اصفهان واقع در شمال و جنوب شهر اصفهان به‌منزله‌ی نمونه‌ی موردی انتخاب شد که بر اساس نظر کارشناسان، مراجعات سالیانه‌ی شهروندان بالای ۱۵ سال حدود ۱۰۰۰۰۰۰ نفر برآورد گردید. برای برآورد حجم نمونه‌ی آماری با استفاده از رابطه‌ی کوکران (q= 0.5,p=0.5) تعداد ۳۷۹ پرسش‌نامه تکمیل گردید. روش نمونه‌گیری تصادفی ساده است که طبق آن همه‌ی افراد شانس مساوی برای انتخاب شدن دارند. با توجه به چارچوب مفهومی ارائه شده، سنجش معنای مکان بر اساس چگونگی تأثیرپذیری مؤلفه‌های چهارگانه صورت می‌گیرد. بر این اساس ساختار پرسش‌نامه برای سنجش

مؤلفه‌ی کالبدی شامل ۷ شاخص (نفوذپذیری، مقیاس، نماد و نشانه‌ها، ابهام و غیرمنتظره بودن، مبلمان، نورپردازی و کیفیت دید و منظر) با ۱۵ گویه، مؤلفه‌ی فردی شامل ۵ شاخص (ساختار ذهنی مشاهده‌گر، احساسات فردی، امنیت، حس درون‌جویی و مهرانگیزی فضا) با ۱۲ گویه، مؤلفه‌ی عملکردی شامل ۵ شاخص (تنوع و چیدمان فعالیت‌ها، فعالیت‌های جاذب، الگوی ساعات کار، راحتی و آسایش و جهت‌یابی) با ۵ گویه و مؤلفه‌ی اجتماعی شامل ۵ شاخص (فرهنگ، تعاملات اجتماعی، زمینه‌ی درگیرشدن فعال و منفعل با محیط، رابطه‌ی بین مردم و فضا و امکان کشف محیط) با ۱۰ گویه طراحی شده است (جدول ۱).

جدول ۱: مستندسازی مؤلفه‌ها و شاخص‌های سنجش معنای مکان

ردیف	مؤلفه‌ها	شاخص‌ها	سنجه	مطالعات پشتیبان شاخص‌ها
۱	کالبدی	نفوذپذیری	میزان کیفیت مسیر میزان سهولت در دسترسی	Sheller,2000; Hall,2001
۲		مقیاس	میزان هماهنگی فضا با ابعاد انسانی میزان تناسب فضاها	Banerjee,2001 Mazumdar,2000
۳		نماد و نشانه‌ها	میزان وجود نماد و نشانه‌های به یادماندنی و جذاب میزان وجود نشانه‌هایی خاص برای یافتن بهتر مسیر	Lynch,1960; Seamon,1982
۴		ابهام و غیرمنتظره بودن	میزان وجود فضاهای غیرقابل انتظار	Kaplan,1982
۵		مبلمان	میزان وجود نیمکت و فضاهای نشستن میزان تنوع و جذابیت مبلمان شهری	Lynch,1960; Konx&Pinch,2000
۶		نورپردازی	میزان نورپردازی مناسب در شب میزان جذابیت در نورپردازی	licht,2008; Grütter, 2010, Cullen,2003; Jacobs,1961
۷		کیفیت دید و منظر	میزان وجود مناظر و چشم‌اندازهای متنوع و مطلوب میزان وجود فضاهای جذاب	Carmona et al., 2003;
۸	فردی	ساختار ذهنی مشاهده‌گر	میزان همخوانی فضا با انتظارات اولیه میزان قابل شناسایی بودن فضا	Relph,1976; Williams,2003 .Lynch,1960
۹		احساسات فردی	میزان برانگیختن احساسات زیبایی‌شناسی میزان برانگیختن احساسات انسان‌دوستانه و معنوی	Konx&Pinch,2000; Montgomery,1998; Manzo, 2005.
۱۱		حس درون‌جویی	میزان فراموشی مشکلات با حضور در این فضا میزان یادآوری خاطرات و تجربیات گذشته‌ی خود	Murphy,2001; Mazumdar,2000 2005 ;Manzo,
		مهرانگیزی فضا	میزان افزایش میل انسان‌دوستی میزان انتقال احساس خوشایندی توسط افراد	Tuan,Y.F.1991; Manzo, 2005
۱۲		امنیت	میزان احساس امنیت فردی در شب میزان احساس امنیت زنان و کودکان در شب	Tiesdell,1997; Jacobs,1961;Newman,1973;Sherman,2001
۱۳	اجتماعی	تعاملات اجتماعی	میزان جذاب و لذت‌بخش بودن تعاملات رودررو میزان لذت بردن به صورت جمعی با دوستان و آشنایان	Lawson,2001; Duany et al,2000; Gehl,1987
۱۴		زمینه‌ی درگیرشدن فعال و منفعل با محیط	میزان لذت بردن از تماس و رویارویی با افراد غریبه میزان لذت بردن از تماشا و نظاره کردن مردم	Montgomery,1998; Carr etal,1992; Manzo,2003
۱۵		فرهنگ	میزان وجود تنوع فرهنگی میزان ارتباط با دیگران در اثر وجود تنوع فرهنگی	Lawson,2001; Whyte,1980; Mazumdar,2000
۱۶		رابطه‌ی بین مردم و فضا	میزان امکان انجام فعالیت‌های جمعی میزان امکان انجام فعالیت‌های متنوع در این مکان مانند نشستن، راه رفتن، برقرای تعاملات، فکر کردن	Porteous,1997; Bell et al ,1990; Carr et al,1992; .Konx&Pinch,2000
۱۷		امکان کشف محیط	میزان امکان انجام فعالیت‌های خلاقانه میزان امکان انجام فعالیت‌های مورد علاقه	Carr et al,1992; Talen,2000 Zukin,1995
۱۸	عملکردی	تنوع فعالیت‌ها	میزان وجود فعالیت‌های مختلف و متنوع از جمله فروشنده‌های اجناس متفاوت، سرگرمی‌های متنوع	Montgomery,1998; Jacobs,1961; MacCormac,1983
۱۹		فعالیت‌های جاذب	میزان وجود فعالیت‌های جذاب مانند هنرهای تجسمی	Montgomery,1998
۲۰		الگوی ساعات کار	میزان فعال بودن در ساعات مختلف شبانه‌روز	Montgomery,1998;
۲۱		راحتی و آسایش	میزان وجود تمهیدات آسایش اقلیمی میزان احساس نزدیکی به طبیعت	Porteous,1997; Bell et al ,1990; Carr et al,1992;Gans,1968.
۲۲		جهت‌یابی	میزان سهولت تشخیص جهت و پیدا کردن مسیر	Ujang,2012

جدول ۲: ضریب پایایی متغیرهای پژوهش

متغیر پژوهش	نوع متغیر	تعداد گویه‌ها	ضریب پایایی (آلفای کرونباخ)
میزان استفاده از فضای مجازی	مستقل	۲۸	۰/۹۲۱
معنای مکان	وابسته	۴۲	۰/۹۴
مؤلفه‌ی کالبدی	وابسته	۱۵	۰/۷۹۷
مؤلفه‌ی فردی	وابسته	۱۲	۰/۸۹
مؤلفه‌ی اجتماعی	وابسته	۱۰	۰/۸۴۷
مؤلفه‌ی عملکردی	وابسته	۵	۰/۷۴۷

تصویر ۳: میدان نقش‌جهان [سازمان میراث فرهنگی]

تصویر ۴: مجموعه سیتی‌سنتر اصفهان [سازمان میراث فرهنگی]

برای ارزیابی میزان پایایی پرسش‌نامه‌ها و در واقع تعیین همسازی و همسانی درونی گویه‌ها برای سنجش مفهوم و متغیرها، از روش آلفای کرونباخ استفاده شده است. آلفای کرونباخ برای بررسی ضریب پایایی میزان استفاده از فضای مجازی۹۲۱/ ۰ و برای معنای مکان، ۰/۹۴ محاسبه گردید (جدول ۲).

میزان آلفای کرونباخ بالای به دست آمده، نشان‌دهنده‌ی همگنی بسیار بالای گویه‌های طراحی شده برای سنجش متغیرها است. برای بررسی بیشتر ارزیابی میزان پایایی پرسش‌نامه، ضریب پایایی برای مؤلفه‌ها محاسبه و در جدول ۲ آورده شده است. در این پژوهش، برای تعیین میزان اعتبار ابزار اندازه‌گیری از روایی صوری استفاده شد که در واقع پرسش‌نامه با نظر متخصصان مورد تأیید قرار گرفت.

محدوده‌ی مورد مطالعه

با توجه به اهداف و سؤالات پژوهش دو فضای شهری عمومی اصفهان، فضای شهری سنتی میدان نقش‌جهان و مدرن سیتی‌سنتر واقع در شمال و جنوب شهر اصفهان به دلیل دارا بودن پتانسیل‌های فراوان در جذب مردم، داشتن دو سبک متفاوت شهرسازی در نتیجه حضور طیف‌های مختلف مردم و همچنین داشتن فراغت و زمان کافی مردم برای پاسخ دادن به پرسش‌نامه، به عنوان نمونه‌ی موردی انتخاب شد.

میدان نقش‌جهان، که در فهرست میراث جهانی یونسکو قرار دارد پس از میدان تیان آنمن در پکن به عنوان دومین میدان بزرگ جهان نیز شناخته می‌شود که به عنوان بخشی از یک مجموعه تاریخی در مرکز شهر اصفهان به‌شمار می‌رود. در چهار طرف این میدان مستطیلی با ابعاد ۵۶۰ متر در۱۶۰ متر، چهار عنصر معماری شامل مسجد تاریخی امام در جنوب میدان، مسجد شیخ لطف‌الله در شرق، کاخ عالی قاپو در غرب و سر در قیصریه در شمال قرار دارند که هر یک در نوع خود شاهکاری بی‌بدیل‌اند. این میدان در طول حیات خود کاربری‌های متنوعی را بر عهده داشته که از جمله می‌توان به عملکرد سیاسی به لحاظ استقرار کاخ سلطنتی، عملکرد مذهبی به لحاظ استقرار دو مسجد، عملکرد تجاری به لحاظ وجود حجره‌ها و قرارگیری در بطن بازار و عملکرد تفریحی برای برگزاری جشن‌ها و اعیاد ملی اشاره نمود.

در مورد سیتی‌سنتر اصفهان باید گفت یکی از بارزترین ویژگی‌های این مجموعه طراحی منحصربه‌فرد آن برگرفته از معماری سنتی بازار اصفهان میدان نقش جهان است که به‌وسیله‌ی یک پل زیبای شیشه‌ای که خود برگرفته از طراحی تاریخی بازارهای ایران است به برج‌های مشترک دیگر، برج‌های اداری و هتل آپارتمان به یکدیگر متصل خواهد شد.

بحث و یافته‌ها

به‌منظور تعیین آزمون آماری مناسب برای بررسی متغیرها، ابتدا با توجه به اینکه داده‌ها به صورت کمی و از نوع گسسته و دارای مقیاس فاصله‌ای هستند، از آزمون کولموگراف اسمیرنف برای تعیین نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌ها استفاده شد [۳۵].

تصویر ۵: میدان نقش‌جهان اصفهان

تصویر ۶: سیتی‌سنتر اصفهان

جدول ۳: آزمون نرمال بودن متغیرهای پژوهش

متغیرهای پژوهش	حجم نمونه	سطح معناداری	آماره
میزان استفاده از فضای مجازی	۳۷۹	۰/۰۰۱	۰/۰۶۲
معنای مکان	۳۷۹	۰/۲۰	۰/۰۳

جدول ۴: نتایج تحلیل ضرایب رگرسیون

مدل	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد Beta	مقدار t	سطح معناداری
	B	خطای استاندارد			
ضریب ثابت	۱۱۵/۴۱۹	۶/۱۲۳	-	۱۸/۸۵۱	۰/۰۰۰
میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۲۸۹	۰/۰۷۳	۰/۱۹۹	۳/۹۳۷	۰/۰۰۰

در سطح P <۰/۰۰۱ معنادار است.

جدول ۵ : نتایج تحلیل ضرایب رگرسیون - میدان نقش‌جهان

مدل	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد Beta	مقدار t	سطح معناداری
	B	خطای استاندارد			
ضریب ثابت	۱۰۰/۳۲۵	۷/۴۷۵	-	۱۳/۴۲۱	۰/۰۰۰
میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۳۹۸	۰/۰۸۷	۰/۲۸۶	۴/۵۶۲	۰/۰۰۰

در سطح P <۰/۰۰۱ معنادار است.

با توجه به محاسبات انجام شده سطح معناداری (Sig) برای کلیه‌ی متغیرها بزرگ‌تر از سطح آزمون (۰/۰۵) است که بیان‌کننده‌ی عدم وجود تفاوت معنادار در توزیع داده‌ها است این نتیجه مجوز انجام یکی از انواع آزمون‌های پارامتریک است (جدول ۳).

به‌منظور بررسی مقدار پیش‌بینی معنای مکان از روی متغیر استفاده از فضای مجازی، از تحلیل واریانس استفاده شد. با توجه به نتایج گرچه همبستگی معنادار است اما میزان آن چندان بالا نیست. همچنین نتایج رگرسیون نشان داد که استفاده از فضای مجازی (P <001/0) پیش‌بینی‌کننده‌ی معنای مکان است که به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۱۹۹ تغییر در متغیر معنای مکان ایجاد می‌شود. در واقع مثبت بودن ضریب استاندارد بتا بیان‌گر رابطه‌ی مستقیم بین دو متغیر مذکور است (جدول ۴).

با توجه به مقادیر به دست آمده سطح معناداری برابر ۰/۰۰۰ است. از آنجایی‌که هر چه سطح معناداری پایین‌تر باشد، می‌توان اطمینان بیشتری به واقعی بودن رابطه‌ی مشاهده شده در نمونه داشت، بنابراین سطح معناداری برابر ۰/۰۰۰ به این معناست که نتایج معنادار است [۳۶]. به‌منظور رسیدن به نتایج دقیق‌تر به بررسی تأثیرپذیری معنای مکان از میزان استفاده‌ی افراد از فضای مجازی در دو نمونه‌ی موردی میدان نقش‌جهان و مجموعه‌ی سیتی‌سنتر به صورت مجزا پرداخته شد. به‌منظور بررسی مقدار پیش‌بینی معنای مکان از روی متغیر استفاده از فضای مجازی در نمونه‌ی موردی میدان نقش‌جهان، از تحلیل واریانس استفاده شد. نتایج رگرسیون در جدول ۵ نشان می‌دهد که استفاده از فضای مجازی (P <۰/۰۰۱) پیش‌بینی کننده‌ی معنای مکان است. با توجه به ضریب استاندارد بتا می‌توان دریافت که به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۲۸۶ واحد تغییر در متغیر معنای مکان در نمونه‌ی موردی میدان نقش‌جهان ایجاد می‌شود (جدول ۵).

جدول۶: نتایج تحلیل ضرایب رگرسیون - مجموعه سیتی‌سنتر

مدل	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد Beta	مقدار t	سطح معناداری
	B	خطای استاندارد			
ضریب ثابت	۱۲۶/۸۸۸	۹/۶۸۳	-	۱۳/۱۰۵	۰/۰۰۰
میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۲۶۸	۰/۱۲۲	۰/۱۸۲	۲/۲۰۳	۰/۰۰۲

در سطح ۰/۰۵> P معنادار است.

جدول ۷: نتایج تحلیل ضرایب رگرسیون

مدل		ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد Beta	مقدار t	سطح معناداری
متغیر وابسته	متغیر مستقل	B	خطای استاندارد			
مؤلفه‌ی کالبدی	ضریب ثابت	۳۹/۵۵۲	۲/۰۱۳	-	۱۹/۶۴۸	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۱۲۰	۰/۰۲۴	۰/۲۴۹	۴/۹۹۳	۰/۰۰۰
مؤلفه‌ی فردی	ضریب ثابت	۳۴/۶۳۸	۲/۱۸۵	-	۱۵/۸۴۹	/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۰۶۴	۰/۰۲۶	۰/۱۲۵	۲/۴۴۹	۰/۰۰۱
مؤلفه‌ی اجتماعی	ضریب ثابت	۲۶/۲۴۴	۱/۸۵۸	-	۱۴/۱۲۲	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۰۷۹	۰/۰۲۲	۰/۱۷۹	۳/۵۳۹	۰/۰۰۰
مؤلفه‌ی عملکردی	ضریب ثابت	۱۴/۹۸۵	۰/۹۳۹	-	۱۵/۹۶۷	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۰۲۶	۰/۰۱۱	۰/۱۱۶	۲/۲۶۷	۰/۰۰۴

در سطح ۰/۰۵> P معنادار است.

به‌منظور بررسی مقدار پیش‌بینی معنای مکان از روی متغیر استفاده از فضای مجازی در نمونه‌ی موردی مجموعه‌ی سیتی‌سنتر، از تحلیل واریانس استفاده شد.

نتایج رگرسیون در جدول ۶ نشان می‌دهد که استفاده از فضای مجازی (P <001/0) پیش‌بینی‌کننده‌ی ادراک معنای مکان است. با توجه به ضریب استاندارد بتا می‌توان دریافت که به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۱۸۲ واحد تغییر در متغیر معنای مکان در نمونه‌ی موردی مجموعه‌ی سیتی‌سنتر ایجاد می‌شود (جدول ۶).

به‌منظور رسیدن به نتایج دقیق‌تر به بررسی تأثیرپذیری مؤلفه‌های چهارگانه‌ی معنای مکان شامل مؤلفه‌ی کالبدی، مؤلفه‌ی فردی، مؤلفه‌ی اجتماعی و مؤلفه‌ی عملکردی از میزان استفاده‌ی افراد از فضای مجازی پرداخته شد. برای بررسی مقدار پیش‌بینی مؤلفه‌های چهارگانه ادراک معنای مکان از روی متغیر استفاده از فضای مجازی، از تحلیل واریانس استفاده شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بین استفاده از فضای مجازی با مؤلفه‌های چهارگانه‌ی معنای مکان رابطه‌ی خطی مثبت معنادار وجود دارد (جدول ۷).

با توجه به ضریب استاندارد بتا، می‌توان دریافت که به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۲۴۹ تغییر در مؤلفه‌ی کالبدی ایجاد می‌شود. همچنین به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۱۲۵ تغییر در مؤلفه‌ی فردی ایجاد می‌شود. همچنین به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۱۷۹ تغییر در مؤلفه‌ی اجتماعی ایجاد می‌شود و همچنین به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۱۱۶ تغییر در مؤلفه‌ی عملکردی ایجاد می‌شود. در واقع مثبت بودن ضریب استاندارد بتا بیان‌گر رابطه‌ی مستقیم بین متغیرهای مذکور است یعنی با افزایش نمرات متغیر میزان استفاده از فضای مجازی، نمرات مؤلفه‌های چهارگانه‌ی معنای مکان نیز افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج به دست آمده مؤلفه‌ی کالبدی با بیشترین ضریب استاندارد بتا بالاترین همبستگی و مؤلفه‌ی فردی با کمترین ضریب استاندارد بتا پایین‌ترین همبستگی را با میزان استفاده از فضای مجازی نشان می‌دهد. بنابراین مؤلفه‌ی کالبدی بیشترین تأثیرپذیری و مؤلفه‌ی فردی کمترین تأثیرپذیری را از میزان استفاده از فضای مجازی نشان می‌دهد. مؤلفه‌های اجتماعی و عملکردی معنای مکان به ترتیب در مرحله‌ی دوم و سوم تأثیرپذیری قرار دارند (جدول ۷).

به‌منظور رسیدن به نتایج دقیق‌تر به بررسی تأثیرپذیری مؤلفه‌های چهارگانه‌ی معنای مکان شامل مؤلفه‌ی کالبدی، مؤلفه‌ی فردی، مؤلفه‌ی اجتماعی و مؤلفه‌ی عملکردی از میزان استفاده‌ی افراد از فضای مجازی در دو نمونه‌ی موردی میدان نقش‌جهان و مجموعه‌ی سیتی‌سنتر به صورت مجزا پرداخته شد. برای بررسی مقدار پیش‌بینی مؤلفه‌های چهارگانه‌ی ادراک معنای مکان در نمونه‌ی موردی میدان نقش‌جهان از روی متغیر استفاده از فضای مجازی، از تحلیل واریانس استفاده شد. همان‌گونه که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، بین استفاده از فضای مجازی با مؤلفه‌های چهارگانه معنای مکان رابطه‌ی خطی مثبت معنادار وجود دارد با توجه به ضریب استاندارد بتا، می‌توان دریافت که به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۲۸۶ تغییر در مؤلفه‌ی کالبدی ایجاد می‌شود. همچنین به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۲۰۵ تغییر در

جدول ۸: نتایج تحلیل ضرایب رگرسیون- میدان نقش جهان

مدل		ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد	مقدار	سطح معناداری
متغیر وابسته	متغیر مستقل	B	خطای استاندارد	Beta	t	
مؤلفه‌ی کالبدی	ضریب ثابت	۱۰۰/۳۲۵	۷/۴۷۵	–	۱۳/۴۲۱	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۳۹۸	۰/۰۸۷	۰/۲۸۶	۴/۵۶۲	۰/۰۰۰
مؤلفه‌ی فردی	ضریب ثابت	۲۹/۷۷۴	۲/۶۵۵	–	۱۱/۲۱۳	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۰۹۹	۰/۰۳۱	۰/۲۰۵	۳/۲۰۶	۰/۰۰۲
مؤلفه‌ی اجتماعی	ضریب ثابت	۲۳/۶۲۳	۲/۲۹۹	–	۱۰/۲۷۳	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۰۹۳	۰/۰۲۷	۰/۲۲۱	۳/۴۶۴	۰/۰۰۱
مؤلفه‌ی عملکردی	ضریب ثابت	۱۲/۶۶۰	۱/۱۴۸	–	۱۱/۰۲۷	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۰۴۴	۰/۰۱۳	۰/۲۰۸	۳/۲۶۰	۰/۰۰۱

در سطح ۰/۰۵> P معنادار است.

جدول ۹: نتایج تحلیل ضرایب رگرسیون- مجموعه‌ی سیتی‌سنتر

مدل		ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد	مقدار	سطح معناداری
متغیر وابسته	متغیر مستقل	B	خطای استاندارد	Beta	t	
مؤلفه‌ی کالبدی	ضریب ثابت	۴۴/۵۳۰	۳/۲۸۹	–	۱۳/۵۳۹	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۰۹۵	۰/۰۴۱	۰/۱۹۰	۲/۲۹۴	۰/۰۰۳
مؤلفه‌ی فردی	ضریب ثابت	۳۸/۳۴۷	۳/۵۸۹	–	۱۰/۶۸۴	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۰۵۷	۰/۰۴۵	۰/۱۰۶	۱/۲۶۶	۰/۰۰۲
مؤلفه‌ی اجتماعی	ضریب ثابت	۲۶/۸۷۲	۳/۰۳۹	–	۸/۸۴۵	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۱۰۱	۰/۰۳۸	۰/۲۲۸	۲/۶۵۱	۰/۰۰۹
مؤلفه‌ی عملکردی	ضریب ثابت	۱۷/۱۳۹	۱/۵۲۶	–	۱۱/۲۳۲	۰/۰۰۰
	میزان استفاده از فضای مجازی	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹	۰/۱۶۵	۲/۶۵۱	۰/۰۰۴

در سطح ۰/۰۵> P معنادار است.

مؤلفه‌ی فردی ایجاد می‌شود. همچنین به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۲۲۱ تغییر در مؤلفه‌ی اجتماعی ایجاد می‌شود و همچنین به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۲۰۸ تغییر در مؤلفه‌ی عملکردی ایجاد می‌شود. در واقع مثبت بودن ضریب استاندارد بتا بیان‌گر رابطه‌ی مستقیم بین متغیرهای مذکور است، یعنی با نمرات متغیر میزان استفاده از فضای مجازی، نمرات مؤلفه‌های چهارگانه‌ی معنای مکان در میدان نقش‌جهان نیز تغییر می‌یابد. با توجه به نتایج به دست آمده تأثیرپذیری مؤلفه‌های معنای مکان از میزان استفاده از فضای مجازی تقریباً مشابه و با تفاوت بسیار اندک است ولی باز مؤلفه‌ی کالبدی با بیشترین ضریب استاندارد بتا بالاترین همبستگی و مؤلفه‌ی فردی با کمترین ضریب استاندارد بتا پایین‌ترین همبستگی را با میزان استفاده از فضای مجازی نشان می‌دهد. بنابراین مؤلفه‌ی کالبدی بیشترین تأثیرپذیری و مؤلفه‌ی فردی کمترین تأثیرپذیری را از میزان استفاده از فضای مجازی در میدان نقش‌جهان نشان می‌دهد (جدول ۸).

برای بررسی مقدار پیش‌بینی مؤلفه‌های چهارگانه‌ی ادراک معنای مکان در نمونه‌ی موردی مجموعه‌ی سیتی‌سنتر از روی متغیر استفاده از فضای مجازی، از تحلیل واریانس استفاده شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بین استفاده از فضای مجازی با مؤلفه‌های چهارگانه‌ی معنای مکان رابطه‌ی خطی مثبت معنادار وجود دارد. با توجه به ضریب استاندارد بتا، می‌توان دریافت که به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۱۹۰ تغییر در مؤلفه‌ی کالبدی ایجاد می‌شود. همچنین به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۱۰۶ تغییر در مؤلفه‌ی فردی ایجاد می‌شود. همچنین به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۲۲۸ تغییر در مؤلفه‌ی اجتماعی ایجاد می‌شود و همچنین به ازای یک واحد تغییر در متغیر استفاده از فضای مجازی، ۰/۱۶۵ تغییر در مؤلفه‌ی عملکردی ایجاد می‌شود. در واقع مثبت بودن ضریب استاندارد بتا بیان‌گر رابطه‌ی مستقیم بین متغیرهای مذکور است. با توجه به نتایج به دست آمده تأثیرپذیری مؤلفه‌های معنای مکان از میزان استفاده از فضای مجازی در مجموعه‌ی سیتی‌سنتر دارای تأثیرات متفاوت از میدان نقش‌جهان است. مؤلفه‌ی اجتماعی با بیشترین ضریب استاندارد بتا بالاترین همبستگی و مؤلفه‌ی فردی با کمترین ضریب استاندارد بتا پایین‌ترین همبستگی را با میزان استفاده از فضای مجازی نشان می‌دهد. بنابراین مؤلفه‌ی اجتماعی بیشترین تأثیرپذیری و مؤلفه‌ی فردی کمترین تأثیرپذیری را از میزان استفاده از فضای مجازی در مجموعه‌ی سیتی‌سنتر نشان می‌دهد (جدول ۹).

نتیجه‌گیری

تکنولوژی اطلاعات یکی از مهم‌ترین محورهای توسعه و تحول در جهان است که دستاوردهای ناشی از آن در عرصه‌های گوناگون زندگی بشر متضمن تأثیرات متفاوتی است. به گونه‌ای که مفهوم فضا و مکان را تحت تأثیر خود قرار داده و باعث تغییر و تحول در تفکر، نگرش انسان به جهان و محیط، نیازها و خواسته‌هایش از آن می‌شود که در پی آن فضاهایی با ویژگی‌های نوین را طلب می‌کند. اوضاع جدید نوع جدیدی از انتظام فضایی را سامان می‌دهد که معنای شهر را به نحوی دگرگون کرده است. از آنجایی که ناگزیر از حضور فضای مجازی در زندگی روزمره‌ی انسان هستیم، بنابراین با آگاهی از چگونگی، نوع و نحوه‌ی اثرگذاری آن بر جوانب و ابعاد مختلف، می‌توان با طراحی، برنامه‌ریزی و مدیریت آگاهانه بر اساس اهداف و ارزش‌ها، معایب و اثرات منفی را تضعیف و مزایا و اثرات مثبت آن را تقویت نمود. با توجه به محاسبات و ارزیابی‌های کمی و کیفی انجام شده در این پژوهش، نتایج حاصل نشان می‌دهد که میزان استفاده‌ی افراد از فضای مجازی بر درک آن‌ها از معنای مکان در فضاهای شهری تأثیرگذار است. بر اساس آزمون‌های آماری عنوان شده، ارتباط دو متغیر میزان استفاده‌ی افراد از فضای مجازی و درک معنای مکان به صورت مستقیم به دست آمده است. به عبارتی خلق فضای جریان، پدیده‌ای است که بر شکل‌گیری فضای مکان‌ها تسلط پیدا کرده است. در واقع تأکید بر تداوم فضای مکان‌ها در عین حضور فضای جریان‌ها اجتناب‌ناپذیر است. بر این اساس میزان استفاده‌ی افراد از فضای مجازی بر مؤلفه‌های شکل‌دهنده‌ی معنای مکان بررسی شده که نتایج کمی این ارزیابی در جداول نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده مؤلفه‌ی کالبدی معنای مکان در میدان نقش جهان - نمونه‌ای شاخص از فضاهای شهری سنتی- و مؤلفه‌ی اجتماعی در مجموعه‌ی سیتی‌سنتر- نمونه‌ای شاخص از فضاهای شهری مدرن- بیش از بقیه‌ی مؤلفه‌های معنای مکان تحت تأثیر میزان استفاده‌ی فرد از فضای مجازی است و مؤلفه‌ی فردی معنای مکان در هر دو نمونه‌ی موردی میدان نقش‌جهان و مجموعه‌ی سیتی‌سنتر کمتر از سایر مؤلفه‌ها تحت تأثیر میزان استفاده‌ی افراد از فضای مجازی است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و نتایج حاصل از متأثر بودن شکل‌گیری و درک معنای مکان در فضاهای شهری از میزان استفاده‌ی افراد از فضای مجازی و همچنین تأثیرپذیری بالای مؤلفه‌های کالبدی و اجتماعی معنای مکان از میزان استفاده‌ی افراد از فضای مجازی، لازم است عوامل تأثیرگذار بر جلوگیری از بحران مکان، مورد توجه مدیران و طراحان شهری واقع گردد، زیرا یکی از ارکان طراحی و مدیریت شهری فراهم آوردن زمینه و فضای مناسب زیست انسان به گونه‌ای است که همه‌ی جنبه‌ها و نیازهای معنوی، روحی - روانی و فیزیولوژیکی انسان به نحو مطلوب و هماهنگ پاسخ داده شوند. لذا بر اساس نتایج ارزیابی به دست آمده، برای افزایش درک افراد از معنای مکان و جلوگیری از بحران آن، می‌توان استفاده‌ی افراد از فضای مجازی را مدیریت نمود. بر این اساس برای ارتقای کیفیت محیطی و جلوگیری از بحران معنای مکان، می‌توان در طراحی و بازطراحی فضاهای شهری متأثر بودن شکل‌گیری و درک معنای مکان را از استفاده‌ی افراد از فضای مجازی در نظر گرفت. در این راستا تقویت شبکه‌های وای فای (Wi- Fi) و اتصال اینترنت در فضاهای عمومی که گسترش مشارکت اجتماعی عمومی را درپی دارد، پیشنهاد می‌گردد. همچنین برای مدیریت مشارکت اجتماعی در فضاهای شهری و مدیریت استفاده از فضای مجازی، تقویت زیرساخت‌های رسانه‌ای تعاملی دیجیتال، تقویت زیرساخت‌های نمایش‌های عمومی تعاملی، تقویت زیرساخت‌ها در برنامه‌های کاربردی گوشی‌های هوشمند در فضاهای عمومی در زمینه‌های فرهنگ و هنر، آموزش، بازی‌ها و تفریحات متناسب با فضاهای شهری پیشنهاد می‌گردد. همچنین لازم است به‌منظور موفقیت ادغام فناوری اطلاعات و ارتباطات در زندگی شهری، جامعه آموزش ببیند و آماده شود تا تغییرات را پذیرفته و نسبت به آن آگاهی داشته باشد. از آنجایی که بحران مکان از نوع بحران‌های معنوی به حساب می‌آید، برخلاف بحران‌های مادی یکباره رخ نمی‌دهد و در یک روند بطئی و تدریجی که شاید دهه‌ها به طول بینجامد نتایج خود را نشان می‌دهد و در صورت شعله‌ور شدن به آسانی و زودی قابل درمان نیست. همان‌طور که این بحران‌ها در یک فرایند زمانی ایجاد می‌شوند برای درمان آن‌ها نیز زمان زیادی لازم است. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش و با ساماندهی عوامل مؤثر، می‌توان بحران شهری مبتنی بر معنای مکان را مدیریت و کنترل کرد و از بحران معنا در فضاهای شهری پیش‌گیری نمود[۱۷].

پی‌نوشت

1. Postmodern Era
2. Lyotard
3. Information Era
4. Post-industrial Era
5. Bell
6. The era of globalization
7. Giddens
8. Biotech
9. Riffgian
10. Gibson,W
11. Mitchell
12. Canter
13. VanderKlis &Karsten
14. Gustafson
15. Childress
16. Gifford

۱۷. این مقاله برگرفته از رساله‌ی دکتری خانم نرگس نونژاد با عنوان «بازشناسی معنای مکان در عصر اطلاعات» به راهنمایی خانم دکتر الهام ناظمی و آقای دکتر حمید صابری است.

منابع

۱. کاستلز، مانوئل (۱۳۸۰). *عصر اطلاعات، اقتصاد، جامعه و فرهنگ: ظهور جامعه‌ی شبکه‌ای*. ترجمه‌ی احد علیقلیان و افشین خاکباز، تهران: انتشارات طرح نو، ۲۹.

2. Graham, S & Marvin, S. (2002). Telecommunications

and the City: Electronic paces, Urban Places. Routledge.

3. Mitchell,W.J (1995) .City of bits: Space, Place and the Infobahn, Cambridge, The MIT press. *Journal of Urban Design*, Vol. 4, No. 2,17.

4. Scannell, L.& Gifford, R. (2010). Defining Place Attachment- A Tripartite Organizing Framework, *Journal of Environment and Psychology*, Vol

۵. فریادی، شهرزاد (۱۳۸۷). تدوین زبان طراحی شهری در فرایند جهانی شدن. رساله‌ی دکتری شهرسازی، دانشگاه تهران.

۶. عاملی، سعیدرضا (۱۳۹۱). منطق شهرهای مجازی و مفهوم کار مجازی: ضرورت طرح شهر مجازی، مجله‌ی رسانه، بهار.

۷. ابراهیم‌آبادی، حسین (۱۳۹۲). تأملی بر نسبت میان فناوری‌های اطلاعاتی با تغییرات در فرهنگ و مناسبات اجتماعی. تهران: *فصلنامه تحقیقات فرهنگی ایران*، ۸۳-۱۰۶.

۸. رستمی، محمد (۱۳۹۶). بررسی تأثیر شبکه‌های اجتماعی بر فرهنگ و باورهای دینی (هویت) کاربران مطالعه‌ی موردی: کاربران استان اصفهان، ۴۵-۷۲.

۹. طغیانی، شیرین (۱۳۸۸). ضرورت مدیریت بحران‌های هویتی در فضاهای شهری، رساله‌ی دکتری شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی.

۱۰. جانستون، رونالد (۱۳۷۹). *مسئله‌ی جا و مکان جغرافیایی «تفحصی در جغرافیای انسانی»*. ترجمه‌ی جلال تبریزی، تهران، انتشارات دفتر مطالعات سیاسی و بین‌المللی وزارت امور خارجه، ۹.

۱۱. شکویی، حسین (۱۳۷۵). *اندیشه‌های نو در فلسفه‌ی جغرافیا*. جلد اول، تهران انتشارات گیتاشناسی، ۲۷۶.

12. Stedman. R. (2002). Toward a Social Psychology of Place- Predictive 561-581.

13. Cheng, A.S,& Daniels,S E.(2003). Examining the interaction between geographic scale and ways of knowing in ecosystem management. Forest Science, (49): 841-854.

۱۴. پاکزاد، جهانشاه (۱۳۸۵). *مبانی نظری و فرایند طراحی شهری*. تهران: انتشارات شهیدی.

15. Lane, R.J. (2000). Jean Baudrillard, Routledge, London, 111.

16. Seamon,D.&Gill,l.(2014).QualitativeApproachestoEnvironmentBehaviorResearch:Understanding Environmental and Place Experiences, Meanings , and Action.

17. Creswell,J.W & Planto Clarrk,V.L.(2011).Designing and conducting mixed methods research,90.

18. Gifford,R.(2002). Environmental Psychology: Principles and Practice,Canada, Optimal Books.

19. Gifford,R,(2016). Research Methods for Environmental Psychology,Cornell University, USA.

۲۰. کرمونا، متیو و همکاران (۱۳۸۸). *مکان‌های عمومی فضاهای شهری، ترجمه‌ی فریبا قرائی و همکاران*. تهران: انتشارات دانشگاه هنر، ۱۹۶.

21. Arefi, M. (1999). Non-Place and Placelessness as Narratives of Loss- Rethinking the Notion of Place. *journal oe urban Design*,4 ,179-93 .

۲۲. طغیانی، شیرین؛ نقی‌زاده، محمد (۱۳۹۰). مدیریت بحران‌های معنوی در فضاهای شهری نمونه موردی بحران هویت شهرها. *مجله‌ی هویت شهر*، پاییز و زمستان، شماره‌ی ۹، ۷۳-۸۲.

23. Lyotard, J. (1984). The Postmodern Condition:A Report on Knowledge,Manchester University Press.

24. Castells, M. (2001). The Rise of Network Society, the Information Age: Economy, Society and Culture

25. Bell, D. (1973). The COMING OF Post Industrial Society, New York: Basic.

26. Giddens, A.(1990).The Consequences of Modernity,Oxford:PolityPress

27. Gibson, W. (1984). Neuromancer, London: Harper and Collins, Environmental Psychology.

۲۸. منتظرالقائم، مهدی (۱۳۸۱). دموکراسی دیجیتالی و حکومت الکترونیکی: سیاست و حکومت در عصر تکنولوژی‌های اطلاعاتی و ارتباطی. *نامه‌ی علوم اجتماعی*، شماره‌ی ۱۹، ۲۳۱.

29. Mitchell, W. J. (2002). City Past ad Future. *Urban Design Quarterly*, Winter, Issue 81, p.18-21.

30. Castells, M. (2000). The Contours of the Network Society. *Foresight*, 2(2),151-157

31. van derKlis,M&Karsten,L. (2009). Commuting partners, dual residences and the meaning of home. *Journal of Environmental Psychology*, Volume 29, Issue 2, 245-235.

32. Gustafson, P. (2001). Meaningsofplace-Everyday experience and the oreticalconce ptualizations. *Journal of Environental Psychology.*

33. Childress, H. (1994). Place, narrative, and relationship: a new approach to place attachment, in: Environmental design research association, Banking on Design? Proceedings of the 25th Annual Conference of the Environmental Design Research Association, 61–55

34. Gifford, R. (2010). Defining place attachment: A tripartite organizing framework, Canada. *Journal of Environmental Psychology*, 30, 1–10.

۳۵. خاکی، غلامرضا (۱۳۷۸). *روش تحقیق با رویکردی به پایان‌نامه‌نویسی*. تهران، مرکز تحقیقات علمی کشور، ۳۳۵.

۳۶. کریمی، رامین (۱۳۹۴). *راهنمای آسان تحلیل آماری با SPSS*. تهران، انتشارات هنگام.

ارزیابی میزان مهارت مدیریت بحران زلزله در بین مدیران محلی و خانوارهای روستایی

مطالعه‌ی موردی: شهرستان قزوین

مجید پریشان : استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، m_pari32@yahoo.com

تاریخ دریافت : ۱۳۹۷/۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

مدیریت خطر زلزله در مناطق روستایی، علم، فن و یا هنر شناسایی، تجزیه و تحلیل و واکنش به زلزله در چارچوب مؤلفه‌های مهارت، آگاهی و دانش برای کاهش و یا حذف پیامدهای منفی و دستیابی به روند پایدار است. در بین مؤلفه‌های مذکور، مهارت در ابعاد فنی و حرفه‌ای، ارتباطی (تعاملی) و بازتوانی که مشتمل بر مجموعه‌ای از قابلیت‌ها و توانایی‌ها است، از اهمیت اساسی برخوردار است. در این پژوهش وضعیت مهارت مدیریت زلزله‌ی ۳۹۴۷ خانوار روستایی شهرستان قزوین با استفاده از رابطه‌ی کوکران در سطح ۲۹ روستا و مدیر محلی (شورای اسلامی و دهیار) و ۳۸۶ نفر از سرپرستان خانوارها مورد بررسی قرار گرفت. انتخاب روستاهای نمونه به روش خوشه‌ای و انتخاب سرپرستان خانوارها به روش تصادفی سامان‌مند بوده است. به‌منظور تجزیه‌ی داده‌ها، از روش‌های آماری توصیفی، برای مقایسه‌ی میانگین‌ها و تبیین معنی‌دار بودن تفاوت‌های موجود بین طبقات یا گروه‌ها از آزمون توزیع دو جمله‌ای و T تک نمونه‌ای، و آزمون F و برای تبیین همبستگی و تأثیرگذاری از آزمون آماری پیرسون و برای رتبه‌بندی مهارت در سطح جامعه از آزمون تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. تحلیل مؤلفه‌ی مهارت در بین مدیران و سرپرستان خانوارها نشان داد که مهارت در بعد مهارت ارتباطی در نماگرهای سطح و میزان تعامل گروهی با نهادهای مرتبط (داخلی و بیرونی)، توانایی همدلی و همدردی با افراد آسیب‌دیده در سطح مناسب و بالاتر از حد متوسط گویه‌ها است اما میزان مهارت در بعد مهارت فنی و بازتوانی در اغلب نماگرها و گویه‌ها به‌ویژه در زمینه‌هایی همچون نحوه‌ی پیوند مناسب بین فونداسیون و دیوارهای ساختمان، فضای مناسب بین دیوارهای ساختمان، سردر مناسب، پاسخ‌گویی به نیازها در سطح پایین‌تری از حد متوسط قرار دارد. همچنین تحلیل داده‌ها بیانگر ارتباط معنی‌دار مؤلفه‌ی مهارت و سطح تحصیلات و دانش بود. لذا تقویت نماگرها و شاخص‌های مهارت مدیریت بحران زلزله به‌ویژه مهارت‌های فنی و بازتوانی در بین جامعه و مدیران محلی به‌منزله‌ی یک ضرورت اساسی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: *مدیریت بحران زلزله، مهارت مدیریت زلزله، مهارت ارتباطی، مهارت فنی، مهارت بازتوانی*

Assessing the level of earthquake crisis management skills among local managers and rural households, Qazvin

Majid Parishan[1]

Abstract

The main aim of earthquake crisis management in rural areas is to prevent the occurrence, reduce its effects and control the consequences by combining different structural and non-structural approaches. In this regard, the component skill is very important. The present study has used both qualitative and quantitative methods to assess the level and condition of earthquake risk management skills among local managers and rural households in Qazvin.

The present research tried to investigate the status of earthquake skills among local managers and rural households in Qazvin. To collect the required data, 29 villages, 29 local and rural councils (Islamic councils of rural areas) and 386 households' supervisors, out of 2537 rural households, were selected.

The results of data analysis through the quantitative methods, especially SWOT method, revealed that skill in general and skill in specific (proper linkage between foundations and building walls, proper space between the walls of the building, proper hallway) and rehabilitation skills in the sample community were at a lower level than the average level. Data analysis also showed that there was a meaningful relationship of the component skill to the level of education and knowledge. In this regard, strengthening the earthquake risk management skill and increasing the variety of skills related to earthquake crisis management (communication, technical, etc.) among local managers are recommended as a fundamental necessity.

Key Words: *Earthquake Crisis Management, Earthquake Skills, Tehnical Skill, Communicational Skill.*

1. Assistant Professor, Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran, m_pari32@yahoo.com

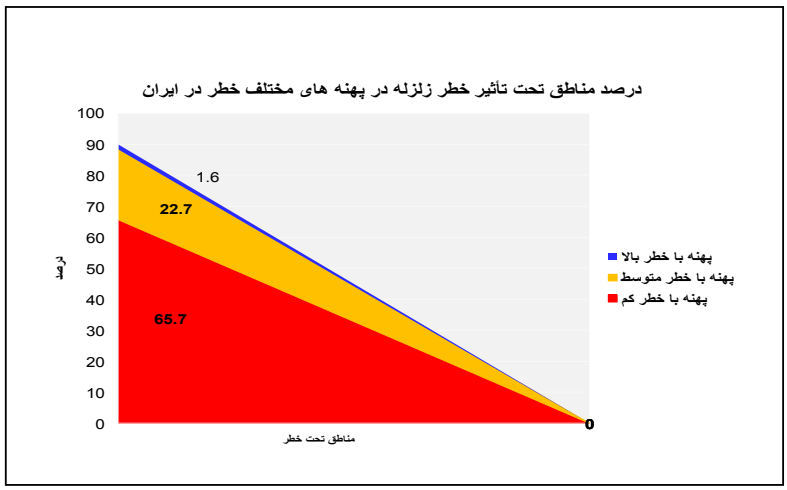
مقدمه

مروری بر پیشینه‌ی تاریخی مخاطرات طبیعی جهان، بیانگر این واقعیت است که کشور ایران همواره در معرض انواع مخاطرات به‌ویژه خطر زلزله بوده است. طبق آمارهای ارائه شده، در طی یک قرن گذشته بیش از یک‌هزار زلزله‌ی مخرب در هفتاد کشور جهان به وقوع پیوسته و خسارات جانی و مادی فراوانی نیز به بار آورده است. نکته‌ی قابل توجه در این میان این است که از ۱۵۳ زلزله‌ی مخربی که در دنیا اتفاق افتاده ۱۷/۶ درصد آن مربوط به ایران بوده است [۱]. بر اساس پهنه‌بندی خطر زلزله در ایران، بیش از ۶۷ درصد مساحت ایران در پهنه‌های خطر متوسط تا بسیار بالا قرار گرفته است (تصویر۱).

بر اساس مطالعات زمین‌شناختی حدود ۹۷ درصد از شهرها و روستاهای کشور ما در معرض خطرات ناشی از وقوع زلزله هستند. با توجه به آمارهای موجود در جدول ۱ هر ۱۰ سال یک‌بار، یک زلزله با بزرگی تقریباً ۷ ریشتر در کشور ایران به وقوع پیوسته و سالیانه حدود ۲۰۰ زلزله در مقیاس‌های چهار تا هفت ریشتر در گوشه و کنار کشور رخ می‌دهد.

بر اساس آنچه آمد، می‌توان گفت که تقریباً هیچ نقطه‌ای از ایران از گزند زلزله در امان نبوده و عرصه‌های فضایی همواره در معرض تهدید زلزله قرار دارند. نکته‌ی جالب توجه آن است که، اگرچه جمعیت ایران در طول صدسال گذشته همواره کمتر از یک درصد جمعیت جهان بوده است، متأسفانه تلفات ناشی از زلزله، در حدود ۶ درصد از تلفات جانی زلزله در جهان بوده است [۳]. در این بین استان قزوین هم در پهنه‌ی کشور ایران مستثنی از این واقعیت نبوده است. تصاویر ۲ و ۳ موقعیت استان قزوین در نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زلزله و گسل‌های اصلی آن را نمایش می‌دهد.

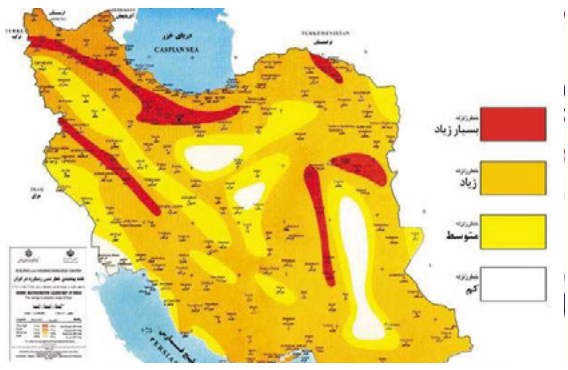
استان قزوین با توجه به سابقه‌ی زلزله‌ی بوئین‌زهرا در سال ۱۳۴۱ با مقیاس ۷٫۲ دهم ریشتر و آوج با ۶٫۲ دهم ریشتر در سال ۱۳۸۱ یکی از کانون‌های زلزله‌خیز کشور محسوب می‌شود [۴]. به‌گونه‌ای که در طی سال‌های گذشته به‌طور متوسط در هر



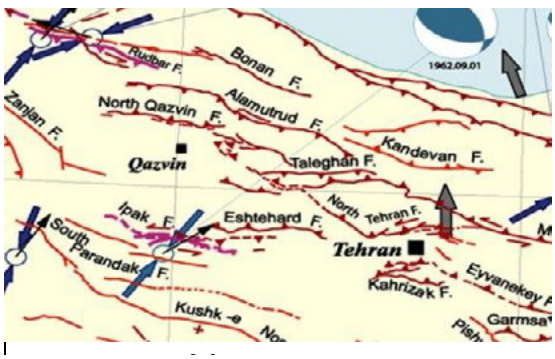
تصویر۱: درصد مناطق تحت تأثیر ریسک زلزله در پهنه‌های مختلف خطر در ایران [۲]

جدول ۱: دوره‌ی بازگشت زلزله‌های ایران [۲]

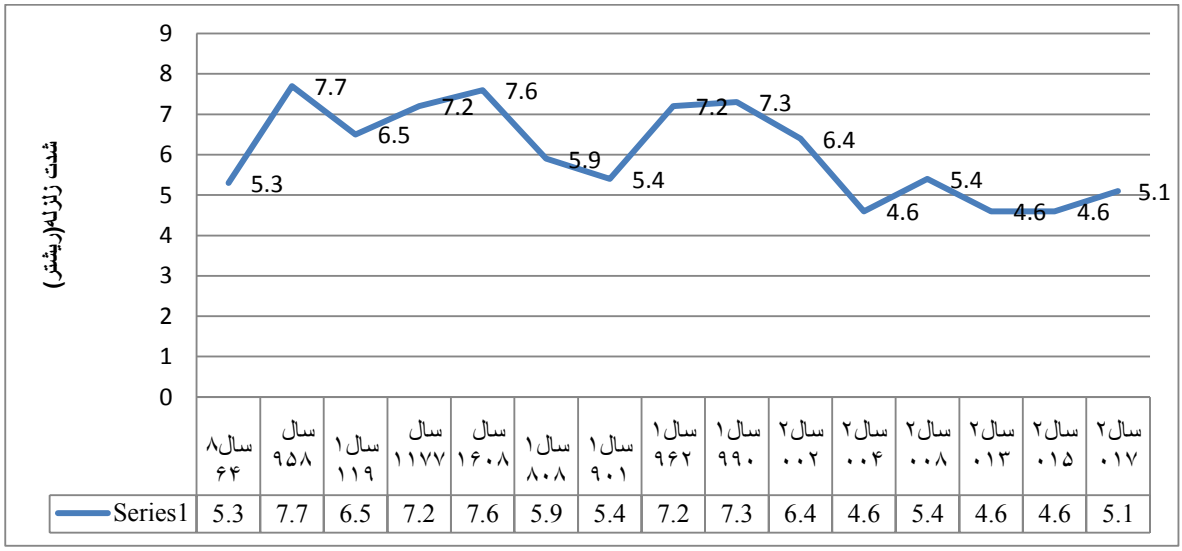
بزرگی زلزله (ریشتر)	۴	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷ و بیشتر
دوره‌ی بازگشت	۱۷ روزه	۳ ماهه	۸ ماهه	۱/۵ ساله	۴ ساله	۶ ساله
احتمال وقوع در ۲۵ سال (درصد)	مکرر	مکرر	مکرر	مکرر	۹۹/۹	۹۸/۹



تصویر۲: موقعیت استان قزوین در نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زلزله در ایران [۴]



تصویر۳: گسل‌های اصلی استان قزوین [۴]



تصویر۴: روند زلزله‌های اتفاق افتاده‌ی بالای ۴/۵ ریشتر در استان قزوین برحسب بزرگای زلزله (ریشتر) در طی سال‌های (۲۰۱۸-۸۵۰ م.) [۵]

جدول۲: عوامل طبیعی- اجتماعی بسترساز وقوع زلزله و تشدیدکننده‌ی پیامدها در مناطق روستایی قزوین [۷، ۸]

عوامل طبیعی (زمینه‌ساز)	عوامل اجتماعی- فرهنگی (تشدیدکننده)
- تعدد گسل‌های کاری موجود - بستر ضعیف زمین‌ساختی - شکست‌های تکتونیکی -کمربند وسیعی از رو راندگی‌های ماسه‌سنگ‌های رسوبی و... - سابقه‌ی زلزله‌خیزی و تعداد زلزله‌های اتفاق افتاده - تناوب زمانی (۲۵-۲۰) سال زلزله‌های مخرب	- سکونت بیش از ۳۶۰ هزار نفر جمعیت در مناطق روستایی و در معرض ریسک - تراکم بالای جمعیت: (۷۱،۷۴) نفر در هر کیلومتر مربع - پراکنش آبادی‌ها - بالا نبودن سطح سواد در مناطق روستایی (۷۸) درصد در مناطق روستایی شهرستان‌های استان و ضعف ساختار کالبدی و....

دوره‌ی زمانی (۲۵-۲۰) سال یک زلزله‌ی مخرب را تجربه نموده است. تصویر ۴ روند زلزله‌های اتفاق افتاده در استان قزوین را طی دوره‌های زمانی (۲۰۱۸-۸۵۰ م.) نمایش می‌دهد.

بر مبنای آمار اداره‌ی مدیریت بحران قزوین در سال ۱۳۹۵، روزانه به‌طور میانگین ۲ زلزله‌ی زیر ۳ ریشتر در استان به وقوع می‌پیوندد. داده‌های نقشه‌های زمین‌شناسی نشان‌دهنده‌ی فعالیت ۳۷ گسل در داخل و مجاورت مرزهای استان است که این عاملی برای افزایش خطر ریسک زلزله در این استان و به‌ویژه در نواحی روستایی است. آمارها نشان می‌دهد که در طی یک قرن اخیر ۴ زلزله‌ی مخرب در گستره‌ی استان قزوین اتفاق افتاده و منجر به تلفات انسانی و خسارت‌های مالی زیادی در عرصه‌های مختلف فضایی (شهری و روستایی) شده است. در ژانویه‌ی سال ۲۰۰۲ زلزله‌ای با بزرگای ۶/۴ ریشتر در استان قزوین اتفاق افتاد که منجر به کشته شدن حدود ۲۵۰ نفر و زخمی شدن بیش از ۱۳۰۰ نفر گردید. حدود ۱۲۰ روستا کاملاً تخریب شد و بیش از ۲۵ هزار نفر خانه‌هایشان را از دست دادند و مجبور شدند که برای رفع نیازهای غذا، آب و پناهگاه متکی به همان منابع عمومی محدود قبلی شوند و نهایتاً خانه‌های خود را با حداقل هزینه و با امکانات بسیار محدود بسازند [۶]. جدول ۲ به‌طور خلاصه عوامل بسترساز و تشدیدکننده‌ی پدیده‌ی زلزله و پیامدهای آن را در مناطق روستایی شهرستان قزوین نمایش داده است که به نحوی اهمیت مسئله را آشکارتر می‌نماید.

در مجموع با توجه به اهمیت پدیده‌ی زلزله در ابعاد مختلف مکانی- فضایی، با توجه به ساختار اکولوژیکی (طبیعی- انسانی) منطقه‌ی مطالعاتی و به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی شهرستان قزوین در برابر زلزله، توجه به مهارت مردم در مقابله با زلزله ضرورتی اساسی دارد. بر این مبنا محققان بر آن بوده‌اند که ضمن تبیین جایگاه مدیریت بحران، در بین سکونتگاه‌های روستایی بخش مرکزی شهر قزوین به این سؤال اساسی که مؤلفه‌ی مبنایی مدیریت بحران زلزله (مهارت) در بین ساکنان منطقه‌ی مطالعاتی در مواجه با زلزله در چه وضعیتی قرار دارد، به‌صورت موردی پاسخ دهند. بدون شک بررسی و تبیین جایگاه مهارت و نقش آن در کاهش ریسک زلزله می‌تواند گام اساسی در راستای دانش‌افزایی در زمینه‌ی کاهش ریسک مخاطرات طبیعی فراهم نماید. لذا برای پاسخ‌گویی به این سؤال و در راستای غنی‌سازی و مستندسازی پژوهش، پیشینه‌ی تحقیق به شرح جدول ۳ مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۳: پیشینه‌ی تحقیق

محقق	عنوان پژوهش	محتوا و نتایج پژوهش
عبدالله زاده، شهرام و همکاران.	سنجش و ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی برای مقابله با بحران‌های طبیعی؛ مطالعه‌ی موردی: زلزله در محلات تاریخی شهر اردبیل	در این مقاله از مهارت، آگاهی و آموزش به‌منزله‌ی مؤلفه‌های کلیدی در تاب‌آوری در برابر مخاطرات و به‌ویژه مدیریت بحران زلزله یاد شده است[۹].
Alsheri etal (۲۰۱۵)	Disaster community resilience assessment method : a consensus_ based Dephi and AHP approach Natural Hazds	آموزش آمادگی از خطر، مهارت، حس اجتماع، نگرش‌ها و اعتقادات شخصی، اعتماد به مسئولان، تجربیات پیشین، سطح تحصیلات و ویژگی‌های جمعیتی عامل کلیدی در مدیریت بحران مخاطرات هستند [۱۰].
شاه‌مرادی، بهروز؛ چینی‌فروشان.	سنجش دانش و مهارت با تکیه بر رویکرد پیچیدگی اقتصادی	این پژوهش به تفاوت بین دانش و مهارت پرداخته و سپس در ارتباط با مفاهیم اقتصادی، نقش مهارت را تبیین و به اهمیت آن در مواجهه با ریسک‌ها پرداخته است [۱۱].
Ghafory Ashtyani, Mohsen(۲۰۰۵)	استراتژی‌های مدیریت ریسک: تجارب ایرانی	پژوهش نخست اهمیت ریسک زلزله را تبیین نموده، سپس نگاهی اجمالی به برخی از زلزله‌های رخداد در ایران (قزوین، منجیل، طبس، رودبار) داشته است. افزایش دانش مردم و تقویت زیرساخت‌ها و مساکن را برای کاهش زلزله پیشنهاد نموده است [۱۲].
امیری برمکوهی، علی (۱۳۸۸).	آموزش مهارت‌های زندگی برای کاهش افسردگی	نتایج تحقیق نشان داده که آموزش مهارت‌های زندگی، نشانه‌های افسردگی، مشکلات اجتماعی و اشتغال ذهنی با بیماری و مرگ را به گونه‌ای معنادار کاهش می‌دهد [۱۲].
چناری، فداکار، (۱۳۸۴)	بررسی تأثیر دانشگاه بر مهارت‌های ارتباطی بر اساس مقایسه‌ی دانش‌آموزان و دانشجویان	نتایج نشان داد که ارتباط معنی‌دار و مستقیمی بین افزایش تحصیلات و دانش و افزایش مهارت‌های ارتباطی وجود دارد [۱۳].
مژده وزیری، شیدا جهانی، (۱۳۸۵)	مهارت‌های شهروندی مورد نیاز دانش‌آموزان دبستان‌های شهرستان زلزله‌زده‌ی بم	تربیت شهروندی یکی از مهم‌ترین و چالش‌زاترین وظایف نظام‌های آموزشی محسوب می‌شود. آنچه در این زمینه در ایران شایان توجه است از یک‌سو توجه ناکافی به مسائل آموزش شهروندی و از سوی دیگر فقدان نگرش و رویکرد مسئله‌محور برای تربیت شهروندی در شرایط بحران است. مقاله‌ی حاضر با تمرکزی ویژه بر روی کودکان زلزله‌زده‌ی بم و مصائبی که بر آنان به‌واسطه‌ی فقدان مهارت‌های ضروری برای مقابله با حوادث بحرانی رفته است تنظیم شده است [۱۴].
داودی معصومه (۱۳۸۲)	بررسی مهارت‌های زندگی در دانش آموزان دبستان‌های شهر تهران از دیدگاه متخصصان و برنامه‌ریزان درسی، معلمان و دانش‌آموزان	مهارت‌های خودآگاهی و روابط مؤثر اجتماعی جزء مهارت‌های مورد نیازی هستند که هنگام مواجهه با بحران از دیدگاه متخصصان تعلیم و تربیت، کارشناسان برنامه‌ریزی درسی و معلمان مورد نیاز تشخیص داده شده‌اند [۱۵].

ادبیات نظری تحقیق

به‌طور کلی از بین مهم‌ترین دیدگاه‌های مطرح‌شده در مسیر کاهش آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطرات می‌توان به رویکرد سازه‌ای (متمرکز) و غیر سازه‌ای (نامتمرکز) و یکپارچه اشاره نمود. از اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰ به بعد نگرش تلفیق رویکردهای غیر سازه‌ای و ساختاری به‌عنوان یک تلاش جامع برای دست‌یابی به اهداف کاهش بحران مخاطرات مورد توجه قرار گرفت. امروزه اندیشمندان و صاحب‌نظران بر این باور هستند که برای کاهش آسیب‌پذیری باید تمامی عناصر و مؤلفه‌های درگیر به‌صورت سامانمند و یکپارچه در فرایند مدیریت بحران مخاطرات دخیل شوند. استفاده از فرایند جامع و ارائه‌ی اصول بر مبنای آن، یکی از دیدگاه‌های جدید برای تهیه و تدوین اصول مدیریت و برنامه‌ریزی بحران مخاطرات است [۱۶]. در چارچوب رویکردهای جامع و غیر ساختاری برای کاهش ریسک زلزله در نواحی روستایی، ارتقای مهارت‌ها در ابعاد مختلف در کنار مؤلفه‌های کلیدی همچون دانش و آموزش از اهمیت اساسی برخوردار است. یادگیری و ارتقای مهارت‌ها، قابلیت مقابله و پاسخ‌گویی به مخاطرات و اثرات آن را به‌طور شایسته‌ای افزایش می‌دهد.

مهارت با دانش متفاوت است، زیرا مهارت مشتمل یا دربردارنده‌ی ظرفیت انجام فعالیت‌هایی است که ضمنی است [۱۷]. برای مثال اغلب ما می‌دانیم که چطور راه برویم، هرچند که ندانیم چگونه راه می‌رویم یا بیشتر ما می‌دانیم که چگونه

اشیا را با یک تصویر تشخیص دهیم و نام‌گذاری کنیم، حتی اگر ندانیم که چگونه این وظایف کلامی و مفهومی را انجام می‌دهیم. اغلب ما می‌دانیم که چگونه اشیا را از زوایای گوناگون تشخیص دهیم، چهره‌ها را شناسایی کنیم، غذا را هضم کنیم و عواطف را تشخیص دهیم. ما می‌توانیم این وظایف را انجام دهیم، به این دلیل که در انجام آن‌ها مهارت داریم. مهارت ظرفیت محاسباتی ضمنی است که به ما توانایی انجام کارها را می‌دهد و در هر دو سطح فردی و جمعی قابل انباشت است [۱۱].

به‌طورکلی بوتوین و کانتور[1] مهارت را به دو دسته مهارت خود نظاره‌گری فردی و مهارت‌های اجتماعی تقسیم‌بندی می‌کنند. مهارت‌های خود نظاره‌گری فردی مشتمل بر توانایی تصمیم‌گیری و حل مسئله، آگاهی از تأثیرات اجتماعی، مقابله با اضطراب و افسردگی، تعیین هدف، خودسامانی و خود تقویتی است. اما مهارت‌های اجتماعی شامل برقراری ارتباط اجتماعی، مهارت ابراز وجود کلامی و غیرکلامی، احترام گذاشتن و افزایش شایستگی اجتماعی است [۱۸]. از دیدگاه ماتسون[2] به خاطر سابقه‌ی طولانی ارتباطات و روابط اجتماعی، تحقیقات مختلفی در ابعاد متفاوت مهارت اجتماعی به‌ویژه در دهه‌های اخیر در عرصه‌های علوم رفتاری و علوم اجتماعی انجام شده است. مفهوم مهارت‌های اجتماعی به‌صورت مختلف تعریف شده است. ماتسون معتقد است که مهارت‌های اجتماعی، رفتارهایی هستند که از یکسو بر روابط بین اشخاص و از سوی دیگر بر بهداشت روانی و عملکرد مفید و مؤثر اشخاص در اجتماع تأثیر خواهد داشت [۱۹]. از دیدگاه هالینگر[3] مهارت‌های اجتماعی مشتمل بر مجموعه‌ای از توانایی‌ها است که بر ارتباط سازنده و کسب مقبولیت یک فرد با سایر اشخاص تأثیرگذار است [۲۰].

درمجموع مهارت‌های اجتماعی دارای ماهیتی تعاملی و منظم هستند که توانایی اشخاص را در موقعیت‌های مختلف به‌ویژه در مواقع اضطراری و بحران برای پذیرش و بقا ارتقا می‌بخشند و فرد احساس اثربخشی می‌کند. از بین شاخص‌های مهارت‌های ارتباطی، می‌توان به مواردی همچون قابلیت و توانایی گفت‌وشنود مناسب و اثربخش، کنترل احساسات و عواطف در مواقع مختلف به‌ویژه در مواقع بحران، توانایی دریافت و ارسال پیام‌های ارتباطی اشاره کرد [۲۱، ۲۲]. رمز جامعه‌ی مدرن در این نیست که هر فرد نسبت به افراد[4] جامعه‌ی سنتی به چه میزان دانش و مهارت بیشتری در اختیار دارد، بلکه در این است که از مهارت وسیعی که توسط تک‌تک افراد جمع‌آوری شده است، استفاده کند [۱۸]. ساهو و میسر[5] از مهارت حل مسئله به‌منزله‌ی یکی دیگر از مهارت‌های حیاتی برای زندگی در دنیای پیچیده و پر از ریسک امروز یاد می‌کنند. در دنیای کنونی در تمامی فعالیت‌ها، مدیران و صاحب‌نظران بر افزایش مهارت‌های حل مسئله چه در حیطه‌ی عمومی و چه در حیطه‌ی پدیده‌های مسئله‌دار (زلزله) تأکید دارند [۲۳]. تحقیقات زیادی پیشنهاد می‌کنند که مهارت‌های حل مسئله در ارتقای قابلیت‌ها و توانایی‌ها، مخصوصاً زمانی که افراد با رویدادهای ناگوار و تنیدگی‌های منفی زندگی همچون سانحه‌ی زلزله مواجه می‌شوند، نقش مهمی دارند [۲۴]. از طریق آموزش حل مسئله، فرد قادر به ابداع و ارائه‌ی راهبردهای مؤثر مقابله و مواجهه با چالش‌ها خواهد بود. موس و بیلینگز از مهارت مقابله‌ای مسئله‌محور و هیجان‌محور به‌منزله‌ی دو شیوه‌ی کلی مهارت یاد می‌کنند. مقابله‌ی مسئله‌محور شامل کوششی فعال برای آرام کردن و کاهش دادن رویدادهای پیچیده و درهم‌تنیده است و مقابله‌ی هیجان‌محور، شامل تلاش‌های فرد برای مهار پیامد رویدادهای پیچیده همچون زلزله است. پژوهش‌های متعدد نشان داده است که افراد برای مبارزه با رویدادهای استرس‌زا از هر دو شیوه‌ی مقابله‌ای استفاده می‌کنند. افرادی که در واکنش به تغییرات شدید منفی زندگی همچون (زلزله)، بیشتر پاسخ‌های مقابله‌ای مسئله‌مدار را به کار می‌برند، علائم افسردگی کمتری نشان می‌دهند [۲۵]. خوبی‌نژاد معتقد است که در مواجهه با مسائل، زنان بیشتر مایل‌اند موقعیت‌ها را تهدیدکننده یا زیان‌آور ارزیابی کنند و در مواجهه با مشکلات و چالش‌ها (مخاطرات) بیشتر از شیوه‌ی مقابله‌ای هیجان‌محور استفاده می‌کنند، درحالی‌که مردان از شیوه‌ی مقابله‌ای مسئله‌محور بیشتر استفاده می‌کنند [۲۶]. دکتر قماشچی در مطالعه‌ای با عنوان نقش آموزش مهارت‌های حل مسئله در بهبود بیماران مبتلا به اختلال استرس پس از ضربه (PTSD) ناشی از زلزله‌ی بم که در زمان وقوع زلزله را تجربه کرده‌اند، سعی نموده با ارائه‌ی دیدگاه‌های نظری جامع به نقش آموزش مهارت‌های حل مسئله در درمان اختلال استرس پس از زلزله بپردازد. از دیدگاه وی مهارت‌های حل مسئله، راهبرد ویژه و هدفمندی است که فرد به‌وسیله‌ی آن مشکلات را تعریف و تصمیم به اتخاذ راه‌حل می‌گیرد [۲۷]. هوبفول[6] در بررسی اثربخشی آموزش مهارت‌های حل مسئله در بین دانش‌آموزان بعد از رویداد زلزله، به این نتیجه رسید که آموزش مهارت‌های حل مسئله می‌تواند به‌منزله‌ی مداخله‌ی درمانی کوتاه مدت در درمان افسردگی مؤثر باشد [۲۸].

از دیگر مهارت‌های لازم در مواجهه با ریسک‌هایی همچون زلزله، مهارت فنی[7] است. مهارت فنی به معنای قابلیت استفاده از فن‌ها، روش‌ها و رویه‌های عملی برای انجام یک وظیفه‌ی معین است [۲۰]. شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) در ارتباط با مدیریت بحران زلزله در نواحی روستایی اظهار داشته‌اند که مهارت‌های فنی مشتمل بر قابلیت‌ها و توانایی‌های فرد در امورات مختلف مقابله با ریسک زلزله (مهارت در ساخت مسکن مقاوم، به‌کارگیری اصول مهندسی در طراحی و ساخت) است. جیگاسو از ضعف مهارت فنی در جوامع روستایی آسیایی، به‌منزله‌ی یک عامل اساسی در افزایش آسیب‌پذیری در برابر ریسک مخاطرات یاد می‌کند. او سازمان‌دهی دانش محلی و توانمندسازی را از ابزارهای کلیدی در افزایش مهارت‌ها و کاهش آسیب‌پذیری در برابر مخاطرات در بین جوامع روستایی قلمداد می‌کند [۱۹]. بلزر[8] مهارت فنی را حلقه‌ی گم‌شده و بسیار حساس در بین مدیران مختلف برای موفقیت در فعالیت‌ها می‌داند [۲۹].

آموزش، عامل کلیدی در راستای ارتقای مهارت‌های اجتماع روستایی در جنبه‌های مختلف مواجهه با ریسک مخاطرات است. مقابله با مخاطرات (زلزله) عمدتاً به فعالیت‌های مدرسه مربوط

می‌شود. در ژاپن سطح متعارفی از دانش و آگاهی از زلزله و زندگی در شرایط بحرانی در میان مردم این کشور خصوصاً دانش‌آموزان مدرسه از طریق آموزش فعال در خانواده و جامعه در کنار مدرسه ایجاد شده است. اساساً آماده‌سازی دانش‌آموزان، به‌منزله‌ی شهروندانی فعال که از محیط و شرایطی که در آن زیست می‌کنند آگاهی کامل داشته باشند و برای حوادث و چالش‌های برخاسته از محیط آماده شوند، در حیطه‌ی وظایف مدرسه و نظام آموزشی است. در کشور ژاپن آموزش مهارت‌های شهروندی با تأکید بر آماده‌سازی دانش‌آموزان برای مقابله با حوادث طبیعی و با مشارکت خانواده‌ها و مدرسه در جریان است و به همین خاطر هنگامی‌که رویکرد مقاوم‌سازی بافت شهری را به آن بیفزاییم، آمار تلفات ناشی از زلزله در این کشور بسیار پایین است [۱۵].

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که افزایش مهارت‌ها، زمینه‌ی افزایش تاب‌آوری در افراد را فراهم می‌نماید و درنتیجه، افراد با بروز علائم و عواطف مثبت از بروز فاجعه در هنگام خطر اجتناب می‌کنند [۳۰]. البته باید به این نکته توجه کنیم که درد و استرس ناشی از انواع مخاطرات یک پدیده‌ی پیچیده است که متأثر از عوامل زیستی، روان‌شناختی و اجتماعی است [۳۱].

نتایج تجربه‌ی مشترک برنامه‌ی عمران ملل متحد و دولت قزاقستان، نشان داد که افزایش مهارت‌های شخصی و محلی و بسیج نیروهای مردمی، عامل اساسی در تقویت و بهبود مهارت‌ها و شیوه‌های مؤثر مدیریت بحران زلزله محسوب می‌شود. در این راستا، نهادهای مردم‌نهاد عامل کلیدی برای نهادینه شدن فرایند توانمندسازی، افزایش مهارت‌ها و مشارکت مردم هستند [۳۲].

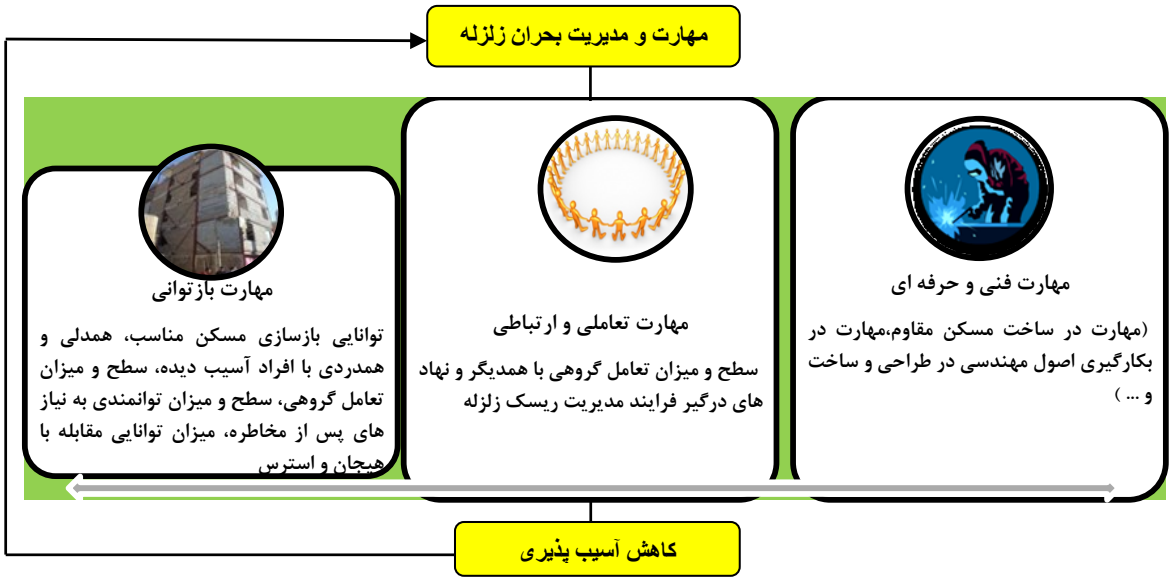
درمجموع در ارتباط با مدیریت بحران زلزله در نواحی روستایی می‌توان گفت که مهارت، مشتمل بر مجموعه‌ای از قابلیت‌ها و توانایی‌ها است که عمدتاً دارای ماهیتی اجتماعی (تعاملی) و فنی هستند. برخورداری یک فرد از مهارت مدیریت بحران زلزله، از یک‌طرف به‌منظور ارتباط سازنده و کسب مقبولیت از جانب سایر اشخاص ضروری است و از طرف دیگر، منجر به ارتقای توانایی افراد و ساکنان در موقعیت‌های مختلف به‌ویژه در مواقع اضطراری و بحران برای پذیرش و بقا می‌گردد.

با عنایت به نکات مختلف در ارتباط با مهارت و اهمیت آن در پیوند با مدیریت بحران مخاطرات (زلزله) در فضاهای روستایی، مهارت مشتمل بر مجموعه‌ای از قابلیت‌ها و توانایی‌ها است که عمدتاً دارای ماهیتی اجتماعی (تعاملی) و فنی هستند [۲۱]. برخورداری یک فرد از مهارت مدیریت بحران زلزله، از یک طرف به‌منظور ارتباط سازنده و کسب مقبولیت از جانب سایر اشخاص است و از طرف دیگر، منجر به ارتقای توانایی افراد و ساکنان در موقعیت‌های مختلف به‌ویژه در مواقع اضطراری و بحران برای پذیرش و بقا می‌گردد. تصویر ۵ مدل مفهومی تحقیق را نمایش می‌دهد.

داده‌ها و روش کار

محقق در این مقاله به دنبال پاسخ‌گویی به این سؤال است که: میزان مهارت زلزله در بین مدیران و خانوارهای روستایی شهرستان قزوین به چه میزانی است؟ در این راستا نخست به بررسی پیشینه‌ی مرتبط با موضوع پرداخته شد و در چارچوب دیدگاه‌های نظری مرتبط با مهارت ریسک زلزله و نظر کارشناسان و افراد خبره، اقدام به شناسایی ابعاد، شاخص‌ها و گویه‌های مهارت مدیریت ریسک زلزله نمود. سپس با استفاده از پرسش‌نامه‌ی محقق ساخته و آزموده، وضعیت مهارت زلزله در ۲۹ روستا در بین ۲۹ مدیر محلی (شورای اسلامی و دهیار) و ۳۸۶ نفر از سرپرستان خانوارها از بین ۳۹۴۷ خانوار روستایی شهرستان قزوین مورد بررسی قرار گرفت. گفتنی است که انتخاب روستاهای نمونه به روش خوشه‌ای و انتخاب سرپرستان خانوارها به روش تصادفی سامانمند بوده است. جدول ۴ و تصویر ۶ مشخصات و پراکندگی جامعه‌ی نمونه را نشان می‌دهد.

در راستای عملیاتی شدن اهداف تحقیق، مهارت بدین سبک تعریف نظری شد: مهارت، مشتمل بر مجموعه‌ای از قابلیت‌ها و



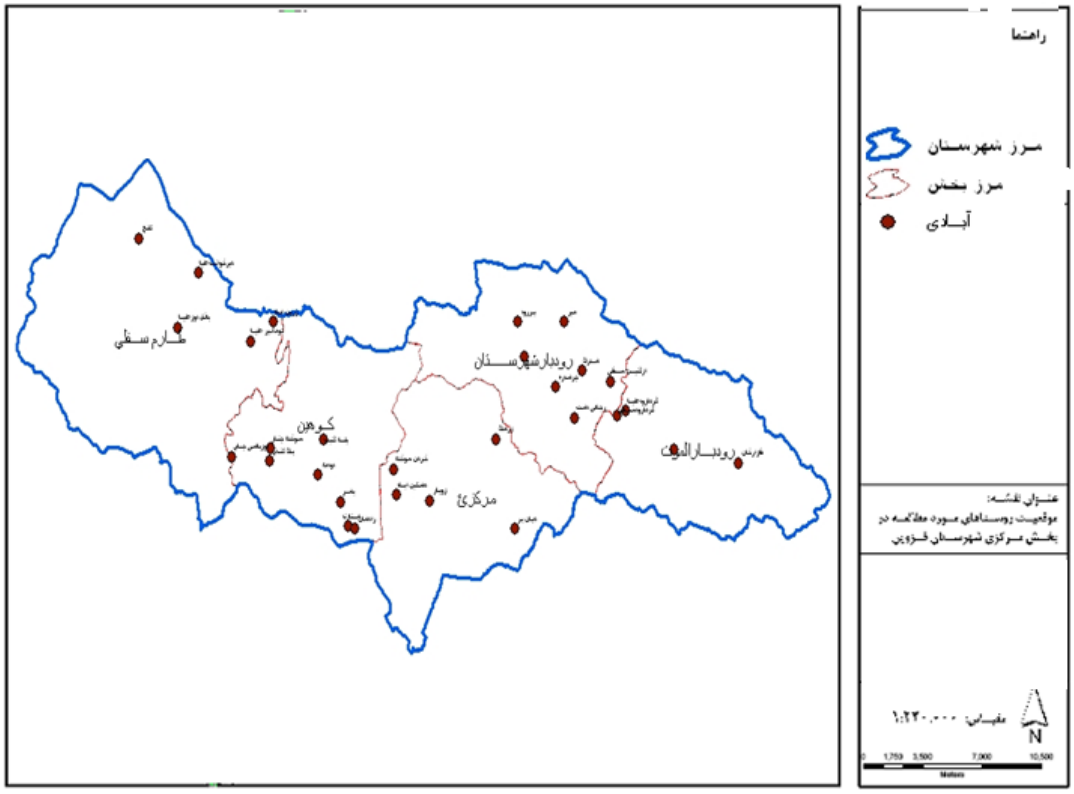
تصویر ۵: مدل مفهومی تحقیق

جدول ۴: مشخصات جامعه‌ی نمونه در قالب دهستان و بخش (مطالعات میدانی [۷])

بخش	دهستان	روستا	فراوانی	درصد
کوهین	ایلات قاقازان غربی	سوخته چنار	۱۲	۳،۱
		دودوهه	۱۸	۴،۷
		بکندی	۲۱	۵،۴
	ایلات قاقازان شرقی	یله گنبد	۱۳	۳،۴
		بشر	۱۵	۳،۹
		شنازند	۱۵	۳،۹
	رامشان	رامشان	۱۵	۳،۹
طارم سفلی	کهگیر	یوزباش چای	۱۲	۳،۱
		کهگیر علیا	۱۲	۳،۱
		زرین خانی (زرین آباد)	۱۲	۳،۱
	خندان	بغل دوز	۱۰	۲،۶
		میرخوند علیا	۱۵	۳،۹
		کلج	۱۲	۳،۱
مرکزی	اقبال	خرمن‌سوخته	۲۴	۶،۲
	اقبال غربی	مشکین آباد	۲۱	۵،۴
		زرشک	۱۲	۳،۱
		زویار	۱۲	۳،۱
	کوهین	میانجی	۱۵	۳،۹
رودبار شهرستان	معلم کلایه	سائین کلای	۱۰	۲،۶
	بالا	قازارخان	۱۲	۳،۱
	الموت بالا	گرما رود بالا	۱۲	۳،۱
		گرما رود علیا	۷	۱،۸
	رودبار شهرستان	پررود	۹	۲،۳
		هیر	۱۵	۳،۹
	رودبار محمد زمانی	رجایی دشت	۱۲	۳،۱
		ازگین	۱۰	۲،۶
		شترک	۸	۲،۱
	بهرام‌آباد	بهرام‌آباد	۱۵	۳،۹
	رجایی دشت	چریش دره	۱۰	۲،۶
جمع			۳۸۶	۱۰۰

توانایی‌ها است که عمدتاً دارای ماهیتی اجتماعی (تعاملی) و فنی هستند. برخورداری یک فرد از مهارت مدیریت بحران زلزله، از یک طرف به‌منظور ارتباط سازنده و کسب مقبولیت از جانب سایر اشخاص ضروری است و از طرف دیگر، منجر به ارتقای توانایی افراد و ساکنان در موقعیت‌های مختلف به‌ویژه در مواقع اضطراری و بحران برای پذیرش و بقا می‌گردد. برای مؤلفه‌های مهارت مطابق جدول ۵ اقدام به تعریف نظری مؤلفه‌های آن شده و سپس همگام با تعریف نظری مؤلفه‌ی مهارت در مدیریت بحران زلزله اقدام به طبقه‌بندی و سنجش آن در قالب معیارها، نماگرها و گویه‌ها بر مبنای طیف لیکرت شده است.

روایی گویه‌ها از طریق اعتبار صوری مبتنی بر دیدگاه کارشناسان و تحلیل مبانی نظری تحقیق و پایایی آن نیز به کمک



تصویر ۶: موقعیت روستاهای مورد مطالعه [۳۴]

جدول ۵: معیارها، نماگرها و گویه‌های تبیین‌کنندهی مؤلفه‌ی آموزش مدیریت بحران زلزله بر مبنای پیشینه، دیدگاه کارشناسان و خبرگان

مؤلفه	معیارها	نماگرها	گویه‌ها	تعداد گویه‌ها
مهارت	ارتباطی	سطح و میزان تعامل گروهی با نهادهای مرتبط (داخلی و بیرونی)	توانایی سازمان‌دهی مشارکت ساکنین در امورات مختلف مربوط به پیشگیری و کاهش خطر زلزله و توانایی همکاری و هماهنگی با نهادهای محلی	۲۴
		توانایی همدلی و همدردی با افراد آسیب‌دیده	توانایی کمک به افراد آسیب‌دیده (ابراز همدردی به‌ویژه در ساعات اولیه پس از زلزله و ...) به‌قدر کافی و لازم	
		سطح و میزان تعامل گروهی	میزان تعامل میان روستاییان علی‌رغم گروه‌بندی (طایفه) و محله‌بندی در روستا در امورات کاهش ریسک.	
	باز توانی	سطح و میزان توانمندی پاسخگویی به نیازها پس از زلزله	میزان مهارت ساکنان در ارائه کمک‌های اولیه نظیر تزریقات، پانسمان، تنفس مصنوعی، شکسته‌بندی، احیای قلب، جابه‌جایی، انتقال مصدومان و...	
		میزان توانایی مقابله با هیجان و استرس پس از زلزله	میزان مهارت لازم در هنگام یک زمین‌لرزه (رفتن به زیر میز یا جاهای امن خانه، هجوم نبردن به راه‌های خروجی و...).	
	فنی و حرفه‌ای	میزان آشنایی با مهارت‌های مهندسی طراحی و ساخت	مهارت در زمینه‌ی (نحوه‌ی پیوند مناسب بین فونداسیون و دیوارهای ساختمان، فضای مناسب بین دیوارهای ساختمان، سردر مناسب و..)	

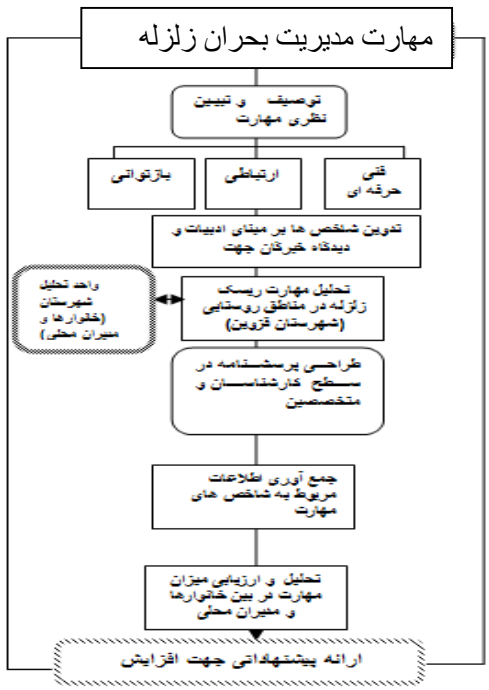
ضریب آلفای کرونباخ در نرم‌افزار SPSS با میزان ۰/۷۹ محاسبه شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های آماری توصیفی و برای مقایسه‌ی میانگین‌ها و برآورد میزان مهارت مدیریت بحران در بین جامعه‌ی نمونه و مدیران محلی از آزمون T تک نمونه‌ای و F و توزیع دو جمله‌ای استفاده شده است. آزمون تی تک نمونه برای هر مؤلفه (با مقیاس رتبه‌ای در سه طیف) مورد استفاده قرار گرفته است و بر اساس تحلیل خوشه‌ای محاسبه‌شده (از مجموع گویه‌های هر مؤلفه با مقیاس رتبه‌ای)، هر یک از مؤلفه‌ها به سه سطح بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین برای تبیین همبستگی و تأثیرگذاری از آزمون آماری پیرسون استفاده شده است. تصویر ۷ مدل مفهومی تحقیق را نشان می‌دهد.

یافته‌های تحقیق

بررسی ویژگی‌های فردی و دموگرافی پاسخ‌گویان

همان‌طور که جدول ۴ نشان می‌دهد، از ۳۸۶ پرسش‌نامه‌ی توزیع‌شده در بین خانوارهای روستایی در سطح ۲۹ روستای نمونه ۳۱۷ نفر معادل ۸۲/۱ درصد مرد و ۶۹ نفر معادل ۱۷/۹ درصد زن بوده‌اند. ۳۱/۳ درصد از پاسخ‌گویان در گروه سنی کمتر از ۴۰ سال، ۴۵/۶ درصد در گروه سنی ۴۰-۶۰ سال و ۲۳/۱ درصد در گروه سنی بالاتر از ۶۰ سال قرار داشته‌اند. (جدول ۶)

همچنین اطلاعات موجود در جدول ۶ بیانگر این است که از ۲۹ پرسش‌نامه‌ی توزیع‌شده در بین مسئولان روستاهای نمونه، تمامی افراد پاسخ‌گو مرد و متأهل بوده‌اند. به‌طور مساوی ۳۴/۵ درصد از پاسخ‌گویان در گروه سنی کمتر از ۴۰ سال و ۴۰-۶۰ سال و ۳۱ درصد در گروه سنی بالاتر از ۶۰ سال قرار داشته‌اند. توزیع جمعیت نمونه برحسب مسئولیت فعلی آنان بیانگر این است که ۲۰/۷ درصد از پاسخ‌گویان دهیار و ۷۹/۳ درصد شورای اسلامی روستا هستند. بررسی وضعیت شغل اصلی مدیران محلی (به‌غیر از شورای اسلامی و دهیار) نشان می‌دهد که ۷۹/۳ درصد کشاورز، ۳/۴ درصد کارمند، ۳/۴ درصد جزء سایر بوده‌اند و ۱۳/۸ درصد افرادی که به این سؤال پاسخی نداده‌اند.



تصویر ۷: مراحل تحقیق

جدول۶: ویژگی‌های فردی و دموگرافی پاسخ‌گویان (یافته‌های میدانی)

ویژگی‌های فردی		خانوارها (درصد)		مدیران محلی (درصد)	ویژگی‌های فردی پاسخگویان		خانوارها (درصد)	مدیران محلی (درصد)
توزیع جنسی	مرد	۸۲،۱		۱۰۰،۰	وضعیت شغلی بدون پاسخ	بیکار	۱۹،۴	۱۹،۴
	زن	۱۷،۹		۰				
توزیع سنی	کمتر از ۴۰ سال	۳۱،۳		۳۴،۵				
	۴۰-۶۰ سال	۴۵،۶		۳۴،۵				
	بیش از ۶۰ سال	۲۳،۱		۳۱،۰ ۱۰۰،۰		شاغل	۷۶،۹	۷۶،۹
						۳،۶	۰	
وضعیت تأهل	متأهل	۹۲،۷		۱۳،۸	شغل اصلی در صورت شاغل بودن	کشاورز و دامدار	۴۲،۷	۸۲،۷
	مجرد	۶،۷		۳۴،۵				
	بدون پاسخ	۰،۵		۱۰،۳		باغدار	۲،۳	۳،۴
تحصیلات	فاقد سواد		۱۹،۹	۱۰۰،۰		کارگر	۷	۰
	ابتدایی		۳۶،۸	۰		کارمند	۶،۷	۳،۴
	سیکل	۲۵،۶		۳۴،۵		سایر	۱۸،۴	۸،۷
				سمت فعلی ۱۷،۲ ۶،۹ ۱۳،۸	دهیار	-	۲۰،۷	
	دیپلم		۱۲،۴		شورای اسلامی	-	۷۹،۳	
	فوق‌دیپلم		۴،۴					
	لیسانس و بالاتر		۰،۸					

جدول ۷: تجربه‌ی خانوارهای نمونه و مدیران محلی از زلزله‌های مخرب [یافته‌های تحقیق]

سؤال	پاسخ	خانوارها (درصد)	مدیران محلی (درصد)
تجربه‌ی زلزله‌ی مخرب	بلی	۱۰۰،۰	۱۰۰
تعداد زلزله‌های اتفاق افتاده	یک‌بار	۴۸،۲	۲۷،۶
	دو بار	۴۴،۳	۵۸،۶
	سه بار	۷،۵	۱۳،۸

جدول ۸: تبیین وضع موجود معیارها، نماگرها و گویه‌های تبیین‌کننده‌ی مؤلفه‌ی مهارت

مؤلفه	معیارها	نماگرها	گویه‌ها	سطح گویه‌ها (درصد)		
				کم	متوسط	زیاد
مهارت	ارتباطی	سطح و میزان تعامل گروهی با نهادهای مرتبط (داخلی و بیرونی)	توانایی سازمان‌دهی مشارکت ساکنان در امور مختلف مربوط به پیشگیری و کاهش خطر زلزله و توانایی همکاری و هماهنگی با نهادهای محلی	۴،۶۵	۱۵،۵۵	۷۹،۷۵
		توانایی همدلی و همدردی با افراد آسیب‌دیده	توانایی کمک به افراد آسیب‌دیده (ابراز همدردی به‌ویژه در ساعات اولیه پس از زلزله و ...) به‌قدر کافی و لازم	۴،۹۰	۳۷،۰۰	۵۸،۰۰
		سطح و میزان تعامل گروهی	میزان تعامل میان روستاییان علی‌رغم گروه‌بندی (طایفه) و محله‌بندی در روستا در امور کاهش ریسک	۴،۷۰	۱۶،۳۰	۷۹،۰۰
	بازتوانی	سطح و میزان توانمندی پاسخ‌گویی به نیازها پس از زلزله	میزان مهارت ساکنان در ارائه‌ی کمک‌های اولیه نظیر تزریقات، پانسمان، تنفس مصنوعی، شکسته‌بندی، احیای قلب، جابه‌جایی، انتقال مصدومان	۸۸،۱۰	۷،۷۴	۴،۱۴
		میزان توانایی مقابله با هیجان و استرس پس از زلزله	میزان مهارت لازم در هنگام یک زمین‌لرزه (رفتن به زیر میز یا جاهای امن خانه، هجوم نبردن به راه‌های خروجی و...).	۱۷،۱۰	۴۸،۷۰	۳۴،۲۰
	فنی و حرفه‌ای	میزان آشنایی با مهارت‌های مهندسی طراحی و ساخت	مهارت در زمینه‌ی (نحوه‌ی پیوند مناسب بین فونداسیون و دیوارهای ساختمان، فضای مناسب بین دیوارهای ساختمان، سردر مناسب و...)	۲۴،۰۵	۷۱،۶۵	۴،۲۵

نظر پاسخ‌گویان درباره‌ی تعداد زلزله‌های اتفاق افتاده و تجربه‌ی زلزله

تمام پاسخ‌گویان در روستای محل سکونت فعلی خود، زلزله‌ی مخرب را تجربه نموده‌اند. همچنین در پرسش از جامعه‌ی نمونه درباره‌ی این‌که چند بار زلزله در روستای شما رخ داده است؟ ۴۸/۲ درصد از جمعیت خانوارهای نمونه و ۲۷،۶ درصد مدیران محلی حداقل یک‌بار زلزله‌ی مخرب در محل سکونت خود را تجربه کرده‌اند (جدول ۷).

تحلیل وضعیت مهارت مدیریت بحران زلزله در بین سکونتگاه‌های روستایی و مدیران محلی

برای برآورد میزان مهارت مدیریت بحران در بین جامعه‌ی نمونه و مدیران محلی از آزمون T تک نمونه برای هر مؤلفه (با مقیاس رتبه‌ای در سه طیف) مورد استفاده قرار گرفته است و بر اساس تحلیل خوشه‌ای محاسبه شده (از مجموع گویه‌های هر مؤلفه با مقیاس رتبه‌ای)، هر یک از مؤلفه‌ها به سه سطح بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی شده‌اند. در این راستا، توصیف و آزمون فرضیه‌ی تحقیق به شرح زیر مورد تحقیق قرار گرفته است.

تحلیل مؤلفه‌ی مهارت زلزله در بین سکونتگاه‌های روستایی شهرستان قزوین بر اساس ۲۴ گویه‌ی اصلی، مبین پایین بودن میزان مهارت روستاییان در مورد زلزله بر اساس دیدگاه خانوارهای روستایی نمونه بوده است. اگرچه درصد میزان موافقت در گزینه‌ی زیاد در بین مجموع گویه‌های مهارت در جدول ۸ بیشتر از گزینه‌ی کم است، اما می‌توان گفت که مهم‌ترین ابعاد مهارت، مهارت فنی و حرفه‌ای همچون نحوه‌ی پیوند مناسب بین فونداسیون و دیوارهای ساختمان، فضای مناسب بین دیوارهای ساختمان، سردر مناسب و مهارت بازتوانی در بین گویه‌های پیشنهادی در سطح پایین‌تری از حد متوسط قرار گرفته‌اند.

همچنین بر اساس اطلاعات موجود در جدول (۹)، درمجموع سطح میزان مهارت جامعه‌ی نمونه در ارتباط با زلزله ۲۹/۲۰ درصد پایین، ۴۷/۲۸ درصد متوسط و ۲۳/۳۶ درصد بالا برآورد شده است.

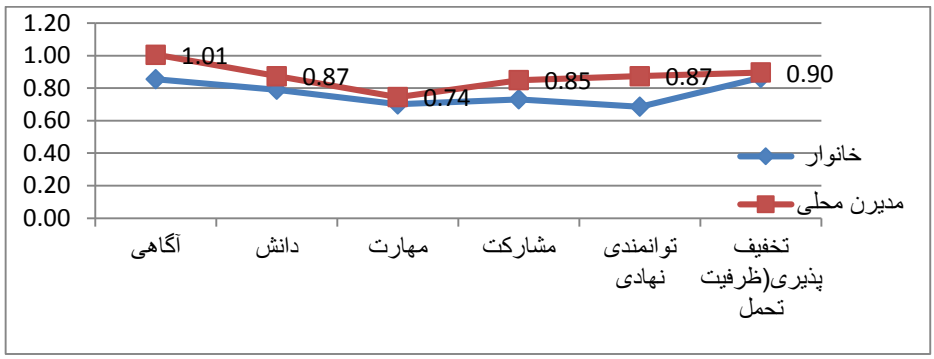
همچنین یافته‌های حاصل از تجمیع گویه‌های تبیین‌کننده‌ی میزان مهارت در جدول ۱۰ نیز بیانگر وجود تفاوت معنادار میان میانگین مؤلفه‌ی مهارت و حد متوسط در سطح آلفا ۰/۰۵ بوده

جدول ۹: طبقه‌بندی خوشه‌ای میزان مهارت در سطح جامعه‌ی نمونه

مؤلفه	طبقه‌بندی سطح مؤلفه‌ها (درصد)		
	پایین	متوسط	بالا
خانوارها	۲۴	۳۲،۸۲	۴۳،۲۲
مدیران محلی	۲۵،۰۲	۲۲،۳۷	۵۲،۵۹

جدول ۱۰: برآورد معناداری سطح تفاوت مؤلفه‌ی مهارت از حد متوسط

مهارت	جامعه	میانگین وضع موجود	حد متوسط گویه‌ها	اختلاف میانگین	t	سطح معنی‌داری
خانوارها	386	19.61	28	-	- 38/15	0.0
مدیران محلی	29	23.8276	- 9.248	.000	- 8.1724	32



تصویر ۸: مقایسه‌ی سطح مهارت در بین سایر مؤلفه‌های مبنایی مدیریت مخاطرات در بین خانوارهای نمونه و مدیران محلی نسبت به حد مطلوب عدد ۱ [نگارنده]

است. به‌عبارتی دیگر میزان مهارت ساکنان بر اساس گویه‌های تبیین‌کننده پایین‌تر از حد متوسط است.

اگر به صورت مقایسه‌ای وضعیت مهارت را در بین مدیران محلی و خانوارهای نمونه مورد بررسی قرار دهیم، می‌توان آن را مطابق تصویر ۸ نسبت به حد مطلوب عدد ۱ ارزیابی نمود.

اطلاعات موجود در نمودار بیانگر این است که مؤلفه‌ی مهارت هم در بین مدیران محلی و خانوارها به نسبت سایر مؤلفه‌ها در سطح پایین‌تری قرار دارد.

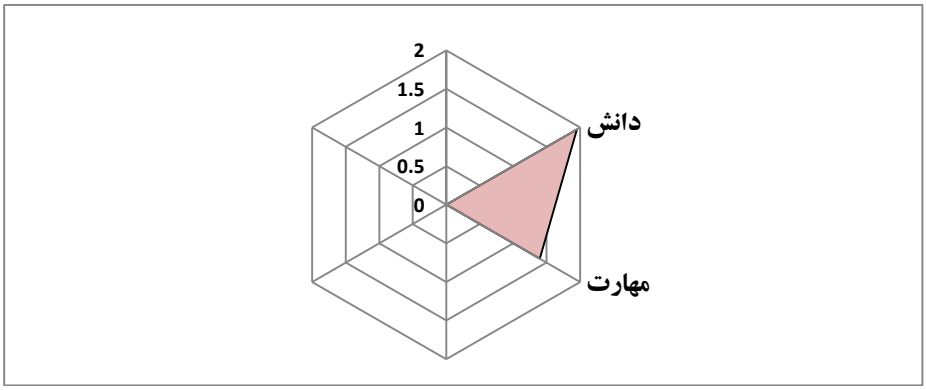
در ارتباط با بالا بودن مقدار جزئی سطح مؤلفه‌ی مهارت در بین مدیران محلی نسبت به خانوارهای نمونه، می‌توان به مواردی همچون برگزاری ۳ دوره از کلاس‌های آموزشی مقابله با ریسک مخاطرات برای مدیران محلی در سطح استان و شرکت ۶۲ درصد مدیران محلی در این کلاس‌ها در طی ۲ سال اخیر، بازدید ۴۳ درصد مدیران محلی از مناطق زلزله‌زده، موجود بودن چندین جلد کتاب مربوط به مخاطرات طبیعی در ۳۳،۵ درصد منازل مدیران محلی، آگاهی بالای مدیران (۷۲ درصد متوسط و بیشتر) از مکان‌یابی نامناسب و آسیب‌پذیری مکان و محلات روستا و زلزله‌خیز بودن روستا، روحیه‌ی تعاملی و مشارکتی مدیران محلی با مردم در اموراتی همچون مقاوم‌سازی مساکن و جلوگیری از ساخت‌وساز غیراصولی اشاره نمود.

همچنین در پرسش از جامعه‌ی نمونه درباره‌ی اینکه آیا تاکنون خود و یا خانواده‌ی شما در دوره‌های آموزشی مقابله با زلزله که از سوی نهادهای مختلف در قالب کارگاه‌های آموزشی برگزار شده، شرکت نموده‌اید؟ پاسخ به دست آمده که در جدول ۱۱ بازگو شده نشان می‌دهد که ۲۶/۷ درصد پاسخ مثبت، ۶۹/۹ درصد پاسخ منفی داده‌اند و بقیه حدود ۳/۴ درصد نیز به این سؤال پاسخی نداده‌اند. به‌خاطر اینکه توزیع جامعه مشخص نبود و متغیر ما شامل دو مقدار است، برای تحلیل از آزمون دو جمله‌ای استفاده گردید. بر اساس آزمون دو جمله‌ای که نتایج آن در جدول ۱۱ بازگو شده، نشان می‌دهد که سطح معناداری کوچک‌تر از آلفا ۰/۰۵ است. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که فرض H۱ مبنی بر تفاوت میان امتیاز مشاهدات (معادل ۰/۲۸) و نسبت مد نظر (معادل ۰/۵۰)، پذیرفته می‌شود و می‌توان گفت که امتیاز مشاهدات نسبت به ۰/۵۰ در سطح بسیار پایین‌تری قرار گرفته است. بنابراین، این گونه استنباط می‌گردد که تعداد افراد شرکت‌کننده در دوره‌های آموزشی مقابله با زلزله در قالب کارگاه‌های آموزشی برگزار شده از سوی نهادهای مختلف در منطقه‌ی مورد مطالعه، بسیار کم بوده و عامل مهمی در پایین بودن سطح مؤلفه‌ی مهارت مدیریت ریسک دارد.

همچنین یافته‌های حاصل از وضعیت شرکت سرپرست خانوار و اعضای آن در کارگاه‌های آموزشی و تعداد جلسات آموزشی مبین شرکت کم آن‌ها بوده است. در این راستا برای تحلیل بیشتر، وضعیت مهارت و آموزش نسبت به میانگین مطلوب مورد بررسی قرار گرفت. تصویر ۹ وضعیت مؤلفه‌ی مهارت و دانش را در منطقه‌ی مطالعاتی نسبت به حد مطلوب عدد ۲ نمایش می‌دهد، که بیانگر پایین بودن سطح هر دو مؤلفه نسبت به حد مطلوب

جدول ۱۱: وضعیت شرکت در دوره‌های آموزشی مقابله با زلزله a Based on Z [یافته‌های پژوهش]

وضعیت شرکت در دوره‌های آموزشی	فراوانی	درصد	مشاهدات	نسبت	سطح معنی‌داری
بلی	103	26.7	.28	.50	.000(a)
خیر	270	69.9	.72		
جمع	373	96.6	1.00		
بدون پاسخ	13	3.4			
جمع	386	100.0			



تصویر ۹: وضعیت مؤلفه‌های مبنایی مدیریت ریسک زلزله نسبت به حد مطلوب در بین خانوارهای نمونه

جدول ۱۲: برآورد معناداری سطح تحصیلات و مؤلفه‌های آموزش مدیریت بحران زلزله [یافته‌های تحقیق]

شرح		مؤلفه	
		خانوارها	مدیران محلی
تحصیلات	ضریب همبستگی پیرسن	.419(**)	.282(**)
	سطح معناداری	.000	.000
	جامعه	386	29

است، که این می‌تواند در نتیجه‌ی عدم شرکت در برنامه‌های آموزشی و یا آموزش‌های کم و یا ناکافی باشد.

یافته‌های تحقیق

نهایتاً، تحلیل روابط آماری میان سطح تحصیلات و مؤلفه‌ی مهارت در جدول ۱۲ بیانگر وجود رابطه‌ی معنادار میان سطح تحصیلات (متغیر مستقل) و مؤلفه‌های مهارت بوده است.

این رابطه که در سطح آلفا ۰/۰۵ برآورد شده، دارای شدت بسیار زیاد است. همچنین جهت این رابطه نیز مثبت شده که مبین وجود رابطه‌ی مستقیم ناقص است. لذا می‌توان پذیرفت با افزایش سطح تحصیلات خانوارها و مدیران روستایی، میزان مهارت آنان نیز افزایش می‌یابد.

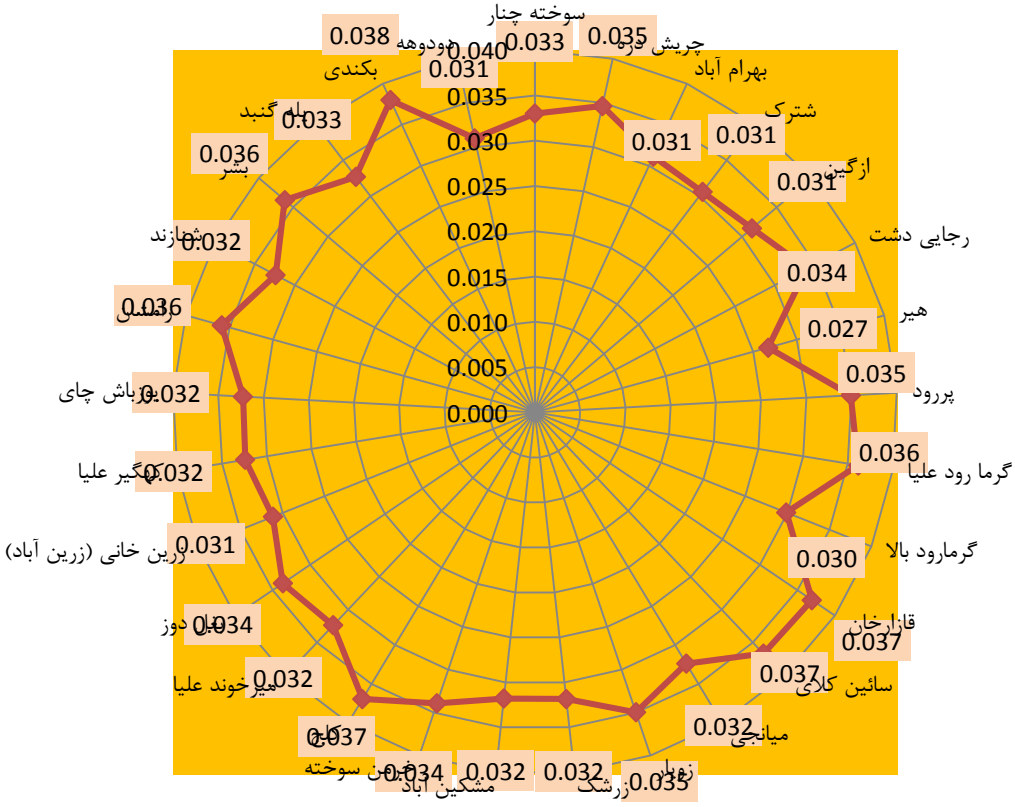
در نهایت برای شناخت سطح مؤلفه‌ی مهارت در روستاهای نمونه، با استفاده از آزمون تحلیل خوشه‌ای، تمامی روستاهای مورد مطالعه مطابق تصویر ۱۰ نسبت به همدیگر مقایسه و رتبه‌بندی شدند (لازم به یادآوری است که میانگین مؤلفه‌ها، مبنای اولویت‌بندی روستاها نسبت به هم بوده است).

بر اساس اطلاعات تصویر ۱۰، میزان مهارت جمعیت نمونه در روستای هیر، زرین خانی، کهگیر علیا و یوزباش چای پایین‌تر و در روستای بکندی، کلج و سائین کلای به ترتیب بالاتر از سایر روستاهاست.

کسب مهارت‌های مدیریت بحران، منجر به تبدیل شدن افراد به شهروندان مؤثر و کارآمد در مراحل مختلف بحران می‌گردد. بدیهی است که در هر جامعه‌ای، نظام اجتماعی باید از طریق آموزش‌های رسمی و غیر رسمی، مهارت‌های مدیریت بحران زلزله را به اعضای خود به‌خصوص به کودکان و نسل جوان آموزش دهد. بررسی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که مدارس، دانشگاه‌ها و رسانه‌ها نقش مؤثری در این زمینه می‌توانند داشته باشند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در جهان کنونی راه درست و مناسب مدیریت مخاطرات جلوگیری از وقوع آن‌ها و کاهش اثرات و پیامدهای آن‌ها به شیوه‌های مختلف ساختاری و غیر ساختاری، به‌ویژه تأکید بر مباحثی همچون مهارت زلزله است. همان‌طور که فرض تحقیق



تصویر ۱۰: میزان مهارت جمعیت نمونه در نقاط مختلف روستا

بر پایین بودن میزان مهارت جامعه‌ی محلی و روستاییان در مورد زلزله در بین جامعه‌ی نمونه تأکید داشت، نتایج تحقیق این فرض را به‌درستی اثبات نمود. درمجموع یافته‌های حاصل از تجمیع گویه‌های تبیین‌کننده‌ی میزان مهارت بیانگر وجود تفاوت معنادار میان میانگین مؤلفه‌ی مهارت و حد متوسط در سطح آلفا ۰/۰۵ بوده است. به‌عبارتی دیگر میزان مهارت ساکنان و مدیران محلی براساس گویه‌های تبیین‌کننده پایین‌تر از حد متوسط است. اما به تفکیک ابعاد تحلیل مؤلفه‌ی مهارت زلزله در بین مدیران محلی و سرپرستان خانوارها نشان داد که مهارت در بعد مهارت ارتباطی در نماگرهای سطح و میزان تعامل گروهی با نهادهای مرتبط (داخلی و بیرونی)، توانایی همدلی و همدردی با افراد آسیب‌دیده در سطح مناسب و بالاتر از حد متوسط گویه‌ها است اما میزان مهارت در بعد مهارت فنی و بازتوانی در اغلب نماگرها و گویه‌ها به‌ویژه در زمینه‌هایی همچون نحوه‌ی پیوند مناسب بین فونداسیون و دیوارهای ساختمان، فضای مناسب بین دیوارهای ساختمان، سردر مناسب، پاسخ‌گویی به نیازها در سطح پایین‌تری از حد متوسط قرار دارد. همچنین تحلیل داده‌ها نشان داد که بین مؤلفه‌ی مهارت و سطح تحصیلات و دانش ارتباط معناداری وجود دارد. همچنین مقایسه‌ی وضعیت مهارت در بین مدیران محلی و خانوارهای نمونه‌ی مورد بررسی نسبت به حد مطلوب عدد یک، بیانگر بالا بودن میزان جزئی سطح مؤلفه‌ی مهارت در اغلب نماگرها در بین مدیران محلی نسبت به خانوارهای نمونه است. و این هم متأثر از بالا بودن نسبی میزان سواد و آگاهی بیشتر مدیران محلی نسبت به جامعه‌ی محلی است. ذکر این نکته هم ضروری است که رابطه‌ی معناداری میان سطح تحصیلات و مؤلفه‌ی مهارت وجود دارد.

نهایتاً بر مبنای یافته‌های میدانی (دیدگاه خانوارهای نمونه) و تلفیق نظری تحقیق، برای افزایش انواع مهارت‌ها و کاهش آسیب‌پذیری روستاهای منطقه‌ی مطالعاتی در برابر ریسک زلزله، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود.

- ارتقای مهارت ارتباطی زلزله مرتبط با مدیریت بحران زلزله‌ی ساکنان از طریق برگزاری کارگاه‌های آموزش به‌منظور نحوه‌ی همدلی و همدردی با افراد آسیب‌دیده در سطح روستاها.
- ارتقای مهارت‌های بازتوانی در دو بعد سطح و میزان توانمندی پاسخ‌گویی به نیازها پس از زلزله (ارائه‌ی کمک‌های اولیه نظیر تزریقات، پانسمان، تنفس مصنوعی، شکسته‌بندی، احیای قلب، جابه‌جایی، انتقال مصدومان) و میزان توانایی مقابله با هیجان و استرس پس از زلزله (رفتن به زیر میز یا جاهای امن خانه، هجوم نبردن به راه‌های خروجی)
- حفظ و تقویت مهارت‌های ارتباطی در نماگرهایی همچون سطح و میزان تعامل گروهی با نهادهای مرتبط (داخلی و بیرونی)، توانایی همدلی و همدردی با افراد آسیب‌دیده و سطح و میزان تعامل گروهی.

پژوهش انجام شده سعی بر این داشت که مؤلفه‌ی مهارت را در چارچوب مدیریت ریسک زلزله در استان قزوین مورد بررسی قرار دهد. اما بررسی و مطالعه بر روی موضوعات زیر می‌تواند کمک مؤثری به روشن‌تر شدن سایر جنبه‌های ناشناخته‌ی این تحقیق نماید.

- سنجش دیگر مؤلفه‌های مبنایی مدیریت بحران زلزله همچون مشارکت، دانش، توانمندی نهادی و ... در ارتباط با زلزله و سایر مخاطرات طبیعی در بین دیگر عرصه‌های فضایی کشور و مقایسه‌ی تطبیقی به‌منظور استفاده از تجارب مثبت.
- مطالعه‌ی میزان مهارت مدیریت بحران مخاطرات در کشورهای توسعه یافته و مقایسه‌ی تطبیقی با یافته‌های حاصل از مطالعات انجام شده در کشور ایران به‌منظور استفاده از تجارب این دسته از کشورها و ارائه‌ی راهکارهای لازم برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر ریسک مخاطرات طبیعی (زلزله).

پی‌نوشت

1 Botvin,G.J., Kantor.L.W
2 Matson, J.L.
3 Hollinger, G.D.
4 Jigaso
5 Sahu K, Misra N.
6 Hobfoll S.
7. Technical Skill
8. Belzer

منابع

۱. بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (۱۳۷۵). تحلیل و برنامه‌ریزی فضایی- مکانی سکونتگاه‌ها برای کاهش خطر زلزله، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی،۴۰-۹۰.

۲. مؤید نژاد، حمزه؛ عبدل نیا، حمزه؛ مؤید نژاد، محسن (۱۳۸۵). ارزیابی آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده و رهیافت‌هایی برای ایجاد دگرگونی در روند مقاوم‌سازی کشور. *دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی کشور*، ۵.

3. Faizian.M& H.R.Schalche (2006). Consequence Assessment in Earthquake Risk Management Using Damage Indicators. Federal Institute of Technology, ETH-Hönggerberg, CH-8093, Switzerland.

۴. سازمان زمین‌شناسی، اداره کل زمین‌شناسی و اکتشافات منطقه‌ی شمال شرق. http://www.gsinet.ir/Projects

۵. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی (۱۳۹۵). بخش جستجوی زمین‌لرزه‌ها، http://www.iiees.ac.ir

6. Ghafory-Ashtyani, Mohsen (2005). Earthquake Risk Management Strategis: The Iranian Experience, IIEES,1-120

۷. مرکز آمار ایران (۱۳۹۰). سرشماری عمومی نفوس و مسکن شهرستان‌های قزوین. بوئین‌زهرا، تاکستان، آبیک، البرز.

۸. بربریان و دیگران (۱۳۷۱). پژوهش و بررسی نو زمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه در گستره قزوین بزرگ و پیرامون. گزارش شماره ۶۱ : سازمان زمین‌شناسی کشور.

۹. عبدالله زاده، شهرام و دیگران (۱۳۹۶). سنجش و ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی جهت مقابله با بحران‌های طبیعی؛ مطالعه‌ی موردی: زلزله در محلات تاریخی شهر اردبیل. *مجله‌ی مدیریت شهری*، شماره‌ی ۴۸، ۲۶۳ –۲۸۰.

10. Alshehri,S.A,Rezgui.Y&Lih(2015) .Disaster community resilience assessment method : a consensus_ based Dephi and AHP approach Natural Hazds. doi/1001007: s11069-015

۱۱. شاهمرادی،بهروز؛ چینی‌فروشان، پیام (۱۳۹۶). سنجش دانش و مهارت با تکیه بر رویکرد پیچیدگی اقتصادی، *مجله رهیافت*. تهران، شماره‌ی ۶۷، ۳۳- ۶۷.

۱۲. امیری برمکوهی، علی (۱۳۸۸). آموزش مهارت‌های زندگی برای کاهش افسردگی. *فصلنامه روانشناسی ایرانی*، سال پنجم، شماره‌ی ۲۰، تهران، ۳۰۷ - ۲۹۷.

۱۳. حسین چناری، مسعود؛ فداکار، محمدمهدی (۱۳۸۴). بررسی تأثیر دانشگاه بر مهارت‌های ارتباطی بر اساس مقایسه‌ی دانش‌آموزان و دانشجویان. *دو فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه شاهد*، شماره‌ی ۱۲، تهران، ۱ - ۱۲.

۱۴. مژده، وزیری؛ جهانی، شیدا (۱۳۹۵). مهارت‌های شهروندی مورد نیاز دانش‌آموزان دبستان‌های شهرستان زلزله‌زده‌ی بم. *فصلنامه نوآوری‌های آموزشی*، سال پنجم، شماره‌ی ۱۷، تهران، ۱- ۲۰.

۱۵. داوودی، معصومه (۱۳۸۲). بررسی مهارت‌های زندگی در دانش‌آموزان دبستان‌های شهر تهران از دیدگاه متخصصان و برنامه‌ریزان درسی، معلمان و دانش‌آموزان. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

۱۶. عسگری، علی (۱۳۸۵). در جستجوی اصول مدیریت و برنامه‌ریزی بحران. *دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت بحران*، تهران.

17. Hidalgo, C. (2015). Why information grows: The evolution of order, from atoms to economies, Basic Books.

۱۸. پریشان، مجید؛ پور طاهری، مهدی؛ افتخاری، عبدالرضا؛ عسگری، علی (۱۳۹۰). سنجش و ارزیابی مؤلفه‌های مبنایی ریسک زلزله (مطالعه‌ی موردی: مناطق روستایی شهرستان قزوین). *پژوهش‌های روستایی*، شماره‌ی یکم، ۱۱۵- ۱۵۰.

19. Jigyasu, Rohit (2002). Reducing Disaster Vulnerability Trough Local Knowledge and Capacity The case of Earthquake Prone Rural Communities in India And Nepal, Hans C. Bjonness, Faculty Of Architecture and Fine art, Department of Town and Regional Planning.

20. Hollinger, G.D. (1987). Social Skills for behaviorally disordered children as perception for mainstreaming therapy, practice and new direction, *Remedial and Special Education*, 8.17-27.

۲۱. یوسفی، فریده؛ خیر، محمد (۱۳۸۱). بررسی پایایی و روایی مقیاس سنجش مهارت‌های اجتماعی ماتسون و مقایسه‌ی عملکرد دختران و پسران دبیرستانی در این مقیاس. دانشگاه شیراز، *مجله علوم اجتماعی و انسانی*، دوره‌ی هیجدهم، شماره‌ی دوم، پیاپی ۳۶، ۱۴۷-۱۵۸.

22. Queendom. (2004). Communicational Skills Test-Revised, http:// www. Quondam .Com/cgi/tests/ transfer.cgi.

23. Sahu K, Misra N. (1995). Life stress and coping styles in teachers. *Journal of Psychological Studies,* 40(3), 445-56.

24. Nezu AM. (1990). Effect of stress from current problem: comparison major life events. *Journal of Psychology*, 42: 847-54.

25. Moss RHR, Billings, AC. (1982). Conceptualizing

and measuring coping resources and processes in: Gold Berger LF, Breznits S. Hand book of stress: theoretical and climbable aspects. A free press division of McMillan, Inc, pp (20-70).

۲۶. خویی نژاد، غلامرضا (۱۳۷۷). *زمینه‌ی روانشناسی تندرستی*. نویسنده رابرت جی گاچل، آندره بام، مشهد: آستان قدس رضوی.

۲۷. قماشچی، فردوس (۱۳۸۷). بررسی نقش آموزش‌های حل مسئله در بهبود بیماران مبتلا به اختلال استرس پس از ضربه (PTSD) ناشی از زلزله‌ی بم با تأکید بر جنسیت. *مجله علمی پژوهشی دانشگاه پزشکی اردبیل*، دوره هشتم، شماره‌ی سوم، ۲۹۴ –۳۰۰.

28. Hobfoll S. The ecology of stress. A member of the Taylor and Francis group. Pub S, Kitty K, Lam.D. The relationship between daily stress and health. 1998; 8(5): 329-44.

29. Belzer,k.(2012). Project management still more art than science. *Journal of Knowledge Management,* Sep 7(3), 51-60.

30. Ong AD, Zautra AJ, Reid MC. (2010), Psychological resilience predicts decreases in pain catastrophizing through positive emotions. Phsychol 2010 sep, 25(3): 23-516

31. Pulvers K, Hood, A (2013). The roli of positive traits and pain catastrophizing in pain perception. *Cur Pain Hedache*. Sep 17(5):330.

32. UN. (2005), Living With Risk Focus on risk reduction, United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction (UN/ISDR)-P16.