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: دکتر قربانی

مدیر داخلی: آسیه ملکی، مهندس وحید پورقهرمان

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر علیرضا آزموده اردلان	استاد دانشگاه تهران
دکتر محمدرضا ثروتی	استاد دانشگاه شهید بهشتی
دکتر جمشید صالحی صدقیانی	استاد دانشگاه علامه 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	استاد 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: مهدی یوسفی، آسیه ملکی، مهندس وحید پورقهرمان، زهره سادات میرحسینی

طراح گرافیک (لوگو، جلد و گرید): اکرم برزگر بفروئی

ویراستار فارسی: آرش صالحی

ویراستار انگلیسی: آرش صالحی

شمارگان: چاپ الکترونیکی

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: ۰۹۹۲۵۰۱۴۶۱۴-۲۲۹۵۱۱۳۰

وبگاه: www.joem.ir

رایانامه: bohran.jeom@gmail.com

داورهای این شماره:

حسن آقابراتی | محمد اسکندری | ژیلا حسینی نژاد| رضا حسنوی | مسعود دارابی | محمدیاسر رادان | فیروز رنجبر | سهیل رمضانی| محمدرضا زاهدی | مجتبی عراقی زاده | مرتضی فیروزی | علی قنبری نصب | شهاب قهرمان | مهدی کریاسیان | مهناز میرزا ابراهیم طهرانی | محمد علی نکوئی| مهدی نوری | سید حسین میرزینعلی یزدی| محمد یزدانی نسب

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 ـــــ بررسی پیکربندی فضاهای کارا با رویکرد تخلیه ایمن ساختمان در هنگام حادثه (مطالعه موردی: خوابگاه دانشجویی)
محمدتقی نظرپور، علی خاکی، پیمان بهرامی دوست، احمد حیدری

۱۹ ـــــ نقد و اصلاح طرح به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت در ساخت ساختمان‌های شهری با رویکرد مدیریت بحران مطالعه موردی: شهر قزوین
محمدمهدی اهوازی، رضا فرخ‌زاد، پوریا رشون‌د

۳۱ ـــــ توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها با تأکید بر تأسیسات و زیرساخت‌های شهری مطالعه موردی: کلان‌شهر مشهد
محمدعلی جربان، سعید امینی ورکی، امیرشکیبامنش

۴۷ ـــــ شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در دهستان ژاورود بر اساس مدل تلفیقی فازی و فرایند تحلیل شبکه
جواد جمال‌آبادی، فرحناز صفری، علی برآبادی، مریم آل محمد

۵۷ ـــــ ظرفیت‌سازی جوامع محلی در مدیریت بحران اجتماع‌محور: بررسی نقش عوامل فرهنگی
اسما صالحی نودز، نورمحمد یعقوبی، عالمه کیخا

۷۱ ـــــ مدل‌سازی هم‌جواری کاربری‌های پرخطر بر اساس ارزیابی شاخص تهدید مطالعه موردی: پمپ‌بنزین‌های ناحیه ۳ منطقه ۷ شهر تهران
علی قنبری نسب، مهدی مدیری، مرضیه مشهدی، ابراهیم هاشمی فسایی، میعاد یاری

۸۵ ـــــ ارائه مدل ریاضی به‌منظور طراحی شبکه سلسله مراتبی تسهیلات اضطراری موقت در شرایط بحران
مطالعه‌ی موردی: بیمارستان صحرایی
سوگل موسوی، سید مجتبی سجادی، اکبر عالم تبریز، سید اسماعیل نجفی

۹۹ ـــــ مدل‌سازی ریاضی استوار برای مسئله مکان‌یابی-مسیریابی-موجودی چندهدفه در شرایط وقوع بحران با درنظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و قابلیت اطمینان تسهیلات
علی اکبر عشقی، رضا توکلی مقدم، سعدالله ابراهیم نژاد، وحیدرضا قضاوتی

۱۱۷ ـــــ شناسایی عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار در صنعت پتروشیمی: رویکردی تحلیل عاملی
سید علی هادوی، حسین بختیاری، سید علی ترابی

۱۳۱ ـــــ مکان‌یابی مراکز توزیع و مسیریابی حمل‌ونقل در شرایط بحران با استفاده از برنامه‌ریزی دومرحله‌ای
محبوبه ایزدی، پروانه سموئی

۱۴۱ ـــــ نقش تنوع منابع درآمدی بر آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی در معرض خشک‌سالی مطالعه موردی: شهرستان چناران
مریم قاسمی، نرگس حاجیان

۱۵۷ ـــــ بررسی اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان
رؤیا احمدیوسفی، شهلا چوبچیان، محمد چیذری

بررسی پیکربندی فضاهای کارا با رویکرد تخلیه ایمن ساختمان در هنگام حادثه
(مطالعه موردی: خوابگاه دانشجویی)

محمدتقی نظرپور*: استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، Email:iran-m_nazarpour@sbu.ac.ir
علی خاکی: استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و حرفه‌ای انقلاب اسلامی، تهران، ایران
پیمان بهرامی دوست: کارشناس ارشد مهندسی معماری، دانشگاه شهید رجایی، تهران
احمد حیدری: کارشناس ارشد مهندسی معماری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۳
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۹

چکیده

در سال‌های اخیر گسترش مراکز آموزش عالی و دانشگاه‌ها، رشد روزافزون تعداد دانشجویان و خوابگاه‌های دانشجویی را به دنبال داشته است. با توجه به تعداد زیاد دانشجویان در خوابگاه آتش‌سوزی و حادثه در این محیط‌ها به‌عنوان یک تهدید جدی به شمار می‌رود. در همین راستا اقدامات متعددی جهت محدودسازی و کاهش آسیب در محیط‌های خوابگاهی هنگام حادثه انجام‌شده که اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای را شامل می‌گردد. این اقدامات در ابتدا ایمنی را فراهم نموده و سپس پتانسیل محیطی را جهت تخلیه‌ی سریع (روز هنگام حادثه) ارتقا می‌دهد. لذا پژوهش‌های متعددی با شبیه‌سازی تخلیه‌ی اضطراری بر کاهش مدت‌زمان تخلیه متمرکزشده‌اند. بدین منظور در این مقاله شبیه‌سازی تخلیه انسانی در خوابگاه دانشجویی بلوک ۱ دختران دانشگاه شهید بهشتی (با شبیه‌سازی ۱۷۸ دانشجو) هنگام حادثه در نرم‌افزار Pathfinder صورت پذیرفت. همچنین تحلیل عمق فیزیکی و عمق بصری با مبنا قرار دادن ورودی با نرم‌افزار Depth map جهت کاهش سلسله‌مراتب فضایی و دسترسی سریع‌تر، مورد سنجش قرار داده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بهینه‌سازی مقدماتی خوابگاه با مبلمان و تجهیزات (اقدامات غیر سازه‌ای) شرط لازم برای ایمن‌سازی خوابگاه جهت تخلیه بوده، اما با توجه به تأثیر ناچیز آن در مدت‌زمان تخلیه (از ۲۲۳٫۷ ثانیه به ۲۱۹٫۸ ثانیه)، کافی نیست. ازاین‌رو بعد از بهینه‌سازی با مبلمان و تجهیزات، خوابگاه با دو روش بهینه‌سازی با مداخله‌ی سازه‌ای (احداث پله‌ی اضطراری با دو درب خروج) و کاهش جمعیت استفاده‌کنندگان نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. درروش اول با مداخله‌ی سازه‌ای، مدت‌زمان تخلیه از ۲۱۹٫۸ ثانیه به ۱۵۰٫۵ ثانیه کاهش یافت و در روش دوم نیز با کاهش جمعیت استفاده‌کنندگان در طبقات دوم و سوم از ۴ نفر به ۳ نفر، زمان تخلیه از ۲۱۹٫۸ ثانیه به ۱۷۸٫۸ ثانیه- کاسته شد که به‌عنوان روشی کم‌هزینه‌تر پیشنهاد گردید. در پایان نیز روشی جهت کارا نمودن ساختمان خوابگاه با توجه به پیکربندی فضایی جهت تخلیه اضطراری ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: *پیکربندی فضایی، تخلیه‌ی ایمن، حادثه در ساختمان، آتش‌سوزی، خوابگاه دانشجویی*

Investigating the configuration of efficient spaces with the safe evacuation approach of the building during the accident
Case Study: Student Dormitory

Mohammad Taghi Nazarpour*[1], Ali Khaki[2], Peyman BahramiDoost[3], Ahmad heidari[4]

Abstract

In recent years, the expansion of higher education centers and universities has led to a growing number of students and student dormitories. Due to the large number of students in the dormitories, fires and accidents in these areas are considered as a serious threat. In this regard several measures have been taken to limit and reduce injury in dormitories in the event of an accident involving both structural and non-structural measures. These measures first provide safety and then enhance the environmental potential for rapid evacuation (i+n the event of an accident). Therefore, several studies have focused on reducing evacuation duration by simulating emergency evacuation. For this purpose, this paper simulates the human evacuation in the student dormitory of Block 1 of Shahid Beheshti University (with 178 students simulated) during the accident in Pathfinder software. In addition, physical depth and visual depth were analyzed by input-based Depth map software to reduce spatial hierarchy and faster access. The simulation results showed that preliminary optimization of the dormitory with furniture and equipment (non-structural measures) was a prerequisite for dormitory immunization to be evacuated, but due to its negligible effect on evacuation time (from 223.7 seconds to 219.8 seconds) it is not enough. Therefore, after optimization with furniture and equipment, the dormitory was evaluated with two methods of structural intervention (construction of emergency stairs with two exit doors) and reduction of the population of users. In the first method, with the structural intervention, the evacuation time was reduced from 219.8 seconds to 150.5 seconds, and in the second method by reducing the population of users in the end of second and third floors from 4 to 3 persons, evacuation time decreased from 219.8 seconds to 178.8 seconds which was suggested as a less expensive method. In the end, a method was proposed to make the dormitory work efficient with respect to the spatial configuration for emergency evacuation.

Keywords: *Spatial configuration, safe evacuation, accident in building, fire, student dormitory*

1 Assistant Professor of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, ShahidBeheshti University, Tehran
2 Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Enghelab-e Eslami Technical College, Tehran, Iran
3 Assistant Professor of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, ShahidBeheshti University, Tehran
4 Master of Architecture Engineering, Faculty of Architecture and Urban Planning, ShahidBeheshti University, Tehran

مقدمه

یکی از مهم‌ترین وظایف در طراحی سامانه‌های حفاظت آتش‌نشانی، تخلیه است. این موضوع به‌خصوص برای ساختمان‌های مسکونی و سایر ساختمان‌ها با تعداد بالای سکنه، مانند مدارس، بیمارستان‌ها، هتل‌ها و خوابگاه‌ها بیشتر اهمیت دارد [۱]. در این میان خوابگاه‌های دانشجویی هم محل استراحت و هم محل زندگی دانشجویان به شمار می‌رود و معمولاً با توجه به تعداد زیاد افراد و فضاهای کوچک قابل‌استفاده، دارای تراکم بالای استفاده‌کنندگان هستند [۲]. این تراکم زیاد، هنگام بروز حوادثی مانند آتش‌سوزی، زلزله و ... مشکلات فراوانی را ایجاد نموده که تخلیه افراد از ساختمان حادثه‌دیده یکی از مهم‌ترین آن‌ها است. ازاین‌رو پژوهش‌های متعددی به تخلیه ایمن دانشجویان از محیط خوابگاهی متمرکزشده‌اند [۳،۲]. به همین جهت اقداماتی برای محدودسازی آثار ناگوار مخاطرات طبیعی یا غیرطبیعی و کاهش آسیب‌های ناشی از آن انجام می‌شود که به اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای تقسیم می‌شود. پژوهش‌های متعددی با اقدامات غیر سازه‌ای جهت کاهش آسیب در محیط خوابگاه انجام شده است [۴]. لذا در این پژوهش ابتدا ساختمان خوابگاه بلوک [۱] خواهران در دانشگاه شهید بهشتی با اقدامات غیر سازه‌ای جهت تخلیه اضطراری ایمن شده و سپس مدت‌زمان لازم جهت تخلیه در نرم‌افزار پث‌فایندر به‌دست‌آمده و نتایج در هر دو حالت مقایسه شده است. در گام بعد، با انجام مداخلات سازه‌ای (احداث پله اضطراری و درب خروجی دیگر) مدت‌زمان تخلیه در این حالت نیز به دست آمد. همچنین در روشی جدید، با کاهش جمعیت استفاده‌کنندگان به‌ویژه در طبقات فوقانی، مدت‌زمان تخلیه در این حالت نیز حاصل آمده و با سایر نتایج مقایسه شده است. در پایان نیز روشی جهت کارا نمودن ساختمان خوابگاه جهت تخلیه اضطراری ارائه شده است. به‌طورکلی این پژوهش درصدد پاسخگویی به این سؤال است که اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای با توجه به پیکربندی فضای ساختمان‌ها تا چه میزان در کاهش مدت‌زمان تخلیه اضطراری مؤثر بوده و مفیدترین راهکارها جهت تخلیه ایمن خوابگاه هنگام حریق کدام‌اند؟

۱ - مبانی نظری

تخلیه اضطراری

تخلیه اضطراری به حرکت شتابان و اضطراری افراد از محل‌های خطرناک که به علت تهدید و یا وقوع یک حادثه فاجعه‌آمیز مانند آتش‌سوزی، زلزله، بمباران و ... صورت پذیرفته است [۵]. برخی از حوادث طبیعی و غیرطبیعی شرایطی را به وجود می‌آورند که بعضاً تخلیه اضطراری یک منطقه را اجتناب‌ناپذیر می‌سازند [۶]. درهرصورت، رسیدن سریع به محل امن اولین اولویت در مسئله تخلیه اضطراری است [۷].

شبیه‌سازی تخلیه ایمن کاربران در نرم‌افزار پث‌فایندر:

با توجه به آن‌که مؤسسه ملی استاندارد و فناوری[۱] نرم‌افزار شبیه‌ساز پویایی آتش[۲] را در فوریه ۲۰۰۰ منتشر کرد، شبیه‌سازی عددی کامپیوتری تبدیل به روش اصلی جهت استفاده محققان در مطالعه انواع فرایندهای آتش‌سوزی و تخلیه اضطراری در فضای داخلی و خارجی ساختمان‌ها شده است [۱۰،۸،۹،۲]. ازاین‌رو، چی[۳] (۲۰۱۴) خطرات آتش‌سوزی و طرح‌های تخلیه ایمن کارکنان را در هتلی در تایپه بررسی نمود [۱۱] و گلازاو همکاران[۴] (۲۰۱۳) نیز به مدل‌سازی آتش‌سوزی در سینما پرداخته و نشان دادند که خطرناک‌ترین مکان درسالن سینما در قسمت اول و سمت چپ (در طول دقایق ابتدایی آتش‌سوزی) بوده و سقف منحنی برای تماشاگران خطرناک‌تر است [۱۲]. برای مطالعه بر روی تخلیه اضطراری افراد در هنگام آتش‌سوزی و حادثه نیز، موسسه ملی استاندارد و فناوری یک نرم‌افزار شبیه‌ساز را به نام پث‌فایندر برای شبیه‌سازی حرکت کارکنان توسعه داد. بسیاری از نتایج مهم در پژوهش‌ها با استفاده از شبیه‌سازی این نرم‌افزار به‌دست‌آمده است. در همین راستا Bao (۲۰۱۱) به بررسی تخلیه ایمن در سالن‌های مهمانی بزرگ زیرزمینی پرداخت [۱۳]. پاپاکونستانتینو[۵] در فضاهای بزرگ معماری شهری نیز با استفاده از این نرم‌افزار به بررسی تخلیه افراد در مترو پرداخت [۱۴]. فَنگ و همکاران[۶] (۲۰۱۳) نیز اثرات طراحی پله‌ها را بر تخلیه افراد در طراحی پروژه‌های معماری با استفاده از شبیه‌سازی عددی Pathfinder ارائه نمودند [۱۵]. ژاوو و سانگ[۷] به تحقیق در مورد شبیه‌سازی تخلیه ایمن ساختمان‌های خوابگاه دانشجویی بر اساس نرم‌افزار Pathfinder پرداخته و نشان دادند که زمان تخلیه با تعداد خروجی‌های تخلیه در یک رابطه خطی مطابقت دارند [۱۶].

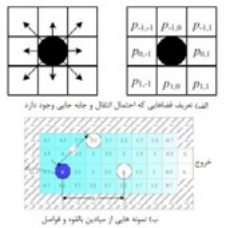
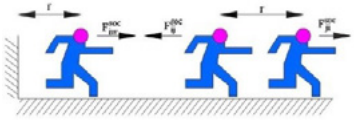
لانگ[۸] و همکاران نیز (۲۰۱۷) با شبیه‌سازی خوابگاه دانشجویی در نرم‌افزار Pathfinder نشان دادند که بهترین مدت‌زمان جهت تخلیه تمام افراد از ساختمان ۱۶۴/۸ ثانیه است. همچنین برای ایجاد امنیت جهت تخلیه دانشجویان، عرض درب خروجی نباید کمتر از ۳ متر و عرض پله نباید کمتر از ۱/۷۵ متر باشد [۳]. شکل ۱ خوابگاه موردمطالعه که در نرم‌افزار شبیه‌سازی‌شده است را نشان می‌دهد. بشیری و خواجه‌ای نقشه‌های تخلیه‌ی اضطراری و اقدامات پیشگیرانه را جهت کاهش آسیب‌پذیری اجزای غیر سازه‌ای (مانند مبلمان داخلی، اسباب، اثاثیه و جداکننده‌های داخلی و سطوح خارجی و الحاقات نما) ارائه نمودند [۴]. فلاحی نیز با اقدامات غیر سازه‌ای، در پژوهش خود نشان داد که چیدمان مبلمان در مسیرهای حرکتی دانشجویان[۹]، موجب تغییر در عرض راهروها شده و حرکت دانشجویان را هنگام خروج مختل نموده است. این امر منجر به افزایش تلفات دانشجویان خوابگاه هنگام حادثه می‌شود [۱۷]. با توجه به آن‌که در پژوهش‌های ذکر شده تنها به ارزیابی محیط کالبدی پرداخته و جنبه‌های بهینه‌سازی محیط با انواع اقدامات ایمن‌سازی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، ازاین‌رو این پژوهش با استفاده از انواع اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای سعی بر بررسی کاهش زمان خروج کاربران در هنگام حادثه نموده است.

شبیه‌سازی حرکت افراد و پیکربندی فضایی

روش‌های شبیه‌سازی حرکت پیاده را می‌توان در سه دسته تقسیم‌بندی نمود که عبارت‌اند از: اتوماتای[۱۰] سلولی، نیروی اجتماعی و مدل‌های عامل مبنا [۱۸]. در اتوماتای سلولی فضای

شکل ۱. خوابگاه بلوک ۱ دخترانه شهید بهشتی، شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار پث‌فایندر

جدول ۱. انواع روش‌های شبیه‌سازی حرکت پیاده

	روش شبیه‌سازی اتوماتای سلولی	روش شبیه‌سازی عامل مبنا	روش شبیه‌سازی نیروی اجتماعی
شمایل			
	نحوه جهت‌گیری و حرکت در شبیه‌سازی اتوماتای سلولی	شبیه‌سازی عامل در نرم‌افزار FDS+Evac و نرم‌افزار Pathfinder (نگارندگان)	اصطلاح نیروی اجتماعی با استفاده از روش گروه هلبینگ[۱۲]
منبع	[۲۷]	کورهونن [۲۳]، به نقل از؛ گری گوراس [۲۶]	[۲۵،۲۴]

حرکت پیاده به شکل شبکه‌ای از سلول‌هایی با ابعاد مشخص است (۴۰×۴۰ سانتی‌متر بوده و می‌تواند بسته به شرایط پُر یا خالی باشد). هر پیاده می‌تواند از سلول خود به یکی از سلول‌های مجاور بر اساس، جهت مطلوب حرکت، وضعیت موانع و حرکت سایر افراد جابه‌جا شود. این مدل در دو وضعیت عادی و بحرانی (تخلیه اضطراری جمعیت) قابل استفاده است [۱۹].

عابران با توجه به قواعد رفتاری خاص از مبدأ به سمت اهداف حرکت کرده و هر سلول تنها می‌تواند توسط یک عابر یا یک مانع و یا یک مقصد اشغال شود [۲۰]. از این روش دائولیانگ و همکاران[۱۱] (۲۰۰۶) برای مطالعه تخلیه اضطراری استفاده نموده و نشان دادند که در فضاهای دارای دو درب خروجی حالت بهینه جهت تخلیه زمانی رخ می‌دهد که خروجی‌ها در پلان متقارن بوده و فاصله بین آن دو خیلی کم یا خیلی زیاد نباشد. همچنین متوسط مقدار جریان عبوری از یک در خروجی تابعی غیرخطی از عرض خروجی درب با شیب کاهنده است [۲۱] از روش عامل مبنا[۱۲] برای تحلیل موقعیت‌های رفتار رقابتی، رفتار صف‌بندی و رفتار توده‌وار (شبیه زمان تخلیه اضطراری) قابل‌استفاده می‌باشد. این روش در گام اول مبادی و مقاصد تعیین‌شده و با توجه به مسیرهای عبوری موجود و موقعیت خروجی‌ها، مشاع حرکتی به سمت هر مقصد مشخص می‌شود. سپس فضاها با توجه به همگنی (از منظر عملکرد معماری) تقسیم‌بندی شده و برای هر قسمت ظرفیتی معادل تعداد بیشینه افرادی که هم‌زمان در آن فضا قرار می‌گیرند، در نظر گرفته می‌شود [۲۲]. هنگام تخلیه اضطراری، بیشترین تراکم نفرات و به عبارتی بیشترین ظرفیت ممکن لحاظ می‌گردد. روش گروه هلبینگ[۱۳] به‌عنوان نقطه شروع الگوریتم حرکتی عامل FDS+Evac استفاده شد که در آن به‌اصطلاح از «نیروی اجتماعی» برای حفظ فاصله معقول عامل نسبت به دیوارها و سایر عوامل دیگر به‌کار رفته است. در این روش، هر عامل زیر معادله حرکت خود را دنبال می‌کند. این روش، هر یک از عوامل را به‌عنوان ترکیبی از سه حلقه در حال حرکت دریک پلان دوبعدی بررسی می‌نماید و به‌طور پیش‌فرض، سرعت، حرکت پیوسته و ابعاد مختلف عامل را از پیش تعیین نموده که در نرم‌افزار شبیه‌ساز به کار می‌بندد [۲۳].

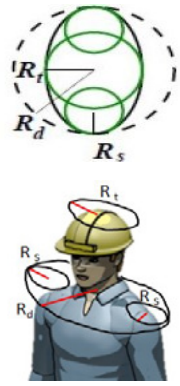
تمام مدل‌های تخلیه به اطلاعات در مورد ویژگی‌های ساکنین، اقدامات آن‌ها در طول تخلیه، تأخیری که ممکن است رخ دهد و سرعت حرکت انواع مختلف ساکنین نیاز دارند. جدول۲ سرعت و ابعاد مختلف عامل شبیه‌سازی شده را در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نشان می‌دهد.

نحوهٔ پیکربندی فضایی در ایجاد تردد عبوری (حرکت طبیعی) بسیار اهمیت دارد، زیرا نحوهٔ چیدمان فضا ساختار تردد را شکل می‌دهد [۳۰]. به عبارتی پیکربندی فضایی در شکل‌گیری الگوهای رفتاری، مانند الگوی حرکتی تأثیرگذار است. لذا در این پژوهش، با توجه به نقش پراهمیت پیکربندی فضایی در الگوهای حرکتی و جهت‌گیری ساکنین در فضا جهت تخلیه اضطراری، از نرم‌افزار تخصصی نحو فضا[۱۴] استفاده شد. ازاین‌جهت در تحلیل ترتیب فضایی و سلسله‌بندی فضا نیز مفهوم عمق بیشتر از مفهوم

جدول ۲. ابعاد و استانداردهای بدن افراد جهت شبیه‌ساز تخلیه در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز تخلیه [۲۹]

سمت راست: شکل هندسی بدن انسان، شکل بدن انسان تقریباً ترکیبی از سه حلقه همپوشانی شده است [۲۶]

نوع بدن کاربر	Rd	R_d/R_s	Rd/ds	Rd/Rt	سرعت پیاده‌روی
	برحسب متر (m)	بدون واحد (-)	بدون واحد (-)	بدون واحد (-)	متر بر ثانیه (m/s)
کودکان	۰/۲۱۰±۰/۰۱۵	۰/۳۳۳۳	۰/٦٦٦٧	./٥٧١٤	۰/۹۰±۰/۳۰
بزرگ‌سالان	۰/۲۵۵±۰/۰۳۵	۰/۳۷۲۵	۰/٦۲۷۵	۰/٥٨٨۲	۱/۲۵±۰/۳۰
آقایان	۰/۲۷۰±۰/۰۲۰	۰/۳۷۰٤	۰/٦۲۹٦	۰/٥۹۲٦	۱/۳۵±۰/۲۰
خانم‌ها	۰/۲٤۰±۰/۰۲۰	۰/۳۷۵۰	۰/٦۲۵۰	۰/٥٨۳۳	۱/۱۵±۰/۲۰
سالخوردگان	۰/۲۵۰±۰/۰۲۰	۰/۳٦۰۰	۰/٦٤۰۰	۰/٦۰۰۰	۰/۸۰±۰/۳۰



R_s شعاع دایره‌ای شانه کاربر Rd شعاع عرض بدن کاربر R_t شعاع سر کاربر ds=Rd-Rs

فاصله مصداق پیدا می‌کند. تحلیل عمق بصری (Step depth) و عمق متریک (Metric step) پژوهشگران را در عرصه بندی بصری و فیزیکی در فضاهای معماری مختلف یاری رسانده است [۳۱]. لذا جهت بررسی پیکربندی فضایی مناسب جهت تخلیه اضطراری با مبنا قرار دادن فضای ورودی، به تحلیل هر یک از پلان‌ها اقدام شد.

عمق[۱۵]: به‌منظور بررسی دسترسی فیزیکی بین دو فضا از شاخصه‌ی عمق استفاده می‌شود. از عمق به‌عنوان تعداد قدم‌هایی که برای گذر از یک نقطه به نقاط دیگر باید طی شود. به عبارتی، عمق به تعداد فضاهایی گفته می‌شود که از آن عبور کرده تابه فضای موردنظر برسیم [۳۲]. هر چه میزان عمق بیشتر باشد، فضا دارای سلسله‌مراتب فضایی بیشتری بوده و مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد تا به آن فضا دست پیدا نمود.

عمق بصری[۱۶]: عمق بصری، مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد تا به آن فضا دست پیدا نمود. عمق بصری در تعیین نحوه حرکت فرد در محیط ساختمان مفید است [۳۳] به این صورت که هر چه عمق بصری بیشتر شود، فضا کمتر در معرض دید بوده و شانس کمتری را جهت انتخاب به‌عنوان مسیر دسترسی دارا می‌باشد [۳۴]. در عمق بصری، به این دلیل که از ویژگی‌های بینایی هنگام پیمایش در محیط استفاده می‌شود، درنتیجه فضاهایی را که ازنظر فیزیکی قابل‌دسترس نبوده اما از طریق چشم قابل‌تشخیص هستند را شامل شده لذا محدوده‌ی دسترسی بصری از دسترسی فیزیکی بیشتر است؛ لذا محدوده دسترسی بصری از دسترسی فیزیکی بیشتر است [۳۵]. بیشتر بودن مقدار عددی عمق بصری در هر فضا، حاکی از تشخیص سریع‌تر و جهت‌گیری بهتر است.

عمق متریک[۱۷]: عمق متریک (عمق قابل پیمایش) به معنی بررسی بخشی از محیط بوده که به‌وسیله حرکت در فضا برای افراد قابل پیمایش بوده و با مبنا قرار دادن هر قسمت از محیط قابل‌سنجش است. هرچه فضا عمیق‌تر شود میزان مسافت لازم برای پیمایش توسط کاربر افزایش خواهد یافت [۳۶]. با توجه به اهمیت زمان در تخلیه اضطراری، هرچه عمق متریک فضا کمتر شود، میزان راندمان عملکردی در رابطه با شاخص عمق افزایش خواهد یافت.

۱-۳ مباحث و مقررات مربوط به حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق:

جهت ارتقای سطح ایمنی ساختمان‌ها و پیشگیری از آتش‌سوزی در ایران نیز ضوابطی توسط سازمان‌های ذی‌ربط تبیین شده است. این ضوابط و مقررات عبارت‌اند از: حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق [۳۷]، راهنمای مبحث سوم حفاظت ساختمان‌ها

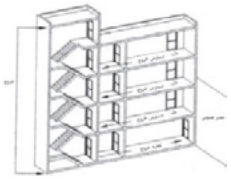
در برابر حریق [۳۸]، آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش [۳۹]، راهنمای آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر حریق [۴۰]. جدول ۳ به مقایسه‌ی بین وضعیت خوابگاه دانشجویی موردمطالعه با ضوابط و مقررات مربوط به حفاظت خوابگاه‌ها در برابر حریق پرداخته است.

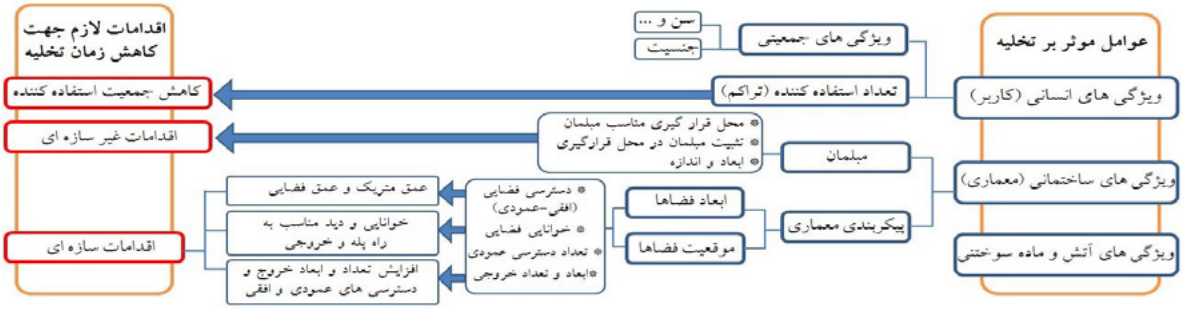
میر سعیدی و شمس درجه عملکرد پاسخ به آتش در جریان آتش‌سوزی را به عواملی چون ویژگی‌های انسانی (شامل سرعت، شیوه تصمیم‌گیری، سن، جنس و...)، ویژگی‌های آتش و ویژگی‌های ساختمانی (طراحی تأثیرگذار بر تخلیه اضطراری که در دودسته ابعاد فضاها و موقعیت فضاها قرارگرفته‌اند) تقسیم‌بندی نمودند [۲۲] (تصویر ۲).

محیط‌های خوابگاهی و حادثه‌خیزی

بررسی‌ها در ایالات‌متحده حاکی از آن است که آتش‌سوزی در ساختمان‌ها سبب زخمی شدن بیش از ۱۴۰۰۰ نفر و مرگ‌ومیری بالای ۲۷۰۰ نفر تنها در سال ۲۰۰۶ شده است [۴۴]. در بین این ساختمان‌ها، خوابگاه‌های دانشجویی حادثه‌خیزترین ساختمان‌ها هستند. به‌طوری‌که بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ بیش از ۳۸۰۰ آتش‌سوزی و از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ نیز بیش از ۴۱۰۰ حریق در خوابگاه‌ها رخ‌داده که به‌طور متوسط باعث کشته شدن ۷ نفر در سال شده است [۴۵]. همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که بیشترین آتش‌سوزی در خوابگاه‌ها، هنگام عصر و بین ساعت‌های

جدول ۳. مقایسه بین وضعیت خوابگاه دانشجویی مورد مطالعه با ضوابط و مقررات مربوط به حفاظت خوابگاه‌ها در برابر حریق

تعاریف / وضعیت مورد مطالعه	نوع بنا	بیشترین مسیر پیمایش (متر)	بیشترین طول بن‌بست (متر)	بیشترین طول مسیر مشترک (متر)	بیشترین واحد تصرف به ازای هر نفر	کمترین ظرفیت راه خروج (میلی-متر)	تعداد و ابعاد خروجی اصلی (عدد)	تعداد راه‌پله تخلیه (عدد)	توضیحات
طول دسترس خروج بدون شبکه بارنده[1]	بنای جدید	۵۳	۷/۱۰	۷/۱۰	-	-	-	-	
	بنای موجود	۵۳	۱۵	۷/۱۰					
طول دسترس خروج با شبکه بارنده	بنای جدید	۹۹	۷/۱۰	۷/۱۰	-	-	-	-	
	بنای موجود	۹۹	۱۵	۷/۱۰					
خوابگاه ایمن در برابر حریق	بنای پیشنهادی	۵۳	۱۵	۱۰/۷	۳=۱۸/۶	۷۵۰ میلی‌متر	۲ (با فاصله مناسب[2])	۲ عدد	
خوابگاه دخترانه شهید بهشتی	وضع موجود در خوابگاه	۳۰/۶۲ متر	۱۴/۶۵ متر	۸/۷۵ متر	۵۳۷/۲۵۶ = ۲/۰۹۵	۱۰۰۰ میلی‌متر (مبلمان نامناسب)	۱ عدد	۱ عدد	*واحد تصرف به ازای هر نفر در فضای خوابگاه: مساحت هر طبقه/ تعداد ساکنان هر طبقه. *حداکثر طول راه تخلیه خروج از انتهای پلکان خروج تا معبر عمومی نباید از ۳۰ متر بیشتر باشد. * هر خوابگاه با بیش از ۲۵ اتاق باید به تجهیزات روشنایی و اضطراری مجهز باشد. * ظرفیت راه خروج = دسترس خروج + خروج + تخلیه خروج.
خوابگاه دخترانه شهید بهشتی	طرح پیشنهادی	۲۹/۲ متر	۱۴/۶۵ متر	۸/۷۵ متر	۵۳۷/۲۵۶ = ۲/۰۹۵ (در روش کاهش تعداد کاربر) = ۲/۰۹	۱۵۰۰ میلی‌متر (با مبلمان مناسب)	۲ عدد (باقاصله نامناسب = به دلیل کنترل ورود و خروج)	۲ عدد	



شکل ۲. عوامل مؤثر بر تخلیه و راهکارهای اجرایی

۵ عصر تا ۱۱ شب و همچنین در آخر هفته‌ها شایع است [۴۶]. به دلیل آن‌که بسیاری از دانشجویان قبل از ورود به خوابگاه از وسایل آشپزخانه کمتر استفاده نموده‌اند، ازاین‌رو بیش از ۷۵ درصد از آتش‌سوزی‌های خوابگاه، به‌وسیله تجهیزات آشپزخانه صورت می‌گیرد [۴۵]. در ایران نیز همواره حوادث آتش‌سوزی منجر به تحمیل خسارت‌ها و لطمه‌های فراوانی شده است. تا پیش از سال ۸۰ سالانه ۴۴۴۲ مورد آتش‌سوزی (میانگین روزی ۱۲/۲) رخ‌داده که این آمار در سال ۱۳۸۰ به‌روزی ۱۴/۹ افزایش یافته است. در سال ۸۵ تعداد حوادث به ۹۱۵۶ عدد (میانگین روزی ۲۵ حادثه) و در سال ۹۳ تعداد ۲۱۵۸۳ حادثه (روزی ۵۵ آتش‌سوزی) ثبت‌شده است (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۵). درسال‌های اخیر در کشور، مراکز آموزش عالی و دانشگاه‌ها توسعه‌ی چشمگیری داشته و به‌تبع آن مراکز اقامتی و خوابگاه‌ها نیز گسترش یافته‌اند. تراکم بالای ساکنان در خوابگاه‌های دانشجویی سبب شده که این ساختمان‌ها هنگام حوادثی مانند آتش‌سوزی و زلزله بیش از سایر ساختمان‌ها در معرض خطر قرار گیرند. ازاین‌رو خوابگاه‌های دانشجویی نیز آتش‌سوزی‌های فراوانی را تجربه نموده که آتش‌سوزی در خوابگاه پسرانه دانشگاه یاسوج، خوابگاه پسرانه فدک در تبریز با دو مصدوم، آتش سوزی خوابگاه دانشجویی در دزفول، در شهر کرمان و نیشابور، خوابگاه دانشجویی دختران دانشگاه علم و صنعت، خوابگاه دخترانه در ارومیه، خوابگاه دخترانه هرمزگان با جراحت شدید ۳ دانشجو، خوابگاه دانشجویی واقع در خیابان کریم‌خان تهران، خوابگاه دانشجویی دانشگاه شهید بهشتی (شکل ۳) فقط تعدادی از این موارد هستند.

۲- روش پژوهش و بررسی نمونه‌ی موردی

این پژوهش، ابتدا به دنبال شناسایی نقاط ضعف در وضعیت موجود خوابگاه و طراحی معماری آن (در ارتباط با مسیرهای دسترسی افقی- عمودی و خروجی‌ها) بوده تا بتواند تدارکات و اقدامات لازم (با اقدامات غیر سازه‌ای در مرحله‌ی اول و سپس اقدامات سازه‌ای) جهت کاهش میزان تلفات در هنگام حادثه را ایجاد نماید. این مهم از طریق کاهش مدت‌زمان تخلیه همه قابل حصول است. به همین منظور ابتدا بلوک ۱ خوابگاه دانشجویی دختران به‌عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب شد. مساحت این

بلوک حدود ۲۷۹۶/۷۰ مترمربع بوده که ۶۴ اتاق خوابگاهی را شامل می‌شود. تعداد کل دانشجویان ساکن در این بلوک ۲۵۶ نفر در ۴ طبقه (۶۴ اتاق ۴ نفرِ) است که هر طبقه دارای ۱۶ اتاق و هر بال (شرقی و غربی) ۸ اتاق ۴ نفرِ، معادل ۳۲ نفر را اسکان داده است. میانگین سنی دانشجویان در این بلوک ۲۳/۵ سال بوده و و تمامیت دانشجویان دختر و در مقطع کارشناسی ارشد مشغول به تحصیل هستند. بر این اساس خوابگاه موردمطالعه، با توجه به مبلمان چیده شده‌ی وضع موجود، در محیط نرم‌افزاری شبیه‌سازی گردید. سپس، بیشترین مدت‌زمان خروج دانشجویان و سایر تحلیل‌های مرتبط با تخلیه اضطراری به دست آمد. با مقایسه حداکثر زمان تخلیه با مقدار زمان استاندارد خروج که ۱۵۰ ثانیه بوده[18]، (لانگ و همکاران عدد ۱۶۵ ثانیه را برای خوابگاه به دست آوردند [۳]) نیاز مبرم به بهینه‌سازی بیش‌ازپیش نمایان شد. در گام بعد جهت بهینه‌سازی مقدماتی (مبلمان و تجهیزات) با حذف موانعی که منجر به تداخل در تخلیه‌شده، مجدداً به بررسی حداکثر زمان خروج اضطراری دانشجویان و عوامل مرتبط با آن اقدام شد. نتایج حاصله، نیاز ساختمان به کاهش اساسی در مدت‌زمان تخلیه با توجه به حجم زیاد استفاده‌کنندگان را نشان داد. بدین منظور برای بار دوم، عمل بهینه‌سازی سازه‌ای (که در این مرحله فقط به تغییر در ابعاد و اندازه اتاق‌ها، درب‌های خروج و یا قرار دادن پله‌های اضطراری بدون تغییر کلی در سازه ساختمان پرداخته می‌شود) صورت پذیرفت. با توجه به تعداد حضور افراد که از طریق پرسش‌نامه، بیشترین میانگین حضور افراد[19] سنجیده شده است، نظرپور [۴۷]، تعداد ۱۷۸ دانشجو با توجه به چیدمان فضایی اتاق‌ها شبیه‌سازی گردید. خروجی داده‌های نرم‌افزاری نشان می‌دهد که بیشترین مدت‌زمان لازم برای خروج تمامی افراد از ساختمان ۲۱۹/۸ ثانیه است. این مقدار نسبت به ۱۵۰ ثانیه که مدت‌زمان استاندارد برای خروج بوده، بسیار بیشتر است که نیاز ساختمان را برای بهینه‌سازی مجدد نشان می‌دهد. به همین علت ابتدا نقاط بحرانی تخلیه با توجه به تحلیل‌های نرم‌افزار تخصصی تخلیه اضطراری (پث فایندر) به‌دست‌آمده و سپس به کارا نمودن محیط اقدام شد (شکل ۴).

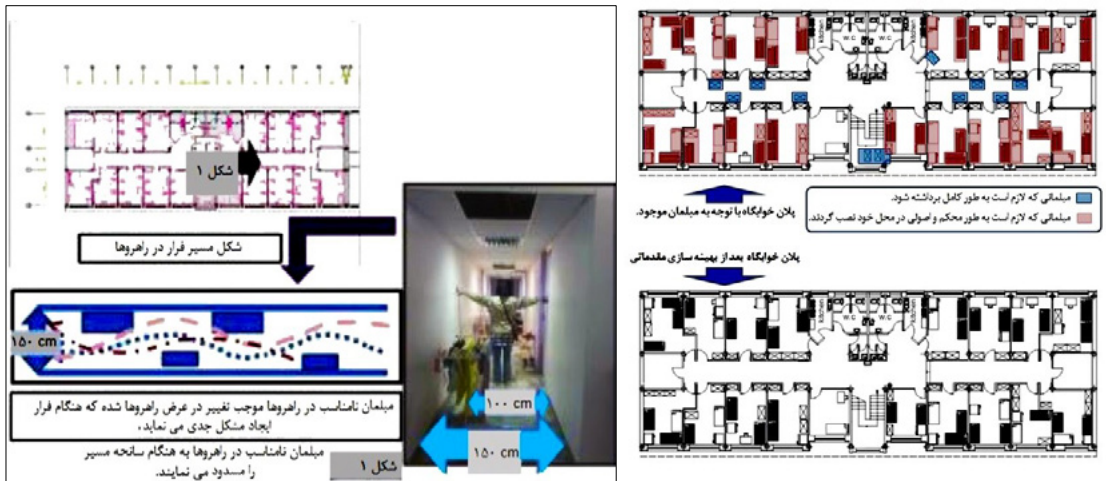
گام‌های بهینه‌سازی در این پژوهش به شرح زیر است (شکل ۵):

سازمان‌دهی فضایی، نحوه چیدمان مبلمان شامل نقشه پلان طبقات، دسترسی‌های افقی-عمودی و موقعیت خروجی‌ها و همچنین ویژگی‌های جمعیتی خوابگاه (مانند سن و تعداد ساکنان) به‌طور دقیق برداشت گردید (مرحله برداشت اطلاعات).

خوابگاه در وضعیت موجود و با توجه به مبلمان برداشت شده، در محیط‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفت.

در صورت نامناسب بودن ساختمان جهت تخلیه اضطراری، با بهره‌گیری از کارشناسان مربوطه، خطرات احتمالی و شرایطی که

شکل ۳. آتش‌سوزی در خوابگاه بلوک ۵ پسران دانشگاه شهید بهشتی تهران در تاریخ ۱۳۹۵/۱۰/۲ (سه تصویر سمت راست) آتش‌سوزی در بلوک خوابگاهی پردیس دانشجویان شهید بهشتی (دو تصویر سمت چپ)



شکل ۴. سمت چپ: مشکلات موجود در محل قرارگیری مبلمان و تجهیزات جهت تخلیه کاربران [۱۷] و سمت راست: انجام بهینه‌سازی مقدماتی با اصلاح قرارگیری مبلمان و تجهیزات (منبع: نگارندگان)

تعداد تلفات را هنگام حادثه افزایش می‌دهد، فهرست شد (این اصلاحات فقط در سطح مبلمان بوده و تغییرات کالبدی را شامل نمی‌گردد).

مجدداً ساختمان ایمن شده از منظر مبلمان و تجهیزات، در نرم‌افزارهای مربوطه، شبیه‌سازی و در صورت بالا بودن زمان تخلیه، موقعیت معابر و فضاهای بحرانی با توجه به تراکم عابران مشخص گردید.

با ارزیابی‌های به‌عمل‌آمده، موقعیت مکانی جدیدی جهت ایجاد یک پله اضطراری و یک خروجی جدید پیشنهاد گردید.

بار دیگر ساختمان با توجه به اصلاحات (کالبدی) صورت گرفته در نرم‌افزارها شبیه‌سازی و مورد تحلیل قرار گرفت.

در صورت ناایمن بودن ساختمان به مرحله ۴ برگشته و بهینه‌سازی و اصلاح تا زمان ایمن شدن ساختمان ادامه می‌یابد.

درصورتی‌که مدت‌زمان خروج در ناحیه امن قرار گرفت، نقشه نهایی جهت اجرا به مجری کار پیشنهاد خواهد شد.

۳- تحلیل‌ها

۳-۱- تحلیل خوابگاه با مبلمان و تجهیزات ثابت (وضع موجود)

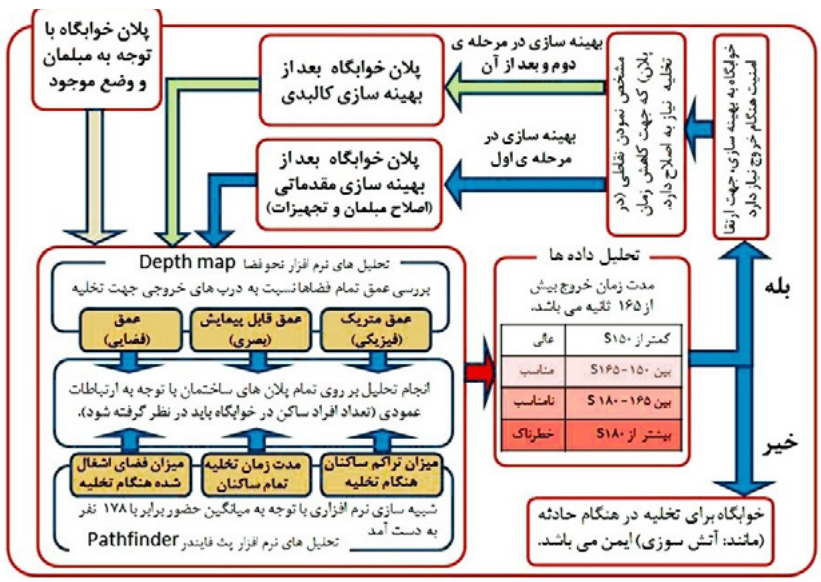
در ابتدا، خوابگاه با مبلمان و وضع موجود برداشت و ویژگی‌های پیکربندی فضایی (عمق) در آن مورد سنجش قرار گرفت. با توجه به جدول ۴، وجود جاکفشی‌ها و بسیاری از مبلمان‌ها سبب افزایش عمق متریک و فضایی شده است که سبب افزایش سلسله‌مراتب فضایی و افزایش مدت‌زمان تخلیه می‌شود. طبق جدول ۵، بیشترین مدت‌زمان تخلیه خوابگاه نیز ۲۲۳/۷ ثانیه بود که جاکفشی‌ها در ورودی هر اتاق بر تراکمِ تخلیه، هنگام حادثه افزوده است. همچنین برخورد دانشجویان به مبلمان می‌تواند سبب اختلال در مسیر خروج دانشجویان شود و مدت‌زمان تخلیه را به‌شدت افزایش دهد. لذا تثبیت و قرارگیری محل مناسب مبلمان از شروط اصلی ایمن‌سازی است.

۳-۲- تحلیل بهینه‌سازی کالبدی (مداخله‌ی سازه‌ای)

۳-۱-۱- تحلیل‌های حاصل از تخلیه‌ی فوری در نرم‌افزار پث فایندر

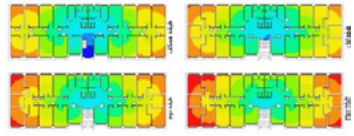
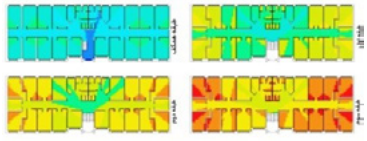
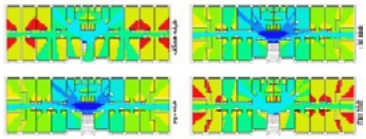
با توجه به آن‌که با بهینه‌سازی مقدماتی (اقدامات غیر سازه‌ای)، شرایط لازم جهت ایمن‌سازی تخلیه دانشجویان فراهم نشد[۲۰]، ناگزیر به ایجاد تغییرات کالبدی (اقدامات سازه‌ای) در پلان ساختمان شدیم که در شکل ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶ نشان می‌دهد که در حالت بهینه‌سازی مقدماتی بیشترین تراکم دانشجویان در راه‌پله اصلی و فضای ورودی اصلی بوده که این حجم تراکم سرعت حرکت افراد را کاهش داده و سبب اختلال در رفت‌وآمد بهینه می‌شود که خود عامل اصلی در افزایش مدت‌زمان تخلیه است.

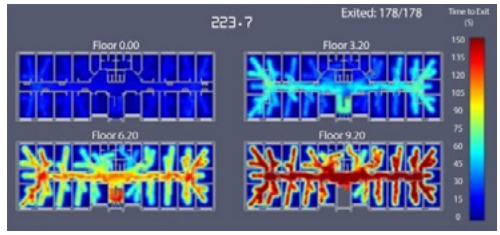
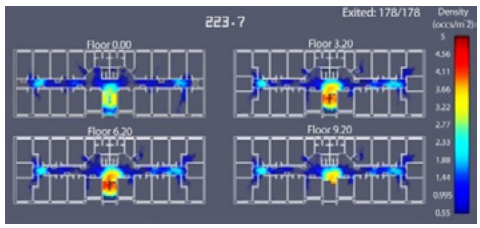
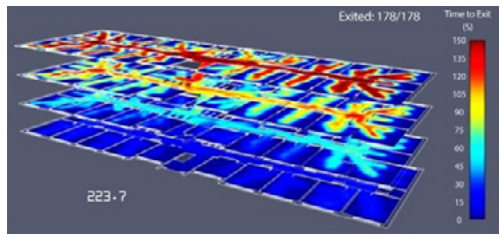
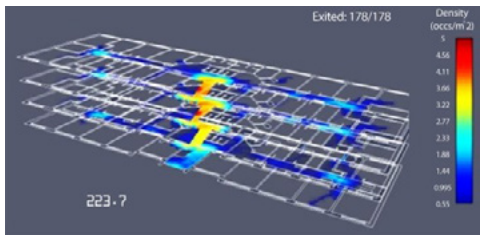


شکل ۵. گام‌های پژوهش

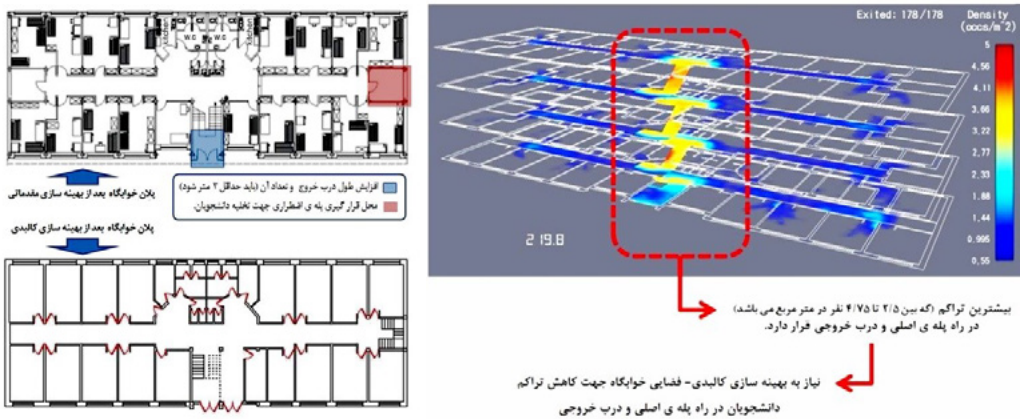
جدول ۴. بررسی انواع عمق در نرم‌افزار تخصصی نحو فضا در خوابگاه با وضع موجود نسبت به خروجی اضطراری (با مبلمان)

عمق متریک (فیزیکی) (Metric Step)			عمق قابل پیمایش (بصری) (Visual Step Depth)			عمق (فضایی) (Mean Depth)		
								
کمترین (متر)	میانگین (متر)	بیشترین (متر)	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)
۰	۱۸/۴۳	۳۰/۶۲	۰	٤/۸۰	۸	۳/۰۸۵	۵/۰۸	٦/۹

جدول ۵. بررسی بیشترین مدت خروج و میزان تراکم در خوابگاه با وضع موجود (با مبلمان)

	بیشترین مدت‌زمان خروج در خوابگاه موجود	میزان تراکم در خوابگاه با وضع موجود
پلان‌های مورد تحلیل		
تصاویر سه‌بعدی		

مدت‌زمان خروج کامل افراد (تمام ۱۷۸ نفر)، در وضعیت موجود (با مبلمان ثابت شده) برابر با ۲۲۳ ثانیه است



شکل ۶. سمت راست: انجام بهینه‌سازی کالبدی با اصلاح نقاط پرتراکم در نرم‌افزار پث فایندر (منبع: نگارندگان) و سمت چپ: به دست آوردن نقاط پرتراکم که زمان تخلیه را افزایش می‌دهند (منبع: نگارندگان)

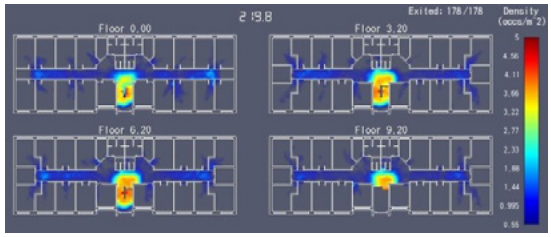
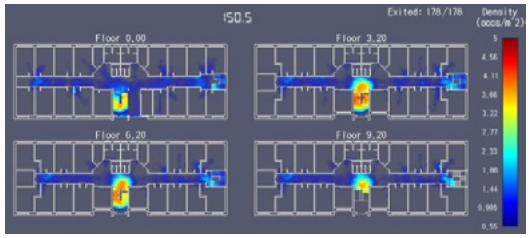
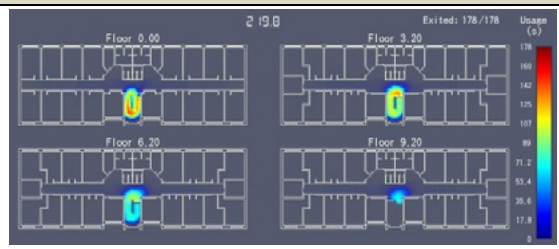
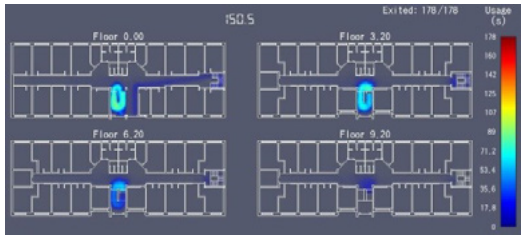
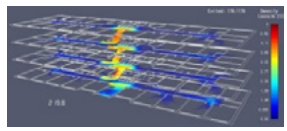
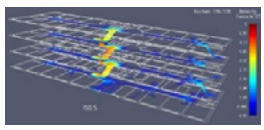
البته در خوابگاهی که بهینه‌سازی کالبدی شده، با توجه به ایجاد پله اضطراری در قسمت شرقی ساختمان، تراکم جمعیت در راه‌پله اصلی کاهش‌یافته و با توجه به افزایش عرض درب‌های خروجی به بیش از ۳ متر، برحسب پژوهش لانگ و همکاران [۳]، شاهد کاهش تراکم و افزایش سرعت عمل کاربران هنگام تخلیه هستیم. همچنین جدول ۶ کاهش تعداد استفاده‌کنندگان را در حالت بهینه‌شده کالبدی (سازه‌ای) نسبت به حالت بهینه مقدماتی به‌وضوح نشان می‌دهد. موارد ذکر شده به‌طور مستقیم بر کاهش زمان خروج تأثیرگذار است.

بررسی مدت‌زمان خروج در هر یک از طبقات نیز بیانگر این مطلب است که ایجاد راه‌پله اضطراری در بخش شرقی ساختمان سبب خروج سریع‌تر افراد در راهروی شرقی شده که این موضوع به‌طور مستقیم بر مدت‌زمان خروج تمام افراد از ساختمان تأثیرگذار است.

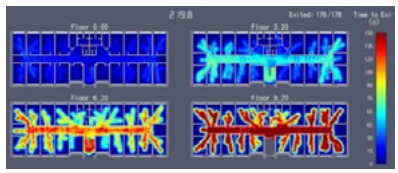
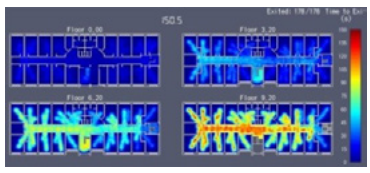
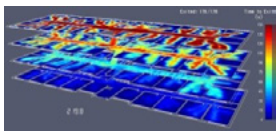
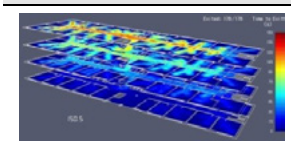
همان‌طور که در تصویر زیر نمایش داده شده در حالت بهینه‌شده‌ی مقدماتی، به‌ویژه در طبقهی دوم و سوم با توجه به آنکه تنها یک‌راه خروج وجود دارد بیشترین زمان ممکن برای تخلیه تمام دانشجویان لازم است (حدود ۲۲۰ ثانیه). از طرف دیگر با بهبود طرح معماری با بهینهسازی کالبدی (سازهای) این مدت‌زمان به حداقل ممکن (حدود ۱۵۰ ثانیه) تقلیل یافته است (جدول ۷).

با توجه به جدول ۸ (سمت راست جدول)، در خوابگاهی که از منظر مبلمان ساماندهی شده و با توجه به آن‌که طول درب خروج نامناسب بوده، بیشترین میزان جریان عبوری دانشجویان برحسب زمان (Pers /S) از خروجی اصلی (که تنها یک درب خروجی وجود داشته و دارای نموداری به رنگ آبی بوده) برابر با ۱/۷۸ نفر بر ثانیه است که در خوابگاه بهینه‌شده کالبدی (سازه‌ای) مقدار عددی بیشینه جریان عبوری (با توجه به افزایش طول و اضافه

جدول ۶. بررسی میزان تراکم حضور دانشجویان هنگام تخلیه‌ی ساختمان در دو حالت خوابگاه

میزان تراکم در خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی	میزان تراکم در خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی (سازه‌ای)
	
بیشترین حجم استفاده‌کنندگان از فضا در خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی	**بیشترین حجم استفاده‌کنندگان از فضا خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی**
	
سه‌بعدی بهینه‌سازی مقدماتی میزان تراکم افراد در محیط خوابگاه	سه‌بعدی بهینه‌سازی مقدماتی بیشترین حجم استفاده‌کننده از فضا	سه‌بعدی بهینه‌سازی کالبدی میزان تراکم افراد در محیط خوابگاه	سه‌بعدی بهینه‌سازی کالبدی بیشترین حجم استفاده‌کننده از فضا
			

جدول ۷. بررسی مدت‌زمان لازم جهت تخلیه ساختمان در دو حالت خوابگاه مقدماتی و کالبدی (سازه‌ای)

مدت‌زمان خروج، در خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی (غیر سازه‌ای)	مدت‌زمان خروج، در خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی (سازه‌ای)	
		
مدت‌زمان خروج کامل افراد، برابر با ۲۱۹٫۸ ثانیه است	مدت‌زمان خروج کامل افراد، برابر با ۱۵۰٫۵ ثانیه است	سه‌بعدی بهینه‌سازی مقدماتی
تعداد دانشجو ۱۷۸ نفر- بیشترین زمان خروج طبقات دوم و سوم	تعداد دانشجو ۱۷۸ نفر، بیشترین زمان خروج در طبقه‌ی سوم	 سه‌بعدی بهینه‌سازی کالبدی

نمودن یک درب خروجی دیگر که در نمودار با رنگ‌های آبی و سبز نمایه شده است)، به ۱/۵۴ نفر بر ثانیه کاهش یافته که بیانگر کاهش تراکم در نزدیک درب خروجی است. سمت چپ جدول ۸ نیز شمار ساکنان خارج‌شده را برحسب زمان نشان می‌دهد.

۳-۲-۲ تحلیل عرصه بندی بصری و فیزیکی از خروجی، جهت تخلیه کاربران در نرم‌افزار نحو فضا

جهت تحلیل عرصه بندی فضاها و پیکربندی بنا، در نرم‌افزار Ucl depth map با مبنا قرار دادن درب اصلی خروجی جهت تخلیهی دانشجویان، نمودار عمق قابل پیمایش (Step depth) و عمق متریک (Metric step) ترسیم‌شده است. تحلیل عمق قابل پیمایش، لایه‌های بصری به هنگام حرکت در فضا را نمایش می‌دهد. از منظر این تحلیل، در خوابگاه بهینه شده مقدماتی در قیاس با خوابگاه بهینه شده کالبدی، با توجه به دسترسی بصری ضعیف خروجی اصلی نسبت به سایر اتاق‌ها و طبقات به‌ویژه در طبقه سوم (که به نظر می‌رسد وجود تنها یک دسترسی عمودی و عرض نامناسب درب خروجی این شرایط را بر فضا تحمیل نموده است)، میزان عمق قابل پیمایش با میانگین عددی ۴/۸ از عمق قابل پیمایش بهینه شده کالبدی (میانگین عددی ۴/۳۱) بیشتر بوده، به‌عبارت‌دیگر در خوابگاه بهینه شده با مبلمان، درب خروجی جهت تخلیه در عرصه بندی بصری عمیق‌تری قرار گرفته است. ازاین‌رو ساکنان اتاق‌ها به‌ویژه در طبقه‌ی سوم سخت‌تر راه‌پله و فضای خروجی را جهت تخلیه تشخیص می‌دهند.

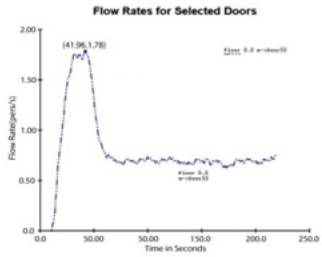
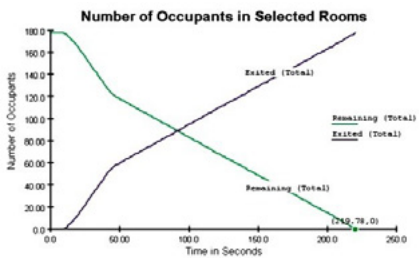
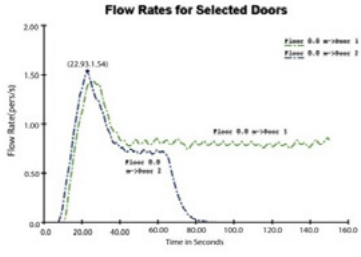
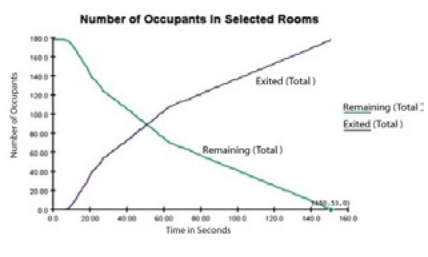
تحلیل عمق متریک نیز بیانگر حریم فیزیکی پیمایش شده است؛ به‌نحوی‌که هر چه مقدار آن بیشتر باشد، لازم است تا میزان مسافت بیشتری جهت رسیدن به سایر فضاها نسبت به فضای مبدأ انتخاب‌شده (که در این پژوهش با توجه به تمرکز بر روی تخلیه‌ی کاربران و فضای خروجی اصلی در نظر گرفته‌شده است) طی شود. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر دسترسی بصری ضعیف‌تر در پیکربندی فضایی موجود در خوابگاه بهینه‌شده از منظر مبلمان (مقدماتی) نسبت به خوابگاه بهینه شده کالبدی، دسترسی فیزیکی پیمایش شده نیز ضعیف‌تر است. به‌عبارت‌دیگر می‌توان بیان نمود که گام متریک ناظر با فرض بر مبدأ بودن فضای خروجی جهت تخلیه در خوابگاه بهینه‌شده مقدماتی بسیار طولانی است (میانگین آن برابر با ۱۸/۲۳ متر است) که با تغییرات اعمال‌شده جهت بهینه نمودن مجدد آن (کالبدی) میزان عمق متریک به ۱۷/۵۷ متر متر کاهش پیدا نموده است (جدول ۹).

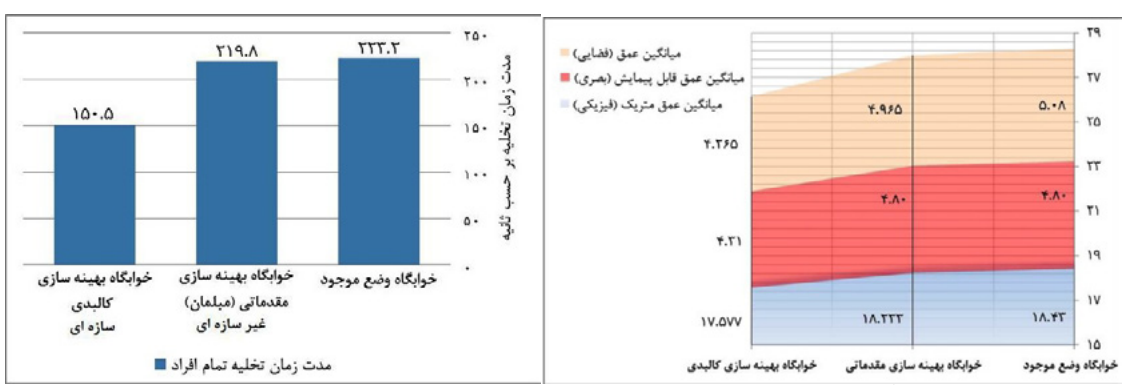
۳-۲-۳ تحلیل‌ها و مقایسه‌ی نتایج

تحلیل‌ها حاکی از آن است که مدت‌زمان تخلیه در خوابگاه ایمن‌سازیِ غیر سازه‌ای ۲۱۹/۸ ثانیه بوده که نسبت به خوابگاه وضع موجود (با ۲۲۳/۳ ثانیه) ۳/۵ ثانیه کاهش زمان داشته، این در حالی است که در خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی (سازه‌ای) مدت‌زمان تخلیه ۱۵۰/۵ ثانیه بوده که کاهش ۶۹/۳ ثانیه‌ای را نسبت به غیر سازه‌ای نشان می‌داد (شکل ۷). بررسی پیکربندی فضایی نیز کاهش چشمگیرتر عمق در خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی نسبت به مقدماتی را نشان می‌دهد.

در گام بعد با توجه به نقش کلیدی که تعداد افراد ساکن در خوابگاه بر تراکم حضور و مدت تخلیه اضطراری ایفا می‌نماید، به بررسی رابطه بین تعداد افراد ساکن با مدت تخلیه اقدام شد. در نمودار زیر (شکل ۸) ابتدا به میزان مساوی از تعداد دانشجویان خوابگاه در هر طبقه (و با شرایط برابر فاصله اتاق‌ها از خروجی) کاسته و نتایج آن هم‌زمان مورد مقایسه قرار گرفت (بخش خاکستری نمودار)؛ سپس کاهش ۲۵ درصدی تعداد دانشجویان فقط در طبقه سوم صورت گرفت که مدت تخلیه را به ۲۰۰/۵ ثانیه کاهش داد. این مدت‌زمان نیز به علت قرارگیری در محدوده بحرانی، قابل‌قبول واقع نشد (بخش هاشورهای کوچک نمودار). همچنین بار دیگر، با کاهش ۲۵ درصدی تعداد دانشجویان تنها در

جدول ۸. بررسی مدت‌زمان لازم جهت تخلیه ساختمان در دو حالت خوابگاه مقدماتی و کالبدی (سازه‌ای)

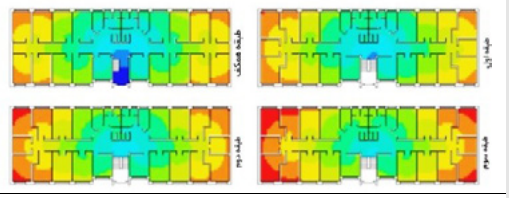
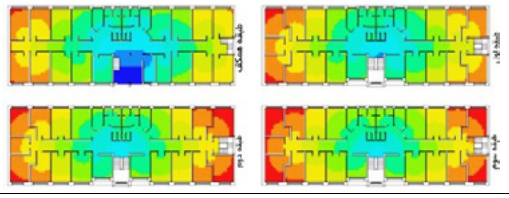
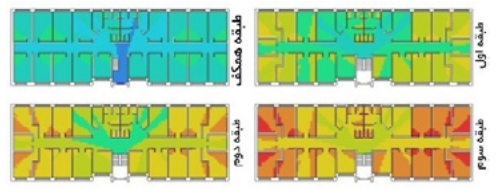
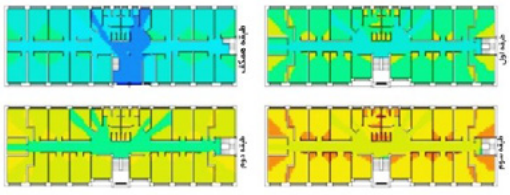
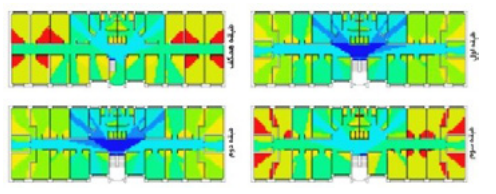
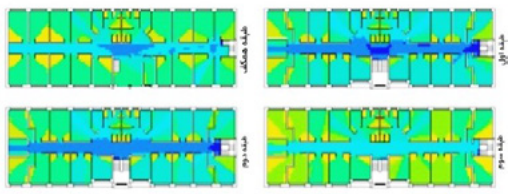
	میزان جریان عبوری از درب‌های خروجی برحسب زمان	شمار ساکنان خارج‌شده از ساختمان برحسب زمان
خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی		
خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی		

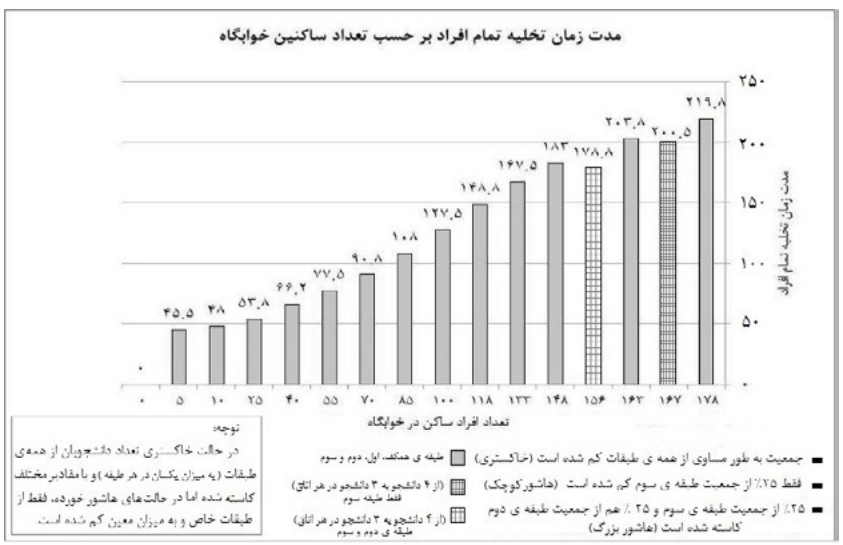


شکل ۷. مقایسه نتایج در خوابگاه با وضع موجود، بهینه‌سازی مقدماتی (غیر سازه‌ای) و بهینه‌سازی کالبدی

طبقه‌ی دوم و سوم، سنجش اعمال شد (بخش هاشورهای بزرگ نمودار). نتایج حاکی از آن است که کاهش دانشجویان ساکن در هر اتاق به کمتر از ۴ نفر سبب کاهش بروز تلفات در هنگام حادثه (به‌ویژه حریق) می‌شود. لذا با توجه به آن‌که بیشترین زمان تخلیه مربوط به طبقات دوم و سوم است، پیشنهاد می‌شود تعداد دانشجویان در طبقات همکف و اول، همان ۴ دانشجو باقی بماند؛ اما در طبقات دوم و سوم از ۴ نفر به ۳ دانشجو در هر اتاق کاهش یابد. در این حالت مدت‌زمان تخلیه از ۲۱۹/۸ ثانیه به ۱۷۸/۸

جدول ۹. بررسی انواع عمق در نرم‌افزار تخصصی نحو فضا در خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی (غیر سازه‌ای) و بهینه‌سازی کالبدی

	خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی (غیر سازه‌ای)			خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی (سازه‌ای)		
عمق متریک (فیزیکی) (Metric Step)						
	کمترین (متر)	میانگین (متر)	بیشترین (متر)	کمترین (متر)	میانگین (متر)	بیشترین (متر)
	۰	۱۸/۲۳۳	۳۰/۵۶	۰	۱۷/۵۷۷	۲۹/۲
عمق قابل پیمایش (بصری) (Visual Step Depth)						
	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)
	۰	۴/۸	۸	۰	۴/۳۱	۸
عمق (فضایی) (Mean Depth)						
	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)
	۳/۰۳۵	۴/۹۶۵	۶/۸۶	۲/۷۱	۴/۲۶۵	۶/۵۱



شکل ۸. مدت‌زمان تخلیه تمام افراد برحسب تعداد ساکنین خوابگاه

ثانیه کاهش می‌یابد (بخش هاشورهای بزرگ نمودار). شکل ۸ زمان تخلیه تمام افراد برحسب تعداد ساکنین خوابگاه را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا بلوک ۱ خوابگاه دانشجویی دختران در دانشگاه شهید بهشتی تهران به‌عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب شد. بر این اساس خوابگاه مورد مطالعه با توجه به چیدمان مبلمان در وضع موجود، در محیط نرم‌افزاری Path-finder شبیه‌سازی گردید. سپس بیشترین مدت‌زمان خروج دانشجویان و سایر تحلیل‌های مرتبط با تخلیه اضطراری به دست آمد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بهینه‌سازی مقدماتی خوابگاه با مبلمان و تجهیزات (اقدامات غیر سازه‌ای) شرط لازم برای ایمن‌سازی خوابگاه جهت تخلیه است؛ اما با توجه به تأثیر ناچیز آن در مدت‌زمان تخلیه (از ۲۲۳/۷ ثانیه به ۲۱۹/۸ ثانیه) کافی نیست. ازاین‌رو لازم به نظر می‌رسد که بعد از بهینه‌سازی با مبلمان و تجهیزات، خوابگاه با دو روش بهینه‌سازی با مداخله‌ی سازه‌ای (احداث پله‌ی اضطراری با دو درب خروج) و کاهش جمعیت استفاده‌کنندگان نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. روش اول (مداخله سازه‌ای)، به این صورت انجام شد که با توجه به حجم زیاد استفاده‌کنندگان از تک پله موجود در ساختمان خوابگاه (شکل ۶)، دستگاه پله جدیدی در موقعیت مناسبی از پلان ساختمان احداث گردید تا از حجم استفاده‌کنندگان از تک دستگاه پله بکاهد. همچنین با توجه به موقعیت خروجی، تعداد و ابعاد فضای تخلیه کاربران نیز افزایش یافت. تمامی این موارد باعث شد تا مدت‌زمان تخلیه از ۲۱۹/۸ ثانیه به ۱۵۰/۵ ثانیه کاهش یابد. در این میان اهمیت تعداد دستگاه پله جهت ایمن‌سازی نسبت به تعداد و ابعاد فضای تخلیه پررنگ‌تر دیده شد.

روش دوم نیز در مواردی که با توجه به پلان ساختمان و یا اسکلت بنا، امکان مداخلهی سازهای وجود نداشته و یا هزینهی کافی جهت اقدامات ایمن‌سازی در دسترس نیست. این روش با کاهش جمعیت استفاده‌کننده صورت می‌پذیرد. نتایج مطالعات پیشین [۱، ۲۳ و ۴۸] و شبیه‌سازی‌های نگارندگان بیانگر این نکته است که کاهش جمعیت کاربران، اگر از بالاترین طبقات صورت پذیرد، تأثیر چشمگیرتری را بر کاهش مدت‌زمان تخلیه خواهد داشت. ازاین‌رو کاهش جمعیت استفاده‌کننده از طبقه سوم صورت گرفت به‌نحوی‌که تعداد دانشجویان هر اتاق ۲۵٪ کاهش داده شد و از ۴ دانشجو به ۳ دانشجو تقلیل یافت. این امر سبب شد تا بیشترین مدت‌زمان تخلیه از ۲۱۹/۸ ثانیه به ۲۰۰/۵ ثانیه کاهش یابد؛ که البته با توجه به پایین آمدن زمان تخلیه، هنوز در محدوده بحرانی قرار داشت. به همین منظور در گام بعد میزان کاهش جمعیت استفاده‌کننده به طبقه دوم هم رسید. در این راستا تعداد دانشجویان در طبقات دوم و سوم از ۴ نفر به ۳ نفر (کاهش ۲۵٪ هم در طبقه‌ی دوم و هم سوم) رسانده شد. با این عمل مدت‌زمان تخلیه، از ۲۱۹/۸ ثانیه به ۱۷۸/۸ ثانیه تقلیل یافت که به‌عنوان روشی سریع و کم‌هزینه‌تر نسبت به روش اول پیشنهاد گردید (البته با توجه به سیاست‌های دانشگاه، جهت اسکان دانشجویان با شرایط مختلف، مانند؛ فاصله محل اقامت، جنسیت، دوره تحصیلی، مقطع و ...)، همچنین روشی جهت کارا نمودن ساختمان خوابگاه با توجه به پیکربندی فضایی برای تخلیه اضطراری ارائه شد (شکل ۵). علاوه بر موارد مذکور پیشنهاد می‌گردد تا مدیریت امور خوابگاه‌ها (و سایر سازمان‌ها و ادارات مرتبط) جهت پیشگیری از بحران هنگام تخلیه اضطراری، به انجام مانورهای آموزشی مدیریت بحران در کارگاه‌های آموزشی (موجود در خوابگاه)، ویژه سرپرستان خوابگاه و دانشجویان اقدام نموده و نقشه خروج اضطراری از ساختمان را تهیه کرده و در محل اصلی ورود و خروج ساختمان خوابگاه نصب نماید.

پی‌نوشت

1. National Institute of Standards and Technology
2. fire dynamics simulator
3. Chi, J.H
4. Glasa, J., L. Valasek, P. Weisenpacher, and L. Halada
5. Papakonstantinou
6. Fang، Yu&Wang
7. Zhao, J., & Song, S.
8. Long

۹. مانند وجود کفش کن در پیش ورودی اتاق‌ها و مسیر راهروها و همچنین وجود چوب‌لباسی جهت خشک نمودن لباس‌ها در راه‌پله و راهروها که به نظر می‌رسد عدم وجود فضای تراس باعث استفاده از این فضاها شده است.

10. Automatai
11. Daoliang, Z., Lizhong, Y., & Jian, L.
12. Agent movement model

۱۳. برای توصیف بیشتر مقالات گروه Helbing می‌توانید به؛ [۲۵،۲۴] و [۲۸] مراجعه کنید.

14. Ucl depth map

۱۵. محاسبه عمق (Mean Depth) بدین گونه است که با اختصاص مقدار عمق به هر فضا و با توجه به تعداد فاصله از فضای اصلی صورت گرفته که با جمع‌بندی این مقادیر و تقسیم آن بر یکی کمتر از تعداد فضاهای موجود در کل سیستم (تمام فضاهای اصلی) محاسبه می‌شود. در فرمول زیر n تعداد گره است. برای محاسبه شاخص‌ها در نحو فضا، هر فضایی با توجه به ابعاد آن به تعدادی گره تقسیم می‌شود [۴۱].

$$MDn = \frac{\sum_{i=0}^{i=n} di,k}{(n-1)}$$

۱۶. تحلیل Visual Step depth نشان‌دهنده لایه‌های بصری به هنگام حرکت در فضاست. فضای قابل‌رؤیت، بیانگر فضایی است که توسط ناظر (در زاویه‌ای ۳۶۰ درجه) قابل‌مشاهده بوده [۴۲] و فقط خط دید ناظر را بدون جابجایی در فضا بررسی می‌کند؛ اما عمق بصری نشان می‌دهد که بازدیدکنندگان در فضا نیاز به جابجایی داشته و در هر مرحله از جابه‌جایی خود (به‌صورت گام‌به‌گام) بر چه فضاهایی مسلط می‌شوند [۴۳]. ازاین‌رو، نقطه شروع با ارزش عددی صفر بوده و با حرکت به سمت هر فضای جدید قابل‌رؤیتی نسبت به فضای قبلی، یک عدد به عمق بصری افزوده می‌شود.

۱۷. تحلیل Metric Step بیانگر مسیر فیزیکی پیمایش شده است که طول مسیر پیموده شده را از هر مکان مشخصی برحسب متر مورد سنجش قرار می‌دهد.

۱۸. آن بخش از راه خروج که به ورودی یک خروج منتهی می‌شود دسترس خروج گفته شده و به حداکثر میزان مسیر طی شده‌ی آن طول دسترس خروج گفته می‌شود. این طول مسیر یا با شبکه‌های بارنده (Sprinkler) جهت اطفای حریق و یا بدون آن پوشش داده می‌شود [۳۸].

۱۹. معمولاً فاصله‌ی دو درب خروج باید حداقل نصف اندازه بزرگ‌ترین قطر

طبقه باشد (مبحث سوم). لازم به ذکراست که در پژوهش حاضر با توجه به آنکه خوابگاه موردمطالعه مربوط به دختران است ازاین‌رو مسئله کنترل ورود و خروج و امنیت دسترسی حائز اهمیت بوده که این مهم باعث قرارگیری دو درب خروج در فاصله نزدیک به هم و در بخش مرکزی ساختمان شده است، علاوه بر این پژوهشگران در بهینه‌سازی خوابگاه جداگانه نیز به جانمایی درب‌های خروجی از فاصله حداکثری اقدام نموده که تأثیر آن در مدت‌زمان خروج بسیار ناچیز و قابل‌اغماض است.

۲۰. معمول‌ترین عددی که برای زمان فرار به کار گرفته می‌شود ۲/۵ دقیقه است و از این رقم در طراحی استفاده می‌گردد.

۲۱. مطالعات میدانی نشان می‌دهد که حضور دانشجویان در فصل زمستان (با توجه به بارش‌های فصلی و افزایش مخاطرات جاده‌ای) و زمان امتحانات پررنگ‌تر می‌شود. ازاین‌رو بیشترین حالت ممکن حضور برابر با ۱۷۸ دانشجو در نظر گرفته‌شده است.

۲۲. این نوع بهینه‌سازی شرایط لازم و اولیه را فراهم نموده، اما کافی نیست.

منابع

23. Radoje jevtić(2015), simulation of evacuation –the case of electrotechnical school laboratory section, working and living environmental protection vol.12, no 2, 2015, pp. 253 – 260.

24. Gao, R. A.G. Lia, X.P. Hao, W. Lei, Y. Zhao, and B. Deng. 2012. "Fire-induced Smoke Control via Hybrid Ventilation in a Huge Transit Terminal Subway Station. Energy and Buildings 45 (2): 280–289.

25. Long, Zhang & Bo Lou (2017): Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on Pyrosim and Pathfinder, Journal of the Chinese Institute of Engineers.

۲۶. بشیری، مهسا و خواجه‌ای، سایما (۱۳۹۲)، کاهش آسیب‌پذیری زلزله و خطر آتش‌سوزی در خوابگاه‌های دانشجویی مطالعه موردی: خوابگاه متأهلین دانشگاه شهید بهشتی، دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره سوم، صص ۱۵-۲۵.

27. Ebrahimi, Samira, (2009), The role of navvab expressway in the evacuation of view of passive defense thesis in the field of civil engineering, Supervisor: Dr. Seyed Behshid Husseini, University of Arts, School of Architecture and Urban Planning.

۲۸. طارقیان، حامدرضا (۱۳۸۳). مدل‌سازی تخلیه اضطراری با رویکرد شبیه‌سازی موازی، مجله دانش و توسعه، (۱۵)، صص ۲۵-۴۶.

۲۹. طالعی محمد، سعادت سرشت محمد، منصوریان علی، احمدیان سمیه (۱۳۹۰)، مسیریابی بهینه در محیط GIS برای تخلیه اضطراری آسیب دیدگان از حوادث ناگهانی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۴۳، شماره ۷۸، صص ۸۳-۱۰۰.

30. Wang, Z. L. M. Hua, D. Y. Xu, and X. H. Pan.(2014) "Simulation Research on Human Evacuation in Subway with a Single-point Fire Scenario." Procedia Engineerin 84: 595–602.

31. Ayala, P., A. Cantizano, C. Gutierrez-Montes, and G. Rein. 2013. "Influence of Atrium Roof Geometries on the Numerical Predictions of Fire Tests under Natural Ventilation Conditions." Energy and Buildings 65: 382–390.

32. Tan, L., M. Y. Hu, and H. Lin. (2015) "Agent-Based Simulation of Building Evacuation: Combining Human Behavior with Predictable Spatial Accessibility in a Fire Emergency." Information Sciences 295: 53–66.

33. Chi, J.H. (2014). "Using FDS Program and an Evacuation Test to Develop Hotel Fire Safety Strategy." Journal of the Chinese Institute of Engineers 37 (3): 288–299.

34. Glasa, J., L. Valasek, P. Weisenpacher, and L. Halada. 2013. "Cinema Fire Modelling by FDS." Journal of Physics Conference Series 410 (1): 1–4.

35. Bao, Y. Q. 2011. "Study on Fire Prevention Performance-based Design of a Large Underground Banquet Hall." Applied Mechanics and Materials 94–96: 2065–2069.

36. Papakonstantinou, D., Benardos, A., Kallianiotis, A., & Menegaki, M. (2016). Analysis of the crowd evacuation modeling approaches for the case of urban underground spaces. Procedia Engineering, 165, 602-609.

37. Fang, T.-Y., J.-F. Yu, and J. Wang. (2013). "Study of Staircase Design Effects on Evacuation in Architectural Plane Design." Journal of Applied Fire Science 22 (1): 69–80.

38. Zhao, J., & Song, S. (2016). Research on Safe Evacuation Simulation of University Students' Dormitory Buildings Based on Pathfinder. In Proceedings of 2015 2nd International Conference on Industrial Economics System and Industrial Security Engineering (pp. 493-499). Springer, Singapore.

۳۹. فلاحی علیرضا، (۱۳۹۳)، کاهش آسیب‌پذیری خوابگاه‌های دانشجویی دانشگاه شهید بهشتی در برابر آتش‌سوزی و زلزله، صفه، دوره ۲۴، شماره ۶۷؛ صص ۷۷-۱۰۰.

40. Zheng, X., Zhong, T., & Liu, M., (2009) "Modeling Crowd Evacuation of a Building Based on Seven Methodological Approaches", Building and Environment 44.3, pp. 437– 445

41. Von Neumann, J. (1966). Theory of Self- Reproducing Automata. University of Illinois Press.

42. Kneidl A, Thiemann M, Borrmann A, Ruzika S, Hamacher HW, Köster G, Rank E (2010). Bidirectional Coupling of Macroscopic and Microscopic Approaches for Pedestrian Behavior Prediction, In: Proceedings of the 5th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, Gaithersburg, MD USA, 2010.

43. Daoliang, Z., Lizhong, Y., & Jian, L. (2006) "Exit dynamics of occupant evacuation in an emergency", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, No. 363(2), pp. 501-511.

۴۴. میر سعیدی، لیلا و آزاده شمس، (۱۳۹۶)، تبیین عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری ساختمان در آتش‌سوزی، فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران ۸ (۱)، دوره هشتم، شماره اول، صص ۴۳-۵۳.

45. Korhonen, T.: Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac, Technical Reference and User's Guide (FDS 6.1.0, Evac 2.5.0, draft), VTT Technical Research Centre of Finland, 2014.

46. Helbing, D., Farkas, I., Molnár, P., and Vicsek, T., "Simulating of Pedestrian Crowds in Normal and Evacu-

ation Situations", Pedestrian and Evacuation Dynamics, Schreckenberg, M. and Sharma, S.D. (eds.), Springer, Berlin, 2002, pp. 21–58.

47. Helbing, D., and Molnár, P., "Social force model for pedestrian dynamics", Physical Review E 51:4282–4286 (1995).

48. Grigoraş z. c (2014), analysing the human behavior in a fire drill. comparison between two evacuation software: fds+evac and pathfinder, international scientific conference cibv 2014 7-8 november 2014, braşov.

49. Li, D., & Han, B. (2015). Behavioral effect on pedestrian evacuation simulation using cellular automata. Safety science, 80, 41-55.

50. Werner, T., and Helbing, D., "The social force pedestrian model applied to real life scenarios", Pedestrian and Evacuation Dynamics – Proceedings of the Seconnd International Conference, University of Greenwich, London, 2003, pp. 17–26.

51. Lei, W., Li, A., Gao, R., & Wang, X. (2012). Influences of exit and stair conditions on human evacuation in a dormitory. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 391(24), 6279-6286.

۵۲. پیله‌ور، علی، عطایی، سینا، زارعی، عبدالله (۱۳۹۱). بررسی تأثیر میان‌کنش فضایی بر تعادل فضایی در ساختار شهری بجنورد با استفاده از فن چیدمان فضا، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۴۴ (۷۹)، صص ۸۷-۱۰۲.

۵۳. کمالی پور، حسام و معماریان، غلامحسین و فیضی، محسن و موسویان، محمد فرید (۱۳۹۱)، ترکیب شکلی و پیکره‌بندی فضایی در مسکن بومی، مقایسه تطبیقی عرصه بندی فضای مهمان در خانه‌های سنتی کرمان. مجله مسکن و محیط روستا، شماره ۳۱، صص ۳-۱۶.

۵۴. یزدان فر، عباس، موسوی، مهناز و هانیه زرگر دقیق. (۱۳۹۱). «تحلیل ساختار فضایی شهر تبریز در محدوده بارو با استفاده از تکنیک اسپیس سینتکس»، ماهنامه بین‌المللی راه و ساختمان، ۶۷، ۶۹-۵۸.

55. Turner, A. (2001, May). A program to perform visibility graph analysis. In Proceedings of the 3rd Space Syntax Symposium, Atlanta, University of Michigan (pp. 31-1).

۵۶. پورمند حسنعلی، طباطبایی ملاذی فاطمه. (۱۳۹۴). الگوی پنهان حاکم بر نظام استقرار فضایی در مسکن ایرانی-اسلامی (بررسی موردی خانه رسولیان یزد)، پژوهش‌های معماری اسلامی، دوره ۳، شماره ۴، صص ۱-۱۷.

57. Griz, C & L, Amorim (2015), when luxury is necessary, Apartment projects in Recife – Brazil, Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium, London.

58. Bustard W (1997). Space Evolution and Function in the Houses of Chaco Canyon, Proceedings of the 1th International Symposium on Space Syntax, London.

۵۹. وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، (۱۳۸۰)، حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق: مبحث سوم مقررات ملی ساختمان، تهران: انتشارات وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان.

۶۰. وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، (۱۳۹۲) راهنمای مبحث سوم حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق، تهران: انتشارات وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان.

۶۱. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (۱۳۸۹). آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش (پیشنهادی)، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۴۴۴، چاپ سوم.

۶۲. بختیاری، سعید؛ زمانی، مجید؛ قاسم‌زاده، سهیل؛ تسنیمی، مسعود، (۱۳۸۹). راهنمای آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۴۴۵، چاپ دوم.

63. Hillier, B. & Hanson, J. (1984), The Social Logic of Space, Cambridge University Press: Cambridge. pp. 108

۶۴. نظرپور، محمدتقی؛ حیدری، احمد و سلیمی، مرضیه. (۱۳۹۷). تأثیر پیکربندی فضایی خوابگاه‌های دانشجویی بر ترجیحات فضایی دانشجویان معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۱(۲۵)، صص ۲۰۹-۲۲۳.

65. Zhang, T., Hua, W., & Xu, Y. (2019). "Seeing" or "Being Seen": Research on the Sight Line Design in the Lion Grove Based on Visitor Temporal–Spatial Distribution and Space Syntax. Sustainability, 11(16), 4348.

66. U.S. Fire Administration. (USFA). (2007). Firefighter Fatalities in the United States in 2007. By U.s. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency.

67. NFPA. (n.d.). (2014). Campus and Dorm Fires. Retrieved from NFPA Safety Information. By Tracy Golinveaux.

68. Flynn, J. (2009). Structure Fires in Dormitories, Frater-nities, Sororities, and Barracks. Quincy, MA: NFPA.

69. Nazarpour, M. T. (2013). The Effect of Physical Space of Student Dormitories on General Health of Students, Faculty of Architecture and Urban Development, Shahid Beheshti University, Ph.D., 2013. (In Persian).

70. Ronchi, E., & Nilsson, D. (2014, February). Modelling total evacuation strategies for high-rise buildings. In Building Simulation (Vol. 7, No. 1, pp. 73-87). Springer Berlin Heidelberg.

نقد و اصلاح طرح به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت در ساخت ساختمان‌های شهری با رویکرد مدیریت بحران

مطالعه موردی: شهر قزوین

محمدمهدی اهوازی: دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
رضا فرخ‌زاد*: استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران، Email:r.farokhzad@qiau.ac.ir
پوریا رشوند: استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۲۹
تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۹

چکیده

رفتار ساختمان‌ها در برابر وقوع زلزله‌های گذشته، نشان‌دهنده آسیب‌پذیری آن‌هاست. به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت در ساخت ساختمان‌ها در راستای کاهش آسیب‌پذیری، اطمینان از ایمنی آن‌ها در برابر زلزله و درنتیجه مدیریت بحران آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آیین‌نامه اجرایی ماده ۳۳ قانون نظام‌مهندسی ساختمان، مالکین را ملزم به به‌کارگیری سازنده باصلاحیت نموده است؛ ولی مشکل پیش رو، صوری بودن سازندگان دارای صلاحیت و عدم به‌کارگیری آنان است. در این پژوهش ضمن بررسی میزان موفقیت طرح به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت در ساخت ساختمان‌های شهری، به شناسایی نقاط ضعف طرح و اولویت‌بندی ضروری‌ترین وظایف سازندگان ازنظر صاحب‌کاران پرداخته شده است. با استفاده از پرسشنامه و کسب اطلاعات لازم از سازمان نظام‌مهندسی استان قزوین، میزان موفقیت و نقاط ضعف طرح ازنظر صاحب‌کاران، ناظران و سازندگان دارای صلاحیت حقیقی و حقوقی بررسی شد. همچنین بر اساس نظر مسئولین و خبرگان از مهم‌ترین وظایف سازندگان دارای صلاحیت گردآوری، تعیین شاخص‌ها و وزن دهی و اولویت‌بندی آن‌ها با استفاده از پرسشنامه‌ای بر اساس مدل لیکرت است. نتایج تحقیق نشان‌دهنده میزان بسیار کم به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت در ساخت ساختمان‌های شهری و تأثیرگذاری عواملی همچون نوع قرارداد و حدود صلاحیت سازندگان (با توجه سطح ساخت‌وساز در هر شهر) در میزان موفقیت طرح است. وزن شاخص‌های تعیین‌شده در خصوص مهم‌ترین وظایف سازندگان دارای صلاحیت نشان از تأثیر تمامی شاخص‌ها در به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت و اهمیت ویژه آن‌ها است.

واژه‌های کلیدی: بحران، ساختمان، مجریان ذی‌صلاح، سازندگان مسکن و ساختمان

Criticizing and modifying qualified constructors use plan in constructing urban buildings with a crisis management approach

Case study of city of Qazvin

Mohammd Mahdi Ahvazi[1], Reza Farokhzad*[2], Poorya rashvand[3]

Abstract

Behavior of buildings against past earthquakes indicates their susceptibility. In order to reduce vulnerability and ensure safety of buildings against earthquakes and, consequently, undertake crisis management, it is specifically important to use qualified constructors in their construction. The executive bylaw for Article ۳۳ of Building Engineering System Act requires owners to use qualified constructors. However, the formal nature of qualified constructors and lack of practical use of them cause the upcoming problems. In this work, the success rate of qualified constructors use plan in the construction of urban buildings is investigated and, then, weaknesses of the plan are identified and the important duties of constructors from the viewpoint of employers are priorities. Using the questionnaire and obtaining the needed information from Qazvin Province Engineering System Organization, success rate and weaknesses of the plan are examined from the viewpoints of employers, supervisors and real and legal qualified constructors. Moreover, based on the view of authorities and experts, important duties of qualified constructors are collected and their indices are determined. Using the Likert model-based quationnaire, the determined indices are weighed and priorities. The research findings showed that use of qualified constructors in the construction of urban buildings was very low and factors such as type of contract, qualification level of constructors considering the construction level per city are effective in the success rate. Weight of the determined indices for the importance of duties of contructors demonstrated all the indices for the application of qualified constructors are effective and of special significance.

Keywords: *Crisis, Building, Competent executors, Building and house constructors*

1 – Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

۱- مقدمه و پیشینه تحقیق

بحران‌ها و بلایای طبیعی از مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل مرگ‌ومیر و خسارات مالی هستند [۱]. آنچه از بلایای طبیعی یک فاجعه می‌سازد، عدم پیش‌گیری از تأثیر آن و عدم آمادگی برای پاسخ مناسب به آن است. «زلزله» در میان بلایای طبیعی مخرب‌ترین آن‌هاست که عموماً به علت عدم آمادگی جامعه، همواره خسارت و تلفات زیادی به همراه دارد [۲]. زلزله حادثه‌ای «طبیعی، ناگهانی و با منشأ زمینی» است و به لحاظ قدرت و حوزه تخریب وسیع، غیرقابل‌پیش‌بینی بودن و زمان بسیار کوتاه وقوع آن از اهمیت ویژه‌ای در جوامع بشری برخوردار است [۳]. واقع‌شدن ایران بر روی کمربند زلزله‌خیز آلپ-هیمالیا موجب گردیده است که زلزله در کشور ما به‌عنوان یکی از زیان‌بارترین بلایای طبیعی مطرح شود. به‌طوری‌که از هر ۱۵۳ زلزله مخرب رخ‌داده در دنیا، حدود ۹ زلزله مربوط به ایران بوده است [۴]. پراکنش جغرافیایی زلزله‌ها در کشور ما نشانگر آن است که ۶۶ درصد از سرزمین ایران در معرض خطر زمین‌لرزه قرار دارد و ۹۰ درصد از جمعیت کشور در این مناطق زندگی می‌کنند. آسیب‌پذیری کالبدی در همه شهرهای ایران (به‌طور کم یا زیاد) وجود دارد تا جایی که آمارها نشان‌دهنده آسیب‌پذیری شدید بیش از ۹۰ درصد از شهرهای ایران در برابر یک زلزله ۵/۵ ریشتری است [۵]. مطالعه مستندات تاریخی در خصوص بحران‌ها و بلایای طبیعی کشور ایران و آمار تلفات و خسارت ناشی از آن‌ها، بیانگر مشکلات و چالش‌هایی در خصوص مدیریت کارآمد بحران‌ها و بلایای طبیعی است. نگاه سخت‌افزاری به مسئله مدیریت بحران، ضعف نظام‌های متداول ساخت‌وساز و کمبود آموزش‌های عمومی در برخورد با حوادث و بحران‌ها ازجمله چالش‌های ایران در مواجهه با بحران و مدیریت بهینه شرایط بحرانی است [۱]. در تعریف جدید از «مدیریت جامع بحران» نام می‌برند که در ۵ فاز پیش‌گیری، کاهش مخاطرات، آمادگی، مقابله و باز توانی انجام می‌شود [۳]؛ بنابراین در راستای مدیریت جامع بحران در فاز پیش‌گیری و کاهش خطرات ناشی از زلزله، اطمینان از اجرای دقیق ساختمان‌ها مطابق طراحی و اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ساخت ساختمان‌ها توسط سازندگان دارای صلاحیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ازاین‌رو وجود مقررات، ضوابط، طرح و برنامه جهت به‌کارگیری و استفاده از سازندگان دارای صلاحیت ازنظر قانون، لازم و ضروری است. وفق ماده ۳۳ قانون نظام‌مهندسی و کنترل ساختمان مصوب سال ۱۳۷۴، تدوین اصول و قواعد فنی بر عهده وزارت راه و شهرسازی است که رعایت آن‌ها در طراحی، محاسبه، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری ساختمان‌ها به‌منظور اطمینان از ایمنی، بهداشت، بهره‌دهی مناسب، آسایش و صرفه اقتصادی ضروری است [۶]. برابر آیین‌نامه اجرایی ماده ۳۳ قانون نظام‌مهندسی ساختمان تحت عنوان مبحث دوم مقررات ملی ساختمان، استفاده از مجری ذی‌صلاح جهت ساخت ساختمان‌ها الزامی است [۶]. بخشی از مبحث دوم مقررات ملی ساختمان به نحوه تشکیل و فعالیت مجریان حقیقی و حقوقی اختصاص دارد [۶]. در راستای نحوه تشکیل و فعالیت مجریان حقیقی و حقوقی، دستورالعمل نحوه فعالیت سازندگان مسکن و ساختمان [۷] طی شماره ۵۶۰۹۶/۱۰۰/۰۲ مورخ ۸۷/۱۱/۰۲ و اصلاحیه [۸] شماره ۴۳۰/۲۰۸۲۸ مورخ ۸۹/۰۴/۰۲ نیز ابلاغ گردید. طبق ماده هفت آیین‌نامه ماده ۳۳ قانون، مجری ساختمان درزمینه اجرا، دارای پروانه اشتغال به کار از وزارت مسکن و شهرسازی است و اجرای عملیات ساختمان را بر اساس نقشه‌های مصوب بر عهده دارد. مجری ساختمان نماینده فنی صاحب‌کار در اجرای ساختمان بوده و پاسخگوی کلیه مراحل اجرای کار به ناظر و دیگر مراجع کنترل ساختمان است [۶]. به استناد موارد مذکور برخی از سازمان‌های نظام‌مهندسی استان‌ها، استفاده از سازندگان مسکن و ساختمان (مجریان ذی‌صلاح) را الزامی نمودند. اجرای طرح به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت در ساخت ساختمان‌های شهری از دی‌ماه سال ۱۳۸۴ در شهر قزوین کلید خورد. متأسفانه مجموعه عوامل مؤثر در ساخت‌وساز شهری، منجر به احداث ساختمان‌های باکیفیت نشده است [۹]. در حال حاضر استفاده از سازنده دارای صلاحیت تا پایان مرحله سفت‌کاری ساختمان در برخی از شهرهای کشور اجرایی شده و تاکنون امکان اجرای طرح تا پایان کار فراهم نشده است. در نامه پیشنهادهای مهندس فرج اله رجبی ریاست وقت سازمان نظام‌مهندسی ساختمان در مورخه ۱۳۹۶/۰۹/۲۵ به رئیس‌جمهور در بند ۶ آمده است که در چرخه ساخت‌وساز مسئولیت‌ها چندان روشن نیست و در عمل قدرت مدیریتی و تصمیم‌گیری با مالک یا سرمایه‌گذار است. طرح به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت در ساخت ساختمان‌های شهری با هدف درگیر کردن قشر متخصص جهت تضمین کیفیت ساخت‌وساز و اطمینان از ایمنی برای مقابله با بحران‌ها و اجرای مقررات و ضوابط شهرسازی و شفاف‌سازی مسئولیت پاسخگویی در محاکم حقوقی، تدوین شده است. ازاین‌رو بررسی میزان موفقیت طرح به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت در ساخت ساختمان‌های شهری (مجریان ذی‌صلاح) و شناسایی نکات مؤثر در به‌کارگیری سازنده دارای صلاحیت ازنظر صاحب‌کاران، از اهمیت شایانی برخوردار است که در این تحقیق به آن پرداخته شده است. آسیب‌شناسی وضعیت موجود ساخت‌وساز با نگرش بر رعایت مقررات ملی ساختمان در استان‌های تهران، قزوین، گیلان، گلستان و مازندران نشان داده است که شاخص‌های ظرفیت عوامل دخیل در ساخت‌وساز، ضوابط شهرسازی و معماری و فرایند نظارت بر اجرا در حد متوسط و شاخص‌های عملیات اجرایی سازه، ایمنی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی در حد ضعیف و خیلی ضعیف است [۱۰]. همین‌طور در بررسی مشکلات اجرایی در صنعت ساختمان در ۳۰۰ پروژه ساختمانی در استان خراسان رضوی تعداد ۱۵۵۷ مشکل اجرایی به ثبت رسیده است [۱۱]. این آمار نشان می‌دهد که با وجود قوانین و مقررات و ضوابط هنوز در ساخت ساختمان‌ها اصول و قواعد اجرایی رعایت نمی‌شود. مسعودی و همکاران [۱۲] با بررسی تأثیر طراحان، مجریان و ناظران کیفی در افزایش استفاده از مصالح ساختمانی استاندارد بیان داشتند که طراحان، ناظران و مجریان ذی‌صلاح نقش مهم و تأثیرگذاری در افزایش استفاده از مصالح ساختمانی استاندارد دارند. هادیان فر و راستی [۱۳] با

بررسی نقش مجریان ذی‌صلاح در افزایش عمر مفید و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری ساختمان‌ها به این نتیجه رسیدند که عوامل مؤثر بر کیفیت ساخت‌وساز و عمر مفید ساختمان‌ها را می‌توان به دودسته عوامل قابل‌کنترل توسط مجریان ساختمان و عوامل خارج از کنترل مجریان ساختمان تقسیم نمود. ازنظر آنان عوامل قابل‌کنترل توسط مجریان ساختمان شامل استفاده از مصالح استاندارد، استفاده از افراد ماهر، انجام آزمایش‌های کنترلی، رعایت اصول فنی و اجرایی، جلوگیری از تخلفات ساختمانی، جلوگیری از هدر رفت مصالح، مدیریت زمان و صرفه اقتصادی، تهیه نقشه‌های چون ساخت و درمجموع جلوگیری از هدر رفت سرمایه است که توسط مجریان قابل‌کنترل است. بهاری و همکاران [۱۴] با بررسی تأثیر قانون مجریان ذی‌صلاح بر کیفیت ساختمان در مراحل مختلف اجرای ساختمان از دیدگاه ذی‌نفعان مختلف و عوامل مورد انتظار قانون در دو استان فارس و چهارمحال بختیاری به این نتیجه رسیدند که این قانون کماکان دارای نقاط ضعف است و در بسیاری از موارد که نتیجه اقدامات به بهبود کیفیت منجر نمی‌شود، ضعف‌هایی است که در خود قانون وجود دارد؛ ازجمله قراردادها، بهبود کیفیت ساخت‌وساز در مرحله مدیریت برنامه‌ریزی و کنترل پروژه ازنظر مالکین بسیار کم است. نظر مجریان، ناظران و اشخاص حقوقی برخلاف مالکین است. ناظران، مجریان و مالکین کارایی مجریان را در مرحله سازه‌ای و سفت‌کاری، متوسط به بالا دانسته‌اند. بیشتر گروه‌ها، به‌جز اشخاص حقوقی، کارایی مجریان را در مرحله نازک‌کاری، متوسط و کمتر از آن می‌دانستند. ازنظر ذی‌نفعان، عملکرد مجری، در مراحل خرید مصالح و تجهیزات، انعقاد قرارداد با پیمانکاران و کارگران، تأثیر کم تا متوسط داشته است. تأثیر عملکرد مجری در گودبرداری و پی‌کنی ازنظر مالکین، مجریان، ناظران و اشخاص حقوقی بیشتر از متوسط است.

۲-روش تحقیق و ابزارها

تحقیق حاضر به‌صورت میدانی و کتابخانه‌ای از نوع توصیفی تحلیلی و از حیث هدف کاربردی است که بر روی پروژه‌های شهر قزوین صورت گرفت. در این تحقیق با مراجعه حضوری به خبرگان و مسئولین متصدی حوزه ساختمان، مشکلات موجود در طرح به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت و وظایف سازندگان با رویکرد اجرایی و منطبق با واقعیت، گردآوری شد. سپس با مراجعه حضوری به مجریان ذی‌صلاح، ناظران، مالکین، صاحب‌کاران و سرمایه‌گذاران فعال در حوزه ساختمان، نظرات آنان جمع‌آوری شد. اطلاعات اکتسابی از مالکین جهت شناسایی مدیر واقعی پروژه، میزان عملکرد سازندگان (مجریان ذیصلاح) و نوع قرارداد مناسب جمع‌آوری گردید. نظر سازندگان (مجریان ذی‌صلاح) در خصوص حدود صلاحیت تعدد کار هم‌زمان و تمایل صاحب‌کاران به انعقاد قرارداد پیمان مدیریت و نظر ناظران در خصوص میزان پیش‌بینی‌های لازم جهت جلوگیری از تخریب و دوباره‌کاری، ارتباط و هماهنگی مجریان با ناظران، رعایت موارد ایمنی و تفاوت کیفیت ساختمان‌های واجد و فاقد مجری، جمع‌آوری شد. از طریق پرسشنامه محقق ساخته، بر اساس مدل لیکرت (پنج مؤلفه) مهم‌ترین وظایف سازندگان با قابلیت اعتماد ۰/۸۱۳ اولویت‌بندی و وزن شاخص‌ها بر اساس فرمول زیر محاسبه شد. جواب معادله بین صفر و یک است.

$$RII\% = \frac{\sum_{i=1}^{5} W_i}{A \times N} \times 100$$

RII: شاخص اهمیت مربوطه

W: اهمیت داده‌شده توسط پاسخ‌دهندگان به هر عامل در محدوده ۱ تا ۵

A: بیشترین ارزش در نظر گرفته‌شده برای هر عامل

N: تعداد پاسخ‌دهندگان

در مطالعات کتابخانه‌ای با استفاده از اطلاعات اکتسابی از سازمان نظام‌مهندسی استان قزوین، هم‌خوانی و تناسب حدود صلاحیت سازندگان با سطح پروژه‌های موجود در استان قزوین، بررسی گردید. همچنین با بررسی گزارش‌های بازدید گروه‌های کنترل نظارت سازمان نظام‌مهندسی استان قزوین، ساختمان‌های دارای مجری و فاقد آن در معیارهای میزان اشکالات فنی، رعایت موارد ایمنی، اجرای نقشه مصوب پلان و تخلف افزایش بنا مازاد بر پروانه ساختمانی مقایسه گردید. سپس نمودارها بر اساس بیشترین فراوانی ترسیم شد.

۲-۱- حجم نمونه و روش نمونه‌گیری

به دلیل اهمیت میزان موفقیت طرح ازنظر مالکین، جامعه هدف مالکین ساختمان‌های دارای مجری ذی‌صلاح هستند. تعداد پاسخ‌دهندگان ۱۰۰ نفر و روش نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی است.

۳-یافته‌های پژوهش و تجزیه‌وتحلیل

۳-۱- بررسی میزان موفقیت طرح

در بررسی میزان موفقیت طرح، ابتدا نظر صاحب‌کاران و ناظران در خصوص میزان به‌کارگیری و استفاده صاحب‌کاران از سازندگان دارای صلاحیت بررسی گردید. سپس مقایسه ساختمان‌های دارای مجری و فاقد آن بر اساس گزارش بازدید گروه‌های کنترل نظارت سازمان نظام‌مهندسی استان قزوین طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۶ در معیارهای میزان اشکالات فنی، رعایت موارد ایمنی، اجرای نقشه مصوب پلان و تخلف افزایش بنا مازاد بر پروانه ساختمانی مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۱-۱- میزان به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت

طی این تحقیق مشخص گردید که تمامی پروژه‌ها با مدیریت صاحب‌کاران در بخش‌های تأمین و تهیه مصالح، ابزارآلات،

جدول ۱. حجم نمونه و تجربه پاسخ‌دهندگان

بیش از ۵ ساختمان	بین ۳ تا ۵ ساختمان	دومین تجربه	اولین تجربه	تعداد کل نمونه
۴۰ درصد	۱۶ درصد	۲۰ درصد	۲۴ درصد	۱۰۰ درصد

ماشین‌آلات، تأمین و به‌کارگیری عوامل اجرایی، تحویل کار و توسیه حساب مالی انجام می‌شود. تنها ۸ درصد از مالکین از نوع قرارداد منعقده با مجری ساختمان خود مطلع بودند. ۷۶ درصد از مالکین اظهار نمودند که حضور مجری در کارگاه در حد بسیار کم است.

۲۴ درصد از مالکین اعلام نمودند که تأمین و به‌کارگیری عوامل اجرایی ماهر در حد بسیار زیاد، ۷۲ درصد از مالکین اعلام نمودند که تأمین و به‌کارگیری این عوامل در حد زیاد در دسترس آنان است. ۷۶ درصد از مالکین بیان داشتند که تهیه مصالح ساختمانی استاندارد و مرغوب در حد بسیار زیاد برای آنان فراهم است. ۴۰ درصد از مالکین معتقدند که شباهت ساخت ساختمان‌ها به یکدیگر در حد زیاد و ۵۲ درصد از مالکین معتقدند شباهت ساخت ساختمان‌ها به یکدیگر در حد بسیار زیاد است.

۲۰ درصد ناظران معتقدند که پیش‌بینی‌های لازم و مؤثر جهت کاهش هزینه‌ها در عملیات اجرایی ساختمان‌ها در حد بسیار کم و ۶۰ درصد معتقدند در حد کم اعمال می‌شود. نظر ۷۰ درصد از ناظران بر آن است که رعایت موارد ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی استان قزوین در حد بسیار کم و نظر ۲۶ درصد از آن‌ها در حد کم است. نظر ۹۶ درصد از ناظران درزمینه ارتباط مجری با ناظر در حد بسیار کم و کم است. ۳۶ درصد از ناظران معتقدند که تفاوت کیفیت ساخت در ساختمان‌های دارای مجری و فاقد آن در حد بسیار کم است. ۵۶ درصد معتقدند که در حد کم است. نتایج حاصل از بررسی گزارش‌های گروه‌های کنترل نظارت سازمان نظام‌مهندسی استان قزوین با نظر ناظران مطابقت دارد.

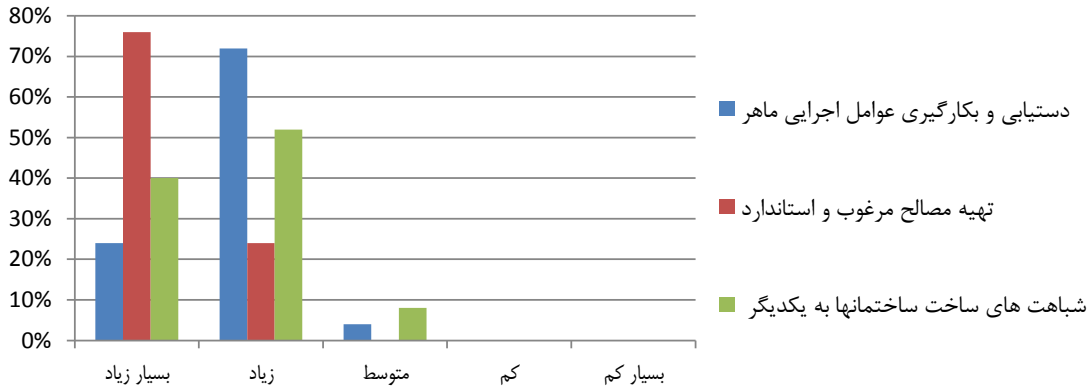
۳-۱-۲- مقایسه ساختمان‌های دارای مجری و فاقد مجری

تعدادی از گزارش‌های بازدید گروه‌های کنترل نظارت سازمان نظام‌مهندسی استان قزوین طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۶ در هرسال به‌صورت تصادفی به شرح جدول زیر انتخاب شد.

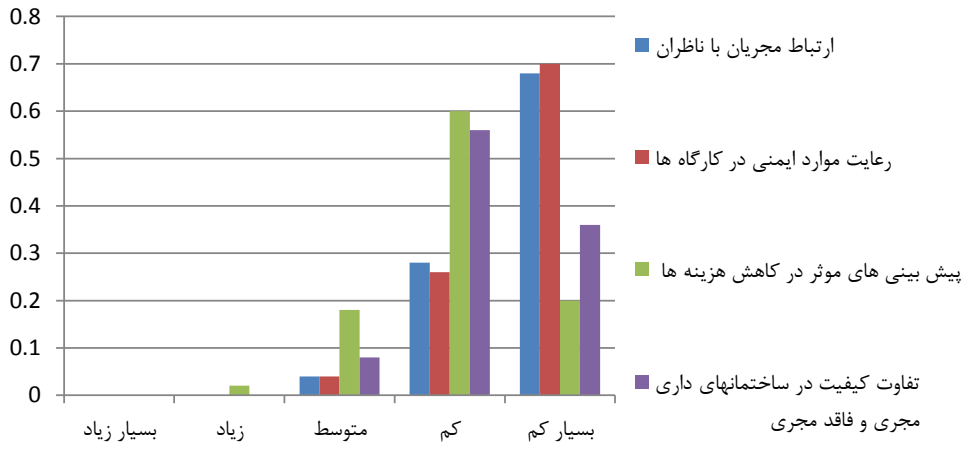
جدول ۲. تعداد نمونه گزارش‌های گروه‌های کنترل نظارت

	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶
تعداد نمونه	۳۵	۳۴	۳۵	۳۶
نمونه‌های دارای مجری	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
نمونه‌های فاقد مجری	۱۷	۱۵	۱۵	۱۵

با بررسی گزارش‌ها مشخص گردید که عدم رعایت موارد ایمنی در بیشتر آن‌ها قید گردیده است. درصد هر تخلف و اشکال نسبت به‌کل تخلفات و اشکالات برای ساختمان‌های دارای مجری در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۱. وضعیت ساخت‌وساز ازنظر مالکین

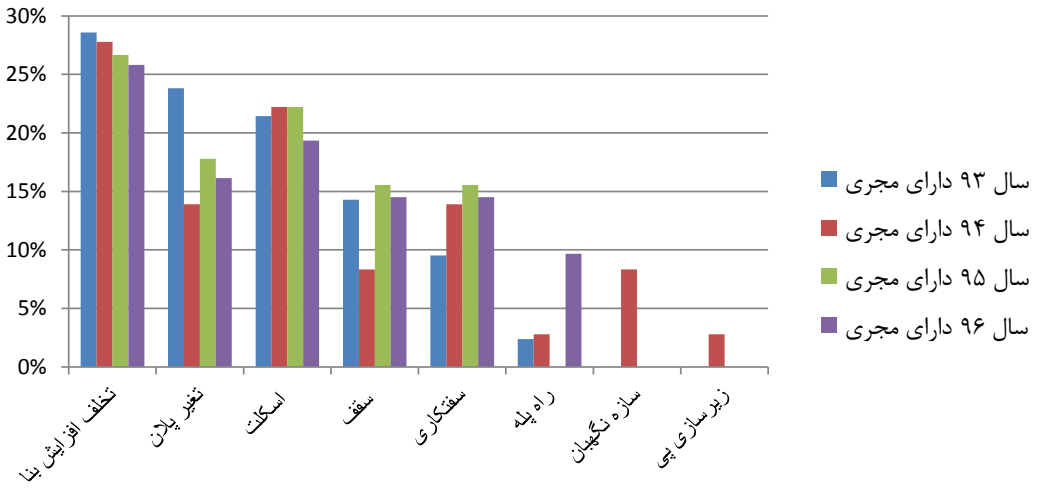


شکل ۲. عقیده ناظران در ایجاد ساخت‌وساز با رویکرد مدیریت بحران

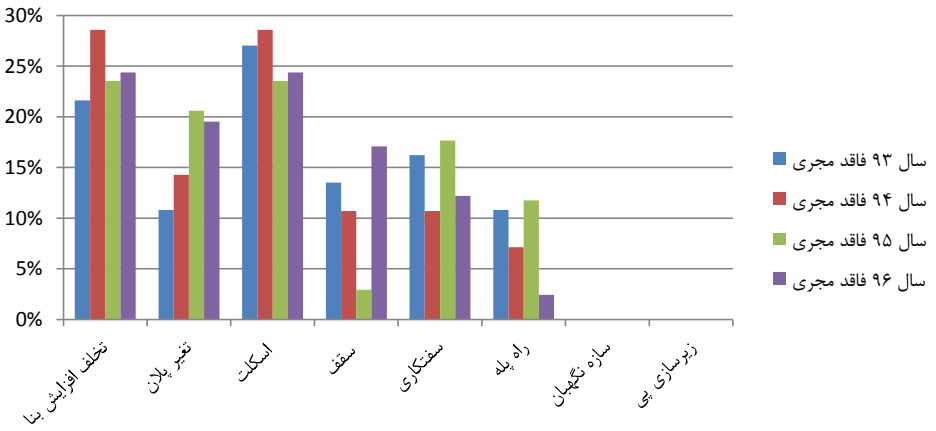
درصد هر تخلف و اشکال، نسبت به‌کل تخلفات و اشکالات برای ساختمان‌های فاقد مجری در شکل ۴ ارائه شده است.

میانگین تعداد خطاها در هر ساختمان در شکل شماره ۵ ارائه شده است.

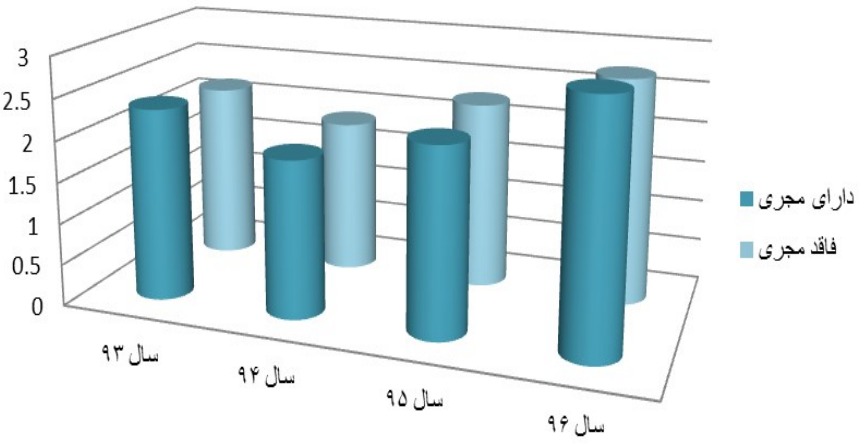
شکل ۵ نشان‌دهنده میانگین تعداد خطای تقریباً یکسان در ساختمان‌های دارای مجری و فاقد آن طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۶ در نمونه‌های مورد بررسی است. درصد هریک از تخلفات و اشکالات در کل نمونه‌ها برای ساختمان‌های دارای مجری در شکل شماره ۶ ارائه شده است.



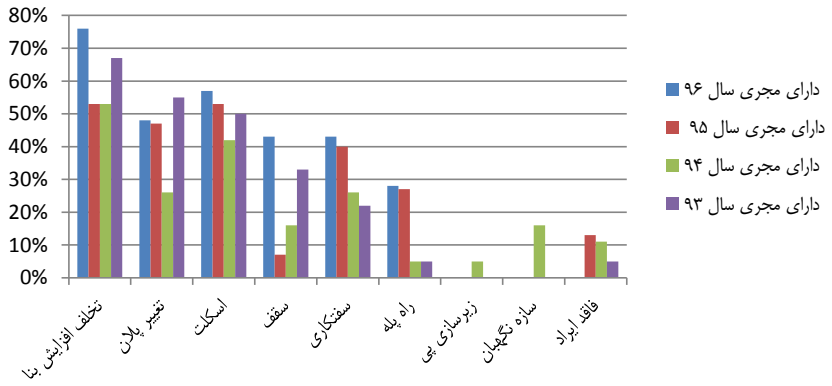
شکل ۳. فراوانی هر خطا نسبت به تعداد کل خطاها



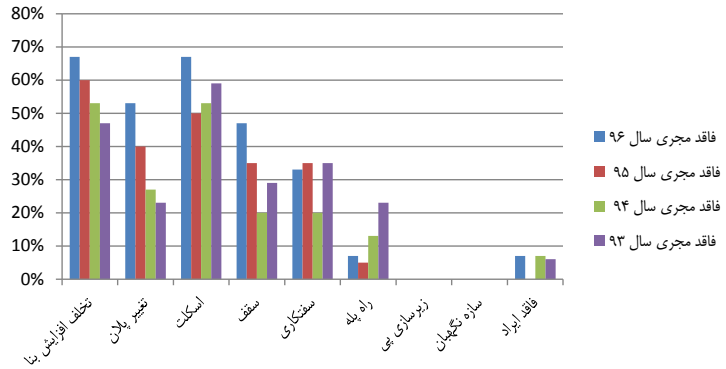
شکل ۴. فراوانی هر خطا نسبت به تعداد کل خطاها



شکل ۵. میانگین تعداد خطاها در هر ساختمان



شکل ۶. درصد هریک از تخلفات و اشکالات در کل نمونه‌ها



شکل ۷. درصد هریک از تخلفات و اشکالات در کل نمونه‌ها

در گزارش‌های مورد بررسی در ساختمان‌های دارای مجری، تخلف افزایش بنا مازاد بر پروانه ساختمانی در بیش از ۷۰ درصد و تخلف تغییر پلان در بیش از ۵۰ درصد از ساختمان‌های احداثی در سال ۹۶ مشاهده شد.

درصد هریک از تخلفات و اشکالات در کل نمونه‌ها برای ساختمان‌های فاقد مجری در شکل ۷ نشان داده شده است.

در گزارش‌های مورد بررسی در ساختمان‌های فاقد مجری، تخلف افزایش بنا مازاد بر پروانه ساختمانی در بیش از ۶۰ درصد و تخلف تغییر پلان در بیش از ۵۰ درصد از ساختمان‌های احداثی در سال ۹۶ مشاهده شد.

۳-۲- شاخص‌های مؤثر در به‌کارگیری مجری از نظر مالکین

بر اساس شرح وظایف قانونی مجری، نظر خبرگان و مسئولین و با توجه به وضعیت (شرایط) موجود ساخت‌وساز ساختمان‌های شهری (وفور ساخت‌وساز و شباهت‌های ساخت)، شاخص‌های مؤثر به شرح زیر تدوین گردید:

- شاخص ارائه تضمین‌ها (تضمین حسن انجام کار و بیمه تضمین کیفیت) جهت مسئولیت‌پذیری و عمل به وظیفه
- شاخص ارائه خدمات فنی در حد اجرای کار مورد تأیید مهندس ناظر
- شاخص ارائه خدمات مدیریت اجرایی شامل رعایت تقدم، تأخر و سرعت انجام کار و تحویل به‌موقع، کنترل هدر رفت و حیف‌ومیل مصالح، رعایت نظم و انضباط در کارگاه و استفاده از عوامل اجرایی ماهر.
- شاخص حضور تمام‌وقت مجری در کارگاه در طول زمان اجرای پروژه
- شاخص ارائه خدمات فنی درزمینه پیش‌بینی‌های لازم جهت جلوگیری از تخریب و دوباره‌کاری مانند اجرای آرماتور، انتظار و صفحه گذاری در سازه بتنی جهت اتصال طرح‌های معماری سقف‌ها، اتصال استراکچر نما به سازه، اتصال شاسی آسانسور به سازه، اتصال نرده راه‌پله به سازه و مهار درب‌های اصلی، پیش‌بینی جهت جلوگیری از تخریب سقف‌ها و دیوارها برای عبور کانال‌های کولر، لوله‌های فاضلاب و برق، پیش‌بینی اجرایی موارد سلیقه‌ای معماری و ارائه ایده‌های خلاقانه، اجرای فضاها متناسب با مقیاس‌های انسانی و در نظر گرفتن چیدمان فضاها.

جدول ۳. وزن شاخص‌های مؤثر در به‌کارگیری مجری ذی‌صلاح یا مهم‌ترین وظایف مجری از نظر مالک

رتبه	اهمیت شاخص (درصد)	شاخص
۱	۸۹/۸	پیش‌بینی‌های لازم جهت جلوگیری از تخریب و دوباره‌کاری
۲	۷۷/۸	حضور مجری در کارگاه
۳	۶۲/۸	ارائه خدمات مدیریت اجرایی
۴	۴۸/۴	ارائه تضمین‌ها (مسئولیت‌پذیری)
۵	۴۳	ارائه خدمات فنی در حد اجرای کار مورد تأیید ناظر

وزن شاخص‌ها نشان‌دهنده برخورداری تمامی شاخص‌های تعریف‌شده از اهمیت متوسط به بالا است. اهمیت شاخص ارائه خدمات و توانایی مجری درزمینه پیش‌بینی‌های لازم برای جلوگیری از تخریب، دوباره‌کاری و درنتیجه کاهش هزینه‌ها و کنترل نهایی قبل از اجرا و شاخص حضور مجری، در بین شاخص‌های تعریف‌شده ازنظر مالکین بسیار مهم است.

۳-۳- نظر مالکین در مورد نوع قرارداد

ازنظر ۹۰ درصد از مجریان، تمایل مالکین به پرداخت تنخواه در حد بسیار کم و ۸ درصد از آن‌ها معتقدند در حد کم است. ۸۰ درصد از مجریان معتقدند، در صورت پرداخت کارمزدها توسط شخص دیگری غیر از مجری، حرف‌شنوی عوامل اجرایی از مجری بسیار کم و ۲۰ درصد معتقدند که در حد کم است. قرارداد مناسب ازنظر ۹۶ درصد از مجریان، قرارداد پیمان مدیریت به علت ریسک پایین عنوان گردید. درحالی‌که تمامی قراردادهای ثبت‌شده در سازمان نظام‌مهندسی استان قزوین از سال ۱۳۹۲ تاکنون از نوع مدیریت اجرایی است، مالکین عنوان نمودند: درصورتی‌که طرفین قرارداد ملزم به رعایت کامل مفاد قرارداد باشند، قرارداد مناسب ازنظر آنان، قرارداد دستمزدی است. تمامی مالکین دلیل انتخاب خود را در اختیار داشتن مدیریت مالی ازنقطه‌نظر بهینه کردن هزینه‌ها عنوان نمودند. دلیل عدم انتخاب قرارداد پیمان مدیریت، مشخص نبودن مبلغ قرارداد، عدم اطمینان به سلامت مالی مجری، عدم اطمینان به تلاش مجری در کاهش هزینه‌ها، عدم اطلاع از نحوه پرداخت و پرداخت حق‌الزحمه مجری بر اساس هزینه‌ها عنوان گردید. دلیل عدم انتخاب قرارداد با مصالح، امکان عدم استفاده مجری از مصالح مرغوب و عدم انجام کار باکیفیت عنوان گردید.

۳-۴- حدود صلاحیت سازندگان

حدود صلاحیت و ظرفیت اشتغال به کار سازندگان حقوقی در یک برش زمانی (که به‌صورت پیمان مدیریت فعالیت می‌نمایند) مطابق اصلاحیه شماره ۴۳۰/۲۰۸۲۸ مورخ ۱۳۸۹/۰۴/۰۲ به شرح جدول ۵-۱ است.

در این بخش حدود صلاحیت افراد حقیقی را در نظر می‌گیریم. چراکه حدود صلاحیت اشخاص حقوقی، به حدود صلاحیت افراد حقیقی را پوشش می‌دهد.

این جدول آمار سطح ساخت‌وساز و تغییرات آن را طی هفت سال در استان قزوین، به تفکیک حدود صلاحیت مشخص شده در آخرین اصلاحیه دستورالعمل سازندگان را ارائه می‌دهد؛ بنابراین استفاده از این آمار جهت تعیین حدود صلاحیت برای اشخاص حقیقی و حقوقی مناسب است.

جدول ۵ -۱. درصد تعداد کار مجاز مطابق اصلاحیه شماره ۴۳۰/۲۰۸۲۸ مورخ ۱۳۸۹/۰۴/۰۲ [۸]

پایه	۳			۲	۱
ترکیب اعضا (حداقل ۳ نفر)	۱- کاردان پایه ۱ ۲- کاردان پایه ۱ ۳-معمار تجربی*	۱- مهندسی پایه ۳ ۲- کاردان* ۳- معمار تجربی*	۱- مهندس پایه ۳ ۲- مهندس پایه ۳ ۳- کاردان* یا معمار تجربی*	۱-مهندس پایه ۲ ۲- مهندس پایه ۲ ۳- مهندس پایه ۳ یا کاردان* یا معمار تجربی*	۱- مهندس پایه ۱ ۲- مهندس پایه ۱ ۳- مهندس پایه ۲ یا پایه ۳ یا کاردان* یا معمار تجربی*
بیشترین تعداد طبقات	۳	۵	۶	۱۰	بالاتر از ۱۰
بیشترین ظرفیت	۲۵۰۰	۴۰۰۰	۶۰۰۰	۹۰۰۰	۱۴۰۰۰

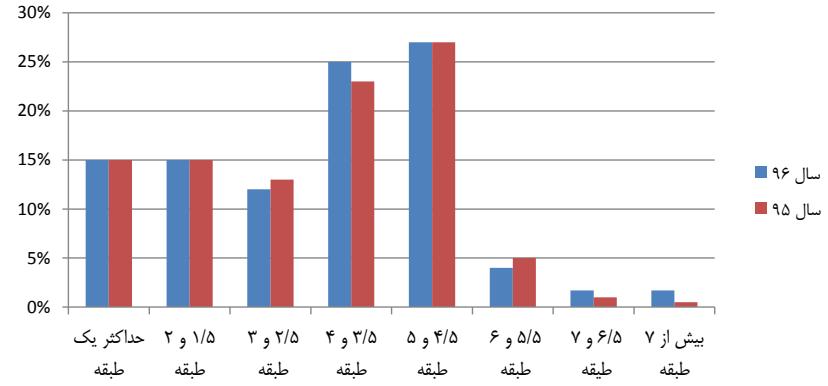
جدول ۵ -۲. درصد تعداد کار موجود در استان قزوین به تفکیک حدود صلاحیت و ظرفیت اشتغال به کار اشخاص حقیقی مطابق اصلاحیه شماره ۴۳۰/۲۰۸۲۸ مورخ ۱۳۸۹/۰۴/۰۲[۸]

سال	تعداد کل کارها در هرسال	تعداد کارها در حدود صلاحیت اشخاص حقیقی (درصد)					
		پایه ۳ کاردانی پایه‌های ۲ و ۱ معمار تجربی تا ۳۰۰ متر تا ۲ طبقه	پایه ۲ کاردانی تا ۶۰۰ متر تا ۳ طبقه	پایه ۱ کاردانی تا ۱۰۰۰ متر تا ۴ طبقه	پایه ۳ مهندسی تا ۱۵۰۰ متر تا ۵ طبقه	پایه ۲ مهندسی تا ۲۵۰۰ متر تا ۶ طبقه	پایه ۱ مهندسی تا ۳۵۰۰ متر تا ۷ طبقه
سال ۱۳۹۰	۶۰۲۷	۴۳	۵۵	۵۳	۹۳	۹۸	۹۹
سال ۱۳۹۱	۷۱۰۹	۴۶	۵۷	۸۶	۹۵	۹۸	۹۹
سال ۱۳۹۲	۴۶۷۷	۴۶	۵۹	۸۵	۹۴	۹۸	۹۹
سال ۱۳۹۳	۱۸۹۰	۳۱	۴۷	۷۶	۹۰	۹۶	۹۷
سال ۱۳۹۴	۱۷۱۹	۳۱	۵۳	۷۵	۹۰	۹۶	۹۸
سال ۱۳۹۵	۱۹۲۱	۲۳	۳۸	۶۳	۹۱	۹۷	۹۸
سال ۱۳۹۶	۲۱۴۶	۲۳	۳۷	۶۳	۹۱	۹۶	۹۹

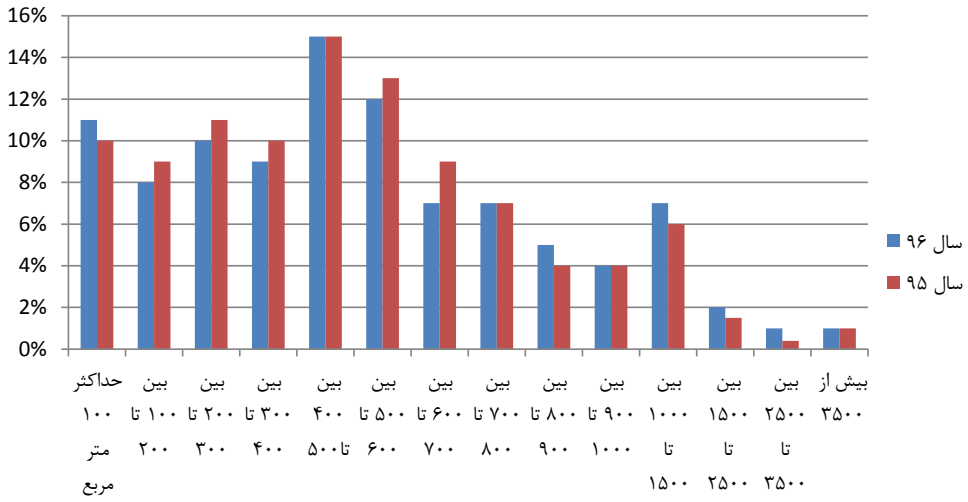
بیش از ۹۰ درصد ساختمان‌های استان قزوین ازنظر تعداد طبقات بین یک الی پنج طبقه است. آمار ساختمان‌های شش طبقه ۵ درصد، هفت طبقه حداکثر ۲ درصد و بیش از هفت طبقه حداکثر ۲ درصد است.

نمودار فوق نشان می‌دهد که بیش از ۹۵ درصد ساختمان‌های استان قزوین ازنظر متراژ بین ۱۰۰ مترمربع الی ۱۵۰۰ مترمربع است.

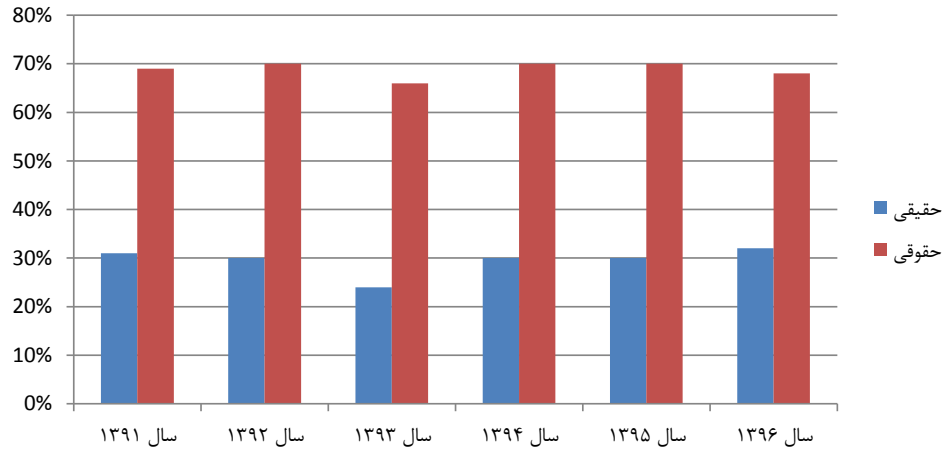
آمار ساختمان‌های بین ۱۵۰۰ مترمربع تا ۲۵۰۰ مترمربع حداکثر ۲ درصد و آمار ساختمان‌های بین ۲۵۰۰ مترمربع تا ۳۵۰۰ مترمربع حداکثر ۱ درصد و آمار ساختمان‌های بیش از ۳۵۰۰ مترمربع حداکثر ۱ درصد است.



شکل ۸. آمار ساختمان‌های احداثی در استان قزوین طی سال‌های ۹۵ و ۹۶ به تفکیک تعداد طبقات



شکل ۹. ساختمان‌های احداثی در استان قزوین طی سال‌های ۹۶ و ۹۵ به تفکیک متراژ



شکل ۱۰. کار انجام‌شده توسط مجریان حقیقی و حقوقی

جدول ۴. تعداد مجریان عضو سازمان نظام‌مهندسی ساختمان استان قزوین

پایه مجری	تعداد مجریان در تاریخ ۱۳۹۵/۰۲/۱۸	تعداد مجریان در تاریخ ۱۳۹۶/۰۳/۳۰
مهندسین مجری پایه ۱	۱۵۳	۱۵۴
مهندسین مجری پایه ۲	۱۵۱	۱۴۳
مهندسین مجری پایه ۳	۷۹	۹۳
معمار تجربی مجری پایه ۱	۱۹	۵۳
معمار تجربی مجری پایه ۲	۱۳۰	۱۲۶
معمار تجربی مجری پایه ۳	۳۵	۲۹
کاردان مجری پایه ۱	۱۰	۹
کاردان مجری پایه ۲	۱۷	۱۰
کاردان مجری پایه ۳	۱۹	۱۱
جمع	۶۱۳	۶۲۸

کار انجام‌شده توسط مجریان حقوقی بیش از دو برابر کار انجام‌شده توسط مجریان حقیقی است.

تعداد مجریان در پایه‌های یک و دو کمابیش باهم برابرند. تعداد کاردان‌ها جهت فعالیت در سمت سرپرست کارگاه بسیار کم است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- نتایج نشان داد که تنها ۸ درصد از پاسخ‌دهندگان از نوع قرارداد منعقده با مجری ساختمان خود مطلع هستند. ۷۶ درصد از مالکین حضور مجری خود را در حد بسیار کم، ۱۸ درصد در حد کم و ۶ درصد در حد متوسط ارزیابی نمودند. مطابق نظر ناظران، پیش‌بینی‌های لازم جهت جلوگیری از تخریب و دوباره‌کاری، رعایت موارد ایمنی و ارتباط مجریان با ناظران بسیار کم است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و وضعیت عملکرد سازندگان، می‌توان نتیجه گرفت که در حال حاضر اقدامات اجرایی توسط مالکین درزمینه پیش‌بینی‌های لازم جهت جلوگیری از تخریب، دوباره‌کاری و رعایت موارد ایمنی انجام می‌شود. بررسی گزارش بازدید گروه‌های کنترل نظارت سازمان نظام‌مهندسی استان قزوین طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۳ در ساختمان‌های دارای مجری و فاقد آن نشان داد که میزان اشکالات ساختمان‌های دارای مجری و فاقد مجری تفاوت چندانی ندارد. ازنظر ناظران نیز تفاوت کیفیت ساخت در ساختمان‌های دارای مجری و فاقد آن در حد بسیار کم و بیشترین خطا مربوط به تخلف افزایش بنا مازاد بر پروانه ساختمانی است. این نتایج بیانگر آن است که طرح در جلوگیری از تخلف افزایش بنا مازاد بر پروانه ساختمانی ناکارآمد است. صاحب‌کاران از خدمات مجریان استفاده نمی‌کنند. یا به‌عبارت‌دیگر صاحب‌کاران معتقدند که نیازی به خدمات مجریان ندارند و علاوه بر آن، طرح به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت در جلوگیری از افزایش بنا مازاد بر پروانه ساختمانی نیز بی‌تأثیر بوده است. در حال حاضر، مالکین، صاحب‌کاران و سرمایه‌گذاران فعال در حوزه مسکن، بدون وجود مشکل و بدون احساس مشکل از جانب ناظران و حتی از جانب بهره‌برداران، مشغول به فعالیت هستند؛ بنابراین مالکین، صاحب‌کاران و سرمایه‌گذاران فعال در حوزه مسکن باید بدانند که به چه علت باید از خدمات سازندگان دارای صلاحیت استفاده نمایند و سازندگان دارای صلاحیت باید بدانند که خدمات موردنظر مالکین، صاحب‌کاران و سرمایه‌گذاران فعال در حوزه مسکن کدام است.

۴-۲- همان‌طور که شاهد هستیم فرایند احداث ساختمان‌های شهری، امری بسیار متداول است. در ساختمان‌ها شباهت‌هایی نظیر متراژ و شرایط زمین‌ها، تعداد طبقات احداثی، نوع متعارف ساخت و استفاده از مصالح ساختمانی به چشم می‌خورد. این موضوع مورد تأیید پاسخ‌دهندگان نیز هست. با توجه به تنوع پاسخ‌دهندگان ازنظر میزان تجربه، ۵۲ درصد از مالکین معتقدند که شباهت‌های ساخت ساختمان‌ها به یکدیگر در حد زیاد و ۴۰ درصد از مالکین معتقدند که در حد بسیار زیاد است. این شباهت‌ها تأثیرات بسزایی در فرایند ساخت ساختمان دارند و موجب ایجاد تجربه برای استادکاران و عوامل اجرایی و ایجاد توانایی مدیریتی در صاحب‌کاران گردیده است؛ بنابراین می‌توان عواملی همچون وفور ساخت‌وساز شهری، وجود تشابه در روش‌های ساخت، سهولت در تأمین و به‌کارگیری عوامل اجرایی، سهولت در تهیه مصالح ساختمانی استاندارد و وجود مهارت در استادکاران، وجود ابزارهای کنترلی نظیر آزمایش‌های اجباری، وجود ناظر و کمیته کنترل نظارت سازمان نظام‌مهندسی استان قزوین و سازمان مسکن را در عدم احساس نیاز مالکین برای استفاده از سازندگان دارای صلاحیت مؤثر دانست؛ بنابراین مالکین، صاحب‌کاران و سرمایه‌گذاران فعال در حوزه مسکن باید بدانند که به چه علت باید از خدمات سازندگان دارای صلاحیت استفاده نمایند. در بررسی شاخص‌های مهم‌ترین وظایف سازندگان، آمار به‌دست‌آمده حاکی از اهمیت بالای تمامی شاخص‌های است. توانایی مجری در ارائه خدمات فنی، اجرایی، توالی کارها، تحویل به‌موقع، کنترل هدر رفت مصالح و انضباط، یافتن گروه‌های اجرایی ماهر و استادکاران و به‌کارگیری آنان، تهیه مصالح ساختمانی استاندارد و مرغوب از ضروری‌ترین وظایف مجریان و سازندگان دارای صلاحیت است؛ ولی همان‌طور که نتایج تحقیق نشان داد تمامی این موارد توسط

صاحب‌کاران قابل انجام است و صاحب‌کاران توانایی انجام آن را دارند. درنتیجه صاحب‌کاران عوامل مؤثر در تفاوت به‌کارگیری مجری و شاخص‌های اصلی و تأثیرگذار در وجود یا عدم وجود وی را شاخص پیش‌بینی‌های لازم جهت جلوگیری از تخریب و دوباره‌کاری و شاخص حضور دائم مجری در کارگاه می‌دانند. حتی ازنظر آن‌ها شاخص ارائه تضمین اهمیت کمتری نسبت به شاخص‌های دیگر دارد؛ زیرا در صورت وجود ایراد، پیگیری دریافت خسارت وارده، بسیار دشوار و مستلزم صرف وقت و هزینه است. در شرایط فعلی ارائه خدمات متفاوت نسبت به سازندگان سنتی، بسیار طبیعی است. تأثیر مجریان با توجه به وضعیت ساخت‌وساز باید در کاهش هزینه‌های اجرا از طریق انجام پیش‌بینی‌های لازم و اقدامات پیشگیرانه جهت جلوگیری از تخریب، دوباره‌کاری و همچنین ارائه خدمات پیمانکاری مؤثر باشد. از طرف دیگر عملکرد مجریان به‌عنوان کنترل‌کننده نهایی جهت رفع هرگونه عیب و ایراد در فاز طراحی و انجام موارد دیده نشده در طراحی بسیار مهم، حیاتی و مورد انتظار صاحب‌کاران است. از طرف دیگر حضور تمام‌وقت مجری از اصلی‌ترین خواسته‌های مالکین است. لازم به ذکر است که در آئین‌نامه اجرایی، حضور تمام‌وقت مجری یا نماینده وی، جزئی از شرح و وظایف مجریان است؛ ولی مالکین حضور تمام‌وقت مجری را لازم و ضروری می‌دانند؛ بنابراین می‌توان گفت که حضور تمام‌وقت مجری ازنظر روانی بسیار مؤثر است.

۴-۳- قرارداد پیمان مدیریت ازنظر مالکین در اولویت اول انتخابی آن‌ها نیست؛ درحالی‌که مطابق آمار تمامی قراردادهای مجریان ذیصلاح از سال ۱۳۹۲ تاکنون به‌صورت پیمان مدیریت درزمینه خدمات فنی و اجرایی است. از طرف دیگر گزارش‌های میدانی، خبر از صوری بودن قراردادهای مجریان می‌دهد. به‌راحتی می‌توان رابطه مستقیم بین امضا فروشی و انعقاد قراردادها را دریافت. کاملاً روشن و واضح است که ماهیت قرارداد پیمان مدیریت، استعداد و پتانسیل لازم برای صوری عمل نمودن در سایه قانونی جلوه دادن مستندات را دارد. وجود اصلاحیه شماره ۴۳۰/۲۰۸۲۸ مورخ ۰۴/۰۲/ ۱۳۸۹ دستورالعمل شماره ۵۶۰۹۶/۱۰۰/۰۲ مورخ ۸۷/۱۱/۰۲ مبنی بر نحوه فعالیت سازندگان مسکن و ساختمان، تأکیدی بر این موضوع است. در اصلاحیه مذکور نحوه تشکیل و فعالیت سازندگان حقیقی و حقوقی فعال درزمینه قرارداد پیمان مدیریت، از سازندگان فعال درزمینه پیمانکاری و قرارداد دستمزدی مستثنا شده است؛ بنابراین اقدامات لازم از طرف سازمان نظام‌مهندسی ساختمان جهت کنترل اجرای کامل مفاد قرارداد منعقده فی‌مابین مجری و مالک بسیار ضروری و مفید به نظر می‌رسد.

۴-۴- بررسی‌ها نشان می‌دهد که حدود صلاحیت‌های اعمال شده با سطح پروژه‌های استان قزوین همخوانی ندارد. در حال حاضر حدود صلاحیت در استان قزوین بر اساس مصوبات داخلی هیئت چهارنفره استان کنترل می‌گردد. بر اساس این کنترل و حتی دستورالعمل سال ۱۳۸۷ و اصلاحیه آن، بیش از ۹۰ درصد پروژه‌های موجود در استان توسط مهندسان مجری حقیقی و معماران تجربی پایه یک و کاردان‌های پایه یک و دو قابل انجام است. یکی از مشکلات موجود، عدم تعیین سقف متراژ برای هر کار است. به‌عنوان‌مثال یک مجری با حدود صلاحیت حداکثر سه کار هم‌زمان و حداکثر ۱۲۰۰ مترمربع امکان دریافت یک کار ۱۲۰۰ مترمربعی را دارد. مطابق آمار تعداد مجریان در پایه‌های یک و دو تقریباً باهم برابرند درحالی‌که ساختمان‌های موجود در سطح استان متناسب حدود صلاحیت تعیین شده برای مجریان حقیقی پایه یک و مجریان حقوقی در پایه‌های سه، دو و یک بسیار کم است. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۵ تعداد ساختمان‌های بیش از ۶ طبقه کمتر از ۱/۵ درصد و در سال ۱۳۹۶ کمتر از ۳/۵ درصد است. همچنین در مورد سهمیه شرکت‌ها می‌توان دریافت که امکان استفاده همه سهمیه شرکت در تعداد کار مجاز امکان‌پذیر نیست. آمار نشان می‌دهد که پروژه‌های بیش از ۲۵۰۰ مترمربع در سال ۱۳۹۵ کمتر از ۱/۵ درصد و در سال ۱۳۹۶ کمتر از ۲ درصد کل پروژه‌های استان را تشکیل داده‌اند. از طرف دیگر فعالیت اشخاص حقوقی دو برابر اشخاص حقیقی بوده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تشکیل شرکت‌ها، تنها جهت اخذ تعداد کار بیشتر بوده است. مجریان حقوقی با داشتن صلاحیت اخذ کار بیشتر نسبت به مجریان حقیقی، در جذب کارهای متناسب با حدود صلاحیت مجریان حقیقی با آن‌ها رقابت می‌نمایند. مطابق حدود صلاحیت تعیین شده برای مجریان حقوقی، با افزایش نفرات عضو شرکت، تعداد کار ثابت و متراژ سهمیه افزایش می‌یابد. این بدان معنی است که شرکت‌ها جهت انجام کارهای بزرگ در نظر گرفته شده‌اند ولی در واقعیت کارهایی متناسب با حدود صلاحیت تعریف شده برای شرکت‌ها وجود ندارد. در حال حاضر شرکت‌ها با هدف ایجاد ظرفیت اشتغال بکار بالا تشکیل می‌شوند و می‌توانند ازنظر تعداد کار کامل شوند؛ ولی امکان تکمیل سهمیه آن‌ها بسیار کم است. طی نظرسنجی انجام شده از مجریان مشخص شد که تمامی مجریان یکی از عوامل عدم ارائه خدمات توسط مجریان را کمابیش صلاحیت تعدد اخذ کار هم‌زمان می‌دانند. مطابق با حدود صلاحیت تعیین شده در اصلاحیه سال ۱۳۸۹ پیشنهاد می‌شود تعداد کار هم‌زمان به یک کار، برای افراد حقیقی کاهش یابد. در مورد اشخاص حقوقی پیشنهاد تعیین سقف تعداد کار به میزان بسیار کم (مشابه حدود صلاحیت تعداد کار در نظام فنی اجرایی) ارائه شد. در خصوص سرپرستان کارگاه، هر مجری مطابق با ضوابط موظف است در صورت اخذ کار هم‌زمان و برای کارهای بیش از یک کار، یک نفر رئیس کارگاه با پروانه اشتغال بکار را به‌صورت تمام‌وقت در هر کارگاه ساختمانی منسوب نماید.

به‌طور کامل مشخص است که تعداد کاردان‌ها بسیار کم می‌باشد. از طرف دیگر در صورت امکان فعالیت افراد دارای صلاحیت به‌عنوان مجری ذی‌صلاح و سرپرست کارگاه بسیار کم است. در خصوص به‌کارگیری سرپرست کارگاه می‌توان گفت که با توجه به سطح پروژه‌های استان و تعداد دارندگان صلاحیت اجرا، به‌کارگیری سرپرست کارگاه نیازمند تعیین حدود صلاحیت متناسب با سطح پروژه‌های استان قزوین است. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود تعداد کار هم‌زمان به یک کار برای افراد حقیقی کاهش یابد. این

جدول ۶. حدود صلاحیت سرپرست کارگاه برابر اصلاحیه ۴۳۰/۲۰۸۲۸[۸]

پایه پروانه اشتغال بکار رئیس کارگاه	بیشترین متراژ ناخالص ساختمان	بیشترین تعداد طبقات از روی پی
کاردان پایه ۳ معماری یا عمران	تا ۵۰۰ مترمربع	تا ۳ طبقه
کاردان پایه ۲ معماری یا عمران	تا ۱۰۰۰ مترمربع	تا ۴ طبقه
کاردان پایه ۱ معماری یا عمران	تا ۲۰۰۰ مترمربع	تا ۵ طبقه
مهندس پایه ۳ معماری یا عمران	تا ۳۰۰۰ مترمربع	تا ۶ طبقه
مهندس پایه ۲ معماری یا عمران	تا ۶۰۰۰ مترمربع	تا ۷ طبقه
مهندس پایه ۱ معماری یا عمران	تا ۱۰۰۰ مترمربع	بیش از ۷ طبقه

جدول ۷. تعداد مجریان کاردان و معمار تجربی جهت سرپرست کارگاه

پایه مجری	تعداد مجریان در تاریخ ۱۳۹۵/۰۲/۱۸	تعداد مجریان در تاریخ ۱۳۹۶/۰۳/۳۰
کاردان مجری پایه ۱	۱۰	۹
کاردان مجری پایه ۲	۱۷	۱۰
کاردان مجری پایه ۳	۱۹	۱۱
جمع	۴۶	۳۰

پیشنهاد با توجه به خواسته مالکین مبنی بر حضور دائم مجری در کارگاه، تقویت می‌شود. ازآنجایی‌که سطح پروژه‌ها، متراژ و فراوانی کارها و همچنین تعداد مجریان ذی‌صلاح در هر استان متفاوت با سایر استان‌ها است؛ پس شایسته است حدود صلاحیت برای هر استان به‌صورت جداگانه و بر اساس سطح پروژه‌های آن استان ارائه شود. جدول ۵ نشان‌دهنده تغییرات کم و یکسان سطوح مختلف ساخت‌وساز استان در هرسال نسبت به سال گذشته است.

نتیجه‌گیری

به‌کارگیری افراد دارای صلاحیت از عوامل مهم و ضروری در راستای اطمینان از ایمنی و کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر وقوع زلزله و مدیریت بحران است. هدف از این تحقیق بررسی طرح به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت در ساخت ساختمان‌های شهری است. نتایج تحقیق نشان‌دهنده عدم موفقیت نسبی این طرح و صوری بودن به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت است. مهم‌ترین شاخص‌ها و وظایف مجری ازنظر صاحب‌کاران به ترتیب در شاخص ارائه خدمات فنی درزمینه پیش‌بینی‌های لازم جهت جلوگیری از تخریب و دوباره‌کاری با وزن ۸۹/۸ درصد، شاخص حضور مجری با وزن ۷۷/۸ درصد، شاخص ارائه خدمات اجرایی با وزن ۶۲/۸ درصد، شاخص ارائه تضمین‌ها با وزن ۴۸/۴ درصد و شاخص ارائه خدمات فنی در حد تأیید کار توسط ناظر با وزن ۴۳ درصد تعیین گردید. تمامی شاخص‌ها تأثیر مهمی بر تصمیم مالکین برای به‌کارگیری سازنده دارای صلاحیت دارند. وزین بودن شاخص‌های پیش‌بینی‌شده جهت جلوگیری از تخریب، دوباره‌کاری و حضور مجری نشان داد که خدمات مجریان باید ازنظر مالکین ملموس باشد. عوامل مؤثر بر طرح به‌کارگیری سازندگان دارای صلاحیت، نوع قرارداد، حدود صلاحیت سازندگان و فعالیت سازندگان حقوقی با توجه به سطح ساخت‌وساز هر منطقه بررسی شد. در بحث نوع قرارداد مشخص شد که مالکین تمایلی به انعقاد قرارداد پیمان مدیریت و پرداخت تنخواه ندارند و در صورت الزام به رعایت کامل مفاد قرارداد منعقده، قرارداد دستمزدی را انتخاب می‌کنند؛ بنابراین پیش‌بینی راه‌کارهایی اجرایی جهت تعهد طرفین قرارداد به رعایت کامل مفاد قرارداد منعقده الزامی است. در موضوع حدود صلاحیت، با بررسی آمار ساخت‌وساز در استان قزوین و بر اساس آخرین اصلاحیه دستورالعمل سازندگان مشخص گردید که حدود آن‌ها متناسب و مطابق با سطح پروژه‌های موجود در استان نیست؛ ولی بررسی آمار نشان می‌دهد که امکان تعیین حدود صلاحیت متناسب با سطح پروژه‌های استان وجود دارد.

منابع

۱. رجبی فرد، عباس (زمستان ۹۳). زیرساخت اطلاعات مکانی و مدیریت زمین. سازمان فناوری و اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.

۲. رئیسی، رضا (۱۳۸۹). کاربرد GIS در مدیریت بحران زلزله شهر شهرکرد، همایش ژئوماتیک ۸۹، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.

۳. کرامتی، صفی اله؛ محمدی، بهمن؛ سلیمی، توحید؛ مقدمی، حسین؛ حقیقی، کاوه (۱۳۹۱). مدیریت بحران و کاهش آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی در زلزله در استان زنجان. دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران: نقش فناوری‌های نوین در کاهش آسیب‌پذیری ناشی از حوادث غیرمترقبه.

۴. طالب، مهدی (۱۳۸۰). شیوه سکونت گزینی و گونه‌های مساکن روستایی، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی.

۵. پورمحمدی، محمدرضا؛ مصیبت زاده، علی (۱۳۸۷). آسیب‌پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت محله‌ای در امدادرسانی آن‌ها. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲.

۶. وزارتخانه‌های مسکن و شهرسازی و کشور (۱۳۸۴). مبحث دوم بانضمام مجموع شیوه‌نامه‌های مصوب اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۴. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه ایران.

۷. وزارت راه و شهرسازی (۱۳۸۷). دستورالعمل نحوه فعالیت سازندگان مسکن و ساختمان. دفتر سازمان‌های مهندسی و تشکل‌های حرفه‌ای.

۸. وزارت راه و شهرسازی (۱۳۸۹). اصلاحیه دستورالعمل نحوه فعالیت سازندگان مسکن و ساختمان. دفتر سازمان‌های مهندسی و تشکل‌های حرفه‌ای.
۹. خانجانی، حامد؛ شاکری، اقبال (۱۳۹۳). آسیب‌شناسی مدیریت کیفیت در ساخت‌وسازهای شهری. دومین کنگره تخصصی مدیریت شهری ایران، ساری، مرکز همایش‌های توسعه ایران.
۱۰. ابراهیمی، علی؛ شیخ انصاری، رضا؛ هوایی، غلامرضا (۱۳۸۸). آسیب‌شناسی وضعیت موجود ساخت‌وساز با نگرش بر مقررات ملی ساختمان. دومین همایش مقررات ملی ساختمان. سازمان مسکن و شهرسازی استان فارس.
۱۱. پیاده، فرزاد؛ زارعی، مهدی؛ مؤید اسلامی، رضا (۱۳۹۱). شناسایی و مطالعه آماری مشکلات اجرایی در صنعت ساختمان‌سازی و ارائه راهکارهای لازم جهت رفع آن. نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران.
۱۲. مسعودی، محمدحسین؛ خانجانی، حامد؛ فرهودی، نوید؛ غلامحسینی، موسی؛ محسنی، سید جعفر (۱۳۹۳). تأثیر طراحان، مجریان و ناظران کیفی در افزایش استفاده از مصالح ساختمانی استاندارد. اولین همایش ملی مهندسی عمران، شهرسازی و توسعه پایدار.
۱۳. هادیان فرد، محمدعلی؛ راستی، مهرداد (۱۳۹۳). نقش مجریان ذیصلاح در افزایش عمر مفید و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری ساختمان‌ها. ششمین همایش مقررات ملی ساختمان. دبیرخانه دائمی مباحث مقررات ملی ساختمان.
۱۴. بهاری بهمن بیگلو، محمدجواد؛ میثمی، محمدحسن (۱۳۹۴). بررسی تأثیر قانون مجریان ذیصلاح بر کیفیت ساختمان در مراحل مختلف اجرای ساختمان از دیدگاه ذی‌نفعان مختلف و فاکتورهای مورد انتظار قانون. سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری. دبیرخانه دائمی کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، دانشگاه شهید بهشتی.
۱۵. طوسی، عباس؛ کاشانی، جواد (۱۳۹۶). تحلیل حقوقی-اقتصادی حق بیمه‌های پیمانکاری‌ها؛ نقدی بر رویه سازمان تأمین اجتماعی و دیوان عدالت اداری. نشریه پژوهش حقوق عمومی، دانشگاه علامه طباطبایی. شماره ۵۵.
۱۶. شکوهی، محمدرضا (۱۳۹۶). درآمدی بر اقتصاد پیمانکاری در صنعت نفت ایران، بررسی رویکرد ساخت یا خرید. نشریه پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، دانشگاه علامه طباطبایی، شماره ۱۶.
۱۷. دبیری، فرهاد؛ خلعتبری، یلدا؛ زارعی، سحر (۱۳۹۷). دست‌یابی به توسعه پایدار از منظر حقوق بین‌الملل محیط زیست. نشریه انسان و محیط زیست، شماره ۴۴.
۱۸. شاه‌آبادی، محمدحسین؛ فتحی، محمدرضا؛ محمدحسن ملکی، (۱۳۹۷). ارائه چارچوبی با در نظر گرفتن ملاحظات بهداشت، ایمنی و محیط زیست در تخریب ساختمان‌ها با استفاده از FAHP (مطالعه موردی: سعادت‌آباد تهران). نشریه انسان و محیط زیست. شماره ۴۶.
۱۹. والی پور، علیرضا؛ جمالی، مهدی، (۱۳۹۹). انتخاب پیمانکار عمرانی با استفاده از روش سوارا و کوپراس: مطالعه موردی شرکت زاگرس جنوبی. نشریه سازه و ساخت. شماره (در دست چاپ).
۲۰. راز پور، مهدی؛ عراقی زاده، مجتبی؛ الحسابی علی، (۱۳۹۷). مهران الگوی تبیین شاخص‌های دفاع غیرعامل در راستای کاهش آسیب‌پذیری شهری مطالعه‌ی موردی: شهر سنندج. نشریه علمی و پژوهشی مدیریت بحران. شماره ۷.
21. Cherinet, D. (2020). Effectiveness of Joint Venture for Local Contractors in a Mega Project Construction. American Journal of Civil Engineering, 8(4), 97-105.
22. Choi, J. O., Chen, X. B., & Kim, T. W. (2019). Opportunities and challenges of modular methods in dense urban environment. International journal of construction management, 19(2),93-105.

توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها با تأکید بر تأسیسات و زیرساخت‌های شهری

مطالعه موردی: کلان‌شهر مشهد

محمدعلی جربان: کارشناسی ارشد، پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
سعید امینی ورکی *: کارشناسی ارشد، پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، s.aminicivil@gmail.com
امیر شکیبامنش: استادیار گروه طراحی شهری، دانشگاه هنر، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

رشد جمعیت و ملاحظات اقتصادی دو محدودیت اصلی شهرها هستند که پیامدهای متعددی ازجمله رشد عمودی و توسعه فزاینده فضاهای زیرزمینی را به ارمغان آورده‌اند. نقش‌ها، عملکردها و ظرفیت‌های فراوانی را می‌توان برای فضاهای زیرزمینی برشمرد. عدم تملک زمین، مصونیت و امکان تداوم خدمات زیرساخت‌ها، انتقال برخی از کاربری‌های ناسازگار با محیط شهری به زیر سطح زمین، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلودگی محیط زیست، بهره‌برداری درزمینه دفاع غیرنظامی و موارد متعدد دیگر از مزایای فضاهای زیرزمینی است که به جهت استقرار در عمق زمین، برای آن‌ها ایجاد می‌شود. در این پژوهش، با بهره‌گیری از روش کیو (Q) نخست بر پایه نتایج پژوهش‌های مرتبط با موضوع فضاهای زیرزمینی، تاب‌آوری و تجزیه‌وتحلیل فضای گفتمانی موجود، شناخت جامعی از نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها به دست آمد؛ سپس، با بهره‌گیری از مشارکت متخصصان، دیدگاه‌های مختلف در این زمینه شناسایی و دسته‌بندی شد تا ازاین‌رو گامی فراتر از مجموعه تحلیل‌های ارائه‌شده پیش رو بگذارد. یافته‌های پژوهش بر پایه تحلیل عاملی کیو، بیانگر چهار رویکرد درزمینه نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها است. رویکرد اول بیانگر تداوم خدمات؛ رویکرد دوم، امداد و نجات؛ رویکرد سوم، ایمنی و امنیت شهری و رویکرد چهارم حفاظت از محیط زیست است. درواقع طی این پژوهش ظرفیت‌های موجود در فضاهای زیرزمینی در راستای افزایش میزان مقاومت و بازگشت‌پذیری شهرها در برابر انواع تهدیدات و حوادث تعیین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *تاب‌آوری، فضاهای زیرزمینی، پدافند غیرعامل، روش کیو، تحلیل عاملی*

The Role of Underground Spaces in Resilience of Cities With Emphasis on Urban Facilities and Infrastructures

(Case study: Mashhad Metropolis)

Mohammad Ali Jarban*[1], Saeed Amini Varaki [2], Amir Shakibamanseh[3]

Abstract

Population growth and economic considerations are two main urban constraints that have brought many consequences including vertical growth and increasing subsurface spaces development. Many roles, functions and abilities can be counted for subsurface spaces. Lack of land ownership, impunity and the possibility of continuity of infrastructure services, the transfer of some facilities that are harmful to urban environment to the underground level, reducing energy consumption, reducing environmental pollution, exploiting civil defense and many other issues of are among the benefits of subsurface spaces that are being deployed.

In this research, using Q methodology based on the results of studies related to subsurface spaces and resiliency and the analysis of existing discursive space, a comprehensive understanding of the role of subsurface space development in resiliency of cities was obtained; then, using experts' contributions, different perspectives were identified and categorized so that they would go beyond the set of analyses presented. The findings of the research based on Q's analysis of the factor analysis indicated four approaches to the role of sub-surface development in resilient cities. The first approach reflects the continuity of services; the second approach is rescue and relief, the third approach is urban safety and security, and the fourth approach is environmental protection. In fact, in this study, the capacity of subsurface spaces that could increase the resiliency and return ability of cities against all kinds of threats and accidents was determined.

Key words: *Factor Analysis, Passive Defense, Q Methodology, Resiliency, Subsurface Spaces*

1 – Master of Passive Defence –Malek Ashtar Industrial University
2 – Master of Passive Defence –Malek Ashtar Industrial University
3 – Assistant Professor of Urban studies faculty of Tehran Art University

۱- مقدمه

یکی از نتایج رشد فزاینده جمعیت شهرها، افزایش تقاضا برای استفاده از فضا و منابع طبیعی است [۱]. امروزه بیش از نیمی از مردم جهان ساکن شهرها هستند و پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش این رقم به ۶۶ درصد تا سال ۲۰۵۰ است. تا این تاریخ، عمده کلان‌شهرهای جهان در جنوب شرق آسیا، آمریکا و آفریقا متمرکز خواهند بود [۲]. رشد جمعیت و ملاحظات اقتصادی، دو محدودیت اصلی شهرها هستند که پیامدهای متعددی ازجمله رشد عمودی و توسعه فزاینده زیرزمینی را به ارمغان آورده‌اند. البته منافع مختلف استفاده از فضاهای زیرزمینی نیز در این مسئله بی‌اثر نبوده است [۳]. با توجه به ظرفیت این فضاها در تأمین برخی از نیازهای شهرهای پرتراکم امروزی، بهره‌برداری از آن‌ها در دستور کار بسیاری از شهرهای زیست پذیر قرارگرفته است.

رشد شهرها؛ به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته، زیرساخت‌های فرسوده در شهرهای قدیمی‌تر، تقاضای محافظت از محیط‌زیست و مطالبه شرایط زندگی بهتر از سوی مردم، باعث ایجاد انگیزه‌های قوی در جهت بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی برای حل مشکلات شبکه‌ها و سامانه‌های روزمینی شده است. سه حوزه اصلی به‌کارگیری فضاهای زیرزمینی عبارت‌اند از [۴]:

کاربری‌ها و شبکه‌های حوزه حمل‌ونقل (حمل بار و مسافر، توقفگاه‌های خودرو، پیاده‌روها و مسیرهای عبور دوچرخه)؛

شبکه‌های خدماتی (مخابرات، شبکه فاضلاب و تصفیه‌خانه‌ها، تأسیسات ذخیره صنعتی) و زیرساخت‌های مدیریت توزیع انرژی و آب (تحویل، تعمیر و نگهداری و ذخیره‌سازی)؛

فضاهای تجاری و خدماتی زیرزمینی (فروشگاه‌ها و مراکز تفریحی).

از سو دیگر فضاهای زیرزمینی از ابعاد مختلفی قابل‌بررسی هستند. از دیدگاه مسائل امنیتی و دفاعی، استفاده از فضاهای زیرزمینی به‌عنوان پناهگاه و فضای امن، برای حفاظت از جان انسان‌ها در برابر انواع بلایا، خطرات و تهدیدات، همیشه موردتوجه شهر سازان بوده است. احداث پناهگاه‌ها در طول جنگ‌های جهانی و همچنین استفاده از فضاهای زیرزمینی شهری مانند مترو برای اسکان اضطراری مردم در زمان بمباران، مؤید این مطلب است. همچنین برای حفاظت از زیرساخت‌های شهری و تضمین تداوم عملکرد آن‌ها در شرایط بحران، اغلب سعی بر این است که از تونل‌های زیرزمینی برای انتقال شبکه‌های زیرساخت شهری استفاده شود. همچنین باید به این نکته توجه شود که توسعه روزافزون شهرها، تراکم کاربری‌های شهری و افزایش ارزش زمین، توجه شهر سازان را به سمت فضاهای زیرزمینی سوق داده است. فضاهایی از قبیل متروها، تونل‌ها و زیرگذرهای شهری، طبقات تحتانی ساختمان‌ها، تونل‌های تأسیسات شهری، فضاهای خدماتی زیرزمینی و غیره ازجمله فضاهای زیرزمینی موجود در شهرها هستند.

توسعه بدون برنامه زیرساخت‌های شهری و نبود برنامه‌ریزی کلان در احداث فضاهای زیرزمینی، منجر به افزایش روزافزون محدودیت در ایجاد و گسترش نظام‌مند و برنامه‌ریزی‌شده‌ی آن‌ها شده است. نگاه بخشی و عدم اتخاذ رویکرد جامع در توسعه فضاهای زیرزمینی باعث عدم بهره‌برداری از کل منافع این‌گونه فضاها در پایداری شهرها شده است [۵]. از سوی دیگر، در نظر گرفتن اصول پایداری و تاب‌آوری در مرحله برنامه‌ریزی و طراحی زیرساخت‌ها، از مهم‌ترین ملاحظات در توسعه شهری است [۶]؛ بنابراین شناخت تمامی ابعاد مثبت و منفی در مورد این فضاها و احصاء فرصت‌هایی که فضاهای زیرزمینی می‌توانند پیش روی طراحان و برنامه ریزان شهری بگذارند، می‌تواند گامی در جهت افزایش تاب‌آوری و حل برخی مشکلات و معضلات شهرها باشد.

۲- بیان مسئله

در شهرهای امروزی شبکه گسترده‌ای از تأسیسات مختلف نظیر آب، برق، گاز و لوله‌های جمع‌آوری فاضلاب وجود دارد. در اغلب اوقات محل و عمق کارگذاری تأسیسات بسیار ضعیف انجام شده و تعداد دفعات مورد نیاز برای انجام تعمیرات یا اقدامات توسعه‌ای که نیاز به آسفالت شکافی معابر دارد، افزایش یافته و باعث ایجاد مشکلات ترافیکی و تحمیل هزینه‌های سنگین بر شهر و شهروندان می‌شود. استفاده از تونل تأسیسات شهری از چند دهه قبل در بیشتر کشورهای اروپایی و آمریکایی آغاز شده است. طی سال‌های گذشته در داخل کشور نیز اقداماتی در این راستا صورت گرفته که می‌توان به مواردی مانند تونل تأسیسات شهری در کلان‌شهرهای تهران و مشهد اشاره کرد. درواقع اساس تأسیسات و تجهیزات شهری را خدمات شهری مانند سامانه‌های آب، برق، گاز، تلفن، فاضلاب تشکیل می‌دهد که کمبود آن‌ها مشکلاتی را برای آسایش و رفاه حال شهروندان در پی خواهد داشت. ازآنجایی‌که زیرساخت‌های شهری از اصلی‌ترین عناصر شاخص و تشکیل‌دهنده فرم شهر محسوب می‌شوند و تأسیسات شهری نقش تعیین‌کننده‌ای نیز در خلق منظر شهر بازی می‌کنند، لذا مدیریت این زیرساخت‌ها در شهر ضروری به نظر می‌رسد تا به کمک آن بتوان نارسایی‌های کالبدی عوامل تشکیل‌دهنده محیط را کاهش داد و به دنبال آن رضایت نسبی شهروندان را نیز تأمین کرد. نیازهای رو به رشد خدمات شهری دنیای امروز لزوم استفاده از فضاهای زیر زمین را الزامی می‌کند. تونل‌های مشترک در شهر امکانی برای سامان بخشیدن به زیرساخت‌های شهری است که نقش خود را در ایجاد منظری مناسب در شهرها به اثبات رسانده است. برخی از کشورهای پیشرفته این تونل‌ها را به‌گونه‌ای طراحی کرده‌اند که علاوه بر پاسخ به نیازهای فنی، تأسیساتی و تجهیزات شهری، می‌توان در مواقع خاص و اضطراری از آن‌ها به‌عنوان پناهگاه و یا مسیر دسترسی برای نجات جان شهروندان استفاده کرد. به دنبال این اقدامات، شهر از چهره‌ای مغشوش و ازدحام کابل‌ها، سیم‌ها و تجهیزات انتقال نیرو خالی شده و از همه مهم‌تر اینکه در زمان تعمیر و یا تغییر سامانه‌ها بدون هیچ‌گونه تخریبی در سطح شهر می‌توان به اصلاح آن اقدام کرد که موجب سهولت بیشتر در مدیریت زیرساخت‌های شهری و اصلاح آن‌ها در شهر نیز هست.

امروزه تأسیسات خدمات شهری گستره وسیعی از عناصر شهری را تشکیل داده‌اند و به دلایل مختلف تبدیل به کلافی

سردرگم شده‌اند. به همین جهت مدیران شهری درصدد هستند تأسیسات شهری را به‌گونه‌ای نظم بخشند که در هنگام بحران، خسارت کمتری بر شهر وارد شود. در حال حاضر، استفاده از تونل‌های مشترک تأسیسات شهری از راهکارهای ارائه‌شده توسط متخصصان در برابر خطرات طبیعی و غیرطبیعی است که ضمن ایفای نقش‌های مختلف در مدیریت بحران، موجب افزایش تاب‌آوری شهری، کاهش خسارات و تلفات احتمالی ناشی از وقوع تهدیدات نیز می‌شود.

۳- انواع فضاهای زیرزمینی

کلیه فضاهای قرار گرفته در تراز پایین‌تر از سطح زمین را فضای زیرزمینی می‌نامند که اغلب شامل انبار و مخزن (غذا، آب، نفت، کالاهای صنعتی، زباله)؛ صنعت (موتورهای تأمین انرژی)؛ حمل‌ونقل (راه‌های ریلی، جاده‌ها، تونل‌های عابر پیاده)؛ تأسیسات و خطوط ارتباطی مخابراتی (آب و فاضلاب و گاز و کابل‌های الکتریکی)؛ کاربری‌های عمومی (مراکز خرید، بیمارستان‌ها؛ ساختمان‌های دفاع غیرعامل) و کاربری‌های خصوصی و شخصی (توقفگاه خودرو) است [۵].

بهره‌برداری از این فضاها در کشورهای مختلف به‌تدریج در حال تبدیل به الگویی مشخص برای هر منطقه است. اروپا یکی از پیشگامان بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی شهری به‌ویژه در شهرهای شمالی آن به خاطر داشتن شرایط زمین‌شناختی مناسب به‌عنوان بهترین گزینه برای توسعه این فضاها است. برای مثال، سامانه زهکشی زیرزمینی بزرگ سوئد (دارای جایگاه برتر در دنیا) اولین سامانه جمع‌آوری فاضلاب خودکار در دهه ۶۰ میلادی است. هلند به‌عنوان دارنده سامانه‌های لجستیکی زیرزمینی شناخته می‌شود. شهر هلسینکی در فنلاند دارای سامانه‌های آب‌رسانی بزرگی است. در آمریکای شمالی فضاهای زیرزمینی بیشتر به‌منظور مقابله با شرایط آب و هوایی سخت مورد استفاده قرار می‌گیرند. شهرهای مونترال و تورنتو، معروف‌ترین شهرهای زیرزمینی هستند. در آسیا (بیشتر ژاپن) در مناطق با تراکم ساختمانی بالا، تمایل زیادی برای اسکان در فضاهای زیرزمینی باهدف گریز از ازدحام جمعیت و ترافیک سنگین خودروها وجود دارد [۷].

برخلاف تصور رایج کنونی فضاهای زیرزمینی تنها به‌عنوان فضاهای ارتباطی کاربرد ندارند و می‌توان در کاربری‌هایی چون تفریحی (اماکن ورزشی، پارک‌ها و ...)، تجاری و اداری (بازارچه‌ها و کتابخانه‌ها و ...)، فرهنگی (موزه‌ها، فرهنگسراها، سینماها و ...) و خدماتی (توقفگاه‌های خودرو و ...) از ظرفیت آن‌ها برخوردار شد [۸].

در پژوهشی دیگر که ازنقطه‌نظر حق مالکیت، به تقسیم‌بندی فضاهای زیرزمینی پرداخته است، فضاهای زیرزمینی شهری شامل فضاهای دولتی، نیمه‌دولتی و خصوصی می‌شوند که در جدول ۱ به بیان عملکرد و مصادیق آن‌ها پرداخته شده است [۷]:

جدول ۱- تقسیم‌بندی فضاهای زیرزمینی برحسب عملکرد

نوع مالکیت		عملکرد	مصادیق
دولتی		پروژه‌های دفاع غیرنظامی برای شرایط اضطراری	پروژه‌های دفاع غیرنظامی مستقل (شامل مراکز فرماندهی دفاع غیرنظامی، پناهگاه عمومی، ایستگاه فوریت‌های پزشکی، انبار و غیره) و فضاهای فاقد مجوز بهره‌برداری تجاری در زمان جنگ یا صلح.
		فضاهای ویژه	فضاهای زیرزمینی مورد استفاده برای اهداف نظامی، امنیتی و غیره.
		توقفگاه خودرو محلی	کاربرد توقفگاه خودروهای عمومی برای استفاده ساکنین محلی مشابه سایر بخش‌های عمومی.
نیمه‌خصوصی	فضاهای خصوصی رقابتی	تأسیسات رفاهی عمومی	موزه، کتابخانه، مؤسسه تحقیقاتی، مراکز فعالیت قدیمی، مراکز فرهنگی، درمانی و غیره.
		کاربری‌های عمومی	فضاهای توریستی زیرزمینی.
	خدمات عمومی	تسهیلات عمومی	مخابرات، برق، گاز، آب، لوله‌ها و غیره.
		حمل‌ونقل عمومی	مترو، عوارض راهداری، تونل‌ها، ایستگاه اتوبوس، ایستگاه تاکسی، توقفگاه خودرو و غیره.
		پروژه‌های دفاع غیرنظامی در شرایط صلح	بهره‌برداری به‌عنوان کاربری‌های تجاری و خدماتی در شرایط عادی (اغلب شامل پناهگاه‌های غیرنظامی).
		کاربری‌های تجاری	مراکز فروشگاهی زیرزمینی، سوپرمارکت‌ها، رستوران‌ها، گالری‌های هنری، سینماها، باشگاه‌های بدن‌سازی، استخر و غیره.
خصوصی		تأسیسات ذخیره مواد معدنی	کارخانه‌های زیرزمینی، کارگاه‌ها، مخازن ذخیره زیرزمینی و غیره.
		فضای تدارکاتی	فضاهای تدارکاتی زیرزمینی برای توزیع، حمل‌ونقل، مدیریت، ذخیره مواد و پردازش اطلاعات.
		پروژه‌های دفاع غیرنظامی	احداث توسط بخش‌های خصوصی و جوامع محلی و بیشتر مربوط به پروژه‌های پناهگاهی.

در یک تقسیم‌بندی دیگر کاربردهای فضاهای زیرزمینی شامل موارد ذخیره‌سازی (مانند غذا، آب، کالاهای صنعتی و ضایعات)، صنعت (مانند نیروگاه‌ها)، حمل‌ونقل (مانند خطوط راه‌آهن، جاده‌ها، تونل‌های عابر پیاده)، خدمات رفاهی و ارتباطات (مانند آب، فاضلاب، گاز و کابل‌های الکتریسیته)، کاربرد عمومی (مانند مراکز خرید، بیمارستان‌ها و ساختارهای دفاع غیرنظامی) و استفاده شخصی و خصوصی (مانند توقفگاه خودرو) هستند [۹].

بر اساس مطالب مذکور، می‌توان مهم‌ترین فضاهای زیرزمینی را شامل فضاهای زیرزمینی مربوط به حمل‌ونقل، زیرساخت‌های حیاتی شهر و فضاهای خدماتی و تجاری زیرزمینی دانست.

۲-۱- فضاهای زیرزمینی حمل‌ونقلی

در بسیاری از شهرهای بزرگ جهان، ایستگاه‌ها و تونل‌های مترو و شهری، حجم بالایی از فضاهای زیرزمینی را به خود اختصاص داده‌اند. اولین شبکه مترو در ۱۸۶۳ میلادی در شهر لندن با بیش از یک‌میلیون جمعیت ساخته شد. امروزه مترو را از اجزای ضروری و حتمی شبکه حمل‌ونقل هر شهر بزرگی می‌دانند. بیش از ۱۱۰۰۰ کیلومتر خط مترو به ۱۵۰ شهر در سراسر جهان خدمات‌رسانی می‌کنند. علاوه بر این، بیش از ۱۰۰ کیلومتر مترو در حال احداث نیز در حال حاضر وجود دارد [۱۰].

این شبکه، تاب‌آوری بالایی را برابر حوادث طبیعی به‌ویژه زلزله نشان داده است؛ اما ورودی ایستگاه‌ها و مدخل تونل‌ها نسبت به سیل و سونامی آسیب‌پذیرند. درصورتی‌که شبکه متروی زیرزمینی قابلیت تفکیک و آب‌بندی را داشته باشد (مانند ایستگاه‌های مورد استفاده برای بهره‌برداری چندمنظوره، به‌عنوان ایستگاه-پناهگاه غیرنظامی)، درجه حفاظت آن در برابر تمامی حوادث طبیعی خارجی در سطح بالایی خواهد بود [۱۱]. در کنار آسیب‌پذیری مترو در برابر این حوادث، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این فضاها، قابلیت آن‌ها در بهره‌برداری‌های چندمنظوره و متنوع است. به عبارتی با توجه وسعت فضاهای زیرزمینی اختصاص‌یافته به حوزه حمل‌ونقل، این قابلیت وجود دارد که علاوه بر کاربری اصلی که همان تردد قطار و خودرو در شهرهاست، کاربری‌های دیگری نیز از قبیل پناهگاه غیرنظامی، انبار مواد ضروری، مسیر تخلیه اضطراری شهر، مسیر دسترسی به سایر نقاط شهر در شرایط بحران، مسیر کابل برق و مخابرات، مسیل اضطراری و ده‌ها استفاده دیگر را از آن‌ها انتظار داشت.

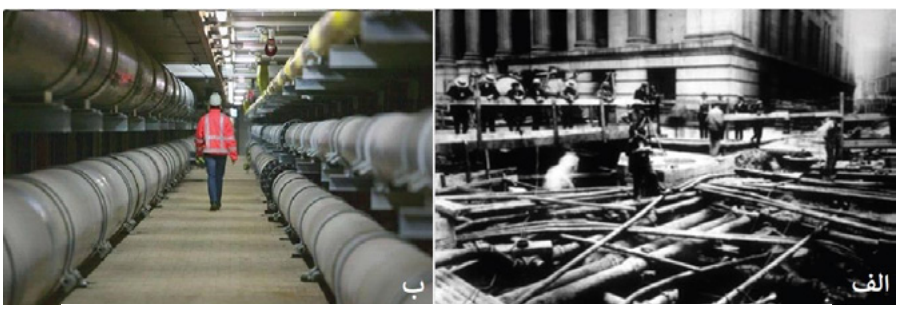
تونل‌های شهری نیز تاب‌آوری بالایی را برابر حوادث طبیعی، به‌ویژه زلزله از خود نشان داده‌اند. به‌علاوه حادثه‌ای مثل سیل باعث توقف عملکرد تونل شهری برای مدت‌زمان طولانی نخواهد شد. تونل اسمارت در شهر کوالامپور مالزی، طوری طراحی‌شده است که در روزهایی از سال از تونل ترافیکی به تونل هدایت سیل تغییر کاربری می‌دهد. حادثه آتش‌سوزی در داخل تونل جاده‌ای در آلپاین، موجب ایجاد تغییراتی در طراحی این تونل‌ها گردید که شامل پیش‌بینی خروجی‌های اضافی و یا پیش‌بینی فضاهای امن است.

۲-۲- فضاهای زیرزمینی مورد استفاده در استقرار زیرساخت‌های حیاتی شهر

تونل‌های مشترک تأسیسات در حوزه زیرساخت‌های شهری زیرزمینی[۱] می‌توانند با توجه به‌ضرورت تداوم خدمات‌رسانی شبکه‌های انتقال و توزیع آب، فاضلاب، برق، گاز و مخابرات، در ساماندهی و کاهش آسیب‌پذیری آن‌ها بسیار مفید باشد. درگذشته به‌ندرت شاهد نگاه بلندمدت در طراحی زیرساخت‌های حیاتی شهر بوده‌ایم. در شکل ۱-الف، شاهد یک شاهکار مهندسی شامل کلاف درهم‌تنیده‌ای از لوله‌ها و کابل‌ها هستیم. یقیناً تعمیر یا تعویض هرکدام، منجر به ایجاد اختلال در ترافیک عبوری خیابان، قطع خدمات این زیرساخت‌ها و احتمالاً آسیب به خطوط لوله و کابل‌های مجاور خواهد شد. در سوی دیگر، یک تونل مشترک تأسیسات شهری که محفظه‌ای امن جهت انتقال خطوط آب، فاضلاب، برق و مخابرات نشان داده شده است (شکل ۱-ب) [۱۲].

۲-۳- فضاهای زیرزمینی مورد استفاده در امور تجاری و خدماتی

مراکز داده، مراکز خرید، بایگانی اسناد، کتابخانه‌ها، سالن‌های هنری، استخرهای شنا، سالن‌های ورزشی، انبارها و برخی مراکز تفریحی از مصادیق این دست فضاهای زیرزمینی است [۱۳]. مقامات دولتی در هلسینکی (پایتخت فنلاند) طی سال ۲۰۱۱ به دلیل سرمای زیاد تصمیم به ساخت شهر زیرزمین گرفتند. در سال ۱۰۱۴ حدود ۴۰۰ مکان زیرزمینی شامل مراکز خرید، زمین‌های اسکی، استخر و زمین تنیس ایجاد شد. در نیویورک نیز تا سال ۲۰۱۸ پارکی زیرزمینی ساخته خواهد شد که مردم با یک قطار می‌توانستند به این مکان بروند [۱۴]. این اقدامات و بسیاری از طرح‌های مشابه دیگر، حاکی از گرایش ایجاد شده به احداث



شکل ۱. استفاده از تونل مشترک تأسیسات در ساماندهی شریان‌های حیاتی شهری
الف- زیرساخت‌های خیابان وال‌استریت شهر نیویورک، ۱۹۱۷ و ب- تونل مشترک تأسیسات شهر

کاربری‌های تجاری و خدماتی در زیرزمین است. عوامل اصلی این گرایش را می‌توان در قیمت بالای زمین و تراکم بالای کلان‌شهرها دانست.

۳- رویکردهای نوین به توسعه فضاهای زیرزمینی شهری

توسعه زیرزمینی فضاهای شهری در ابر شهرهای جهان رو به افزایش گذاشته است. دولت‌های محلی دست‌کم ۶ شهر مطرح دنیا، در قالب طرح‌های نوآورانه با عنوان شهرهای زیست پذیر برای کنار آمدن با انفجار جمعیت شهری، به استفاده از فضاهای بکر و تاریک ترازهای منفی زمین روی آورده‌اند [۶]. در قالب این نوع گسترش فیزیکی که الگوی شهرهای قرن ۲۱ نام‌گرفته، ۱۰ کاربری شهری ازجمله مراکز تجاری، تفریحی، معابر بزرگراهی و مترو به زیر سطح منتقل می‌شود تا فضاهای سطحی، برای ساختمان‌های مسکونی و نیازهای حیاتی شهر آزاد شود. تجربه شهرداری سنگاپور در این مدل شهرسازی بر سرمایه‌گذاری بخش خصوصی استوار است [۱۵].

در سنگاپور، پایتخت کشور سنگاپور و همچنین لندن، نیویورک، شانگهای، هلسینکی و مکزیکوسیتی با ایجاد شهر زیرزمینی، بخشی از ساختمان‌های اداری، مراکز تجاری و فروشگاه‌ها، مراکز ورزشی و زمین‌بازی، پارک، هتل، حمل‌ونقل عمومی، مراکز خدماتی و حتی برج‌های مسکونی، در حال انتقال به زیر سطح شهر است. در اجلاس شهرداران که اخیراً در سنگاپور برگزار شد، برای اجرای پروژه «شهر زیرزمینی» در شهرهای متقاضی این طرح، بر دو اصل کلیدی تأکید شد. اول اینکه، انتقال بخشی از شهر به زیرزمین نیازمند سرمایه‌گذاری حساب‌شده در حوزه سامانه‌های تهویه هواست و اصل دوم نیز بر کمترین خطای در طراحی کاربری‌های زیرزمینی خلاصه می‌شود [۱۶].

مطالعه فضاهای زیرزمینی شهری در سه شهر پاریس، توکیو و استکهلم، نمونه‌ای از چگونگی کاربرد این فضاهای طبقه‌بندی شده بر طبق عملکرد ارائه می‌نماید. خدمات رفاهی و حمل‌ونقل، معمول‌ترین کاربردهای زیرساخت‌های زیرزمینی شهری هستند. شهرهای مورد مطالعه بیش از ۳۲ درصد فضای زیرزمینی شهری را به حمل‌ونقل (تونل‌های خط راه‌آهن و خودرو، ایستگاه‌ها) و بیش از ۸ درصد را به خدمات رفاهی (خطوط لوله، کابل جمع کننده، فاضلاب) اختصاص داده‌اند. سایر عملکردها بسته به مشخصات هر شهر و همچنین چگونگی طبقه‌بندی داده‌ها تفاوت اساسی دارند (شکل ۲).

امکانات رفاهی در استکهلم سهم اساسی (۴۱ درصد) از زیرساخت را تشکیل داده است. این سهم می‌تواند شرایط آب و هوایی سخت و نیاز به زیرساخت‌های گرمایشی را منعکس سازد. از سوی دیگر، سهم اندک امکانات رفاهی در توکیو (۸ درصد) می‌تواند عدم وجود سامانه‌های گرمایشی شامل لوله‌کشی آب و رواج خطوط هوایی انتقال الکتریسیته محلی را منعکس سازد. توکیو بالاترین سهم نسبی را در حوزه عملکرد حمل‌ونقل (۵۵ درصد) به خود اختصاص داده است. ساختارهای زیرزمینی در حوزه حمل‌ونقل در توکیو تونل‌های خط آهن هستند، ولیکن توکیو چندین تونل بزرگ خودرو نیز دارد [۵].

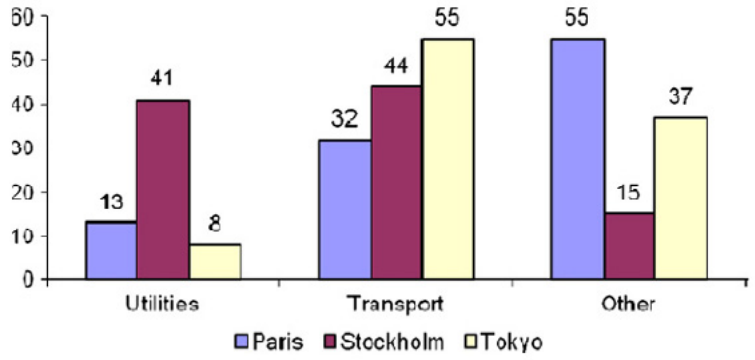
۴- نقش فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهری

اهمیت پایداری و تاب‌آوری در نیم‌قرن اخیر، با ظهور برخی حوادث و موضوع‌ها آشکارتر شده است. موضوع‌هایی از قبیل:

- دسترسی و توزیع غذای کافی و آب مناسب در آینده؛
- محدودیت انرژی فسیلی و منابع زیرزمینی؛
- حوادث ناشی از تغییرات آب و هوایی و گرمایش زمین؛
- پیش‌بینی افزایش بلایای طبیعی؛
- اثرات فزاینده حوادث بر زیرساخت‌ها و محیط مصنوع بشر؛
- افزایش خطر حملات تروریستی در سامانه‌های عمومی حیاتی [۱۱].

برخی منابع شاخص‌های تاب‌آوری شهری مرتبط با فضاهای زیرزمینی را شامل، آمادگی شهر در برابر حوادث طبیعی و غیرطبیعی، واکنش اضطراری و تسهیلات دفاع غیرنظامی، کاهش اثرات زیست‌محیطی ناسازگار در مقیاس شهری و تداوم کارکرد زیرساخت‌های حیاتی معرفی کرده‌اند [۱].

فضاهای زیرزمینی سرشار از خدمات شبکه‌های انرژی (گاز، برق)، شبکه‌های آب (شبکه آب آشامیدنی، شبکه فاضلاب شامل آب باران و فاضلاب بهداشتی)، شبکه‌های خدماتی (شامل مخابرات، برق و در برخی موارد شبکه جمع‌آوری زباله) و شبکه حمل‌ونقل (شامل حمل‌ونقل بین‌شهری، مترو، شبکه معابر و



شکل ۲. کاربرد فضای زیرزمینی شهری برحسب کارکرد

بزرگراهی) هستند. ظرفیت شهر در محدود کردن تلفات و بازسازی و احیاء سریع پس از وقوع حوادث طبیعی، به‌طور پیچیده‌ای مرتبط با تداوم عملکردهای اساسی آن‌هاست. بعضی از تأسیسات در مقایسه با برخی تأسیسات دیگر، ظرفیت بیشتری در کاهش اثر حوادث و بلایای گسترده دارند (جدول ۲). برای مثال در زمان سیل و طوفان، به‌شرط ایمنی و یا آب‌بند بودن مسیرهای دسترسی، نیروهای وارده به سازه زیرزمینی (در زمان برخورد ضربه ناشی از سیل و باد به سازه‌های سطحی) به‌دقت شناسایی و به‌سادگی مورد رسیدگی قرار می‌گیرند. در سوی دیگر، اثر ناشی از انفجار یا آتش‌سوزی داخلی به‌طورمعمول خطرناک‌تر و امدادرسانی در فضاهای زیرزمین سخت‌تر است [۶].

با توجه به پیچیدگی و به‌هم‌پیوستگی شبکه‌های زیرساختی، پیش‌بینی زمان بروز تنش‌های ناشی از حوادث و فجایع، به‌طور فزاینده مشکل‌تر می‌شود. به‌علاوه لازم به ذکر است که فقط احیاء کارکردهای فیزیکی سامانه‌ها برای تحقق تاب‌آوری کافی نیست. هدف از تاب‌آوری احیاء و بازگشت عملکرد صحیح و پایدار سامانه‌های خدماتی پس از بحران است. این بدان معنی است که وابستگی‌ها و اندرکنش‌های شبکه‌های خدماتی با مؤلفه‌های اقتصاد، تحرک پذیری و تأمین خدمات، باید بهتر درک گردد. بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی می‌تواند بسیاری از ابعاد تاب‌آوری شهرها را تأمین کند؛ اما باید خطرات ناشی از سیل، آتش‌سوزی داخلی، انفجار یا انتشار مواد شیمیایی در نظر گرفته شود [۱۱]. از سوی دیگر افزایش جمعیت منجر به رشد تقاضا برای زیرساخت‌های پایدار شده است. امروزه این مسئله با موضوع‌هایی مانند احتیاج به افزایش بازده انرژی و آگاهی عمومی از مسائل زیست‌محیطی همراه شده است. بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی می‌تواند به شهرها در پاسخگویی به این تقاضاها کمک کند [۱۷]. انواع مختلف فضاهای زیرزمینی، به علت حفاظتی که در برابر حوادث ایجاد می‌کنند، با تاب‌آوری ارتباط دارند. به‌طور مثال، فضاهای زیرزمینی مقاومت بالایی را در برابر حوادثی از قبیل زلزله، گردباد، توفان، آتش‌سوزی خارجی، انفجار خارجی، تشعشع هسته‌ای و سایر تهدیدات تروریستی دارند و از سوی دیگر در برابر بسیاری از حوادث و تهدیدات نیز آسیب‌پذیرند که باید مورد بررسی قرار گیرند.

۵- نقش فضاهای زیرزمینی در حل چالش‌های شهری

چالش‌های مربوط به رشد جمعیت، بحران انرژی، محدودیت زمین و مشکلات زیست‌محیطی، شهرسازی نوین را به اتخاذ تدابیر خلاقانه در فرایند باز توسعه شهری، فرامی‌خواند. توسعه فضاهای زیرزمینی شهری به‌عنوان گزینه پایدار در نوسازی بافت‌های متراکم مرکزی و به‌روزرسانی زیرساخت‌های عمومی، باید ازنظر اقتصادی ممکن و ازنظر مدیریتی تسهیل شود [۱۸]. معضلاتی از قبیل ترافیک سنگین، آلودگی صوتی و آلودگی هوا، عدم وجود ایمنی، امنیت و حفاظت در برابر بلایای طبیعی و سیل، افزایش جمعیت و عدم دسترسی به فضا جهت کار و تفریح، محدودیت درزمینه زیباسازی شهر و توجه به میراث فرهنگی، فرسودگی و عمر بالای زیرساخت‌ها، از مهم‌ترین مشکلات کنونی کلان‌شهرها برشمرده شده است [۱۷]. آسیب‌پذیری شهرها در برابر این معضلات و تهدیدات، برای امنیت و سلامت شهرها نگران‌کننده است؛ اما لازم به ذکر است که بسیاری از این مسائل و مشکلات با استفاده از فضاهای زیرزمینی قابل‌حل هستند. به‌عنوان‌مثال خطوط مترو در طراحی شهری، همانند جاده‌ای است که احداث و در آینده منشأ رشد محیط پیرامون خود می‌شود. از طرفی، مترو راهبردی بلندمدت است که می‌تواند شهر را برای آیندگان بیمه کند. همچنین فضاهای زیرزمینی از دیرباز به‌عنوان فضاهای امن شهری مورد استفاده قرار می‌گرفت و از انسان در برابر بسیاری از حوادث و تهدیدات محافظت می‌کرد. سابقاً این موضوع از عصر حجر و دوره غارنشینی انسان آغاز و تا اکنون نیز همیشه مورد توجه بسیاری از شهرسازان بوده است.

چو و همکاران (۲۰۰۲) مزایای استفاده از فضاهای زیرزمینی را شامل موارد ذیل می‌دانند:

الف- استفاده بهینه و مؤثر از زمین و بهبود وضعیت محیط‌زیست: استفاده از ظرفیت زیرزمین در مناطق پرتراکم شهری و پیش‌بینی کاربری‌هایی مانند پارک و کاربری‌هایی که قابل احداث مجدد هستند. انتقال بزرگراه‌ها و معابر ماشین‌رو به زیر سطح، سطح زمین را برای استفاده به‌عنوان مسیر پیاده، دوچرخه و همچنین مسیر خودروهای امدادی مهیا می‌کند.

ب- زیبایی شهر: مدفون و پنهان نمودن برخی کاربری‌های بدمنظره‌ای مثل معابر، توقفگاه‌های خودرو و فروشگاه‌های بزرگ.

ج- توسعه پایدار: رفع نیاز به نماسازی‌های خارجی منجر به صرفه‌جویی در حفظ مصالح و هزینه‌ها است.

د- حفظ انرژی: استفاده از ظرفیت طبیعی زمین در عایق‌بندی انرژی و صدا، باعث حفظ ذخایر انرژی و استفاده بهینه از سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی می‌شود.

ه- حفاظت از جان مردم در شرایط بد جوی

و- بهره‌برداری امنیتی: به‌طور مثال به‌عنوان بانک و پناهگاه [۱۹].

همچنین باید در نظر داشت که فضاهای سطحی شهری، می‌تواند معایب و نقاط ضعفی نیز داشته باشد. به‌عنوان‌مثال برخی از سازه‌های زیرزمینی می‌توانند اثرات نامطلوبی بر روی جریان آب‌های زیرزمینی، کیفیت آب (در اثر مصالح به‌کاررفته در سازه‌های زیرزمینی) و پتانسیل گرمایی سفره‌های آب زیرزمینی داشته باشند. در جدول ۲ مهم‌ترین مزایا و معایب تأسیسات زیرزمینی با توجه به انواع مختلف حوادث ارائه شده است:

۶- ملاحظات اولیه در بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی

پیش از هرگونه تصمیم‌گیری درزمینه بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی شهری، لازم است ابعاد چهارگانه زیر مورد بررسی قرار گیرد:

الف- شناخت وضع موجود. یکی از مهم‌ترین نیازهای مربوط به این مرحله، دسترسی به اطلاعات توصیفی و داده‌های

جدول ۲. مزایا و معایب فضاهای زیرزمینی در برابر حوادث [۳]

نوع حادثه	مزایا	معایب و محدودیت‌ها
زلزله	لرزش‌های زمین در زیر سطح به‌سرعت تحلیل می‌رود سازه‌ها با خاک حرکت می‌کنند	جابجایی گسل باید همسان گردد ناپایداری در مصالح یا پیکربندی‌های ضعیف
توفان و گردباد	بار باد کمترین تأثیر را بر سازه‌های مدفون دارد	آسیب به تأسیسات مدفون در عمق کم در اثر واژگونی سازه‌های سطحی مانند درختان و خطوط انتقال نیرو
سیل و سونامی	زمین در برابر ضربه و لجن ناشی از سیل محافظت می‌کند.	زمان و هزینه زیاد برای احیاء عملکرد در زمان سیل گیری سازه
آتش‌سوزی و انفجار خارجی	زمین محافظت مناسبی را ایجاد می‌نماید	ورودی و سطوح نمایان آسیب‌پذیرند
حوادث CBR خارجی	زمین محافظت مازادی را ایجاد می‌نماید	سیستم تهویه مناسبی لازم است
آتش‌سوزی و انفجار داخلی	مقدار محدود خسارت با جداسازی مناسب فضاها	فضاهای محبوس خسارت به فضاهای داخلی و افراد را افزایش می‌دهد
نشت عوامل CBR داخلی	مقدار محدود خسارت با جداسازی مناسب فضاها	فضاهای محبوس خسارت به فضاهای داخلی و افراد را افزایش می‌دهد

مکانی (نقشه‌های GIS) مربوط به این فضاهاست. اطلاعات مربوط به زیرساخت‌ها، به‌ویژه اطلاعات مرتبط با برنامه‌ریزان، سیاست‌گذاران و تصمیم سازان شهری باید به‌صورت روشن و منطقی جمع‌آوری گردد. این موضوع ضرورت یکپارچه‌سازی اطلاعات مربوط به زیرساخت‌های حیاتی، حمل‌ونقل زیرزمینی و سایر فضاهای زیرزمینی نقطه‌ای[۲] را یادآور می‌سازد.

ب- بررسی فرصت‌های ممکن برای مستحدثات جدید یا نوسازی و بهسازی سازه‌های زیرزمینی موجود. در این خصوص، لازم است موارد متعددی موردتوجه قرار گیرد که اهم آن‌ها عبارت‌اند از:

- در نظر گرفتن نیازمندی‌ها، محدودیت‌ها و شرایط شهر؛
- توجه به قابلیت ترمیم و نوسازی متناسب با طول دوره بهره‌برداری؛
- اتخاذ رویکرد چندمنظوره سازی به‌منظور بهره‌برداری حداکثری از ظرفیت فضاها؛
- نگاه بلندمدت به سرمایه‌گذاری درزمینه احداث فضاهای زیرزمینی در جهت حل مشکلات زیست‌محیطی، حمل‌ونقل و ترافیک، تداوم خدمات ضروری و حفظ زمین (با توجه به هزینه اولیه بالا) [۶].

تعیین اینکه چه چیزی درون زمین وجود دارد و به چه صورتی کار می‌کند، به‌طورکلی با رویکردهای سنتی مورد استفاده در سطح زمین، متفاوت است. ابزارهای شبیه‌سازی سه و چهاربعدی و مدل‌سازی‌های حقیقی قادرند در این زمینه به طراحان و برنامه‌ریزان شهری کمک شایانی کنند. از این ابزارها باید برنامه‌ریزی شهری، برای شناسایی فرصت‌ها و آشکار ساختن آنچه پیش از وجود داشته است، بهره گرفت [۱۳].

ج- شناخت سیاست‌های برنامه‌ریزی، چارچوب‌های قانونی و نظارتی. به‌طورمعمول با توجه به محدودیت‌های قانونی موجود در خصوص تملک زیرزمین، عملاً گفته می‌شود که پایین‌ترین حدومرز ملک، به عمقی محدود می‌شود که مالک می‌تواند از آن استفاده کند (۶ متر پایین‌تر از پایین‌ترین قسمت ساختمان ملک)؛ بنابراین باید مجوز احداث کاربری‌های عمومی در پایین‌تر از این عمق داده شود [۱۴].

د- در نظرگرفتن فضاهای زیرزمینی در فرایند برنامه‌ریزی شهری. در طرح‌های کلان برنامه‌ریزی شهرهای معدودی، به فضاهای زیرزمینی به‌طور مشخص پرداخته‌شده است که ناشی از شرایط زمین‌شناختی و محدودیت زمین بوده است. سنگاپور و هلسینکی از نمونه شهرهای پیشگام در این زمینه هستند [۶]. شاید بتوان یکی از مهم‌ترین اقدامات مؤثر درزمینه توسعه بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی، موضوع تهیه سیاست یکپارچه فضاهای زیرزمینی و لحاظ آن در نظام برنامه‌ریزی شهری، باهدف آشکار ساختن ظرفیت‌های پنهان فضاهای زیرزمینی و جلوگیری از توسعه بی‌رویه آن‌ها دانست [۱۳].

به‌منظور ایجاد بستری برای پذیرش فضاهای زیرزمینی در نظام برنامه‌ریزی شهری، اتخاذ رویکرد چندمنظوره سازی در احداث فضاهای زیرزمینی، تهیه طرح جامع برنامه‌ریزی فضاهای زیرزمینی و بررسی وضعیت زمین‌شناختی شهر می‌تواند بسیار مؤثر باشد. به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت که علت اصلی عدم اقبال بسیاری از کلان‌شهرهای جهان به سرمایه‌گذاری درزمینه گسترش فضاهای زیرزمینی، نداشتن اشراف اطلاعاتی به ظرفیت‌های فضاهای زیرزمینی در حل بسیاری از معضلات و مشکلات شهر و عدم برخورداری از نگاه بلندمدت در توسعه شهرهاست.

۷- روش‌شناسی پژوهش

۷-۱- روش کیو

روش کیو روشی تحقیقی است که در رتبه‌بندی گویه‌های بررسی شده (عبارت، جمله، عکس، خبر و مانند آن) با استفاده از مقیاسی شبیه مقیاس لیکرت کاربرد دارد و همبستگی بین

پاسخ‌های افراد مختلف به این رتبه‌بندی معطوف است. در این روش گویه‌های بررسی‌شده بر روی کارت‌هایی که به کارت‌های کیو موسوم هستند، نوشته یا چاپ شده و در اختیار پاسخ‌گویان قرار گرفته و بر اساس ترتیب تعیین‌شده توسط پژوهشگر بر روی کارت‌های مقیاس لیکرت توزیع می‌شوند؛ به صورتی که توزیع فراوانی‌ها «شبه نرمال» باشد؛ بنابراین روش کیو، یک روش تحقیق مورد استفاده برای مطالعه ذهنیت افراد است و در این مورد که «چگونه افراد در مورد یک مقوله فکر می‌کنند»، مورد استفاده قرار گرفته است. روش کیو درواقع فنی است که پژوهشگر را قادر می‌سازد تا نخست ادراکات و عقاید فردی را شناسایی و طبقه‌بندی نماید و سپس به دسته‌بندی گروه‌های افراد بر اساس ادراکاتشان بپردازد [۲۰]. روش کیو کارکرد و قابلیت‌های قابل‌توجهی دارد؛ به‌طوری‌که برای اندازه‌گیری ذهنیت افراد به‌منزله یک روش علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با بهره‌گیری از این روش می‌توان پدیده‌های مختلف روانی، اجتماعی، تربیتی، امنیتی، ارتباطی و نظایر آن‌ها را مورد مطالعه قرار داد، اطلاعات مورد نیاز را از مسئولان و نخبگان جامعه به دست آورد و ذهنیت آن‌ها را شناسایی و اطلاعات مبهم و پنهانیِ نهفته در ورای این اطلاعات آشکار را کشف کرد [۲۱]. در چارچوب اصول روش‌شناسی کیو مراحل شکل‌گیری این پژوهش به شرح زیر است:

الف- مطالعه و گردآوری فضای گفتمان

جامعه‌ی آماری پژوهش شامل پایان‌نامه‌ها و مقالات علمی-پژوهشی (با موضوعات فضاهای زیرزمینی و تاب‌آوری) است که در حوزه نشریات علمی-پژوهشی داخل و خارج کشور به چاپ رسیده‌اند و اعتبار علمی آن‌ها مورد تأیید وزارت علوم، تحقیقات و فناوری کشور است. نخست، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای درزمینه مجلات علمی-پژوهشی مرتبط با موضوع فضاهای زیرزمینی و تاب‌آوری و جستجو در پایگاه‌های اطلاعات علمی کشور، فهرست جامعی از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه تهیه شد و مجموعه مقالات حوزه فضاهای زیرزمینی و تاب‌آوری تفکیک گردید (گردآوری فضای گفتمان). سپس، با مطالعه آثار پژوهشی گردآوری شده، شاخص‌ها و معیارها بر پایه یافته‌های حاصل استخراج گردید.

ب- انتخاب یک نمونه معرف از فضای گفتمان (ایجاد دسته کیو[۳])

در این مقاله ابتدا به بررسی و مطالعه نشریات علمی-پژوهشی (حوزه برنامه‌ریزی شهری، شهرسازی، مدیریت بحران) و پایان‌نامه‌های (مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری) انجام‌شده درزمینه مرتبط با موضوع تحقیق در سال‌های اخیر پرداخته شد (با استفاده از روش نمونه‌گیری احتمالی). در این مرحله تمامی ظرفیت‌ها و نقش‌های متصور برای فضاهای زیرزمینی احصا گردید. در گام بعد، پس از حذف موارد تکراری و تلفیق گزاره‌هایی که دارای مفهوم یکسانی بودند، تعداد ۲۴ گزاره اصلی شناسایی شد (جدول ۳). مجموع این گزاره‌ها پس از بازبینی و ویرایش به‌منزله نمونه کیو به کار رفت و برای ایجاد دسته کیو و انجام مرتب‌سازی در مرحله‌ی بعد هر یک بر روی یک کارت (کارت کیو[۴]) درج گردید.

در سراسر فرایند تحقیق شناسه درج‌شده بر روی هر کارت مطابق جدول ۳ است.

ج- انتخاب مشارکت‌کنندگان[۵]

در گام بعدی پژوهش، با روش نمونه‌گیری هدفمند، از خبرگان و صاحب‌نظران دانشگاهی تعداد ۳۵ نفر برای مرحله مرتب‌سازی

جدول ۳. خلاصه گفتمان مطالعات نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهر (دسته کیو) بر اساس یافته‌های پژوهش

شناسه	گزاره
۱	کاهش مصرف سوخت در حوزه حمل‌ونقل
۲	کاهش هدر رفت انرژی در تأسیسات زیرساختی
۳	تبدیل کاربری به‌عنوان پناهگاه عمومی در زمان حملات هوایی
۴	انتقال دارو و تجهیزات امدادی از طریق تونل‌های شهری
۵	جابجایی نیروی امنیتی و نظامی در سطح شهر
۶	کاهش آلودگی هوا در اثر گسترش حمل‌ونقل عمومی مانند مترو
۷	انتقال مراکز و کاربری‌های خاص به زیر زمین
۸	افزایش عمر تأسیسات و شبکه‌های زیرساختی
۹	انتقال مصدوم و مجروح از طریق تونل‌های شهری
۱۰	کاهش ترافیک ناشی از تعمیرات در شبکه‌های زیرساختی
۱۱	تبدیل کاربری به‌عنوان مرکز درمانی موقت امن، در شرایط بحران
۱۲	تأمین زمین برای توسعه فضای سبز (با انتقال برخی کاربری‌ها به زیر زمین)
۱۳	پیش‌بینی کاربری‌های درمانی (CBRN) ویژه در فضاهای زیرزمینی
۱۴	صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان عملیات تعمیر و نگهداری تأسیسات
۱۵	انتقال مسئولان به نقاط امن یا خارج از شهر در شرایط بحران
۱۶	دسترسی به مراکز امداد و نجات از طریق تونل‌های شهری
۱۷	افزایش ایمنی شهروندان در برابر حوادث و بلایای طبیعی از قبیل زلزله و طوفان
۱۸	بهبود وضعیت منظر شهری
۱۹	کاهش ترافیک معابر از طریق دسترسی زیرزمینی مترو به کاربری‌های جاذب جمعیت
۲۰	کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در برابر تهدیدات
۲۱	استفاده از انرژی زمین‌گرمایی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی
۲۲	گسترش حمل‌ونقل عمومی از طریق آزادسازی ظرفیت معابر
۲۳	کاهش آلودگی صوتی و بصری از طریق انتقال کاربری‌های ناسازگار به زیر سطح
۲۴	کاهش میزان خطرزایی تأسیسات خطرناک (مانند گاز)

کیو مشارکت کردند که از این تعداد، با توجه به وقت‌گیر بودن تکمیل پرسشنامه و همکاری نکردن تعدادی از این محققان، ۲۰ نفر این پرسشنامه را تکمیل کردند. تحصیلات ۱۴ نفر از کل مشارکت‌کنندگان در سطح کارشناسی ارشد (۷۰ درصد) و ۶ نفر در سطح دکتری تخصصی (۳۰ درصد) است.

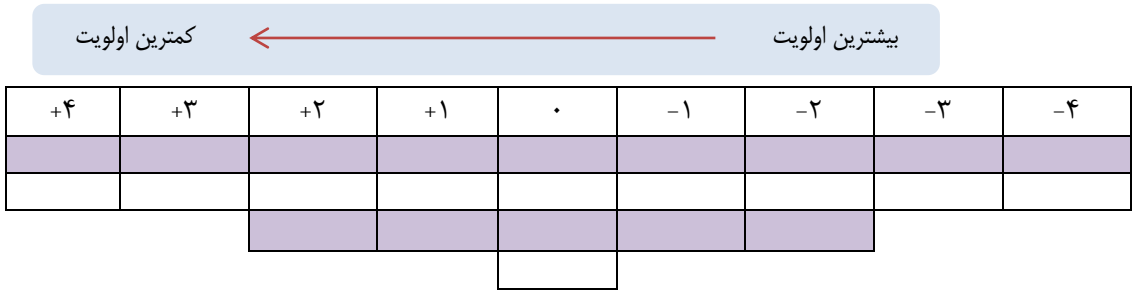
جدول ۴. مشخصات مشارکت‌کنندگان پژوهش

مشارکت‌کننده		جمع کل
کارشناسی ارشد	۱۴	۲۰
دکتری (PHD)	۶	

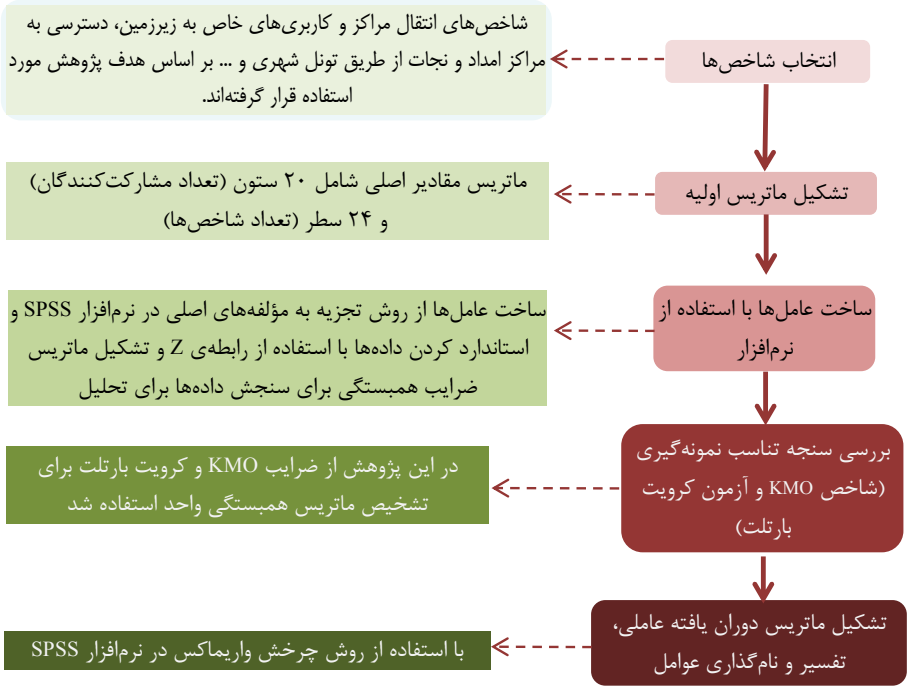
د- طراحی نمودار کیو، مرتب‌سازی و تحلیل عاملی کیو

در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده با روش کیو، نمودار آن به شکل توزیع نرمال بر روی صفحه‌ای طراحی می‌شود. این تصویر مانند طیف لیکرت چند طیف را در برمی‌گیرد؛ به‌طوری‌که مشارکت‌کنندگان بر اساس ادراکات و دیدگاه خود کارت‌های کیو را به ترتیب اهمیت یا میزان موافقت و یا مخالفت بر روی نمودار مرتب می‌کنند [۲۲]. در این پژوهش با توجه به ماهیت و تعداد عوامل یا عبارات کیو یک نمودار مندرج نه طیفی طراحی گردید (شکل ۳).

از روش تحلیل عاملی کیو که روشی چند متغیره است برای تحلیل آماری داده‌های حاصل از مرتب‌سازی‌ها استفاده شد. تحلیل عاملی کیو ازنظر شیوه اجرا تفاوت چندانی با تحلیل عاملی معمولی ندارد؛ اما تفاوت بنیادین در اینجاست که در تحلیل عاملی کیو به‌جای همبستگی میان متغیرها همبستگی میان افراد مشارکت‌کننده سنجیده می‌شود و افراد بر اساس نوع نگرششان دسته‌بندی می‌شوند [۲۳]. در این پژوهش نیز عوامل (رویکردها) شناسایی شد، بر اساس ماتریس عاملی چرخش یافت و بالاترین امتیازهای عاملی محاسبه‌شده با روش تحلیل مقایسه‌ای تفسیر شد. شکل ۴ مراحل روش تحلیل عاملی و نحوه دستیابی به عوامل نهایی را به تفکیک نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمودار کیو (ردیف‌ها محل قرارگیری کارت‌های کیو هستند)



شکل ۴. مراحل روش تحلیل عاملی در ارتباط با نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها

۸- تحلیل داده‌ها

پس از پایان مرتب‌سازی، ماتریس داده‌ها در نرم‌افزار SPSS برای تحلیل داده‌ها تشکیل شد. بر اساس منطق روش‌شناسی کیو از روش تحلیل عاملی کیو به‌عنوان اصلی‌ترین روش برای تحلیل ماتریس داده‌های کیو، استفاده شد. در گام نخست از شاخص[۶] KMO جهت تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی استفاده شد. مقدار این شاخص همواره بین صفر و یک و حداقل مقدار قابل‌اطمینان آن برای تحلیل عاملی عدد ۰/۵ است [۲۴]. با توجه به شاخص به‌دست‌آمده (۰/۷۹۶)، داده‌ها قابل‌اطمینان تشخیص داده شد (جدول ۵).

جدول ۵. مقدار KMO

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		۰/۷۹۶
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	۴۷۰/۴۱۳
	df	۱۲۸
	Sig.	۰/۰۰۰

برای شناسایی الگوهای ذهنی (رویکردها) مشارکت‌کنندگان، تحلیل عاملی به شیوه اکتشافی با استفاده از ماتریس همبستگی انجام شد. سپس روش مؤلفه‌های اصلی[۷] به‌عنوان رایج‌ترین شیوه‌های استخراج عامل‌ها در تحلیل عاملی کیو مورد استفاده قرار گرفت. از روش واریماکس[۸] نیز برای چرخش عامل استفاده شد. سرانجام ۴ عامل یا رویکرد با مجموع واریانس ۸۱/۳۷۴ درصد شناسایی شد (جدول ۶).

مطابق با ماتریس عاملی چرخش یافته (جدول ۶)، بر اساس بارهای عاملی محاسبه‌شده چهار عامل یا رویکرد مشاهده می‌شود. برای تعیین معنادار بودن بارهای عاملی با اطمینان ۹۹ درصد از فرمول ذیل استفاده شده است:

$$\frac{2.54}{\sqrt{n}}$$

n = تعداد کارت‌های مطالعه کیو

به‌طوری‌که هفت نفر (۳۵ درصد) از مشارکت‌کنندگان در رویکرد یک، تعداد پنج نفر (۲۵ درصد) در رویکرد دو، چهار نفر (۲۰ درصد) در رویکرد سه و چهار نفر (۲۰ درصد) نیز در رویکرد چهار جای می‌گیرند. در ادامه برای تحلیل و تفسیر چهار رویکرد شناسایی شده، امتیازهای عاملی گزاره‌های ذیل هر عامل محاسبه شد. سپس گزاره‌های دارای امتیاز عاملی بالاتر از عدد ۰/۷ مبنای تفسیر و مقایسه رویکردها قرار گرفت. این مقادیر در جدول ۷ با رنگ تیره‌تر مشخص شده‌اند.

جدول ۷. ماتریس عاملی چرخش یافته.

شناسه مشارکت‌کننده	Component			
	۱	۲	۳	۴
P۱	۰/۹۸۱	۰/۰۴۵	۰/۱۸	۰/۰۲۱
P۲۰	۰/۹۷	۰/۱۸۷	۰/۰۳۶	۰/۰۸۸
P۱۶	۰/۹۴۳	۰/۱۰۳	۰/۲۳۷	۰/۰۴۲
P۹	۰/۹۱	۰/۲۷۱	۰/۱۷۷	۰/-۰۳۳
P۱۱	۰/۸۳۵	۰/۳۰۸	۰/۰۱۱	۰/۰۳۹
P۲	۰/۷۹۲	۰/۰۴۴	۰/۰۶۳	-۰/۰۲۷
P۱۲	۰/۷۲۴	۰/۱۳۶	۰/۰۵۷	-۰/۱۵۷
P۷	۰/۳۳۲	۰/۹۴	۰/۱۷۳	۰/۰۳۵
P۱۳	۰/۲۷۴	۰/۸۷۶	۰/۱۶۷	۰/۰۶۳
P۱۹	۰/۱۴۶	۰/۸۳۳	۰/۰۸۳	-۰/۰۲۱
P۴	۰/۰۵۳	۰/۷۳۱	۰/۱۲۶	-۰/۰۴۶
P۱۴	۰/۲۴۱	۰/۷۰۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱۷
P۶	۰/۰۷۷	۰/۱۰۴	۰/۹۳۴	۰/۰۲۶
P۱۷	۰/۳۶۷	۰/۴۱۳	۰/۸۶۱	۰/۰۸۹
P۵	۰/۱۶	۰/۲۶۱	۰/۷۰۵	-۰/۰۴۷
P۱۵	۰/۰۳۵	۰/۱۶۳	۰/۶۵۹	-۰/۰۹۳
P۸	۰/۱۳۱	۰/۰۹۲	-۰/۰۵۳	۰/۹۰۵
P۱۸	۰/-۰۱۴	۰/۱۸۲	-۰/۱۰۳	۰/۸۸۲
P۱۳	۰/۰۶۹	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۷۴۳
P۳	۰/۰۱۳	۰/۱۰۶	-۰/۱۴۸	۰/۶۲۱

جدول ۶. مقدار کل واریانس تبیین شده

Component	Rotation Sums of Squared Loading		
	Total	% of Variance	% Cumulative
۱	۳/۴۲۳	۲۸/۶۵۱	۲۸/۶۵۱
۲	۲/۳۷۳	۲۱/۳۴۷	۴۹/۹۹۸
۳	۱/۷۷۳	۱۷/۳۵۲	۶۷/۳۷
۴	۱/۳۰۳	۱۴/۰۰۴	۸۱/۳۷۴

جدول ۸. امتیازهای عاملی گزاره‌های نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها

شناسه گزاره	رویکرد ۱	رویکرد ۲	رویکرد ۳	رویکرد ٤
۱	۰/۳۱۵	۰/۱۳۵	-۰/۰۲٤	۱/٤٥۳
۲	۰/٤٥۹	۰/۱۰۳	۰/۰۱٥	۱/۲٤۲
۳	۰/۳۲	۰/٦۷	۱/۷٦	-۰/۱۷٦
٤	۰/٤٦۱	۱/۳۲	۰/۳۲۳	-۰/۲۱
٥	۰/۱۷۸	۰/٦۳٤	۱/۰۲۸	-۰/۳۷٥
٦	۰/۰۷۹	-۰/۲۸٤	۱/-۰۲٦	۱/٦۹۸
۷	۰/٦۹۱	۰/٦۲	۱/۳۳۹	۰/۱٦۷
۸	۱/۸۳۱	۰/۱۸۳	-۰/۱۹	۰/۳۷٦
۹	۰/۵۷	۱/۵۷	۰/٤۳	-۰/٦۷٤
۱۰	۰/۸۹۱	۰/٦٦	۰/۳۹	۰/۱۸۹
۱۱	۰/٦۹٤	۰/۹۲۱	۰/۳٦٥	-۰/٥٦۹
۱۲	-۰/٤٤۱	۰/۳۷۷	-۰/۸۸۳	۱/۱٤۷
۱۳	۰/٤۷۱	۰/۷۹	۰/-۱۰٥	-۰/۷٦۹
۱٤	۱/٦۱	-۰/٤٦۲	-۰/۸۹۳	-۰/۲۲۹
۱٥	۰/۱۲۷	۰/۲۸۷	۰/۸۸٦	-۱/۲۳۸
۱٦	۰/۱۱۸	۱/۷٥٥	۰/۳٤	-۰/٦٥۳
۱۷	۰/٥٥۱	۰/٦۱	۱/٦٤۷	۰/۲۳۲
۱۸	۰/۲٦٦	۰/۳۱۱	۰/۱۹	۰/۷۰٤
۱۹	۰/۹۲	۰/٥۳٤	۰/۳۲۲	۰/٤۹
۲۰	۱/۱۹۳	۰/٤۷۷	۰/٦٥۱	۰/۱۰٥
۲۱	۰/۲۲۱	-۰/٤۱۱	-۰/۷٦۸	۰/۸٤۹
۲۲	۰/۹۷	۰/٥۷۹	-۰/۳٥٦	۰/٦۸
۲۳	-۰/۳۳۷	-۰/٤۲۱	-۰/۳۹۱	۰/۷۹٤
۲٤	۰/٦۹٥	۰/٥۷۷	۱/٥٤	۰/۲۷٤

۹- شرح گزاره‌های برتر در چهار رویکرد شناسایی‌شده

چهار رویکرد با توجه به تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار SPSS، نتایج حاصل از آن (جدول‌های ۷ و ۸) و نظر متخصصان مشارکت‌کننده طی این نظرخواهی در این زمینه شناسایی شد. درواقع، جدول ۷ تعداد مشارکت‌کنندگان و شناسه آن‌ها را در هر رویکرد نشان می‌دهد و همچنین در جدول ۸ امتیازهای هر گزاره در گروه‌های شناسایی‌شده ارائه شده است. حال با توجه به شناسه هر مشارکت‌کننده، داشتن اطلاعات تکمیل‌شده پرسشنامه و قرارگیری آن در گروه‌های شناسایی‌شده (جدول ۷)، چهار رویکرد استخراج شد که در ادامه به شرح این رویکردها و مؤلفه‌های شناسایی‌شده در آن پرداخته خواهد شد (شایان‌ذکر است مبانی انتخاب رویکردها (ذهنیت‌ها)، بر مبانی امتیاز عاملی گزاره بالای ۰/۷، میزان درصد از واریانس کل و تفسیرپذیر بودن عامل‌ها است).

۹-۱- رویکرد اول: (تداوم خدمات)

رویکرد تقریباً بیش از یک‌سوم از مشارکت‌کنندگان (هفت نفر برابر با ۳۵ درصد) در این گروه جای می‌گیرد. به ترتیب اهمیت امتیاز عاملی شش گزاره در این رویکرد بیشتر از عدد ۰/۷ محاسبه شده است (جدول ۹).

۹-۲- رویکرد دوم: (امداد و نجات)

رویکرد یک‌چهارم از مشارکت‌کنندگان (پنج نفر برابر با ۲۵ درصد) در این گروه جای می‌گیرد. به ترتیب اهمیت امتیاز عاملی پنج گزاره در این رویکرد بیشتر از عدد ۰/۷ محاسبه شده است (جدول ۱۰).

۹-۳- رویکرد سوم: (ایمنی و امنیت شهری)

رویکرد یک‌پنجم از مشارکت‌کنندگان (چهار نفر برابر با ۲۰ درصد) در این گروه جای می‌گیرد. به ترتیب اهمیت امتیاز عاملی

جدول ۹: گزاره‌های دارای امتیازهای عاملی در رویکرد اول

شماره گزاره‌ها	گزاره	امتیاز عاملی
۸	افزایش عمر تأسیسات و شبکه‌های زیرساختی	۱/۸۳۱
۱۴	صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان عملیات تعمیر و نگهداری تأسیسات	۱/۶۱
۲۰	کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در برابر تهدیدات	۱/۱۹۳
۲۲	گسترش حمل‌ونقل عمومی از طریق آزادسازی ظرفیت معابر	۰/۹۷
۱۹	کاهش ترافیک معابر از طریق دسترسی زیرزمینی مترو به کاربری‌های جاذب جمعیت	۰/۹۲
۱۰	کاهش ترافیک ناشی از تعمیرات در شبکه‌های زیرساختی	۰/۸۹۱

جدول ۱۰. گزاره‌های دارای امتیازهای عاملی در رویکرد دوم

شماره گزاره‌ها	گزاره	امتیاز عاملی
۱۶	دسترسی به مراکز امداد و نجات از طریق تونل‌های شهری	۱/۷۵۵
۹	انتقال مصدوم و مجروح از طریق تونل‌های شهری	۱/۵۷
۴	انتقال دارو و تجهیزات امدادی از طریق تونل‌های شهری	۱/۳۲
۱۱	تبدیل کاربری به‌عنوان مرکز درمانی موقت امن، در شرایط بحران	۰/۹۲۱
۱۳	پیش‌بینی کاربری‌های درمانی (CBRN) ویژه در فضاهای زیرزمینی	۰/۷۹

جدول ۱۱. گزاره‌های دارای امتیازهای عاملی در رویکرد سوم

شماره گزاره‌ها	گزاره	امتیاز عاملی
۳	تبدیل کاربری به‌عنوان پناهگاه عمومی در زمان حملات هوایی	۱/۷۶
۱۷	افزایش ایمنی شهروندان در برابر حوادث و بلایای طبیعی از قبیل زلزله و طوفان	۱/۶۴۷
۲۴	کاهش میزان خطرزایی تأسیسات خطرناک (مانند گاز)	۱/۵۴
۷	انتقال مراکز و کاربری‌های خاص به زیر زمین	۱/۳۳۹
۵	جابجایی نیروی امنیتی و نظامی در سطح شهر	۱/۰۲۸
۱۵	انتقال مسئولین به نقاط امن یا خارج از شهر در شرایط بحران	۰/۸۸۶

جدول ۱۲. گزاره‌های دارای امتیازهای عاملی در رویکرد چهارم

شماره گزاره‌ها	گزاره	امتیاز عاملی
۶	کاهش آلودگی هوا در اثر گسترش حمل‌ونقل عمومی (مانند مترو)	۱/۶۹۸
۱	کاهش مصرف سوخت در حوزه حمل‌ونقل	۱/۴۵۳
۲	کاهش هدر رفت انرژی در تأسیسات زیرساختی	۱/۲۴۲
۱۲	تأمین زمین برای توسعه فضای سبز (با انتقال برخی کاربری‌ها به زیر زمین)	۱/۱۴۷
۲۱	استفاده از انرژی زمین‌گرمایی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی	۰/۸۴۹
۲۳	کاهش آلودگی صوتی و بصری از طریق انتقال کاربری‌های ناسازگار به زیر سطح	۰/۷۹۴
۱۸	بهبود وضعیت منظر شهری	۰/۷۰۴

شش گزاره در این رویکرد بیشتر از عدد ۰/۷ محاسبه شده است (جدول ۱۱).

۹-۴- رویکرد چهارم: (حفاظت از محیط‌زیست)

رویکرد یک‌پنجم از مشارکت‌کنندگان (چهار نفر برابر با ۲۰ درصد) در این گروه جای می‌گیرد. به ترتیب اهمیت امتیاز عاملی هفت گزاره در این رویکرد بیشتر از عدد ۰/۷ محاسبه شده است (جدول ۱۲).

در جمع‌بندی کلی و بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، رویکردها، نقش‌ها و عملکردهای فضاهای زیرزمینی در جدول ۱۳ نشان داده شده است. رویکردها در چهار حوزه تداوم خدمات، امداد و نجات، ایمنی و امنیت شهری و حفاظت از محیط‌زیست خلاصه می‌شود. نقش‌ها و عملکردهای استخراج‌شده نیز در ذیل هریک از حوزه‌های عملکردی ارائه شده است.

۱۰- مطالعه موردی (کلان‌شهر مشهد)

۱۰-۱-کلان‌شهر مشهد و تاریخچه استفاده از تونل تأسیسات مشترک

تونل مشترک تأسیسات انرژی که تجمیع کننده خدمات برق، مخابرات و آب است، در این سال‌ها با توجه به ازدیاد جمعیت و افزایش بحث بلندمرتبه‌سازی در شهرها به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی در بحث شهرسازی مطرح است. این تونل با انتقال منابع انرژی از این کانال و رفع مشکلات ترافیکی براثر حفاری‌های متعدد و بعضاً نابجا در معابر شهری و امکان حفاظت فیزیکی تأسیسات از صدمات احتمالی و هزینه‌های ناشی از آن جلوگیری می‌کند. در ایران نیز قانون اصلاحیه تونل مشترک تأسیسات در سال ۱۳۷۹ به دولت و دستگاه‌های ذی‌ربط ابلاغ شد. بر این اساس، احداث تونل انرژی جزء برنامه‌های شهرداری چند شهر بزرگ کشور قرار گرفت و کارها آغاز شد. قم و تهران پیشتاز حضور در این ماجرا بودند و پنج سال بعد مشهد هم به جمع آن‌ها پیوست. مشهد بزرگ‌ترین مرکز شهری در منطقه شرق ایران است که دومین کلان‌شهر ازلحاظ جمعیت پس از تهران بوده و سالانه پذیرای بیش از بیست میلیون زائر از سراسر ایران و دیگر کشورهای اسلامی جهان است. از همین رو احداث و بهره‌برداری از چنین شبکه‌ای (تونل مشترک تأسیسات) که مشهد را در عرصه جهانی ممتاز می‌کند، بسیار کارآمد خواهد بود. عملیات اجرایی تونل مشترک انرژی در شهر مشهد از اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۸۵ به‌طور رسمی از سوی شرکت عمران و مسکن‌سازان ثامن آغاز شد. هم‌اکنون حدود ۱۲ کیلومتر تونل انرژی، در قالب سه پروژه جداگانه و در سه منطقه شهر مشهد اجرا شده و یا در حال احداث است. در این پروژه اجرای تونل مشترک تأسیسات انرژی که برای اولین بار در ایران در حال اجرا است، از لوله‌های GRP به قطر حدود سه متر استفاده می‌شود و منابع انتقالی آب، برق و مخابرات در آن قرار می‌گیرد. احداث ۱۷۰ کیلومتر شبکه تونل انرژی تا سال ۱۴۱۰ برای کلان‌شهر مشهد پیش‌بینی شده است.

جدول ۱۳. نقش و عملکرد فضاهای زیرزمینی شهری

رویکردها	نقش و عملکرد
تداوم خدمات	کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در برابر تهدیدات کاهش ترافیک ناشی از تعمیرات در شبکه‌های زیرساختی کاهش ترافیک معابر از طریق دسترسی زیرزمینی مترو به کاربری‌های جاذب جمعیت افزایش عمر تأسیسات و شبکه‌های زیرساختی صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان عملیات تعمیر و نگهداری تأسیسات گسترش حمل‌ونقل عمومی از طریق آزادسازی ظرفیت معابر
امداد و نجات	دسترسی به مراکز امداد و نجات از طریق تونل‌های شهری انتقال دارو و تجهیزات امدادی از طریق تونل‌های شهری انتقال مصدوم و مجروح از طریق تونل‌های شهری تبدیل کاربری به‌عنوان مرکز درمانی موقت امن، در شرایط بحران پیش‌بینی کاربری‌های درمانی ویژه (CBRN) در فضاهای زیرزمینی
ایمنی و امنیت شهری	تبدیل کاربری به‌عنوان پناهگاه عمومی در زمان حملات هوایی انتقال مسئولان به نقاط امن یا خارج از شهر در شرایط بحران جابجایی نیروی امنیتی و نظامی در سطح شهر انتقال مراکز و کاربری‌های خاص به زیر زمین افزایش ایمنی شهروندان در برابر حوادث و بلایای طبیعی از قبیل زلزله و طوفان کاهش میزان خطرزایی تأسیسات خطرناک (مانند گاز)
حفاظت از محیط‌زیست	کاهش آلودگی هوا در اثر گسترش حمل‌ونقل عمومی (مانند مترو) تأمین زمین برای توسعه فضای سبز (با انتقال برخی کاربری‌ها به زیر زمین) کاهش هدر رفت انرژی در تأسیسات زیرساختی کاهش مصرف سوخت در حوزه حمل استفاده از انرژی زمین‌گرمایی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی کاهش آلودگی صوتی و بصری از طریق انتقال کاربری‌های ناسازگار به زیر سطح بهبود وضعیت منظر شهری

۱۰-۲-نمونه‌های اجراشده در مشهد

نمونه‌های زیر پروژه‌هایی است که در مشهد اجرا شده است که البته همه آن‌ها به اتمام نرسیده است:

اردیبهشت ۱۳۸۵ احداث تونل در پیرامون حرم آغاز شد. تونل تأسیسات انرژی هر چهار قطاع اطراف حرم را پوشش می‌دهد. قطاع یک، حدفاصل خیابان امیر تا شیرازی به طول ۱۶۰۰ متر، قطاع دوم در حدفاصل خیابان شیرازی تا طبرسی به طول ۳۱۰۰ متر، قطاع سوم حدفاصل طبرسی تا نواب صفوی به طول ۳۲۰۰ متر و قطاع چهارم حدفاصل خیابان نواب تا بازار رضا (ع) به طول ۲۰۶۰ متر، هم‌اکنون صد درصد مراحل ساخت این تونل در بولوار امیرالمؤمنین (ع) اجرایی شده است و در مرحله واگذاری به شرکت‌های خدماتی قرار دارد، همچنین طرح احداث تونل انرژی در خیابان شارستان در قطاع سه حدفاصل میدان امیر تا خیابان طبرسی و نیز خیابان شعاعی، قطاع یک حدفاصل خیابان آزادی تا حرم مطهر رضوی در حال نهایی شدن است و مقدمات آن نیز در دست اجراست.

شکل ۵. تونل تأسیسات بلوار امیرالمؤمنین (ع) شهر مقدس مشهد

خلاصه مشخصات تونل مذکور به شرح ذیل است:
قطر تونل: ۲۸۰۰ الی ۳۰۰۰ میلی‌متر
قطر تونل‌های ارتباطی: ۲۰۰۰ میلی‌متر
طول تونل (فاز اول اجرایی): ۱۲۰۰ متر
طول تونل (فازهای توسعه): ۱۲۰۰۰ متر
محل احداث تونل: بلوار امیرالمؤمنین (ع) مشهد مقدس
محل استقرار تونل: پیاده‌رو
روش نصب: مدفون
سفتی حلقوی جداره تونل: ۵۰۰۰ پاسکال
تأسیسات عبوری از تونل: خطوط لوله آب، کابل‌های برق و مخابرات
عمق دفن متوسط: ۵ متر
ضخامت متوسط پوشش روی تاج تونل: ۱ متر

- تونل انرژی «احمدآباد تا سجاد»: این تونل به طول چهار کیلومتر، فاصله پست برق طالقانی تا پست برق سجاد مشهد را دربر می‌گیرد.
- میدان شهدا: امتداد زیرگذرهای غربی و شرقی میدان شهدا، همچنین خیابان صاحب‌الزمان (عج) ازجمله مکان‌هایی است که تونل تأسیساتی در آن احداث شده است. طول تونل مشترک انرژی در این طرح ۳ کیلومتر در ابعاد ۸/ ۳ متر در ۳/۸ متر است.
- یک تونل و کانال انرژی الکتریکی از سوی شرکت برق منطقه‌ای خراسان هم آماده بهره‌برداری گردیده است. این تونل و کانال به طول ۴/۵ کیلومتر، پست برق ۱۳۲ کیلوولت سپاه پاد به پست برق بوعلی را به هم متصل می‌کند. از این مسیر یک کیلومتر تونل در عمق ۱۰ متر اجرا شده و مابقی مسیر به‌صورت کانال اجرا گردیده است. عملیات اجرایی این تونل از سال ۱۳۸۷ آغاز شده بود.

۱۰-۳- مزایای احداث تونل مشترک تأسیسات در مشهد

احداث این تونل‌ها در تمام کلان‌شهرها به‌ویژه در مشهد به‌عنوان یک ضرورت مطرح می‌شود چراکه اجرای این تأسیسات به‌عنوان زیرساخت‌های لازم در توسعه و نوسازی شهری اجتناب‌ناپذیر است. مهم‌ترین مزایای احداث تونل تأسیسات در کلان‌شهر مشهد عبارت‌اند از:

- تونل‌های تأسیسات مشترک زیرزمینی علاوه بر استفاده به‌عنوان کانال‌های انتقال انرژی می‌تواند در مواقع بحران و بلایای طبیعی در انتقال مصدومان، مواد غذایی و کمک‌های امدادی نیز مورد استفاده قرار گیرد؛
- به دلیل جنس خاص این تونل‌ها هوای داخل آن به‌راحتی و با ایجاد کمترین اختلاف فشار در ابتدا و انتهای تونل قابل جریان یافتن است و از این نظر نیز در مصرف انرژی موتورهای تهویه صرفه‌جویی زیادی خواهد شد؛
- این نوع تونل‌ها برای استفاده در مسیرهای انتقال گاز، کانال‌های فاضلاب و حتی در صورت نیاز برای احداث تونل‌های قطار شهری نیز مناسب و مقرون‌به‌صرفه است؛
- ایجاد هماهنگی و برنامه‌ریزی دقیق در اجرای پروژه‌های خدماتی؛
- ارائه خدماتی آسان و پشتیبانی خدمات؛
- رفع مشکلات ترافیکی ناشی از حفاری‌های متعدد؛
- سهولت تعمیر و تعویض لوله‌ها و کابل‌ها بدون نیاز به حفر مجدد ترانشه؛
- امکان حفاظت فیزیکی تأسیسات از صدمات احتمالی؛
- این تونل با لوله‌ای به قطر ۲۸۰۰ میلی‌متر و جنس GRP تا هشت ریشتر در مقابل زلزله مقاوم است؛
- پایان آلودگی صوتی و محیطی حاصل از حفاری و کنده‌کاری‌های دائم معابر اصلی یا فرعی شهر؛
- اجرا شدن تأسیسات زیربنایی به‌نحوی‌که به‌راحتی قابل‌کنترل باشد و در شرایط خاص و بحرانی نظیر زلزله، آتش‌سوزی‌های گسترده، جنگ و ... مدیریت شود؛
- صرفه‌جویی در هزینه‌های زیرساختی؛
- کاهش میزان آلودگی بصری موجود؛
- امکان نصب سامانه تصویری مداربسته؛
- تهویه و اطفای حریق؛
- کنترل و نظارت بهتر بر تأسیسات زیرزمینی؛
- قابلیت انعطاف بودن این تونل‌ها؛
- هوای کاملاً خنک، فضای بدون رطوبت؛
- هم‌راستا بودن احداث تونل‌ها با اهداف پدافند غیرعامل؛
- دسترسی راحت‌تر در مواقع بحران؛
- سرشکن شدن هزینه‌های احداث و بهره‌برداری میان سازمان‌های استفاده‌کننده و قابل‌مشاهده بودن تأسیسات؛
- سرعت دسترسی اورژانس به محل حادثه بعد از حوادثی چون زلزله، طوفان، سیل و غیره.

۱۱- نتیجه‌گیری

امروزه موضوع خدمات‌رسانی شهری از مهم‌ترین شاخصه‌های توسعه‌یافتگی شهرها و کشورهای جهان به شمار می‌رود. از همین رو از قرن نوزدهم میلادی به بعد شبکه‌های خدمات شهری در اروپا باهدف مشخص کردن مرز شهرها ایجاد شده‌اند. این شبکه‌ها که در بسیاری از شهرهای اروپایی فضای زیرزمینی شهرها را پرکرده‌اند شامل خطوط برق و مخابرات و خطوط انتقال آب و گاز است. این خطوط در کشورهای پیشرفته همگی در زیر زمین و از داخل تونل‌هایی به بخش‌های مختلف شهر هدایت می‌شوند و به‌صورت هوایی قابل‌مشاهده نیستند. این تونل‌های زیرزمینی، تونل مشترک تأسیسات شهری نامیده می‌شوند. درواقع تونل مشترک تأسیسات شهری ازجمله زیرساخت‌های عظیم و نوین در دنیا است که برای یکپارچه کردن و بهسازی زیرساخت‌های اساسی هر شهر از قبیل شبکه‌های برق، مخابرات، آب و فاضلاب و غیره به کار می‌رود و ایمنی بهره‌برداری از سامانه را به طرز قابل‌توجهی افزایش داده

و درعین‌حال باعث سهولت در نگهداری و بهره‌برداری می‌شود. همچنین تونل تأسیسات مشترک می‌تواند نقش عمده‌ای را در سامان بخشیدن به‌نظام زیرساخت‌های شهری عهده‌دار شود که علاوه بر ارائه پاسخ مناسب و مطلوب بر کلیه نیازهای تخصصی و فنی و تأسیساتی مرتبط، در مواقع اضطرار به‌عنوان پناهگاه و مسیر اصلی دسترسی برای نجات جان شهروندان، خدمات‌رسانی نماید. در کشور ما نیز علی‌رغم تصویب قانون احداث تونل‌های مشترک تأسیسات شهری در سال ۱۳۷۲ و بر اساس ماده ۱ این قانون که دولت را موظف به احداث این سازه در شهرهای جدید و توسعه شهرهای موجود کرده است، آیین‌نامه اجرایی آن در سال ۱۳۸۴ تدوین و تصویب شد. در شهرهای امروزی به‌ویژه کلان‌شهرهای کشور که با محدودیت‌ها و مشکلاتی از قبیل رشد جمعیت، رشد فزاینده قیمت زمین، آلودگی‌های زیست‌محیطی و غیره روبرو هستند، توسعه فضاهای زیرزمینی امری اجتناب‌ناپذیر بوده و با گذر زمان سرعت حرکت به سمت احداث شهرهای زیرزمینی نیز در حال افزایش است. از سوی دیگر نقاط قوت و ضعف فراوانی نیز برای این قبیل فضاها متصور است که شاید مهم‌ترین مشکل توسعه زیرزمینی شهرها را در هزینه بالای احداث آن‌ها و مهم‌ترین ظرفیت آن‌ها را در ایجاد محیطی امن و مصون از بسیاری از تهدیدات دانست؛ بنابراین لازم است برنامه‌ریزی‌های دقیقی در جهت ساماندهی و یکپارچه‌سازی توسعه فضاهای زیرزمینی باهدف بهره‌برداری از ظرفیت‌ها و اجتناب از ضعف‌ها و مشکلات محتمل در کشور انجام شود. در این پژوهش نیز با بهره‌گیری از روش کیو نخست بر پایه نتایج پژوهش‌های مرتبط با موضوع فضاهای زیرزمینی و تاب‌آوری و تجزیه‌وتحلیل فضای گفتمانی موجود، شناخت جامعی از نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها به دست آمد. یافته‌های پژوهش بر پایه تحلیل عاملی کیو، بیانگر چهار رویکرد درزمینه نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها است:

رویکرد اول: تداوم خدمات؛

رویکرد دوم: امداد و نجات؛

رویکرد سوم: ایمنی و امنیت شهری؛

و رویکرد چهارم: حفاظت از محیط‌زیست.

درواقع در این پژوهش ظرفیت‌های موجود در فضاهای زیرزمینی تعیین گردید که بتواند میزان مقاومت و بازگشت‌پذیری شهرها را در برابر انواع تهدیدات و حوادث افزایش دهد. همچنین در ادامه پژوهش با توجه به پیش رو بودن کلان‌شهر مشهد در این موضوع، سابقه احداث تونل مشترک تأسیسات و کارکردها و مزایای احداث آن به‌منظور عینی سازی نتایج پژوهش تشریح گردید. مشهد بزرگ‌ترین مرکز شهری در منطقه شرق ایران است که ازلحاظ جمعیت دومین کلان‌شهر پس از تهران و سالانه پذیرای بیش از بیست میلیون زائر از سراسر ایران و دیگر کشورهای اسلامی جهان است. از همین رو احداث و بهره‌برداری از چنین شبکه‌ای (تونل مشترک تأسیسات) که مشهد را در عرصه جهانی ممتاز می‌کند، بسیار کارآمد خواهد بود. عملیات اجرایی تونل مشترک انرژی در مشهد از اردیبهشت سال ۱۳۸۵ از سوی شرکت عمران و مسکن‌سازان ثامن به‌طور رسمی آغاز شد. هم‌اکنون حدود ۱۲ کیلومتر تونل انرژی، در قالب سه پروژه جداگانه و در سه منطقه مشهد اجرا شده و یا در حال احداث است. در پروژه اجرای تونل مشترک تأسیسات انرژی که برای نخستین بار در ایران در حال اجرا است، از لوله‌های GRP به قطر حدود سه متر استفاده می‌شود و منابع انتقالی آب، برق و مخابرات در آن قرار می‌گیرد. احداث ۱۷۰ کیلومتر شبکه تونل انرژی تا سال ۱۴۱۰ برای کلان‌شهر مشهد پیش‌بینی‌شده است.

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش و مطالعه موردی؛ آنچه مسلم است توسعه بدون برنامه یکپارچه زیرساخت‌های شهری و نبود برنامه‌ریزی کلان در احداث فضاهای زیرزمینی، منجر به افزایش روزافزون محدودیت در ایجاد و گسترش نظام‌مند و برنامه‌ریزی‌شده‌ی آن‌ها می‌شود. نگاه بخشی و عدم اتخاذ رویکرد جامع در توسعه فضاهای زیرزمینی، از یک‌سو باعث عدم بهره‌برداری از تمامی منافع این‌گونه فضاها در پایداری شهرها شده و از سوی دیگر یکی از مهم‌ترین ملاحظات در توسعه شهری، در نظر گرفتن اصول پایداری و تاب‌آوری در مرحله برنامه‌ریزی و طراحی زیرساخت‌ها، نادیده گرفته می‌شود؛ بنابراین شناخت تمامی ابعاد مثبت و منفی در مورد این فضاها و احصاء فرصت‌هایی که فضاهای زیرزمینی می‌توانند پیش روی طراحان و برنامه‌ریزان شهری بگذارند، می‌تواند گامی مؤثر در جهت افزایش تاب‌آوری، ارتقای پایداری، بهبود شرایط ایمنی/امنیتی شهری و حل برخی مشکلات و معضلات کلان‌شهرهای کشور باشد.

پی‌نوشت

1 Urban Underground Infrastructure-UUI

2 point oriented

۳ درروش کیو یک نمونه کیوی قابل‌اعتماد باید همه ابعاد فضای گفتمان را پوشش دهد [۲۵]. محتویات فضای گفتمان نه‌تنها شامل حقایقی است که ممکن است در پیشینه موضوع مطرح باشند، بلکه شامل تلقی‌ها و برداشت‌های شخصی افراد نیز هست که کاملاً خود مرجع بوده و ممکن است هیچ مقبولیت علمی نداشته باشد. به‌این‌ترتیب، شناسایی ذهنیت‌ها فارغ از چهارچوب‌های نظری صورت می‌گیرد و می‌توان ذهنیت‌هایی را کشف کرد که تاکنون آشکارنشده بودند (خوش‌گویان فرد، ۱۳۸۶). در این راستا از مجموع راهکارها، راه‌حل‌ها و یا پیشنهادهای علمی گردآوری‌شده، آن‌هایی که دربردارنده مفهوم یکسانی بودند ذیل یک مقوله کلی خلاصه شدند تا از این راه با حذف موارد یکسان یا تکراری شرایط خلاصه‌سازی داده‌ها ذیل مقوله‌های اصلی فراهم شود. با توجه به اینکه در تقسیم‌بندی کلی نمونه کیو به دودسته با ساختار و بی ساختار تقسیم می‌شود (خوش‌گویان فرد، ۱۳۸۶). در این مقاله برای پرهیز از سوگیری و یا جهت‌دهی به مسیر پژوهش، از نمونه کیو بی ساختار استفاده گردید.

4 Q-Card

۵ به‌طورمعمول درروش کیو مشارکت‌کنندگان به روش نمونه‌گیری هدفمند، از میان اهالی فضای گفتمان، انتخاب می‌شوند و بدین منظور همه عوامل یا رویکردهای موجود در نمونه کیو در نظر گرفته می‌شود [۲۶]. در این میان، با در نظر گرفتن ابعاد گوناگون مطالعات حوزه فضاهای زیرزمینی و تاب‌آوری، مشارکت‌کنندگان از میان پژوهشگرانی که در این زمینه از سابقه پژوهش برخوردار بودند، برای مشارکت در مرتب‌سازی کارت‌های کیو روی نمودار کیو برگزیده شدند.

6 Kaiser Meyer Olkin

7 Principal Components

8 Varimax

منابع

1. Bobylev, N, (2016). "U*nderground space as an urban indicator: Measuring use of subsurface*". Tunnelling and Underground Space Technology 55, 40–51.

2. United Nations, (2014). "*World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*", Highlights,Department of Economic and Social Affair Population Division, ST/ESA/SER.A/352 . United Nations, New York.

3. Attarda G et al, (2017*). "Urban underground development confronted by the challenges ofgroundwater resources: Guidelines dedicated to the construction ofunderground structures in urban aquifersGuillaume*". Land Use Policy 64, 461–469.

4. Delmastro Ch et al, (2016). "Underground urbanism: Master Plans and Sectorial Plans". Tunnelling and Underground Space Technology 55, 103–111.

5. Bobylev, N, (2009). "Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use". Land Use Policy 26, 1128–1137.

6. Hunt. D.V.L,. Makana, L.O. Jeferson, I and Rogers, C.F.D, (2016). "Liveable cities and urban underground space". Tunnelling and Underground Space Technology 55, pp8-20.

7. Zhang Z et al., (2017). "Property rights of urban underground space in China: A public good perspective". Land Use Policy 65, 224–237.

۸. بنسر، ژاک. (۱۳۸۸)، طراحی، *توسعه و مدیریت فضاهای زیرزمینی در کانادا*، مترجمین بهزاد اسکندر افشار و مژگان محمودی راد، مجله آبادی، شماره ۶۴.

9. Montazerolhojah, m., pourjafar, m. and Taghvaee, A, (2014). "Urban underground development; an overview of historical underground city in Iran". International journal of Architectural Engineering and Urban Planing, Vol. 25, No. 1, June 2015.

10. Kaliampakos D, (2016). "Underground development: a springboard to make city life better in the 21st century". 15th International scientific conference "Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development". Procedia Engineering 165, 205 – 213.

11. Raymond Sterling, and Priscilla Nelson, (2013). "City resiliency and underground space use". The Society for Rock Mechanics & Engineering Geology (Singapore).

12. The National Academies Press, (2013),"UNDERGROUND ENGINEERING FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT", Washimgton D.C.

13. Admiraal H, Cornaro A, (2016). "Why underground space should be included in urban planning policy – And how this will enhance an urban underground future". Tunnelling and Underground Space Technology 55 , 214–220.

14. Ilkka Vahaaho,(2014). "Underground space planing in Helsinki". Journal of Rock Mechanicm and geotecnical Engineering. Vol.6. pp 387-398.

15. Mateusz Joblonski,Tomasz Lipecki,Wojciech Jaskowski, Agnieczka Ochalek (2016). "Virtual underground city Osowka", Geology, Geophysics & Environment. Vol. 42(1) pp. 77-78.

۱۶. سهامی، حبیب اله (۱۳۹۶).. فضاهای امن زیرزمینی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

17. Huanqing Li,)2012(. "The Way to Plan a Sustainable "Deep City": From Economic and Strategic Aspects". Proceedings REAL CORP 2012 Tagungsband.

18. Wout Broere,)2016(. "Urban underground space: Solving the problems of today's cities". Tunnelling and Underground Space Technology 55 (2016) 245–248.

19. Chow F.C et al.,)2002(. "Hidden Aspects of Urban Planning: Utilisation of Underground Space". Proc. 2nd Int. Conference on Soil Structure Interaction in Urban Civil Engineering.

۲۰. خوش‌گویان فرد، علیرضا (۱۳۸۶). روش‌شناسی کیو. تهران، مرکز تحقیقات صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران.

۲۱. مرادیان، فیض‌الله (۱۳۹۰). روش‌شناسی کیو. کتاب ماه علوم اجتماعی، دوره‌ی جدید، شماره‌ی ۳۷، ۹۶-۱۰۱.

1. Exel, J. V., Graaf, G., Brouwer, W. (2007). "Care for a break? An investigation of informal caregivers' attitudes toward respite care using Qmethodology", Health Policy,83, 332–342

22. Duenckmann F. (2010). "The village in the mind: Applying Q-methodology tore-constructing constructions of rurality". Journal of Rural Studies, 26, 284–295.

۲۳. زارع چاهوکی، محمدعلی (۱۳۸۹)، روش‌های تحلیل چند متغیره در نرم‌افزار SPSS، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

24. Ellingsen, I.T., Størksen I., Stephens P. (2010). "Q methodology in social work Research". International Journal of Social Research Methodology, 13:5, 395-409.

25. Wright, P. N. (2013). "Is Q for you? : using Q methodology withingeographical and pedagogical research". Journal of Geography in Higher Education, 37:2, 152-163

شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در دهستان ژاورود بر اساس مدل تلفیقی فازی و فرایند تحلیل شبکه[1]

جواد جمال‌آبادی *: دکتری ژئومورفولوژی (برنامه‌ریزی محیطی)، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار،
Email: javadjamalabadi@yahoo.com
فرحناز صفری: کارشناس ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار
علی برآبادی: کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، سبزوار
مریم آل محمد: دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۳۱
تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۹

چکیده

پویایی محیط طبیعی منجر به تغییرات در مقیاس‌های فضایی و زمانی متفاوت می‌شود. این تغییرات می‌تواند به وقوع فرایندهای شکل زا بیانجامد که گاهی آثار مخرب و غیرقابل جبرانی را نیز در پی خواهند داشت. یکی از این تغییرات حرکات توده‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش است که همه‌ساله صدمات و تلفات مالی و جانی زیادی در مناطق مختلف جغرافیایی و فرسایش شدید خاک را به دنبال دارد. دهستان ژاورود در منطقه شاهو و شهرستان کامیاران در استان کردستان به لحاظ موقعیت خاص توپوگرافی و جغرافیایی خود به‌عنوان یکی از مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش انتخاب گردیده است. به‌منظور بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع لغزش در این تحقیق از ۸ پارامتر شیب، جهت آن، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و فاصله از راه ارتباطی به‌عنوان عوامل مؤثر در مسئله تحقیق و همچنین از دو روش منطق فازی و فرایند تحلیل شبکه جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و انتخاب مکان بهینه استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه پتانسیل لغزش‌پذیری کمابیش بالایی دارد. بر اساس نتایج این تحقیق، منطقه ازنظر پتانسیل لغزش در ۴ رده طبقه‌بندی و میزان لغزش‌پذیری منطقه از خیلی زیاد (۷/۵ درصد)، زیاد (۲۷ درصد)، متوسط (۳۱ درصد) و کم (۳۴/۵ درصد) متغیر است. با توجه به تراکم نواحی روستایی و جمعیت‌پذیری در این ناحیه و همچنین گردشگر پذیر بودن منطقه، لازم است که مسئولان با در نظر گرفتن مناطق مستعد وقوع لغزش، اقدامات و تدابیر کنترلی و حفاظتی لازم را اتخاذ نمایند.

واژه‌های کلیدی: *دهستان ژاورود، پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، منطق فازی، روش ANP*

Identification and zoning of susceptible area of landslide in the Javroud rural district

Javad Jamalabadi*[1], Farahnaz Safari[2], Ali Barabadi[3], Maryam Al-Mohammad[4]

Abstract:

The dynamics of the natural environment causes changes in spatial and temporal scales. These changes can lead to morphogenesis processes that sometimes lead to destructive and irreversible effects. One of these changes is the mass movement, especially the landslide, which causes a lot of financial and human losses in different geographic areas each year, resulting in severe erosion of the soil. Shaho area in Kurdistan province and Kamyaran city has been selected as one of the areas susceptible to landslide in terms of its specific topographic and geographical location. n this research, in order to investigate and zoning the susceptible areas of slipping, 8 slope parameters, slope, elevation, lithology, land use, distance from fault, distance from the river and distance from communication were used as factors affecting the research problem. Also, two methods of fuzzy logic and ANP were used to analyze the data and select the optimal location. The results show that the study area has a relatively high slip potential. According to the results of this research, the study area was classified in terms of slip potential in four classes. The degree of slipperiness of the region varies greatly (7.5%), high (27%), moderate (31%) and low (34.5%). Due to the density of rural areas and population density in the area as well as tourist status of the area, it is necessary for the authorities to identify the areas susceptible to landslides to take necessary protective measures and measures.

Key words: *Javaroud district, zoning, landslide, fuzzy, ANP*

1 – Ph.D. in Geomorphology (Environmental Planning) Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran . javadjamalabadi@yahoo.com
2 – Graduate Student, Department of Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.
3 – MSc in Geography and Urban Planning.
4 –Master's degree in geomorphology, Kharazmi University, Tehran, Iran

مقدمه

محیط طبیعی همواره در حال تغییر است و این تغییرات در مقیاس جهانی تا مقیاس‌های خیلی کوچک صورت می‌گیرد [۱]. این تغییرات می‌تواند به وقوع برخی فرایندهای شکل زا منجر شده که گاهی آثار مخرب محیطی را نیز در پی خواهد داشت. یکی از این رخدادها حرکات دامنه‌ای است. حرکات دامنه‌ای می‌تواند به‌صورت واحد و یا توده‌ای ظاهر گردد [۲]. لغزش فرایندی توده‌ای است که به‌طور طبیعی بر روی دامنه‌ها عمل می‌کند؛ هرچند عوامل غیرطبیعی آن را تحریک و یا تشدید می‌کنند. درواقع لغزش، حرکت توده‌ای مواد از دامنه به سمت پایین‌دست است که تحت تأثیر گرانش قرار دارد [۴،۳]. این پدیده شامل جریان، کشیدن، سرازیر شدن، سقوط و یا پخشِ توده‌ای خاک است و بسیاری از لغزش‌ها در یک‌زمان یا در طول عمر لغزش، نشان‌دهنده ترکیبی از انواع مختلف حرکات است که در بسیاری از موارد، تهدیدی جدی برای جمعیت ایجاد می‌کند [۵]. وقوع پدیده زمین‌لغزش، موجب تخریب پوشش گیاهی، باغ‌ها و اراضی زراعی شده و حتی می‌تواند به‌صورت فاجعه‌ای مرگبار برای جوامع انسانی ظاهر شود. گذشته از این موارد، پدیده فرسایش خاک درنتیجه وقوع این حرکات توده‌ای بسیار تشدید می‌شود. پدیده‌های مختلفی بر روی لغزش تأثیرگذار هستند و در افزایش وقوع آن نقشی مستقیم دارند که ازجمله آن‌ها می‌توان به بارش، ذوب برف، تغییرات دما، زلزله، فعالیت آتش‌فشانی و فعالیت‌های انسانی اشاره کرد [۶]. بر این اساس بعضی از مناطق پتانسیل بالایی در وقوع لغزش از خود نشان می‌دهند؛ لذا تفکیک مناطق در ساخت‌وسازهای شهری ازلحاظ پایداری، ناپایداری و استعداد اراضی به حرکات توده‌ای به‌ویژه برای اجرای پروژه‌های عمرانی مهم است [۷]. ایران با توپوگرافی اغلب کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، بیشترین شرایط طبیعی برای رخداد زمین‌لغزش‌ها را دارا است [۸]. منطقه کوهستانی شاهو یکی از مناطق مستعد حرکات دامنه‌ای است، به‌طوری‌که در طی سال‌های اخیر لغزش‌های متعددی در این منطقه رخ داده است. به همین دلیل در تحقیق حاضر سعی شده است تا به ارزیابی وضعیت لغزش در دهستان ژاورود واقع در منطقه شاهو پرداخته شود. ازآنجایی‌که شناسایی و بخش‌بندی نواحی مستعد لغزش و پهنه‌بندی خطر آن، گامی مهم در ارزیابی خطرهای محیطی محسوب می‌شود، در این تحقیق به شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش پرداخته شده است.

با توجه به نقش و اهمیت لغزش‌ها در فرسایش و تولید رسوب، تحقیقات متعددی در سطح ایران و جهان در این زمینه صورت گرفته است [۹]. با استفاده از منطق فازی به بررسی مناطق مستعد زمین‌لغزش در منطقه گانجنانگ کره پرداخته می‌شود. در این پژوهش ابتدا از روش FR به‌منظور ارزیابی زمین‌لغزش در منطقه استفاده و سپس مناطق مستعد زمین‌لغزش با ترکیب عملگرهای عضویت فازی و روش نسبت فراوانی تعیین شده است. پس از تطبیق نقشه تولید شده با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها به همراه بازدید میدانی، عملگر گامای ۹/. به‌عنوان بهترین عملگر با درجه اطمینان ۸۴ درصد معرفی شده است.

نقشه حساسیت زمین‌لغزش برای منطقه آردسن ترکیه را [۱۰] بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیائی و با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و آماره دومتغیره تهیه کرد و به این نتیجه رسید که متغیرهای سنگ‌شناسی، هوازدگی، کاربری زمین و شیب، مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز زمین‌لغزش در منطقه هستند؛ همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، روش تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی شد.

ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه کارل اونری در اسلواکی با استفاده از توزیع دومتغیره آماری انجام شد [۱۱]. از شاخص آنتروپی برای محاسبه وزن لایه‌های مورد بررسی در این منطقه استفاده و درنهایت نقشه پهنه‌بندی خطر منطقه ارائه گردید. در تحقیقی در بخش آراکلی استان ترابزون کشور ترکیه کیفیت عوامل و آثار آن‌ها در تولید نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های چی-اسکوار و وزن دهی فیشر مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۲] که از روش تحلیل سلسله مراتبی[۲] نیز به‌عنوان روش بنچ مارک برای اعتبارسنجی و مقایسه عملکرد وزن‌های عامل‌های زمین‌لغزش استفاده کرده است. همچنین تحقیقی در منطقه چیتاگونگ بنگلادش به بررسی عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های منطقه و تأثیر آن بر مسائل اجتماعی، اقتصادی مردم محلی پرداخته است [۱۳]. این تحقیق بر مبنای کارهای میدانی و تحلیل داده‌ها انجام شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که علت اصلی زمین‌لغزش در منطقه به ترتیب ایجاد ترانشه و زیر شویی، وجود ساختمان ضعیف خاک و تغییرات کاربری اراضی است.

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی [۱۴] عنوان تحقیق دیگری در این زمینه است. در این تحقیق پس از وزن دهی لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS باهم تلفیق شده‌اند و درنهایت نقشه نهایی پهنه‌بندی مناطق خطر تهیه شده است. نتایج نشان می‌دهد که نواحی پرخطر و خیلی پرخطر اغلب در مجاورت مراتع و تپه‌ماهور با حاشیه دامنه‌های بلند و متوسط ارتفاع در مجاورت روستاها هستند.

مناطق متأثر از خطر زمین‌لغزش در طول جاده تبریز-مرند عنوان پژوهش دیگری است که در آن محققان [۱۵] با استفاده از متغیرهای لیتولوژی، شیب دامنه، کاربری اراضی، پوشش زمین، فاصله از اراضی خطی (جاده، رود، گسل) و هم‌پوشانی آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ساختار خاص زمین‌شناسی، شرایط اقلیم محلی و تراکم نهشته‌های کواترنری در کنار گرادیان شیب از عوامل اصلی بروز زمین‌لغزش است. از دیگر پژوهش‌ها می‌توان به مطالعات پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مسیر آزادراه خرم آباد-پل زال [۱۶] اشاره نمود که پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفته است. نتایج این تحقیق بیانگر این است که ضمن اینکه این مدل کارایی مناسبی جهت تشخیص مناطق مستعد لغزش دارد، در کنار عامل شیب و

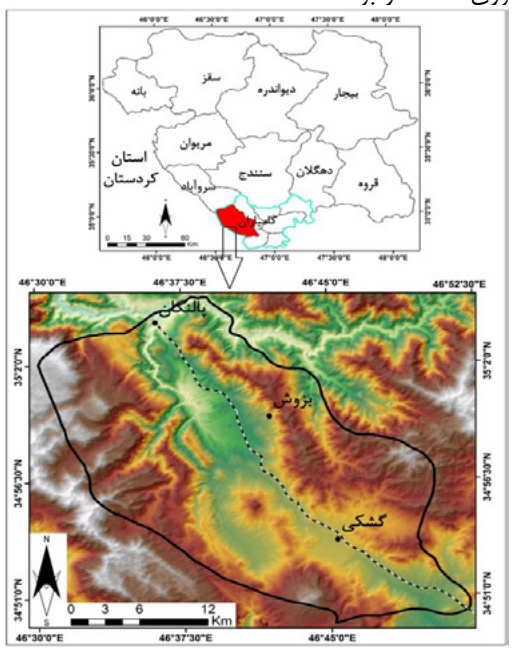
سنگ‌شناسی به‌عنوان عوامل اصلی رخداد لغزش، احداث جاده وقوع لغزش‌ها را تشدید نموده است. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده شهری بیجار از دیگر تحقیقات مشابه است [۱۷]. در این تحقیق از مدل تحلیل شبکه‌ای استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داده است که ۴۱ درصد از محدوده شهر بیجار جزء مناطق دارای خطر زمین‌لغزش محسوب می‌شود. نتایج دقیق‌تر نشان داده است که از بین متغیرهای مؤثر فاصله از گسل و ارتفاع بیشترین و کاربری اراضی کم‌ترین تأثیر را داشته‌اند.

تحقیقی در سال ۱۳۹۵ به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز سیمینه‌رود بوکان با تلفیق مدل‌های آماری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات مکانی پرداخت [۱۸]. در این تحقیق از ۹ معیار اصلی جهت شناسایی مناطق مستعد لغزش استفاده شده است؛ سپس نقشه حساسیت زمین‌لغزش با همپوشانی لایه‌های وزن طبقات و اعمال وزن اهمیت هر لایه ایجاد و طبقه‌بندی برای حوضه سیمینه‌رود تولید شده است. نتیجه نهایی تلفیق داده بیانگر این است که حدود ۱۶ درصد زمین‌لغزش مورد استفاده در تهیه نقشه در طبقه خطر زیاد نقشه پهنه‌بندی قرار گرفته است.

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه ولدیان با استفاده از روش آنبالاگان [۱۹] با استفاده از لایه‌های زمین‌شناسی، شیب، بارندگی، زلزله و جهت شیب به‌عنوان عوامل مؤثر بر خطر وقوع زمین‌لغزش منطقه صورت گرفته و مناطق مستعد خطر شناسایی و پهنه‌بندی گردید. نتایج تحلیل نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌دست‌آمده مشخص نمود که حدود ۹ درصد از سطح روستا در محدوده خطر خیلی بالا قرار دارد. از تحقیقات اخیر می‌توان به پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی در شهرستان کرمانشاه اشاره نمود [۲۰]. در این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از دو روش مدل آنتروپی و روش منطق فازی و ۹ پارامتر لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری اراضی و بارش صورت گرفته است. ارزیابی صورت گرفته با استفاده از شاخص احتمال تجربی نشان می‌دهد که مدل فازی با مقدار شاخص احتمال تجربی ۹۰ درصد روش کارآمدتری نسبت به مدل آنتروپی با مقدار شاخص ۵۰ درصد در برآورد خطر زمین‌لغزش در شهرستان کرمانشاه است. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار در حوضه ده سفید را مورد مطالعه قرار داده‌اند [۲۱]. در این تحقیق ابتدا لایه‌های اطلاعاتی در محیط ARCGIS جمع‌آوری و پس از استانداردسازی داده‌ها به روش منطق فازی از طریق مدل تحلیل سلسله مراتبی ارزش‌گذاری شده‌اند. درنهایت با تلفیق کلیه لایه‌ها با استفاده از مدل ترکیب خطی وزن‌دار، نقشه نهایی مناطق مستعد لغزش در حوضه ده سفید به‌دست آمده است. نتایج این تحقیق بیانگر این است که حدود ۳/۷ درصد از منطقه در پهنه خیلی زیاد وقوع زمین‌لغزش قرار دارد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی شامل دهستان ژاورود واقع در شهرستان کامیاران و استان کردستان در مختصات جغرافیایی ۵۴ درجه ۳۰ دقیقه تا ۴۶ درجه ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی است (شکل۱). انتخاب محدوده مطالعاتی به جهت پتانسیل بالای منطقه جهت وقوع حرکات دامنه‌ای بوده است که بخشی از کوه‌های کارستی شاهو محسوب می‌شود. این منطقه در زون زاگرس مرتفع قرار گرفته و ازنظر ساختاری نیز از خصوصیات این زون پیروی می‌کند. زاگرس مرتفع نوار طویل و کمابیش باریکی به عرض ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر است که در فاصله بین گسل اصلی و گسل زاگرس مرتفع قرار گرفته است [۲۲].



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به‌منظور بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع لغزش از ۸ پارامتر شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و فاصله از راه ارتباطی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در مسئله تحقیق؛ همچنین از دو روش منطق فازی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و انتخاب مکان بهینه استفاده شده است. در ادامه این دو روش تشریح شده است.

منطق فازی: تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی به‌عنوان نظریه ریاضی برای مدل‌سازی ابهام و عدم قطعیت ابزارهای بسیار کارآمد و مفید به شمار می‌روند. این تئوری روشی است که قضاوت‌های فردی و مبهم در مورد یک پدیده منحصربه‌فرد را وارد مدله‌های احتمالی یا ریاضی می‌نماید و زمینه برای استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم می‌آورد. در منطق کلاسیک درجه عضویت برای همه اجزا در گروه برابر با یک است و تمام اجزا ارزش مشابهی برای سیستم دارد. به‌عبارت‌دیگر در منطق بولین، عضویت یک عنصر در مجموعه‌ای به‌صورت صفر (عدم عضویت) و یک (عضویت) بیان می‌شود؛ اما قطعیت موجود در منطق بولین در منطق فازی وجود ندارد و میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری در بازه یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) تعریف می‌شود.

رابطه (۱):

$$A = \{X_{1}, \mu_{A}(x) | x \in x\} \mathrm{O} \leq \mu_{A(x)} \leq 1$$

درجه عضویت پذیری، اجتماع و اشتراک، متمم، ضرب، جمع، گاما توان‌های اساسی این مدل تلفیق محسوب می‌شوند. درجه عضویت به‌طورمعمول با یک تابع عضویت بیان می‌شود که شکل تابع می‌تواند به‌صورت خطی، غیرخطی، پیوسته و یا ناپیوسته باشد [۲۳]. شکل ۲ مثالی از تابع عضویت در دو روش منطق فازی و کلاسیک را نشان می‌دهد.

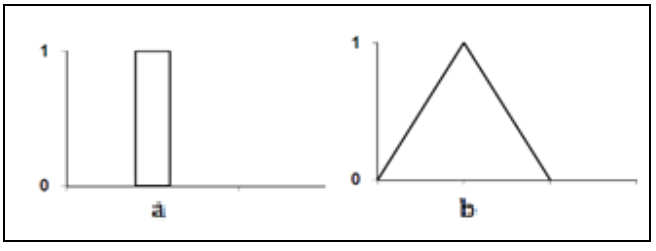
مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای: روش‌های ارزیابی چند معیارِ کاربرد وسیعی در علوم مختلف ازجمله ژئومورفولوژی پیدا کرده‌اند. یکی از این روش‌ها فرایند تحلیل شبکه‌ای است. فرایند تحلیل شبکه‌ای شکل کامل شده تحلیل سلسله مراتبی است. در تحلیل سلسله مراتبی ابتدا مسئله یا موضوع موردنظر را به یک ساختار سلسله مراتبی تبدیل می‌کند که در آن عناصر تشکیل‌دهنده این ساختار که از اجزاء تصمیم نیز تلقی و مستقل از یکدیگر فرض می‌شوند؛ بنابراین یکی از محدودیت‌های جدی تحلیل سلسله مراتبی این است که وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم، یعنی وابستگی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها را در نظر نمی‌گیرد و ارتباط بین عناصر تصمیم را سلسله مراتبی و یک‌طرفه فرض می‌کند. این فرض ممکن است در بعضی از موارد صادق نباشد و در چنین شرایطی نتیجه روش تحلیل سلسله مراتبی ممکن است موجب برعکس شدن رتبه‌ها شود، یعنی با حذف گزینه‌ای ممکن است نتیجه رتبه‌بندی گزینه‌ها تغییر کند؛ بنابراین باید در استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی اندکی محتاط بود زیرا کلیه مسائل و مشکلات لزوماً دارای ساختار سلسله مراتبی نیستند.

این محدودیت‌های عمده روش تحلیل سلسله مراتبی باعث شده تا ابداع‌کننده آن توماس ساعتی[۳] روش فرایند تحلیل شبکه‌ای را ارائه و معرفی کند که در آن ارتباط پیچیده بین عناصر تصمیم، از طریق جایگزینی ساختار سلسله مراتبی با ساختار شبکه‌ای در نظر گرفته می‌شود. فرایند تحلیل شبکه‌ای، حالت عمومی و گسترده تحلیل سلسله مراتبی محسوب می‌شود [۲۴] که در آن موضوعات با وابستگی متقابل و بازخورد را نیز می‌توان در نظر گرفت. به همین دلیل در سال‌های اخیر استفاده از مدل تحلیل شبکه به‌جای تحلیل سلسله مراتبی در اغلب زمینه‌ها افزایش یافته است. این روش می‌تواند ارتباطات پیچیده بین عناصر تصمیم را با به‌کارگیری ساختار شبکه‌ای به‌جای ساختار سلسله مراتبی در نظر گیرد. مدل تحلیل شبکه از سلسله‌مراتب کنترل، خوشه‌ها، عناصر و روابط متقابل بین خوشه‌ها و عناصر تشکیل می‌شود. معیارها برای مقایسه خوشه‌های سیستم و گزینه‌های برای مقایسه عناصر با توجه به هدف سیستمی (شبکه‌ای) مورد بررسی به کار می‌روند.

بحث و نتایج

به‌منظور بررسی وضعیت حوضه مورد مطالعه از نظر پتانسیل وقوع زمین‌لغزش از ۸ پارامتر استفاده شده است که در زیر به تشریح هرکدام از آن‌ها پرداخته شده است:

ارتفاع و فاصله از رودخانه: ارتفاع به‌طور غیرمستقیم می‌تواند احتمال وقوع لغزش را افزایش دهد. بدین‌صورت که مقدار ریزش برف با افزایش ارتفاع به‌ویژه بالاتر از ۱۵۰۰ متر افزایش یافته و با ذوب برف در فصل بهار، آبراهه‌ها را پر آب و در زیر بری دامنه‌های پرشیب در پادگانه‌های شنی نقش مهمی داشته است. بر این اساس دو پارامتر ارتفاع و فاصله از رودخانه به‌عنوان عوامل مؤثر در نظر گرفته شده‌اند که در شکل ۲ نقشه این عوامل ارائه شده است. مطابق این شکل، مناطق غربی حوضه ارتفاع بالاتری دارند به‌طوری‌که کوهستان‌های غربی حوضه دارای ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر هستند و از این نظر پتانسیل بالاتری برای زمین‌لغزش دارند.

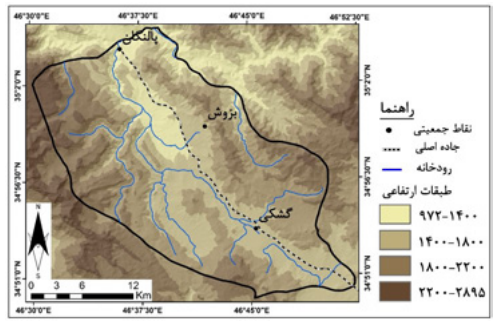


شکل ۲. توابع عضویت در روش کلاسیک (a) و منطق فازی (b)

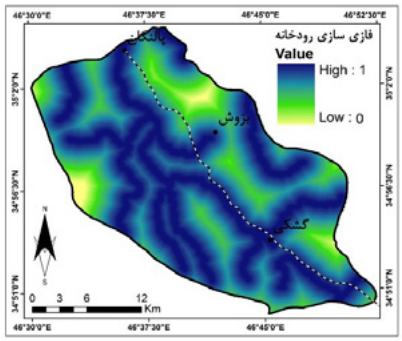
با توجه به اینکه هدف از تحقیق حاضر شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش است، هرکدام از پارامترها برحسب هدف تحقیق فازی سازی شده‌اند. بر این اساس لایه وضعیت ارتفاعی و فاصله از رودخانه نیز فازی سازی شده و در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. فازی سازی این لایه‌ها به این صورت انجام شده است که مناطق دارای ارتفاع زیاد و نزدیک به رودخانه ارزش نزدیک به ۱ و مناطق کم ارتفاع و دور از رودخانه ارزش نزدیک به صفر دارند.

شیب و جهت شیب: شیب از عوامل بسیار مهم در وقوع زمین‌لغزش‌ها بوده است که در صورت مهیا بودن سایر شرایط، توده لغزشی در اثر نیروی ثقل به‌طرف پایین دامنه حرکت خواهد کرد. مطابق شکل ۵ با توجه به کوهستانی بودن منطقه، بخش عمده‌ای از منطقه را مناطق پرشیب در برگرفته است که پتانسیل زیادی برای زمین‌لغزش دارند. همچنین با توجه به اینکه دامنه‌های شمالی انرژی کم‌تری از دامنه‌های جنوبی دریافت می‌کنند، میزان رطوبت در این دامنه‌ها بیشتر از سایر دامنه‌ها است و با توجه به اینکه وجود رطوبت می‌تواند تشدیدکننده لغزش باشد، جهات شیب به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در نظر گرفته شده است. در شکل ۶ جهت شیب منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

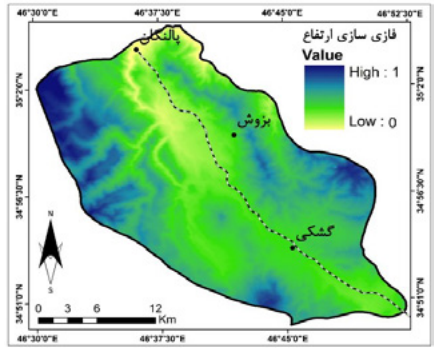
همانند پارامترهای قبلی، لایه شیب و جهت شیب نیز به‌صورت فازی شده درآمده است که در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. مطابق نقشه‌های مذکور، فازی سازی شیب به این صورت انجام شده است که مناطقی پرشیب ارزش نزدیک به ۱ و مناطق کم شیب ارزش نزدیک به صفر دارند و همچنین برای جهت شیب نیز مناطق دارای جهت شمالی ارزش نزدیک به ۱ و مناطق دارای جهت جنوبی ارزش نزدیک به صفر دارند.



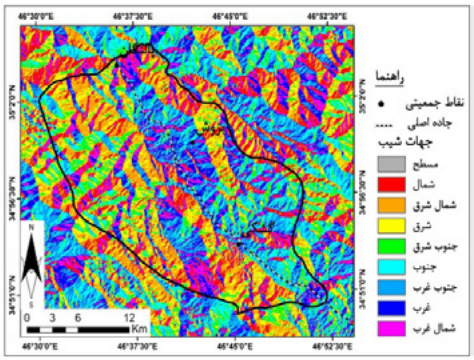
شکل ۲. نقشه طبقات ارتفاعی و رودخانه منطقه مورد مطالعه



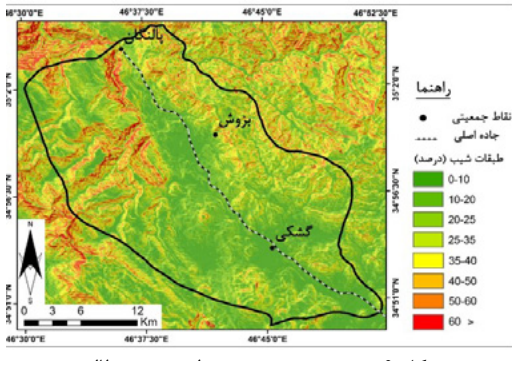
شکل ۳. نقشه فازی شده وضعیت ارتفاعی منطقه مورد مطالعه



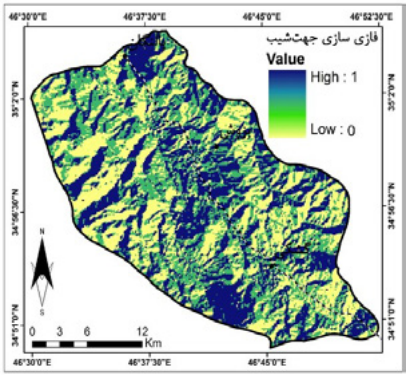
شکل ۴. نقشه فازی شده فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه



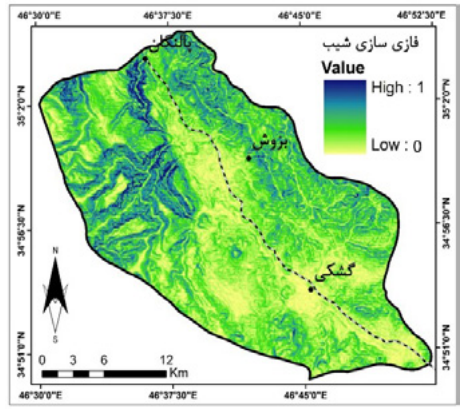
شکل ۵. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



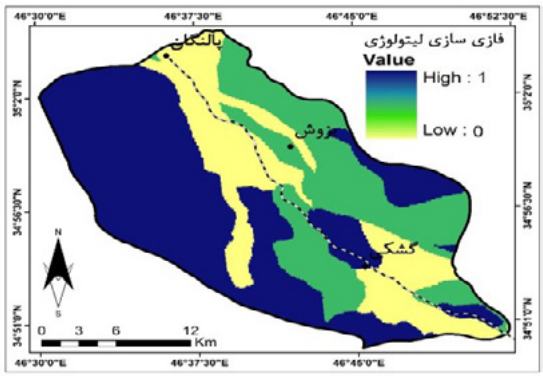
شکل ۶. نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۷. نقشه فازی شده شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. نقشه فازی شده جهت شیب منطقه مورد مطالعه

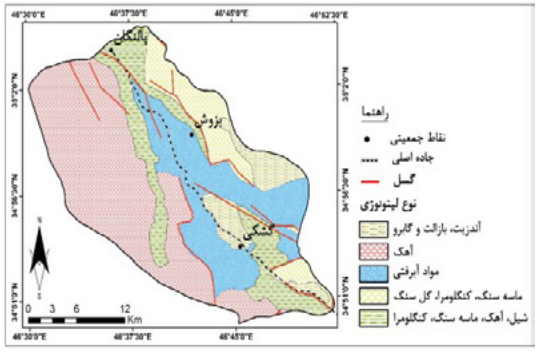


شکل ۹. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

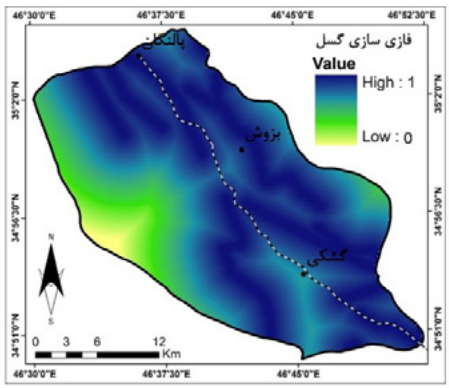
زمین‌شناسی: با توجه به تنوع ترکیب واحدهای زمین‌شناسی در منطقه و حساسیت متفاوت این واحدها در لغزش، عامل لیتولوژی نقش مؤثری در پراکندگی زمین‌لغزش‌های منطقه دارند. در شکل ۹ نقشه وضعیت زمین‌شناسی منطقه ارائه شده است که مطابق شکل مذکور بخش عمده‌ای از محدوده مورد مطالعه را مناطق آهکی در برگرفته است که این سازند نسبت به سازندهای آذرین ازجمله بازالت پتانسیل بیش‌تری برای لغزش دارد. سازندهای آهکی به دلیل داشتن حساسیت بالا در برابر انحلال می‌تواند با نفوذ آب از طریق انحلال و همچنین از طریق درز و شکاف صورت پذیرفته و در صورت ورود به لایه سخت‌تر با نفوذپذیری کمتر می‌تواند زمینه لغزش را با ایجاد سطح انفصال فراهم سازد. استعداد این سنگ‌ها برای پدیده لغزش کمتر از رسوبات سست‌تر مثل رس مارن و ماسه‌سنگ و بیشتر از سازندهای آذرین است. همچنین در حوضه مورد مطالعه خطوط گسلی تراکم بالایی دارند و ازآنجایی‌که تراکم سیستم درزه‌ها، شکستگی‌ها و خردشدگی‌ها نقش بسیار مهمی در ناپایدار دارند و گسل‌ها می‌توانند خردشدگی را به وجود آورند، لایه گسل نیز به‌عنوان یکی از پارامترها در نظر گرفته شده است.

برای لایه لیتولوژی عمل فازی سازی برحسب پتانسیل نوع لیتولوژی برای لغزش صورت گرفته است (شکل ۱۰). آندزین، بازالت و گابرو کم‌ترین ارزش نزدیک به صفر را با توجه به مقاومت بیش‌تر سنگ‌های آذرین در برابر لغزش دارند. همچنین مواد آبرفتی به دلیل داشتن سستی و مقاومت کم‌تر دارای ارزش نزدیک به ۱ هستند. بعد از سنگ‌های آذرین مناطق آهکی به دلیل یکپارچه بودن و نداشتن تناوب لایه‌ای مقاومت بیش‌تری نسبت به ماسه‌سنگ و کنگلومرا داشته و ازنظر عدم پتانسیل لغزش در مرتبه دوم بعد از توده‌های آذرین قرار می‌گیرند. برای لایه گسل نیز فازی سازی به این صورت بوده است که مناطق نزدیک به خطوط گسلی ارزش نزدیک به ۱ و مناطق دورتر ارزش نزدیک به صفر دارند (شکل ۱۱).

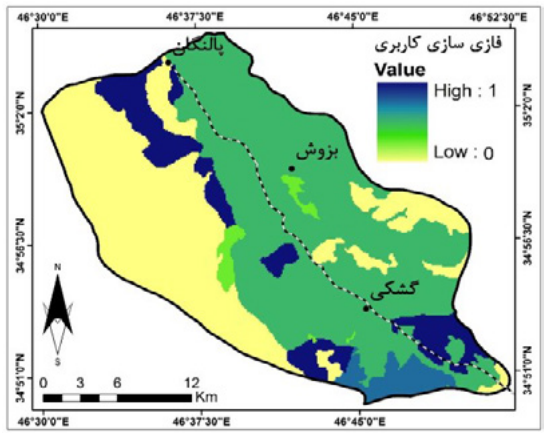
کاربری اراضی و راه ارتباطی: یکی از عوامل تأثیرگذار بر حرکات دامنه‌ای به‌خصوص لغزش‌ها، دخالت عوامل انسانی ازجمله راه‌سازی است. تأثیر راه‌های ارتباطی به‌ویژه در مناطق دارای لیتولوژی سستی بسیار چشم‌گیر است. معیار انسانی دیگر، نوع کاربری اراضی است. کاربری اراضی می‌تواند در تشدید و یا کاهش حرکات دامنه‌ای مؤثر باشد، به‌طوری‌که میزان لغزش در مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم، کم‌تر از مناطق بدون پوشش خواهد بود. همچنین ممکن است بعضی از کاربری‌های غیراصولی به‌خصوص در مناطق پرشیب سبب تشدید حرکات دامنه‌ای شود. در شکل ۱۲ نقشه کاربری اراضی و راه ارتباطی حوضه مورد مطالعه ارائه شده است.



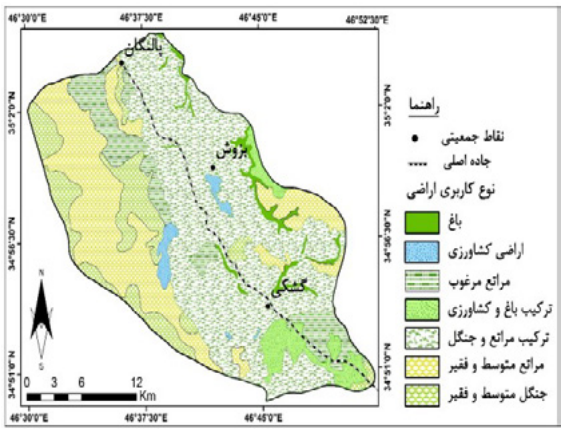
شکل ۱۰. نقشه فازی شده لیتولوژی منطقه مورد مطالعه



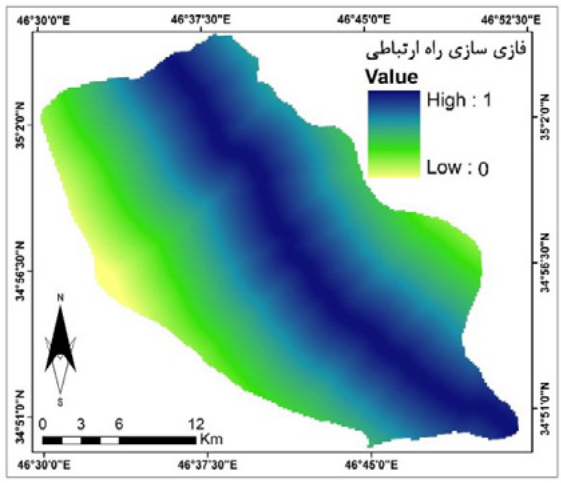
شکل ۱۱. نقشه فازی شده فاصله از گسل منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۲. نقشه کاربری اراضی و راه ارتباطی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۳. نقشه فازی شده کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

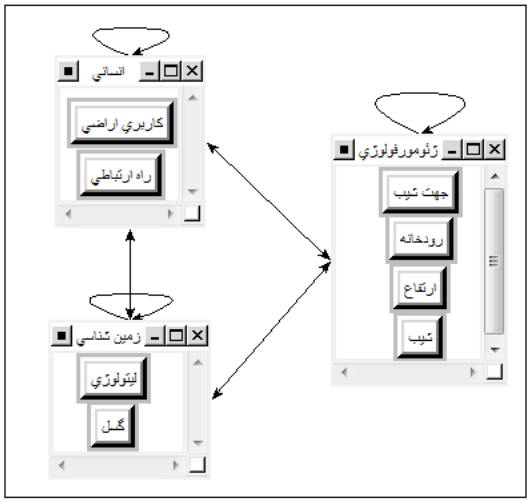


شکل ۱۴. نقشه فازی شده فاصله از راه ارتباطی منطقه مورد مطالعه

با توجه به اینکه مناطق دارای پوشش گیاهی به دلیل نقش تثبیت‌کننده گیاهان، پتانسیل کم‌تری برای لغزش دارند، فازی سازی لایه کاربری اراضی بر این مبنا صورت گرفته است. به همین دلیل مراتع مرغوب دارای ارزش نزدیک به صفر و مراتع فقیر و متوسط ارزشی نزدیک به ۱ دارند (شکل ۱۳). همچنین برای راه ارتباطی نیز، مناطق نزدیک به آن دارای ارزش نزدیک به ۱ و مناطق دورتر دارای ارزش نزدیک به صفر هستند (شکل ۱۴).

وزن دهی به لایه‌ها با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای

پس از به دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی از مدل تحلیل شبکه‌ای برای وزن دهی به آن‌ها استفاده شده است. برای این

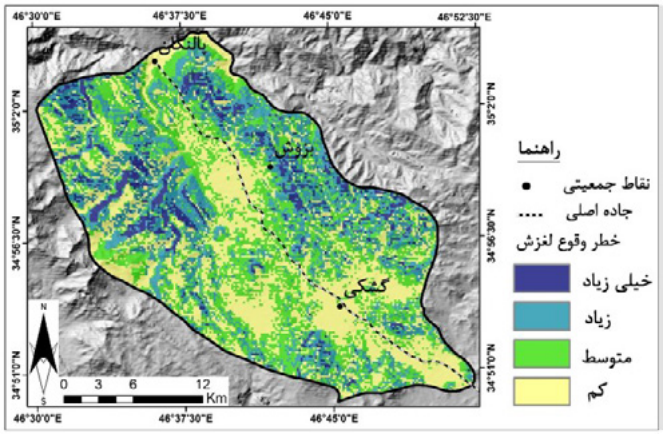


شکل ۱۵. ساختار شبکه‌ای معیارها

منظور پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای (شکل ۱۵) از طریق نرم‌افزار EXPERT CHOISE و با توجه به رابطه درونی و بیرونی معیارها، از ماتریس مقایسه‌ای شامل ۸ سطر و ۸ ستون برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. به‌منظور امتیازدهی به معیارها از طریق پرسش‌نامه و دیدگاه‌های کارشناسان و متخصصان (متخصص در ژئومورفولوژی شامل اعضای اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته ژئومورفولوژی) استفاده شده است. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد و پس از به دست آوردن وزن‌های نهایی هرکدام از معیارها (جدول ۱)، در نرم‌افزار Arc GIS و IDRISI بر روی لایه‌های نقشه‌ای اعمال گردیدند.

جدول ۱. وزن لایه‌های اطلاعاتی در مدل ANP

معیار	زمین‌شناسی		ژئومورفولوژی				انسانی	
	لیتولوژی	گسل‌ها	شیب	جهت شیب	ارتفاع	رودخانه	کاربری اراضی	راه ارتباطی
وزن در مدل ANP	۰/۱۰۸	۰/۰۹۷	۰/۲۰۹	۰/۰۷۴	۰/۰۸۰	۰/۱۶۱	۰/۰۹۷	۰/۱۷۵



شکل ۱۶. نقشه مناطق وقوع لغزش بر اساس مدل تلفیقی منطق فازی و ANP

تلفیق و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی

پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی به‌منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش، لایه‌های اطلاعاتی بر اساس وزن به‌دست‌آمده با استفاده از منطق فازی باهم تلفیق و ترکیب شده‌اند. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و همچنین حساسیت خیلی کم فازی جمع، از عملگر فازی گاما استفاده شده است. برای عملگر گاما پس از تلفیق و ارزیابی هرکدام درنهایت از گامای ۰/۷ استفاده گردید. لذا پس از هم‌پوشانی لایه‌ها مناطق مستعد وقوع لغزش بر اساس گامای فازی ۰/۷ استخراج شد (شکل ۱۶).

جدول ۲. مساحت و درصد مساحت طبقات مستعد لغزش (برحسب کیلومترمربع)

پتانسیل لغزش	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم
مساحت	۳۹	۱۴۱	۱۶۱	۱۸۲
درصد مساحت	۷/۵	۲۷	۳۰/۸	۳۴/۸

نتیجه‌گیری

دهستان ژاورود در یک منطقه کوهستانی واقع شده است. فراهم بودن شرایط اقلیمی، لیتولوژی، توپوگرافی و هیدرولوژیکی و سایر شرایط در منطقه سبب شده است تا حرکات دامنه‌ای به‌خصوص لغزش به‌عنوان یکی از مخاطرات ژئومورفولوژیکی منطقه مطرح باشد. نتایج تحقیق نشان داده است که بخش زیادی از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل لغزش‌پذیری بالایی است. بر اساس نتایج تحقیق، منطقه مورد مطالعه ازنظر پتانسیل لغزش در ۴ رده طبقه‌بندی می‌گردد که میزان لغزش‌پذیری منطقه را خیلی زیاد تا کم نشان داده است. مطابق نقشه نهایی و جدول ۲، رده اول شامل طبقه لغزش‌پذیری خیلی زیاد است که این رده با ۳۹ کیلومترمربع، وسعتی حدود ۷/۵ درصد از دهستان ژاورود را به خود اختصاص داده است. این طبقه بیشتر در مناطق مرتفع پرشیب و نزدیک خطوط گسلی، راه ارتباطی و رودخانه قرار دارد. طبقه دوم رده با پتانسیل لغزش‌پذیری زیاد است که این طبقه با ۱۴۱ کیلومترمربع وسعت، ۲۷ درصد از وسعت منطقه را به خود اختصاص داده است. این طبقه نیز اغلب در مناطق پرشیب، مرتفع، نزدیک رودخانه و راه ارتباطی قرار دارد. طبقه سوم نیز با پتانسیل متوسط لغزش‌پذیری است که این طبقه با ۱۶۱ کیلومترمربع وسعت، حدود ۳۱ درصد از وسعت منطقه را به خود اختصاص داده است. این منطقه نسبت به طبقات اول و دوم در مناطق کم شیب‌تر و کم ارتفاع‌تر واقع شده است. همچنین طبقه چهارم نیز به رده لغزش‌پذیری کم اختصاص داده شده است که با ۱۸۲ کیلومترمربع وسعت، حدود ۳۵ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده است. این رده بیشتر در دشت‌های میانی دهستان ژاورد و مناطق کم شیب منطقه واقع شده است. نتایج فوق بیانگر این است که منطقه مورد مطالعه پتانسیل لغزش‌پذیری بالایی دارد و با توجه به تراکم نواحی روستایی در منطقه و همچنین گردشگر پذیر بودن منطقه، لازم است که مسئولان بر اساس وسعت و توزیع مناطق مستعد وقوع لغزش، اقدامات کنترل‌کننده لازم را انجام دهند.

پی‌نوشت

1. Analytical Network Process (ANP)
2. 2 Analytical Hierarchy Process (AHP)
3. Tomas saaty

منابع

1. Wood. J.L., Harrison, S., Turkington, T., Reinhardt L (2016), Landslides and synoptic weather trends in the European Alps, *Clim. Chang.*, 136 , pp. 297-308.
2. Bellugi, D.G. Milledge, W.E. Dietrich, J.A. McKean, J.T. Perron, E.B. Sudderth, B. Kazian (2015), A spectral clustering search algorithm for predicting shallow landslide size and location J. *Geophys. Res.*, 120 (2015), pp. 300-324
3. Cruden, D.M., Varnes, D.J., (1996). Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides, Investigation and Mitigation, *Transpor-*

tation Research Board Special Report 247, Washington D.C., pp. 36–75.

4. Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L (2013), The Varnes classification of landslide types, an update, Volume 11, Issue 2, pp 167–194.

5. Petley. D (2012), Global patterns of loss of life from landslides, *Geology*, 40 (10), pp. 927-930

6. Sidle, R.C., Ochiai, H (2006), Landslides: processes, prediction, and land use, *Water Resour. Monogr.* Ser., 18, AGU, Washington, 312 pp.

۷. عابدینی، موسی؛ بهاره قاسمیان، شیرزادی، عطار (۱۳۹۳)، مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار). *مجله جغرافیا و توسعه شماره ۳۷* ، صص ۸۵ تا ۱۰۲.

۸. علیجانی، بهلول؛ قهرودی تالی، منیژه؛ امیراحمدی، ابولقاسم (۱۳۸۴)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه اسطرخی شیروان)، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، دوره ۲۲، شماره ۱ (پیاپی ۸۴).

9. Lee, S., (2007). Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibi mapping. *Environmental Geology* 52, pp 615-623.

10. Yalcin, A., (2008) GIS based landslide susceptibility maping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey), Comparisons of result and confirmation *Catena* ,72,1-12.

11. Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., (2010), Landslide SusceptibilityAssessment of the Kral´ovany–Liptovsky´ Mikulaš Railway Case Study, *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 35, PP.162-171.

12. Emrehan, K. S., Cengizhan, I. and Taskin, K. (2015). "A Comparison of Feature and Expert-Based Weighting Algorithms in Landslide Susceptibility Mapping." *Procedia Earth and Planetary Science* 15 (2015), 462-467.

13. Mia, MT, Sultana N, Paul A(2016), Studies on the Causes, Impacts and Mitigation Strategies of Landslide in Chittagong city, Bangladesh. J. *Environ. Sci.* Nat 8(2):1-5.

۱۴. یمانی، مجتبی؛ حسن‌پور، سیروس؛ مصطفایی، ابوالفضل؛ شادمان رودپشتی، مجید (۱۳۹۰)، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، سال ۲۳، شماره ۴.

۱۵. روستایی، شهرام؛ احمدزاده، حسن (۱۳۹۱) پهنه‌بندی مناطق متأثر از خطر زمین‌لغزش در جاده تبریز – مرند با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره ۱، صص ۵۸-۴۷.

۱۶. یمانی، مجتبی؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ گورابی، ابوالقاسم؛ رحمتی، مریم (۱۳۹۲)، تعیین مرز پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در مسیر آزادراه خرم آباد- پل زال با روش تحلیل سلسله مراتبی- فازی، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال چهاردهم، شماره ۳.

۱۷. نیری، هادی؛ کرمی، محمدرضا؛ سالاری، ممند (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از طریق ارزیابی متغیرهای محیطی با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای (مطالعه موردی: شهر بیجار)، *مجله پژوهش‌های کمی*، سال پنجم، شماره ۴ .

۱۸. جمالی، لقمان؛ فلاحی، غلامرضا (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز سیمینه‌رود بوکان با تلفیق مدل‌های آماری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات مکانی، *نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری*، دوره ششم، شماره ۴.

۱۹. حاجی حسینلو، حسن؛ مقدم دیزج هریک، مهسا (۱۳۹۵)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه ولدیان با استفاده از روش آنبالاگان (شرق شهرستان خوی)، *فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی- پژوهشی*، سال سیزدهم، شماره ۵۲.

۲۰. صفاری، امیر؛ هاشمی، معصومه (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال نهم، شماره ۴۳.

۲۱. بهاروند، سیامک ؛ سارویی، حمزه؛ سوری، سلمان (۱۳۹۶)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (مطالعه موردی: حوضه ده سفید لرستان)، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال دهم.

۲۲. آقانباتی، (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، چاپ اول، انتشارات صنوبر، *سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*.

23. Kosko, B. 1992- Fuzzy systems as universal approximators Fuzzy Systems (1992), *IEEE International Conference on San Diego*, CA.

24. Saaty, T. L (1999), "Fundamentals of the Analytic Network Process", *Proceedings of ISAHP* 1999, Kobe, Japan.

ظرفیت‌سازی جوامع محلی در مدیریت بحران اجتماع‌محور: بررسی نقش عوامل فرهنگی

اسما صالحی نودز: دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت دولتی، گرایش توسعه منابع انسانی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان
نورمحمد یعقوبی: استاد دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان
عالمه کیخا*: استادیار دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، aleme.keikha@entp.usb.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور ظرفیت‌سازی جوامع محلی در مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد فرهنگی در استانداری استان کرمان انجام شد. روش این پژوهش برحسب هدف، کاربردی و برحسب نوع داده‌ها آمیخته است. ارائه الگو به روش کیفی فراترکیب انجام شده؛ بدین‌صورت که با استفاده از روش فراترکیب ۱۰۶ مقاله حوزه مدیریت بحران بررسی و با کمک تحلیل محتوا، ابعاد و کدهای مربوطه استخراج و میزان اهمیت و اولویت هر یک به کمک روش کمی آنتروپی شانون تعیین شد. جامعه آماری پژوهش حاضر، کلیه کارکنان استانداری استان کرمان هستند، که از طریق فرمول کوکران، تعداد ۱۲۶ نفر انتخاب و پرسشنامه تحقیق بین آن‌ها توزیع شد. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش تحلیل عاملی تأییدی با نرم‌افزار اسمارت پی‌ال‌اس (نسخه ۲) مورد استفاده قرار گرفت. طبق یافته‌های تحقیق، شاخص‌های استخراجی از مقالات در سه بعد قبل از بحران (آموزش و آگاهی، سرمایه اجتماعی و فرهنگی، مشارکت نظری، سرمایه معنوی) حین بحران (مشارکت عملی، ارتباطات، مدیریت احساسات مردم) و پس از بحران (خاطرات جمعی، مشارکت اجتماعی، رسانه جمعی و هویت‌بخشی) دسته‌بندی شده‌اند. در این میان، ابعاد قبل، حین و پس از بحران به ترتیب ۹۹، ۹۸ و ۹۸ درصد از تغییرات الگوی مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد فرهنگی را تبیین می‌کنند. همچنین نتایج حاصل از تحلیل عاملی تأییدی نیز نشان داد که تمامی مؤلفه‌ها و شاخص‌های مدل پژوهش با اطمینان ۹۹ درصد مورد تأیید قرار گرفتند. در مرحله سوم پژوهش به‌منظور اولویت‌بندی مؤلفه‌ها و شاخص‌های پژوهش از روش سوآرا استفاده و مؤلفه‌ها و شاخص‌های پژوهش اولویت‌بندی شدند. نتایج نشان داد مؤلفه‌های آموزش عمومی، مشارکت عملی و مشارکت اجتماعی به ترتیب با اوزان نهایی ۰,۴۲، ۰,۳۵، ۰,۲۷ رتبه‌های اول تا سوم را دارا هستند.

واژه‌های کلیدی: *ظرفیت‌سازی جوامع محلی، مدیریت بحران اجتماع‌محور، عوامل فرهنگی*

Capacity Building of Local Communities in Community-Based Crisis Management: A Study of the Role of the Cultural Factors

Asma SalehiNodez[1], Noormohammad Yaqubi[2], Aleme Keikha*[3]

Abstract

The aim of this study is to investigate Capacity-Building of local communities in community-based crisis management with a cultural approach in the governorate of Kerman province. The method of this research is applied and mixed according to the type of data. The presentation of the pattern is done in a qualitative meta-hybrid method; thus, using the meta-combined method, 106 articles in the field of crisis management were reviewed and with the help of content analysis, the relevant dimensions and codes were extracted and the importance and priority of each was determined using the Shannon quantitative entropy method. The statistical population of the present study is all of the employees of the governorate of Kerman province. Through Cochran's formula, 126 people were selected and a research questionnaire was distributed among them. In order to analyze the data, confirmatory factor analysis with SMART PLS software version 2 was used. According to the research findings, indicators extracted from articles are in three dimensions: before the crisis (education and awareness, social and cultural capital, theoretical participation, spiritual capital), during the crisis (practical participation, communication, managing people's emotions), and after the crisis (collective memories, social participation, Mass media and identity). Among these, the dimensions before, during and after the crisis explain 99%, 98% and 98% of the changes in the community-based crisis management model with a cultural approach, respectively. Also, the results of confirmatory factor analysis showed that all components and indicators of the research model were confirmed with 99% confidence. In the third stage of the research and in order to prioritize the components and indicators of the research, the Soara technique was used and the components and indicators of the research were prioritized. The results showed that the components of general education, practical participation and social participation with the final weights of 0.42, 0.35, 0.27 have the first to third ranks, respectively.

Key words: *Capacity building of local communities, community-based crisis management, cultural factors.*

1 – M.Sc. Student of Public Administration, Human Resources Development, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Salehi_asma@pgs.usb.ac.ir
2 – Professor, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. yaghoubi@mgmt.usb.ac.ir
3 – Assistant Professor, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Aleme.keikha@entp.usb.ac.ir (corresponding author)

مقدمه

حوادث و سوانح طبیعی از دیرباز به‌عنوان مخرب‌ترین عوامل آسیب‌رسان به انسان، جامعه و زیست‌گاهش بوده است. از این رو تلاش‌های بشر برای مقابله با این حوادث منجر به گشایش دریچه‌ای جدید از فعالیت‌های تحقیقاتی و مطالعاتی موسوم به مدیریت بحران[1] شده است. از سوی دیگر در سال‌های اخیر با آشکار شدن ناکارآمدی به‌کارگیری راهکارهای تجویزی دولت محور، برنامه‌ریزان و مدیران بحران بیش از هر چیز به بهره‌گیری از ظرفیت‌های اجتماع محلی[2] جلب شده‌اند. رو به رو شدن و یافتن پاسخ مناسب برای بلایای احتمالی بستگی به اتخاذ روشی مؤثر و کاربردی برای برنامه‌ریزی و اجرا دارد. در رابطه با مدیریت بحران دو رویکرد عمده وجود دارد. رویکرد اول اشاره به اتخاذ سامانه از بالا به پایین نظیر سامانه نظامی با یک سلسله مراتب دقیق و وسیع است. مبتنی بر این رویکرد برنامه‌ریزی برای حوادث و بلایا از بالاترین سطح جامعه آغاز شده و به سطوح محلی جامعه می‌رسد. رویکرد دوم به‌عنوان رویکردی نوین به مدیریت بحران، اتخاذ سامانه پایین به بالا را مد نظر قرار داده و معتقد است اگر همکاری و همیاری مردم محلی و شهروندان منطقه نباشد؛ عملاً مدیریت بحران بی اثر خواهد بود. این رهیافت درواقع سعی بر یافتن راه حل برای جبران ضعف‌ها و مشکلات رویکرد سنتی و بر توانمندسازی مردم محلی تأکید دارد؛ لذا مدیریت اجتماع‌محور گزینه مناسبی برای مدیریت بحران‌ها محسوب می‌شود. مدیریت بحران اجتماع‌محور[3] درواقع نشان‌دهنده چگونگی ایجاد جامعه‌ای تاب آور در برابر بلایا با مشارکت مردم است. در مدیریت بحران اجتماع‌محور علاوه بر شناسایی خطرات تهدیدکننده توسط ساکنان اجتماعات محلی، تلاش می‌شود تا افراد، گروه‌های فعال و تأثیرگذار جوامع به فعالیت و ایفای نقش در تمامی مراحل چرخه آن فراخوانده شوند و شرایط لازم به‌منظور افزایش ظرفیت‌های افراد و گروه‌های محلی برای مواجهه با بحران فراهم آید [۱]. ضرورت توجه به بحث مدیریت بحران در کشورمان بر همگان آشکار است. کشورهایی نظیر ایران که جزو کشورهای پرحادثه هستند و بلایای طبیعی زیادی در آن‌ها رخ می‌دهد، در حوزه مدیریت بحران بلایای طبیعی نیازمند ظرفیت‌سازی[4] بالایی هستند؛ چرا که ایران از نظر حوادث غیرمترقبه طبیعی جز ۱۰ کشور اول جهان محسوب می شود. بر این اساس ۹۰ درصد جمعیت کشور در معرض خطرات ناشی از سیل و زلزله قرار دارند. بلایای طبیعی تنها در طی ۷ سال گذشته بیش از ۱۷۵۰ میلیارد ریال خسارت به کشور وارد کرده‌اند. بررسی نحوه مواجهه با بلایای طبیعی در ایران حاکی از آن است که دولت‌های متفاوت بیشتر به التیام بخشی پیامدهای بعد از وقوع بلایا اکتفا و همت خود را بر مراحل بازسازی در چرخه مدیریت بحران متمرکز کرده‌اند [۲]. در طول دو دهه اخیر بهره‌گیری از رویکردهای جامعه‌محور و تمرکز بر ریشه‌یابی علل آسیب‌پذیری در مقایسه با توجه صرف به علل وقوع بلایا و تمرکز اصلی بر ظرفیت‌سازی محلی به‌منظور افزایش قابلیت تاب‌آوری در مقابل مخاطرات طبیعی، آمادگی در برابر بلایا و سازگاری با تغییرات محیطی رواج یافته است. صاحب‌نظران معتقدند چنانچه ابتکارهای مدیریت بحران اجتماع‌محور بلایا به‌منزله عنصر کلیدی در فراگردهای گسترده‌تر پیش‌گیری از بحران‌ها، برنامه‌ریزی توسعه‌ی پایدار و نهادسازی مورد توجه قرار گیرد، اثربخشی بیشتر نسبت به زمانی خواهد داشت که تنها به‌عنوان یک پروژه محلی با اهداف کوتاه‌مدتِ آمادگی در برابر بلایای طبیعی در نظر گرفته شوند [۳]. با توجه به اهمیت بحث مدیریت بحران اجتماع‌محور، در سال‌های اخیر تلاش زیادی از سوی محققان برای شناسایی عوامل مؤثر در مدیریت بحران اجتماع‌محور در ادارات و سازمان‌های مرتبط با بحران انجام شده است؛ ولی بیشتر تحقیقات به بررسی بسیار کلی مبحث عوامل پرداخته‌اند؛ لذا در این پژوهش به دنبال شناسایی و اولویت‌بندی عوامل بسیار مهم فرهنگی در مدیریت بحران اجتماع‌محور در استانداری استان کرمان هستیم.

مبانی نظری پژوهش

ظرفیت‌سازی جوامع محلی

مفهوم ظرفیت‌سازی و اصطلاح توسعه پایدار[5] برای اولین بار در اواخر دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ معرفی شدند. اصطلاح ظرفیت‌سازی جوامع محلی[6] از اصطلاحات گذشته مانند تبدیل ساختارهای سازمانی و توسعه سازمانی گرفته شده است. در دهه‌های ۵۰ و ۶۰ این اصطلاحات به توسعه اجتماعی اشاره داشتند که تمرکزشان بر افزایش ظرفیت‌های فناورانه با کمک افراد جامعه بود. با وجود حضور پیشگامان ظرفیت‌سازی قبل از دهه ۹۰، نیروهای قدرتمندی برای توسعه بین‌المللی مفهوم ظرفیت‌سازی در آن دهه وجود نداشت. یکی از ابعاد بسیار مهم ظرفیت‌سازی، ظرفیت جوامع محلی است. ظرفیت جوامع محلی را می‌توان توانایی ساکنان محله برای واکنش به فشارهای اجتماعی، اقتصادی، محیطی، ایجاد و تقویت فرصت‌ها و مشاهده سرمایه‌های محلی در کنار نیازهای محلی تعریف کرد [۴]. در ظرفیت‌سازی جوامع محلی ویژگی‌هایی از جامعه تعریف می‌شود که آن را قادر به بسیج، تشخیص و حل مشکلات می‌کند، زمانی که ظرفیت افراد افزایش می‌یابد منجر به توانمندسازی افراد می‌شود. ظرفیت‌سازی جوامع یک رویکرد نظام‌مند و برنامه‌ریزی شده است که اغلب در ارتباط با برنامه یا یک پروژه خاص است که اغلب مقیاس زمانی مشخصی دارد و می‌تواند دربرگیرنده ارتقا مهارت‌ها، دانش و اعتماد به نفس از طریق فرصت‌های آموزشی و مهارتی، شبکه‌سازی و مشارکت در گروه‌های حمایت اجتماعی محلی، بازدیدهای مقایسه‌ای، ارتقا ساختارهای سازمانی، سامانه‌ها و سازوکارهای مدیریت پروژه، کارکنان، ساختمان‌ها و... باشد [۵]. در ظرفیت‌سازی اجتماعات محلی، تجارب فراوانی از مدل‌ها و راهبردهای اجرایی به چشم می‌خورد که در مسائلی همچون مشارکت اجتماعات محلی، برنامه‌ریزی اجتماعی، نیازسنجی، شکل‌گیری و توسعه اجتماعات محلی، ایجاد سرمایه اجتماعی و انسانی به کار گرفته می‌شوند. در ادامه به برخی از این مدل ها اشاره می شود [۶]:

۱. **ظرفیت‌سازی به مثابه چتر**[7]: ظرفیت‌سازی اجتماعات محلی اغلب به عنوان جزئی از پروژه کلی ظرفیت‌سازی در نظر گرفته می‌شود که سازمان ملل در سال ۱۹۹۷ برچسب نظریه چتر را

برای آن مطرح کرد. در زیر این چتر ظرفیت‌سازی اجتماعات محلی با سایر اشکال ظرفیت‌سازی همچون ظرفیت‌سازی سازمانی، فنی و زیرساختی وابستگی و ارتباط متقابل دارد.

۲. **مدل فاستر و فیشمن**[۸]: بر یک جنبه خاص از ظرفیت‌سازی در مشارکت جمعی تأکید داشته و با ارائه طرحی فرایند وقوع مشارکت تأثیرگذار را در سطوح ظرفیت اعضا، ظرفیت سازمانی، ظرفیت ارتباطی و ظرفیت برنامه‌ای نشان می‌دهد؛ بنابراین فعالیت در جهت ایجاد ظرفیت‌سازی اجتماعات محلی در گرو توجه به ارتقای ظرفیت در هر سطح است.

۳. **ظرفیت‌سازی اجتماعات محلی در ارتقای سلامت**: این مدل چارچوب ظرفیت‌سازی مختص بخش سلامت را در بر می‌گیرد. کریسپ[۹] و همکاران در توصیف ظرفیت‌سازی اجتماعات محلی در سلامت، رویکرد سیستمی را در نظر گرفته و چهار رویکرد (سازمان‌دهی اجتماعات محلی، مشارکتی، پایین به بالای و بالا به پایین سازمانی) جهت فعالیت و تغییر بیان می‌کند [۷]. مؤسسه سلامت گلیدزویل[۱۰] (۲۰۰۱)، طرح شناخته شده‌ای برای ظرفیت‌سازی در سلامت ایجاد نمود که سه حوزه فعالیت توسعه (سازمانی، نیروی کار و تخصیص منابع) را به تصویر می‌کشد.

مدیریت بحران اجتماع‌محور

واژه بحران بیش از پنج قرن پیش مطرح شد و اولین ساختار رسمی مقابله با بحران در جهان به قرن هفدهم بازمی‌گردد. بحران را می‌توان حوادثی دانست که در اثر بلایای طبیعی و انسانی رخ می‌دهند و با خود خسارات جانی و مالی به دنبال دارند. مدیریت بحران اصطلاحی است که همه جنبه‌های برنامه‌ریزی برای بحران و مرتبط با بحران شامل فعالیت‌های قبل، حین و پس از بحران را در برمی‌گیرد و درواقع پیشگیری، برنامه‌ریزی و ارزیابی برای کاهش و به حداقل رساندن عواقب احتمالی بحران‌هاست [۸]. مدیریت بحران به عنوان علمی تخصصی و کاربردی، مستلزم برخورداری از مهارت‌ها، ابزارها و عوامل گوناگونی است که آگاهی و دانش از مهم‌ترین این پایه‌ها و ملزومات می‌باشد. دانش شامل آگاهی و درک مجموعه‌ای از اطلاعات و چگونگی استفاده بهینه از آن‌هاست؛ به‌عبارت دیگر، دانش شکل غنی شده و بارور شده اطلاعات است که با درک چگونگی و چرایی همراه است. اجرای مراحل مدیریت بحران نیازمند داشتن آگاهی و ادراک متناسب با هر اقدامی است که به بهترین نحو مجموع اطلاعات موجود را بکار می‌گیرد [۹]. مدیریت بحران از سه مرحله اصلی قبل، حین و بعد از وقوع بحران تشکیل می‌شود که برای هر یک از این مراحل باید فعالیت‌هایی را دسته‌بندی کرد. متناسب با این مراحل سه‌گانه، چرخه‌ای برای فعالیت‌های مدیریت بحران در نظر گرفته شده است، در این چرخه فعالیت‌های پیشگیری و آمادگی، مربوط به قبل از وقوع بحران؛ مقابله مربوط به زمان وقوع بحران و بازسازی مربوط به زمان پس از وقوع بحران است. فرض بر این است که با هر بار وقوع سانحه، یک درجه آسیب‌پذیری کاهش یافته و در صورت تکرار این دور، رسیدن به آسیب‌پذیری بسیار پایین دور از انتظار نخواهد بود [۱۰]. هیچ الگوی واحدی وجود ندارد که توانایی تحقیق در حوزه مدیریت بحران را هدایت کند. محققان ترجیح داده‌اند که هر کدام در رابطه با عنصر خاصی از بحران تحقیق کنند: میتراف و شریواستاوا[۱۰] بر حسابرسی بحران، اسکات دی جانسون[۱۱] بر تعادل سازمانی در بحران، لچات[۱۲] بر چرخه‌ای بودن بحران، میتراف و پیرسون[۱۳] بر یادگیری قبل از بحران، نلسون و هالچر[۱۴] بر گروه‌های مدیریت بحران، ترویت و کلی[۱۵] بر برنامه‌های مدیریت بحران، ریلی[۱۶] بر آمادگی در برابر بحران و ... متمرکز شده‌اند. به دلیل ماهیت متنوع، پیچیده، گسترده، مبهم و چند بعدی بحران‌ها، مدیریت بحران بسیار دشوار است. موضوع مدیریت بحران اجتماع‌محور در جریان دو دهه گذشته از کشورهای آسیای جنوب شرقی آغاز شد. پیشگامان استفاده از این رویکرد؛ سازمان‌های غیردولتی، مؤسسات مردم نهاد و بخش‌های دولتی مسئول در کشورهای مختلف منطقه آسیای جنوب شرقی بودند که هدفشان افزایش پایداری و تاب‌آوری جامعه در برابر بحران‌ها بود. رویکرد اجتماع‌محور علاوه بر بهره‌جویی از آثار مثبت مشارکت و وفاق اجتماع محلی، به ایجاد نوعی حس تعلق بین افراد شریک در اجرای طرح‌ها منجر می‌شود [۱۱]. در این رویکرد مردم فعالانه در فرایند شناسایی خطرات ناشی از سوانح و بحران‌ها شرکت می‌کنند تا ضمن شناسایی مخاطرات، از میزان آسیب‌پذیری‌ها کاسته و ظرفیت‌های موجود را ارتقا بخشند. این بدان معنی است که مردم در بطن تصمیم‌گیری‌ها قرار داشته و در فعالیت‌های علمی و اجرایی مربوط به مدیریت بحران مشارکت دارند [۱۲]. بازیگران و دست‌اندرکاران معدودی در فرایند مدیریت بحران اجتماع‌محور وجود دارند و باید تأکید داشت ترکیب ایده‌آل این بازیگران و سازمان‌دهی آن‌ها بسته به شرایط و مقتضیات هر کشور متفاوت است. بر اساس ماهیت عملکردی، بازیگران و دست‌اندرکاران این فرایند به دو دسته عمده داخلی و خارجی تقسیم می‌شوند]۱۳.[بازیگران داخلی ساکنان منطقه متأثر از بحران و بازیگران خارجی دپارتمان‌های دولتی، بنگاه‌ها، سازمان‌های غیردولتی و بخش خصوصی را دربرمی‌گیرد.

عامل فرهنگی

فرهنگ[۱۷] از جمله واژگانی است که به دلیل تنوع و تکثر نگرش و رویکردهای معطوف به آن دارای تعاریف بسیاری است. افراد با توجه به نگرش خود به موضوع، تعریف خاصی را ارائه می‌دهند. برخی معتقدند فرهنگ مجموعه‌ای سازمان یافته از هنجارها، ارزش‌ها و قواعد است. رویکرد فرهنگی برای مدیریت بحران فرایندی نظام‌مند شامل دانش فرهنگی و همچنین دربرگیرنده آگاهی، حساسیت، نگرش‌ها، مهارت‌ها و برخوردها به منظور انجام روش‌های مؤثر برای مراقبت، امداد، حمایت، خدمت‌رسانی به جوامع بحران دیده است. تفاوت‌های فرهنگی در بحران‌ها قابل‌توجه هستند. هر بحرانی، صرف‌نظر از نوع، اندازه، علت و مکان می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر افراد و جوامع داشته و فرهنگ افراد نیز می‌تواند بر ناپایداری وضعیت اثرگذار باشد. علاوه بر این مسائلی از قبیل سنین مختلف، وضعیت تأهل، تجربیات و توانایی‌های افراد درگیر بحران در جامعه نیز می‌تواند بر آن مؤثر باشد [۱۴]. اگر تفاوت‌های فرهنگی شناسایی نشوند، ممکن است

باعث ایجاد درگیری و جلوگیری از هماهنگی میان ذی‌نفعان در شرایط بحران شود [۱۵]. به‌طورکلی وجود درک نادرست فرهنگی می‌تواند فرایند امدادرسانی را به تأخیر انداخته و موجب وخیم‌تر شدن اوضاع شود؛ به عنوان مثال، در صورت ارائه خدمات و برنامه‌های بحران فقط به زبان انگلیسی، سایر اقلیت‌های زبانی در جامعه آسیب‌دیده ممکن است نیازهایشان برآورده نشود. در نتیجه آسیب‌پذیری اولیه مردم در این فاجعه افزایش می‌یابد؛ بنابراین انتخاب روش‌های انطباقی مناسب با توجه به عوامل فرهنگی حاکم بر منطقه بحران دیده می‌تواند منجر به بهبود کیفیت و اثربخشی مدیریت بحران شود با توجه به تأثیر بالای عوامل فرهنگی، وجود یک رویکرد فرهنگی مؤثر برای مدیریت بحران امری ضروری است [۱۶]. رویکرد فرهنگی مناسب ضمن تشویق یادگیری مداوم، ارتباط و هماهنگی میان ذی‌نفعان مختلف را افزایش می‌دهد. تنش یا درگیری بین گروه‌های فرهنگی مختلف ممکن است با ایجاد اختلال در تعامل و ارتباطات بین گروه‌ها، شرایط بحران‌های آینده را تشدید کند. برای به حداقل رساندن یا جلوگیری از تأثیرات منفی درگیری‌های ناشی از اختلافات فرهنگی افراد در آینده، آموزش صلاحیت‌های فرهنگی برای متخصصان مدیریت بحران امری ضروری است [۱۴].

پیشینه تحقیق

کریمی و تقی لو (۱۳۹۹)، پژوهشی با عنوان مدیریت بحران اجتماع‌محور راهی به سوی توسعه پایدار با روش اسنادی و کتابخانه‌ای انجام دادند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که رویکرد اجتماع‌محور، کاستی‌های رویکرد بالا به پایین را که در ارائه نیازهای محلی به‌دلیل غفلت از منابع بومی و ظرفیت‌ها شکست خورده است، ندارد و به‌دنبال کاهش آسیب‌پذیری مردم، اصلاح برنامه‌ریزی و مدیریت بحران است. اصلاتی و همکاران (۱۳۹۹)، پژوهشی با عنوان تأثیر ابعاد بازسازی محلات بر التیام پیامدهای اجتماعی و روانی، پس از زلزله ۱۳۸۲ بم انجام دادند. این مقاله با رویکرد کمی و از طریق تدوین پرسشنامه در دو بخش ارزیابی ابعاد مختلف بازسازی محله پرسشنامه استاندارد اختلال استرس پس از حادثه و پیامدهای اجتماعی ناشی از آن انجام شده است. براساس نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها، رابطه‌ای معنادار و معکوس بین ابعاد مختلف بازسازی محله و پیامدهای اجتماعی روانی ناشی از زلزله وجود دارد؛ بنابراین با افزایش کیفیت و تاب‌آوری بازسازی کالبدی، پیامدهای اجتماعی روانی پس از زلزله نیز کاهش می‌یابد. مهدیه (۱۳۹۹)، در پژوهشی با عنوان بررسی تأثیر مشارکت مردمی بر عملکرد مدیریت بحران به این نتایج رسید که همبستگی معناداری بین مشارکت مردمی و عملکرد مدیریت بحران وجود دارد. همچنین مشارکت مردمی تأثیر مستقیم و مثبتی بر عملکرد مدیریت بحران دارد. محمدی فر و همکاران (۱۳۹۹)، پژوهشی با عنوان طراحی مدل بومی مدیریت بحران سوانح گسترده طبیعی (مورد مطالعه: زلزله کرمانشاه) انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که توجه به حجم و گستردگی خسارات جانی و مالی، نیاز به سازمان دهی مناسب، ضرورت تسریع در امداد، ضرورت هماهنگی بین نیروهای مردمی و نهادهای دولتی و نیاز به نظارت، کنترل و حفظ نظم عمومی مجموعاً پدیده محوری مدل یعنی مدیریت بحران وقایع گسترده طبیعی را ایجاب می‌کند که این پدیده متأثر از فرهنگ، زیرساخت‌ها و تأسیسات عمومی خاص آن منطقه بوده و عواملی چون نیروی انسانی آموزش دیده، تجهیزات و امکانات تخصصی بحران و رسانه‌های اجتماعی در شکل‌گیری آن مداخله دارند. توکاکیس[۱۸] و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهشی با هدف بررسی عوامل مؤثر بر مدیریت بحران در مدیریت عمومی برای حوادث ایمنی، در مرحله پیش، حین و پس از بحران با استفاده از روش پرسشنامه به این نتایج رسیدند که توانایی رهبر و اعضای تیم مدیریت بحران در تصمیم‌گیری صحیح و همچنین ارتباطات داخلی و خارجی، پیش‌بینی کننده مراحل مدیریت بحران است و همچنین در جریان مدیریت بحران باید به فرایندهای ساختاری و فرهنگی توجه کرد. آرنولد[۱۹] و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی با هدف بررسی رابطه بین درک خطر و و عوامل فرهنگی در سوانح طبیعی و انسانی به این نتیجه رسیدند که ادغام ارزش‌های محلی مشترک، تجارب روزمره مشترک و خاطرات محلی مشترک در راهبردهای مرتبط با ریسک و دستورالعمل‌های رفتاری ممکن است در ترغیب آمادگی شهروندان در برابر بلایا مؤثر باشد. نوردمن و هومانسون[۲۰] (۲۰۱۷)، در مطالعه خود به بررسی راهبردهای فوق فعال مدیریت بحران پرداخته و به این نتیجه رسیدند که آگاهی از بحران و آمادگی برای بحران تأثیر مستقیمی بر اقدامات مدیریت آن دارد ولی عوامل دیگری از قبیل فرهنگ سازمانی، آموزش کارکنان و ارتباطات نیز در این زمینه تأثیرگذار هستند. حسینی[۲۱] و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی با هدف بررسی چالش‌های مدیریت بحران اجتماع‌محور در کاهش خطر بلایا به این نتیجه رسیدند که عدم توجه کافی به ماهیت کاهش یا افزایش روند خطر، تاب‌آوری ناکافی جامعه، نادیده گرفتن سرمایه اجتماعی، برنامه‌ریزی آموزشی بد و نامناسب در جریان فرایند مدیریت بحران تأثیرگذار خواهند بود.

روش تحقیق و ابزارها

در مرحله نخست این پژوهش از روش فراترکیب برای بررسی پژوهش‌های گذشته و تفسیر آن‌ها استفاده شده است. فراترکیب نوعی مطالعه کیفی است که اطلاعات و یافته‌های استخراج شده از مطالعات دیگر با موضوع مرتبط و مشابه را استفاده می‌کند. مرحله دوم پژوهش، از روش میدانی در جمع‌آوری اطلاعات جهت پاسخ‌گویی و اعتبارسنجی مدل پیشنهادی تحقیق بهره گرفته است. در بخش میدانی از دو پرسشنامه استفاده شد. پرسشنامه شماره ۱ پژوهش با هدف سنجش و اعتباریابی مدل اولیه تحقیق در خصوص مدیریت بحران اجتماع‌محور با اولویت عوامل فرهنگی در ۳ بعد (قبل،حین و پس از بحران)، ۱۱مؤلفه (آموزش و آگاهی، سرمایه اجتماعی فرهنگی، سرمایه معنوی، مشارکت نظری، ارتباطات، مشارکت عملی، مدیریت احساسات مردم، مشارکت اجتماعی، هویت بخشی، خاطرات جمعی و رسانه جمعی) و ۵۴ شاخص طراحی شد. با استفاده از این پرسشنامه، نظر کارکنان

استانداری استان کرمان در مورد هر یک از عوامل مؤثر در مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد فرهنگی پرسیده شد. جامعه آماری پرسشنامه اول کلیه کارکنان استانداری استان کرمان ۱۷۰ نفر است. برای نمونه‌گیری نیز از فرمول کوکران استفاده و تعداد ۱۲۶ نفر از کارکنان انتخاب و پرسشنامه تحقیق بین آن‌ها توزیع شد؛ که درنهایت ۱۱۸ پرسشنامه بازگردانده شد. همچنین به منظور وزن‌دهی و اولویت‌بندی مؤلفه‌ها و شاخص‌های پژوهش با استفاده از روش سوآرا پرسشنامه شماره ۲ طراحی و بین ۱۵ نفر از کارشناسان ستاد مدیریت بحران استانداری استان کرمان توزیع شد؛ در این پرسشنامه با توجه به نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل داده‌های حاصل از پرسشنامه اول تحقیق، شاخص‌های نهایی حاصل، مورد ارزیابی کارشناسان ستاد مدیریت بحران به عنوان جامعه نمونه قرار گرفت و در نهایت به منظور تعیین اولویت آنها با استفاده از تکنیک سوآرا درصد اهمیت هر شاخص نسبت به شاخص قبل از خود سنجیده شد. به منظور سنجش روایی ابزار پژوهش، پرسشنامه در اختیار خبرگان دانشگاهی قرار گرفت و با توجه به نظرات آن‌ها تغییرات لازم انجام و در پرسشنامه نهایی اعمال شد. از آنجایی که در این تحقیق از پرسشنامه محقق ساخته استفاده می‌شود؛ جهت اطمینان از سنجش خصیصه مورد نظر به وسیله پرسش‌های مطرح شده، از روایی سازه نیز استفاده و در محیط نرم‌افزار اسمارت پی‌ال‌اس، به بررسی آن پرداخته شد. روایی شاخص‌های پژوهش نیز تأیید و همچنین از آزمون آلفای کرونباخ به‌منظور بررسی پایایی نیز استفاده و ضریب پایایی ۰/۹۲۴ برآورد شد.

بحث و نتایج

برای شناسایی ابعاد، مؤلفه‌ها، شاخص‌های مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد فرهنگی از روش فراترکیب استفاده شد. این روش دارای هفت گام است که در ادامه خلاصه‌ای از فعالیت‌های انجام شده در این پژوهش برای هر گام بیان می‌شود.

گام اول (تنظیم سؤال پژوهش): ۱- ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌های مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد فرهنگی چه هستند؟ ۲- رتبه‌بندی مؤلفه‌ها و شاخص‌های مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد فرهنگی چگونه است؟ ۳- آیا مدل استخراج شده از اعتبار مناسبی برخوردار است؟

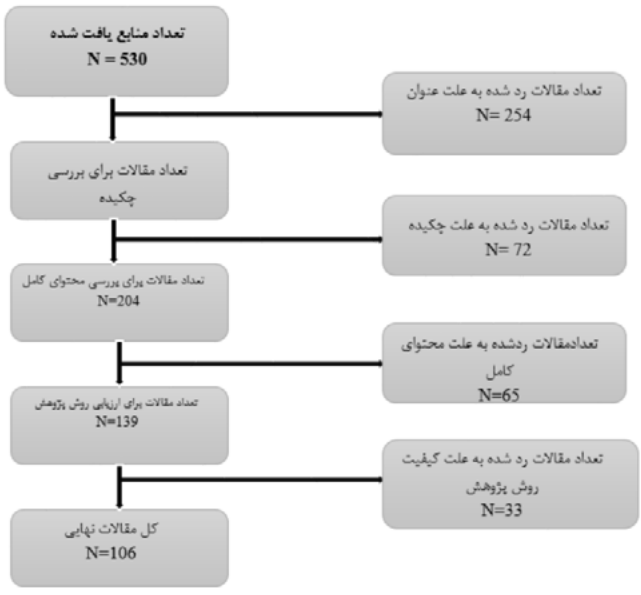
گام دوم (بررسی نظام‌مند متون): جستجو و بررسی مقالات بین سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۰ با استفاده از واژگان کلیدی ظرفیت‌سازی جوامع محلی، مدیریت بحران، مدیریت بحران اجتماع‌محور، عوامل فرهنگی مؤثر در بحران، در پایگاه‌های اطلاعاتی نورمگز، مگ ایران، پرتال جامع علوم انسانی، اسکاپوس، امرالد، ساینس دایرکت، اشپرینگر و درنهایت رسیدن به ۵۳۰ مقاله.

گام سوم (جستجو انتخاب مقالات مناسب): غربال کردن ۵۳۰ مقاله یافت شده با پارامترهای مختلفی نظیر عنوان، چکیده، محتوا، روش و درنهایت رسیدن به ۱۰۶ مقاله جهت انجام ادامه مراحل روش فراترکیب (تصویر ۱).

گام چهارم (استخراج نتایج): مقاله‌ها براساس مرجع مربوطه شامل نام و خانوادگی نویسنده و سال انتشار مقاله طبقه‌بندی شدند. با توجه به اهداف و عنوان پژوهش، کدهایی که از اهمیت چندانی در پژوهش‌های سابق برخوردار نبودند حذف شده و همچنین به‌دلیل قرابت معنایی برخی از کدها و تنها تفاوت در لفظ آن‌ها ادغام و به‌صورت مشترک آورده شدند. کدها و برخی از منابعشان در جدول ۱ ارائه شده است.

گام پنجم (تجزیه‌وتحلیل و ترکیب یافته‌های کیفی): در این پژوهش ابتدا برای تمامی عوامل استخراج شده کدی در نظر گرفته شده است، سپس با درنظر گرفتن مفهوم هر یک از این کدها، هر کدام در مفهومی مشابه دسته‌بندی و به این ترتیب مفاهیم پژوهش مشخص گردید. نتایج این طبقه‌بندی در جدول ۱ ارائه شده است.

گام ششم (کنترل کیفیت): زمانی که دو رتبه‌دهنده، پاسخگویان را رتبه‌بندی می‌کنند، برای ارزیابی میزان توافق بین این دو



تصویر ۱. الگوریتم انتخاب مقاله‌های نهایی مورد بررسی در پژوهش حاضر

جدول ۱. مقوله‌بندی کدهای پژوهش

ابعاد	مؤلفه	کد	برخی از منابع کدها
قبل از بحران	آموزش و آگاهی	آموزش عمومی	قلی گله (۱۳۹۷)، فلاح آبادی و همکاران (۱۳۹۲)، نوردمن و هومانسون (۲۰۱۸) و حسینی و همکاران (۲۰۱۷)
		ادغام دانش بومی و علمی	صادقلو و همکاران (۱۳۹۶)، لیزارآلده (۲۰۲۰)، آرنولد (۲۰۱۸)، کادک وگایلارد (۲۰۱۲) و کالاندا و همکاران(۲۰۱۱)
		ارتقای آگاهی های مردمی	قلی گله (۱۳۹۷)، مارسکوله و همکاران (۲۰۱۸)، نوردمن و هومانسون (۲۰۱۸)، روی و همکاران (۲۰۱۶)
		شبیه سازی بحران ها	فهرودین (۲۰۱۲)، رجبی و همکاران (۱۳۹۴)، دانشمندی و همکاران (۱۳۹۳) و حیدری و ابراهیمی نژاد (۱۳۹۳)
		برگذاری کارگاه های آموزشی	فلاح آبادی و همکاران (۱۳۹۲)، حسینی و همکاران (۲۰۱۷)، رجبی و همکاران (۱۳۹۴) و ظفری و ویسی (۱۳۹۰)
	سرمایه اجتماعی و فرهنگی	رسانه جمعی	مهدیه (۱۳۹۹)، محمدی‌فر و همکاران (۱۳۹۹)، رجبی و همکاران (۱۳۹۴)، دانشمندی و همکاران (۱۳۹۳) و ظفری و ویسی (۱۳۹۰)
		اعتماد اجتماعی	عنابستانی و همکاران (۱۳۹۰)، محمدی فر و همکاران (۱۳۹۹)، آروین و همکاران (۱۳۹۶)
		انسجام اجتماعی	عنابستانی و همکاران (1390)، محمدی‌فر و همکاران (1399)، آروین و همکاران (1396)، تاسیک و امیر (2016) و بانداری (2014)
		شبکه اجتماعی	حسینی و همکاران (۲۰۱۷)، برنو (۲۰۱۷)، تاسیک و امیر (۲۰۱۶)، بانداری (۲۰۱۴)، ماسبور (۲۰۰۷) و کولمن (۲۰۱۶)
		همیاری	عنابستانی و همکاران (۱۳۹۰)، برنو و همکاران (۲۰۱۷)، یئو و همکاران (۲۰۱۷)، لوسینی(۲۰۱۴) و آلزی و جکسون(۲۰۱۰)
		تعهد	عنابستانی و همکاران (۱۳۹۰)، برنو و همکاران (۲۰۱۷)، یئو و همکاران (۲۰۱۷)، جاگیا و همکاران (۲۰۱۴) و آلزی و جکسون (۲۰۱۰)
		تساهل و تسامح	عنابستانی و همکاران (۱۳۹۰)، برنو و همکاران (۲۰۱۷)، یئو و همکاران (۲۰۱۷) و آلزی و جکسون (۲۰۱۰)
		همدلی اجتماعی	کریمی و تقی لو (۱۳۹۹)، انور حسین (۲۰۱۲)، ظفری و ویسی (۱۳۹۰) و عموزادخلیلی و همکاران (۱۳۹۷)
	مشارکت نظری	اعتقادات و باورها نسبت به مشارکت	مهدیه (۱۳۹۹)، عموزاد خلیلی و همکاران (۱۳۹۷)، عزیزپور و همکاران (۱۳۹۴) و پارسیزاده (۲۰۱۵)
		واحد همسایگی	عاشوری و همکاران (۱۳۹۷) و حیدری و ابراهیمی نژادا (۱۳۹۳)
		اهمیت نقش مردم	عموزاد خلیلی و همکاران (۱۳۹۷)، عزیزپور و همکاران (۱۳۹۴)، حیدری و ابراهیمی نژادا (۱۳۹۳)
		مشارکت در فعالیت های فرهنگی	انور حسین (۲۰۱۲)، ظفری و ویسی (۱۳۹۰)، عموزادخلیلی و همکاران (۱۳۹۷)
		توجه به تعلیم و تربیت مشارکت جویانه	مهدیه (۱۳۹۹)، عموزادخلیلی و همکاران (۱۳۹۷)، ازکیا (۱۳۸۰)، اوکلی و همکاران (۱۳۹۲)، زاهدی اصل و همکاران (۱۳۸۹) و فینکل (۲۰۰۹)
	سرمایه معنوی	امیدواری	ساعی و همکاران (۱۳۹۳)، اجیزی و پنجوانی (۲۰۱۵)، آلن و کولینس (۲۰۱۰)، علوی و همکاران (۱۳۹۴) و اندرسون و لوییز (۲۰۰۹)
		سازگاری	ظفری و ویسی (۱۳۹۰)، عموزادخلیلی و همکاران (۱۳۹۷)، علوی و همکاران (۱۳۹۴)، اندرسون و لوییز (۲۰۰۹) و بانکوف (۲۰۰۴)
		احساس دگرخواهی	ساعی و همکاران (۱۳۹۳)، اجیزی و پنجوانی (۲۰۱۵)، ظفری و ویسی (۱۳۹۰) و عموزادخلیلی و همکاران (۱۳۹۷)
		تاثیرگذاری	لی و همکاران (۲۰۱۸)، ساعی و همکاران (۱۳۹۳)، اجیزی و پنجوانی (۲۰۱۵)، آلن و کولینس (۲۰۱۰) و علوی و همکاران (۱۳۹۴)
		خودآگاهی	ساعی و همکاران (۱۳۹۳)، ظفری و ویسی (۱۳۹۰)، عموزادخلیلی و همکاران (۱۳۹۷)، اجیزی و پنجوانی (۲۰۱۵) و آلن و کولینس(۲۰۱۰)

جدول ۱. مقوله‌بندی کدهای پژوهش

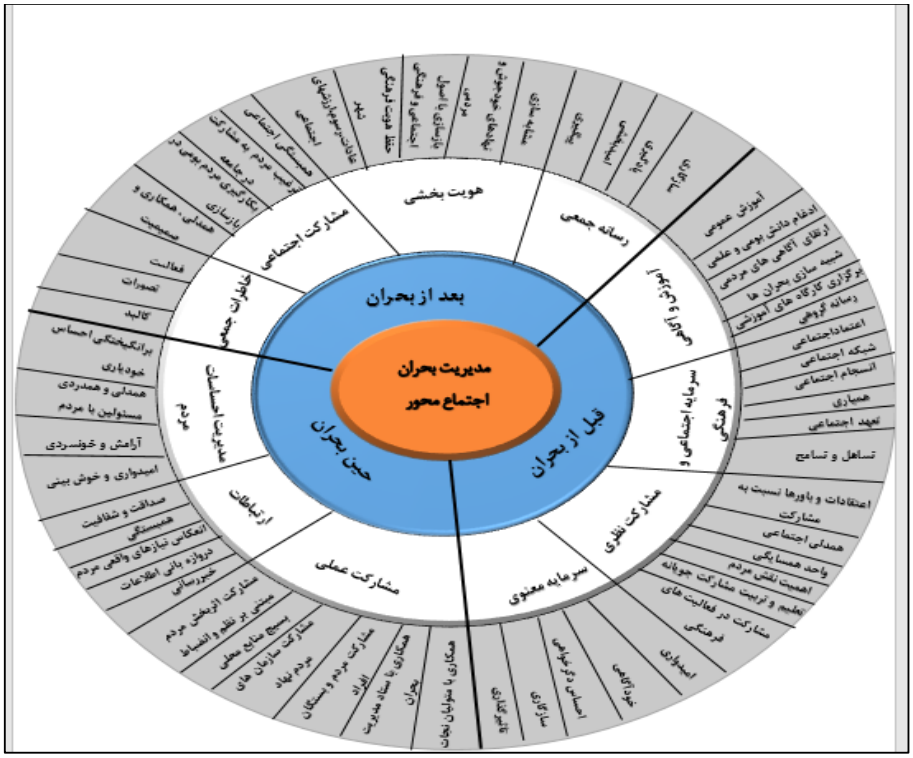
ابعاد	مؤلفه	کد	برخی از منابع کدها
حین بحران	مشارکت عملی	بسیج منابع محلی و استفاده از نیروهای داوطلب	زربین (۱۳۹۹)، عضدی و میرزایی (۱۳۹۳)، حیدری و ابراهیمی نژادا (۱۳۹۳)، جانسون و همکاران (۲۰۱۸)، انور حسین(۲۰۱۲) و مگیس(۲۰۱۰)
		همکاری با مسئولان ستاد بحران	تولغان و ازگور (۲۰۱۶)، سرکار و همکاران (۲۰۱۳)، انور حسین(۲۰۱۲)، پاترسون و همکاران (۲۰۱۰) و حیدری و ابراهیمی نژاد (۱۳۹۳)
		همکاری با متولیان نجات	جانسون و همکاران (۲۰۱۸)، انور حسین (۲۰۱۲)، مگیس (۲۰۱۰)، آلن (۲۰۰۶)، حیدری و ابراهیمی نژاد (۱۳۹۳) و ظفری و ویسی (۱۳۹۰)
		مشارکت سازمان‌های مردم نهاد	تولغان و ازگور (۲۰۱۶)، سرکار و همکاران (۲۰۱۳) و انور حسین (۲۰۱۲)
		مشارکت اثربخش مردم	زربین (۱۳۹۹)، عضدی و میرزایی (۱۳۹۳)، حیدری و ابراهیمی نژادا (۱۳۹۳)، نوراللهی(۱۳۹۲) و دوست‌محمدی و غضنفرپور (۱۳۹۲)
		مشارکت افراد و بستگانشان	جانسون و همکاران (۲۰۱۸)، انور حسین (۲۰۱۲)، مگیس (۲۰۱۰)، آلن (۲۰۰۶)، حیدری و ابراهیمی نژاد (۱۳۹۳) و ظفری و ویسی (۱۳۹۰)
	ارتباطات	خبررسانی	مهدیه (۱۳۹۹)، درودی و سپهری فر(۱۳۹۸)، کاوکیتپنگ و همکاران (۲۰۱۶)، حسینی و پیشنمازی (۱۳۸۹) و لاورلی (۲۰۰۴)
		دروازه بانی اطلاعات	کلافت و همکاران(۲۰۱۸)، حسینی و پیشنمازی(۱۳۸۹)،هیسادا(۲۰۰۷)،
		همبستگی	مهدیه (۱۳۹۹)، درودی و سپهری فر(۱۳۹۸)، کاوکیتپنگ و همکاران (۲۰۱۶) و حسینی و پیشنمازی (۱۳۸۹)
		صداقت و شفافیت	کلافت و همکاران (۲۰۱۸)، درودی و سپهری فر(۱۳۹۸) و کاوکیتپنگ و همکاران (۲۰۱۶)
		انعکاس نیازهای واقعی مردم	درودی و سپهری فر(۱۳۹۸)، کاوکیتپنگ و همکاران (۲۰۱۶)، مهدیه (۱۳۹۹)، درودی و سپهری فر (۱۳۹۸) و کاوکیتپنگ و همکاران (۲۰۱۶)
	مدیریت احساسات مردم	همدلی و همدردی با مردم	کارو (۲۰۱۶)، ازکان (۲۰۱۳) و کادک و گایلارد (۲۰۱۲)
		امیدواری و خوش بینی	براسی و کرایت(۲۰۲۰)،آی و همکاران(۲۰۱۳)،ازکان(۲۰۱۳)
		آرامش و خونسردی	براسی و کرایت(۲۰۲۰)، آی و همکاران (۲۰۱۳)، ازکان (۲۰۱۳)، بهرامی و همکاران (۱۳۹۶)، پرتوی و همکاران (۱۳۹۵) و آنتون و لاورنس (۲۰۱۴)
		احساس خودیاری	ریچاردلی و همکاران (۲۰۱۸)، گیانیسا و لی (۲۰۱۸)، لوسینی (۲۰۱۴)، آی و همکاران (۲۰۱۳) و ازکان (۲۰۱۳)
پس از بحران	خاطرات جمعی	کالبد	اصلانی و همکاران (۱۳۹۹)، فلاحی و اصلانی (۱۳۹۴)، اسدی و شرقی (۱۳۹۸) و استفان (۲۰۱۰)
		تصورات	فوریس و همکاران (۲۰۱۷)، جاگیا و همکاران (۲۰۱۴)، آی و همکاران (۲۰۱۳) و لک (۱۳۹۴)
		فعالیت	گیانیسا و لی (۲۰۱۸)، اصلانی و همکاران (۱۳۹۹) و فلاحی و اصلانی (۱۳۹۴)
	مشارکت اجتماعی	همبستگی اجتماعی	حیدری و ابراهیمی نژادا (۱۳۹۳)، ایرو همکاران (۲۰۱۳)، انور حسین (۲۰۱۲)، کریمی و تقی لو (۱۳۹۹) و قدیری و همکاران (۱۳۹۴)
		ترغیب مردم به مشارکت در جامعه	ایرو همکاران (۲۰۱۳)، آرمیتیج (۲۰۰۵)، اوستی (۲۰۰۸) و گاله آو همکاران (۲۰۰۵)
		استفاده از مردم بومی در فرایند بازسازی	ایرو همکاران (۲۰۱۳)، آرمیتیج (۲۰۰۵) و کاندیدو و سانتوس (۲۰۱۵)
		تقویت همدلی، همکاری و صمیمیت در بین مردم	حیدری و ابراهیمی نژادا (۱۳۹۳)، ایرو همکاران(۲۰۱۳) و انور حسین (۲۰۱۲)
	رسانه جمعی	پیگیری	سیمونز و آلسگف (۲۰۱۵)، هانسون (۲۰۱۱)، سرپیان و همکاران (۲۰۰۶)، فلیشرو دیوید (۲۰۰۹)، دولف و همکاران (۲۰۱۵)، لوکازاوسکی (۲۰۰۰) و کاتر (۲۰۰۸)
		امیدبخشی	سیمونز و آلسگف (۲۰۱۵)، خجسته (۱۳۸۴)، لوکازاوسکی (۲۰۰۰)، کاتر (۲۰۰۸)، بیابانگرد و همکاران (۱۳۹۴) و دباغ(۱۳۹۶)
		یادگیری	سیمونز و آلسگف (۲۰۱۵)، هانسون (۲۰۱۱)، لوکازاوسکی (۲۰۰۰)، کاتر (۲۰۰۸)، بیابانگرد و همکاران(۱۳۹۴) و دباغ(۱۳۹۶)
	هویت بخشی	کمک به سازگاری	درودی و سپهری‌فر(۱۳۹۸)، کاوکیتپنگ و همکاران (۲۰۱۶) و مهدیه (۱۳۹۹)
		عادات،رسوم،ارزشهای اجتماعی	حاجی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲)، احمدی (۱۳۸۵)، اصلانی و همکاران (۱۳۹۹) و انارسون (۲۰۰۰)
		حفظ هویت فرهنگی شهر	اصلانی و همکاران (۱۳۹۹)، اصلانی و همکاران (۱۳۹۴) و حاجی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲)
		نهادهای خودجوش و مردمی	اصلانی و همکاران (۱۳۹۹)، اصلانی و همکاران (۱۳۹۴)، حاجی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲)
		بازسازی مطابق با اصول اجتماعی و فرهنگی منطقه	ساندلوسکی (۱۹۹۵)، اصلانی و همکاران (۱۳۹۹)، اصلانی و همکاران (۱۳۹۴) و حاجی تژاد و همکاران (۱۳۹۲)
		مشابه سازی	اصلانی و همکاران (۱۳۹۹)، لویکا (۲۰۰۸)، اصلانی و همکاران (۱۳۹۴) و حاجی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲)

رتبه‌دهنده از شاخص کاپای کوهن استفاده می‌شود. با استفاده از نرم‌افزار SPSS عدد معناداری ۰/۰۰۰ و مقدار شاخص۰/۷۱۷ محاسبه شد. با توجه به کوچک‌تر بودن عدد معناداری از ۰/۰۵ فرض استقلال کدهای استخراجی رد می‌شود. پس می‌توان ادعا کرد که استخراج کدها پایایی مناسبی داشته است.

گام هفتم (ارائـه یافته‌ها): ۱۰۶ مقاله انتخاب شده از سوی پژوهشگر مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت و اطلاعات مورد نیاز براساس هدف این پژوهش شناسایی شد. ترکیب یافته‌ها در سه بعد و ۱۱ مؤلفه و ۵۴ شاخص ارائه شد (تصویر ۲).

رتبه‌بندی و وزن‌دهـی به شاخص‌های پژوهش با روش آنتروپی شانون

برای تحلیل داده‌های کیفی از روش آنتروپی شانون استفاده شده است که رویکردی نو به تحلیل داده‌هـا در حیطه تحلیل محتوا است. با استفاده از ایـن روش می‌توان میزان پشتیبانی تحقیقات پیشین از یافته‌های این پژوهش را به صورت آماری نشان داد. برای این منظور کافیست که محتوای حاصل از پیام برحسب مقوله‌ها با توجه به هر مقاله در قالب فراوانی شمارش شود [۲۴]. برای محاسبه وزن هر یک از مفاهیم به محاسبه مجموع وزن کدهای آن مفهوم پرداخته شد و بر اساس وزن‌های به‌دست آمده در جدول ۲ رتبه‌بندی صورت گرفته است.



تصویر ۲. مدل برگرفته از یافته های کیفی پژوهش (محقق ساخته)

جدول ۲. رتبه‌بندی و ضریب اهمیت کدهای مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد فرهنگی

مفاهیم	کد	فراوانی	عدم اطمینان E_j	ضریب اهمیت W_j	رتبه در مفاهیم	رتبه در کل
آموزش و آگاهی	آموزش عمومی	۲۷	۰،۷۲۱۵	۰،۰۳۲۷	۱	۳
	ادغام دانش بومی و علمی	۱۱	۰،۵۳۰۱	۰،۰۲۳۵	۵	۱۳
	برگزاری کارگاه‌های آموزشی	۱۰	۰،۵۲۰۴	۰،۰۲۲۱	۶	۱۴
	شبیه‌سازی بحران‌ها	۱۲	۰،۵۴۰۱	۰،۰۲۴۷	۴	۱۲
	رسانه جمعی	۲۰	۰،۶۶۲۳	۰،۰۲۹۷	۲	۵
	ارتقای آگاهی‌های مردمی	۱۶	۰،۶۱۲۹	۰،۰۲۷۵	۳	۸
سرمایه اجتماعی و فرهنگی	اعتماد اجتماعی	۷	۰،۴۳۰۲	۰،۰۱۹۲	۴	۱۷
	انسجام اجتماعی	۱۰	۰،۵۲۰۴	۰،۰۲۲۱	۳	۱۴
	شبکه اجتماعی	۱۴	۰،۵۸۳۴	۰،۰۲۶۲	۲	۱۰
	همیاری	۶	۰،۳۹۶۱	۰،۰۱۷۷	۵	۱۸
	تعهد	۱۵	۰،۵۹۸۷	۰،۰۲۶۸	۱	۹
	تساهل و تسامح	۴	۰،۳۰۶۴	۰،۰۱۳۷	۶	۲۰

جدول ۲. رتبه‌بندی و ضریب اهمیت کدهای مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد فرهنگی

مفاهیم	کد	فراوانی	عدم اطمینان E_j	ضریب اهمیت W_j	رتبه در مفاهیم	رتبه در کل
مشارکت نظری	همدلی اجتماعی	۹	۰,۴۸۵۸	۰,۰۲۱۸	۵	۱۵
	اعتقادات نسبت به مشارکت	۱۲	۰,۵۴۰۱	۰,۰۲۴۷	۳	۱۲
	واحد همسایگی	۱۳	۰,۵۶۷۰	۰,۰۲۵۴	۲	۱۱
	اهمیت نقش مردم	۳۴	۰,۷۷۹۶	۰,۰۳۵۰	۱	۱
سرمایه معنوی	مشارکت در فعالیت‌های فرهنگی	۹	۰,۴۸۵۸	۰,۰۲۱۸	۵	۱۵
	تعلیم و تربیت مشارکت جویانه	۱۱	۰,۵۳۰۱	۰,۰۲۳۵	۴	۱۳
	امیدواری	۶	۰,۳۹۶۱	۰,۰۱۷۷	۴	۱۸
	خودآگاهی	۷	۰,۴۳۰۲	۰,۰۱۹۲	۳	۱۷
	دگرخواهی	۶	۰,۳۹۶۱	۰,۰۱۷۷	۴	۱۸
	تاثیرگذاری	۱۰	۰,۵۲۰۴	۰,۰۲۲۱	۲	۱۴
	سازگاری	۱۲	۰,۵۴۰۱	۰,۰۲۴۷	۱	۱۲
مشارکت عملی	همکاری با ستاد بحران	۹	۰,۴۸۵۸	۰,۰۲۱۸	۵	۱۵
	همکاری با متولیان نجات	۱۱	۰,۵۳۰۱	۰,۰۲۳۵	۴	۱۳
	مشارکت مردم و بستگانشان	۱۳	۰,۵۶۷۰	۰,۰۲۵۴	۳	۱۱
	مشارکت سازمان‌های مردم نهاد	۳۰	۰,۷۸۲۵	۰,۰۴۰۱	۱	۲
	مشارکت اثربخش مبتنی بر نظم	۱۴	۰,۵۸۳۴	۰,۰۲۶۲	۲	۱۰
	بسیج منابع محلی و استفاده از نیروهای داوطلب	۱۱	۰,۵۳۰۱	۰,۰۲۳۵	۴	۱۳
ارتباطات	خبررسانی	۱۳	۰,۵۶۷۰	۰,۰۲۵۴	۴	۱۱
	دروازه‌بانی اطلاعات	۱۷	۰,۶۲۹۰	۰,۰۲۷۷	۲	۷
	همبستگی	۹	۰,۴۸۵۸	۰,۰۲۱۸	۵	۱۵
	صداقت و شفافیت	۱۵	۰,۵۹۸۷	۰,۰۲۶۸	۳	۹
	انعکاس نیازهای واقعی مردم	۱۸	۰,۶۳۹۰	۰,۰۲۸۷	۱	۶
مدیریت احساسات مردم	ترویج امیدواری و خوش‌بینی	۱۰	۰,۵۲۰۴	۰,۰۲۲۱	۳	۱۴
	حفظ آرامش و خونسردی	۱۳	۰,۵۶۷۰	۰,۰۲۵۴	۱	۱۱
	همدردی و همدلی مسئولین	۱۲	۰,۵۴۹۴	۰,۰۲۴۷	۲	۱۲
	احساس خودیاری	۵	۰,۳۱۶۴	۰,۰۱۴۷	۴	۱۹
خاطرات جمعی	کالبد	۷	۰,۴۳۰۲	۰,۰۱۹۲	۱	۱۷
	فعالیت	۴	۰,۳۰۶۴	۰,۰۱۳۷	۲	۲۰
	تصورات	۴	۰,۳۰۶۴	۰,۰۱۳۷	۲	۲۰
مشارکت اجتماعی	همبستگی اجتماعی	۱۲	۰,۵۴۹۴	۰,۰۲۴۷	۴	۱۲
	ترغیب مردم به مشارکت	۱۵	۰,۵۹۸۷	۰,۰۲۶۸	۳	۹
	استفاده از مردم بومی در بازسازی	۱۸	۰,۶۳۹۰	۰,۰۲۸۷	۲	۶
	همدلی همکاری و صمیمیت	۲۱	۰,۶۷۲۳	۰,۰۳۲۵	۱	۴
رسانه جمعی	پیگیری	۱۷	۰,۶۲۹۰	۰,۰۲۷۷	۱	۷
	امیدبخشی	۱۰	۰,۵۲۰۴	۰,۰۲۲۱	۴	۱۴
	یادگیری	۱۳	۰,۵۶۷۰	۰,۰۲۵۴	۲	۱۱
	سازگاری	۱۱	۰,۵۳۰۱	۰,۰۲۳۵	۳	۱۳
هویت بخشی	عادات رسوم و ارزشها	۸	۰,۴۴۰۲	۰,۰۲۹۲	۳	۱۶
	حفظ هویت فرهنگی شهر	۱۲	۰,۵۴۹۴	۰,۰۲۴۷	۱	۱۲
	نهادهای خودجوش مردمی	۹	۰,۴۸۵۸	۰,۰۲۱۸	۲	۱۵
	بازسازی مطابق با اصول فرهنگی و اجتماعی	۵	۰,۳۱۶۴	۰,۰۱۴۷	۴	۱۹
	مشابه‌سازی	۵	۰,۳۱۶۴	۰,۰۱۴۷	۴	۱۹

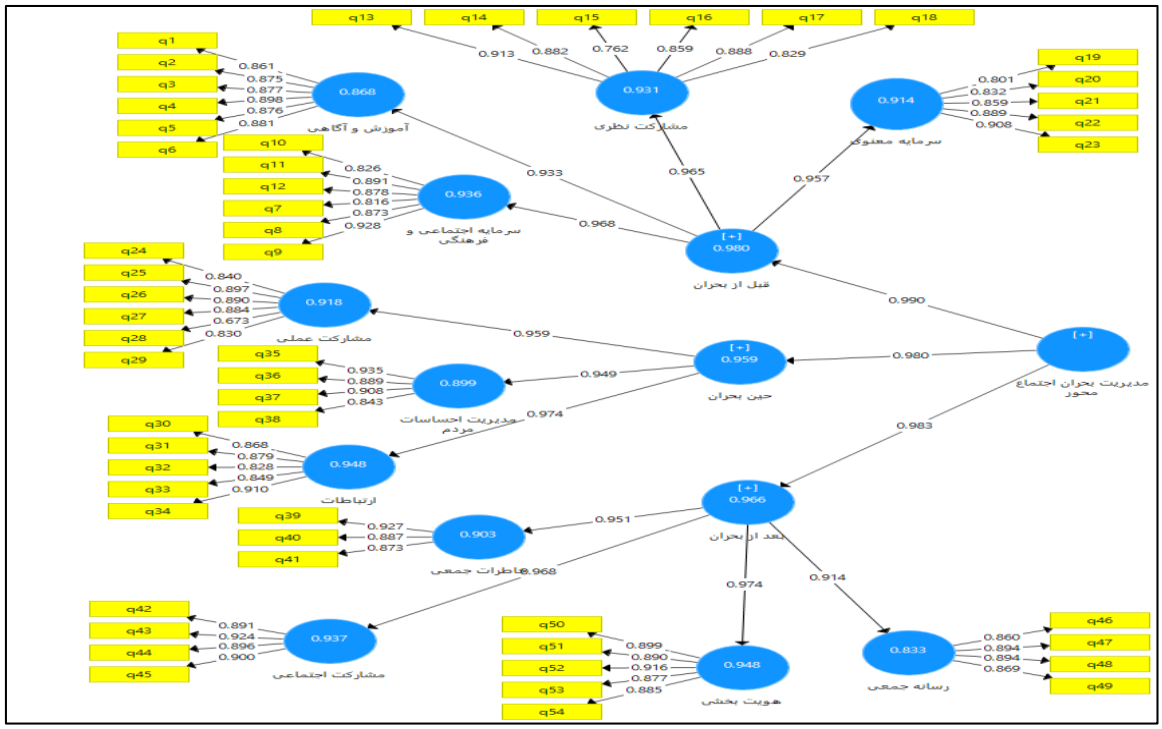
براساس ضرایب به‌دست آمده در جدول ۲ مشخص شد که کدهای اهمیت نقش مردم، مشارکت سازمان‌های مردم نهاد، آموزش عمومی، همدلی، همکاری و صمیمیت، رسانه جمعی در آموزش، انعکاس نیازهای واقعی مردم توسط رسانه جمعی حین بحران، به‌کارگیری مردم بومی در فرایند بازسازی، نقش پیگیری رسانه‌های جمعی بعد از بحران، ارتقای آگاهی‌های مردمی، ترغیب مردم به مشارکت، صداقت و شفافیت رسانه‌ها، تعهد و شبکه اجتماعی دارای بیشترین ضریب اهمیت هستند و بالاترین رتبه‌ها را در کل کسب کرده‌اند؛ یعنی در حوزه مدیریت بحران اجتماع‌محور این موضوعات بیشتر مورد توجه و مطالعه قرار گرفته و تکرارپذیری بیشتری نسبت به سایر کدها داشته‌اند.

در مرحله دوم به‌منظور اعتبار یابی مدل پژوهش از تحلیل عاملی تأییدی و الگوسازی معادلات ساختاری از نرم‌افزار اسمارت پی‌ال‌اس (نسخه ۲) مورد استفاده قرار گرفت. خروجی تحلیل شکل ۳، عاملی تأییدی در حالت تخمین استاندارد را نشان می‌دهد. در حالت تخمین استاندارد بارهای عاملی نمایش داده می‌شوند. هر چه بارهای عاملی بزرگتر و به عدد ۱ نزدیکتر باشند یعنی مؤلفه بهتر می‌تواند متغیر مکنون یا پنهان را تبیین نماید. اگر بار عاملی کمتر از ۰/۳ باشد، رابطه ضعیف در نظر گرفته شده و از آن صرف‌نظر می شود. بار عاملی بین ۰/۳ تا ۰/۶ قابل‌قبول و اگر بیشتر از ۰/۶ باشد، خیلی مطلوب است. مطابق با شکل ۳، بار عاملی همه شاخص‌ها بیشتر از ۰/۳ است؛ بنابراین شاخص‌ها تبیین کننده مناسبی برای متغیر مورد نظر هستند.

روش سوآرا

در بخش سوم تحقیق پس از اطمینان از مطلوبیت ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌های مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد فرهنگی، مجدداً این ابعاد و مؤلفه‌ها توسط خبرگان و متخصصان اولویت بندی می‌شوند . پس از رتبه‌بندی عوامل، پرسشنامه شماره ۲ تحقیق با هدف تعیین اهمیت و وزن‌دهی به مؤلفه‌ها و شاخص‌های پژوهش بین ۱۵ نفر از متخصصان و کارشناسان حوزه مربوطه توزیع شد؛ در ادامه به نتایج حاصل از وزن عناصر و شاخص‌های پژوهش با روش سوآرا اشاره می‌شود.

محاسبه وزن نهایی مؤلفه‌های مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد فرهنگی نشان می‌دهد که به اعتقاد کارشناسان حوزه استانداری استان کرمان به عنوان پاسخ دهنده به پرسشنامه شماره ۲ تحقیق؛ مؤلفه آموزش و آگاهی با وزن نهایی ۴۲ درصد، به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه مؤثر در مدیریت بحران اجتماع‌محور شناسایی شده است و مؤلفه‌های مشارکت عملی با ۳۵ درصد، مشارکت اجتماعی با وزن ۲۷ درصد، ارتباطات با وزن ۲۵ درصد، مشارکت نظری با وزن ۲۳ درصد، رسانه جمعی با وزن ۲۰ درصد، مدیریت احساسات مردم با وزن ۱۷درصد، سرمایه اجتماعی و فرهنگی با وزن ۱۳ درصد، هویت‌بخشی، سرمایه معنوی و خاطرات جمعی با وزن ۹، ۷ و ۵ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بررسی اوزان شاخص‌های پژوهش نیز نشان داد که شاخص‌های آموزش عمومی، شبکه اجتماعی، اهمیت نقش مردم، سازگاری، مشارکت اثربخش مردمی مبتنی بر نظم و انضباط، انعکاس نیازهای واقعی مردم، حفظ آرامش و خونسردی، همکاری همدلی و صمیمیت، توجه به عادات و رسوم و ارزش‌های اجتماعی حائز بالاترین رتبه شدند.



تصویر ۳. مدل اندازه‌گیری متغیر پژوهش در حالت تخمین استاندارد

جدول ۳. وزن‌دهی مؤلفه‌ها براساس نظر کارشناسان از روش سوآرا

مؤلفه‌ها	اهمیت نسبی مقادیر Sj	ضریب kj Sj=kj+۱	محاسبه وزن Kj / (۱-Qj = (xj	وزن نهایی Wj = Qj / Sumwj
آموزش و آگاهی	۰	۱	۱	۰/۴۲
مشارکت عملی	۰/۶۴۸	۱/۶۵	۰/۶۱	۰/۳۵
مشارکت اجتماعی	۰/۴۸۵	۱/۴۹	۰/۴۱	۰/۲۷
ارتباطات	۰/۷۰	۱/۷۱	۰/۳۴	۰/۲۵
مشارکت نظری	۰/۷۲۸	۱/۷۳	۰/۲۴	۰/۲۳
رسانه جمعی	۰/۶۰۲	۱/۶۰	۰/۲۲	۰/۲۰
مدیریت احساسات مردم	۰/۵۴۱	۱/۵۴	۰/۱۹	۰/۱۷
سرمایه اجتماعی فرهنگی	۰/۵۶۶	۱/۵۷	۰/۱۴	۰/۱۳
هویت بخشی	۰/۶۸۳	۱/۶۸	۰/۱۲	۰/۰۰۹
سرمایه معنوی	۰/۶۴۸	۱/۶۵	۰/۱۰	۰/۰۰۷
خاطرات جمعی	۰/۷۳۳	۱/۷۳	۰/۸	۰/۰۰۵

نتیجه‌گیری

ازجمله تهدیدهای بالقوه‌ای که همواره سلامتی و دارایی افراد جامعه را مورد هدف قرار داده، وقوع حوادث و بلایای طبیعی است. بلایای طبیعی پتانسیل ایجاد بحران‌های بزرگ را به دلیل ضعف برنامه‌ریزی و آسیب‌پذیری بالای جوامع انسانی دارا هستند. از این رو سیاست‌گذاران و مسئولان کشور باید جهت رفع این مشکل به رویکردهای نوین در حوزه مدیریت بحران از جمله رویکرد اجتماع‌محور روی آورده و از طریق ظرفیت‌سازی جوامع محلی، میزان آسیب‌پذیری مناطق را در مقابل وقوع بحران کاهش دهند. بر این اساس هدف از پژوهش حاضر شناسایی عوامل فرهنگی مؤثر در مدیریت بحران اجتماع‌محور با رویکرد ظرفیت‌سازی جوامع محلی است؛ تا بتوان با شناسایی و تقویت آن‌ها زمینه اجرای بهتر این رویکرد را فراهم کردند. با توجه به تحقیقات انجام شده در این زمینه و همچنین استخراج ۵۴ کد با استفاده از روش فراترکیب و تحلیل آن‌ها یافته‌های پژوهش حکایت از این داشت که از میان مؤلفه‌های شناسایی شده (آموزش و آگاهی، سرمایه اجتماعی و فرهنگی، سرمایه معنوی، مشارکت نظری، ارتباطات، مشارکت عملی، مدیریت احساسات مردم، هویت بخشی، مشارکت اجتماعی، رسانه جمعی و خاطرات جمعی) مؤلفه آموزش و آگاهی به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه در مدیریت بحران اجتماع‌محور شناسایی شده است. بی تردید ارتقای آگاهی شهروندان آسیب‌دیده درخصوص نحوه حفظ جان خود و خانواده‌هایشان مستلزم آموزش‌های قبل از بحران است. اگر افراد آموزش‌های مدون و یکسان مقابله با شرایط بحران را دیده باشند، توانایی ایجاد امنیت، تأمین سرپناه موقت در ساعات اولیه بحران و فائق آمدن بر مسائل ثانویه پس از حادثه نظیر مقابله با استرس، هیجان و همچنین مسائل بهداشتی را به‌خوبی انجام می‌دهند. ارتقای آگاهی‌های مردمی از طرق مختلف نظیر آموزش در مدارس، برنامه‌های تلویزیون و رادیو، برگزاری کارگاه‌های آموزشی، شبیه‌سازی بحران‌ها و ... در قبل و حین وقوع بلایا موجب می‌شود تا شهروندان آموزش‌دیده ضمن ایجاد خونسردی و آرامش در خود و دیگران به‌عنوان بازوی توانای امداد گران عمل نمایند. همچنین افراد آموزش دیده محلی به واسطه بومی بودن و با توجه به آشنایی نسبت به محله خود در بسیاری از موارد قادرند در عملیات امدادرسانی و خدمات ضروری مؤثر باشند. پس از مؤلفه آموزش و آگاهی مؤلفه‌های مشارکت عملی و اجتماعی به عنوان مهم‌ترین مؤلفه‌ها شناسایی شدند. رویکرد اجتماع‌محور نشان می‌دهد که اجتماعات با مشارکتشان، بحران‌ها را مدیریت می‌کنند تا جامعه‌ای امن، مقاوم و تاب آور ایجاد شود. این سامانه مدیریتی مردم محلی را منبع بالقوه‌ای می‌داند که سهیم شدن و همکاری آنان ضامن پایداری است نه مانعی برای آن. بنابراین اساس رویکرد اجتماع‌محوری در مشارکت مردم است. در هنگام وقوع بحران تا رسیدن نیروهای امداد و نجات تنها این خود مردم هستند که با مشارکت عملی در هنگام وقوع بحران می‌توانند به‌کمک هم‌نوعانشان بشتابند؛ بنابراین کارآترین عامل مؤثر و نتیجه بخش، تجهیز و بسیج منابع انسانی و محلی منطقه آسیب دیده است. البته باید به این نکته نیز توجه داشت منظور از مشارکت، مشارکت اثربخش مبتنی بر نظم است چه بسا مشارکت غیر اثربخش خود می‌تواند مانعی برای امدادرسانی شود. بعد از وقوع بحران و آغاز فرایند بازسازی، مشارکت‌های مردمی در قالب مشارکت اجتماعی انجام می‌شود. نمود بارز مشارکت اجتماعی استفاده از مردم بومی منطقه در فرایند بازسازی است که علاوه بر تسریع فرایند بازسازی، موجب افزایش همبستگی اجتماعی، همدلی همکاری و صمیمیت در بین مردم است. درنهایت می‌توان گفت این پژوهش با ارائه چارچوب جامعی از عوامل فرهنگی مؤثر در مدیریت بحران اجتماع‌محور (شکل ۲)، می‌تواند نقشه راه مناسبی برای توانمندسازی مردم جامعه در برابر بحران و بلایای طبیعی باشد. نتایج این پژوهش با تحقیقاتی نظیر تقی‌لو و همکاران (۱۳۹۹) که توسعه روحیه همکاری و وجود مشارکت را عوامل مهمی برای تقویت مدیریت بحران اجتماع‌محور دانسته‌اند؛ اصلانی و همکاران (۱۳۹۹) که بر کیفیت بازسازی

کالبدی محیط مسکونی و مناظر طبیعی و خاطرات جمعی در پس از بحران تأکید داشتند؛ زربین (۱۳۹۹) که بر اهمیت مشارکت مردمی در فرایندهای مدیریت بحران توجه داشت؛ براسی و کرایت (۲۰۲۰) که بر لزوم حفظ آرامش و خونسردی در هنگام بحران توجه داشتند؛ مارسکوله و همکاران (۲۰۱۸) که بر اهمیت نقش آموزش و آگاهی مردم در مدیریت بحران تأکید داشتند؛ کاوکیتپنگ و همکاران (۲۰۱۶) که بر نقش رسانه‌های جمعی در هر سه مرحله بحران توجه داشتند، هم‌خوانی دارد. این پژوهش با هیچ یک از پژوهش‌های سابق مغایرت ندارد. خروجی یک مطالعه باید چراغ راهی برای پژوهش‌های بعد از خود شود، بنابراین با توجه به نتایج پژوهش حاضر در جهت توانمندسازی جوامع محلی برای ارگان‌های مرتبط با بحث که بیشترین نقش را درزمینه فرهنگ‌سازی ایفا می‌کنند، به تفکیک پیشنهادات و راهکارهای زیر ارائه می‌شود:

آموزش و پرورش: تقویت آگاهی و دانش مدیریت بحران در بین دانش‌آموزان. در این راستا گنجاندن دانش مخصوص به کاهش خطر بلایا در برنامه آموزشی مدارس علی الخصوص در مقاطع پیش دبستانی و ابتدایی به منظور نهادینه سازی فرهنگ آمادگی، انتشار دانش و آگاهی در زمینه مدیریت سوانح از طریق گنجاندن در کتب تحصیلی دانش آموزان، آموزش مهارت‌های ضروری به دانش آموزان جهت آمادگی برای رویارویی با بحران از طریق شبیه سازی اثربخش بحران ها در مدارس با دقت نظر و جدیت نه صرفا به عنوان یک عملیات صوری، برگزاری مسابقات مقاله نویسی یا نقاشی در مورد بلایا، اجرایی کردن برنامه‌های آموزشی در زمینه مشارکت و چگونگی هم فکری و انجام کارهای جمعی در مدارس از طریق تدوین جلسات گروهی وبحث در خصوص بحران و بلایای شایع در منطقه بین دانش آموزان و همچنین تدوین برنامه هایی جهت بازدید از مناطق زلزله زده برای دانش آموزان و توزیع کتابچه های مصور با رویکرد آموزش حوادث ضروری است.

شهرداری‌ها و دهیاری‌ها: ارتقای دانش و آگاهی‌های عموم مردم. در این راستا انتقال پیام‌های آموزشی در سطح شهر از طریق نصب بیلبوردها،پلاکاردها، پوسترهای آموزشی و تابلوهای تبلیغاتی، توزیع کتابچه های راهنما در محله ها، برنامه‌ریزی جهت برگزاری کارگاه‌های با کیفیت آموزشی و رایگان جهت استفاده عموم مردم با محوریت‌های مختلف نظیر توجیه منفعت های گروهی و تشویق به مشارکت و همچنین آموزش های اجرایی در قبل،حین و پس از بحران ضروری است. همچنین تقویت همبستگی اجتماعی در مردم از طریق برگزاری مراسم گروهی، حفظ شادابی و سرزندگی محله پس از وقوع حادثه از طریق در نظر گرفتن برنامه‌هایی نظیر ورزش های همگانی، تشویق مردم برای حضور در اجتماع به منظور کمک به سازگاری آنها با بحران حادث شده و برگشت به روال عادی زندگی از طریق برگزاری برنامه‌هایی نظیر جشن های مذهبی که قبل از بحران در بین مردم رایج بوده، حفظ هویت فرهنگی شهر از طریق حمایت از بازسازی خانه‌ها، مکان‌های باستانی تخریب شده به سبک و الگوی سنتی اما با متدهای نوین و مقاوم لازم است.

صدا و سیما:فرهنگ‌سازی در خصوص مقابله با بلایای طبیعی از طریق آموزش‌های پیش از وقوع، وقوع و پس از وقوع . در این راستا افزایش تعداد کارتون‌ها،انیمیشن ها و برنامه های مستند با موضوع آموزش ایمنی در تلویزیون،تدوین آموزش‌های اثربخش از طریق پخش برنامه‌های جذاب که بیننده را تشویق به دیدن کند، در نظر گرفتن محتوای متنوع آموزشی ضروری به نظر می رسد . همچنین جلب کمک ها در سطح ملی و ترغیب جامعه به کمک رسانی به منظور بسیج منابع ملی در هنگام وقوع حوادث گسترده از طریق حساس کردن مردم نسبت به وضعیت هموطنان خود و جایگزین کردن نگاه ملی به جای نگاه منطقه ای و قومی،تقویت همبستگی ملی در هموطنان از طریق نشان دادن احساس مسئولیت خود و مردم در قبال آسیب دیدگان با ایجاد این حس که آنها عضوی از خانواده بزرگ کشورند و ایجاد شور و هیجان در اطلاع رسانی نظیر پخش تصاویر کمک های مردمی از سراسر کشور، خنثی سازی پیام های تفرقه انگیز سایر رسانه ها علی الخصوص شبکه های ماهواره ای از طریق بیان حقایق به صورت مستند،پیگیری،نظارت و مطالبه گری در خصوص منافع مردم آسیب دیده از طریق مصاحبه با مسئولان و حضور در مناطق آسیب دیده و تهیه گزارشاتی از فرایند بازسازی.

مدیریت بحران: ارتقای آموزش،ترویج و اشاعه فرهنگ پدافندغیرعامل و مدیریت ریسک جهت حفظ سرمایه های ملی از طریق متدهای آموزش رسمی و غیر رسمی در مدارس، رسانه ملی و ...، افزایش دانش و آگاهی مدیران حوزه بحران از طریق برگزاری کارگاه های آموزشی اثربخش، استفاده از افراد آشنا به جغرافیای طبیعی و فرهنگی و اجتماعی منطقه از طریق ایجاد پایگاه‌های امداد و نجات محلی و بومی،شناسایی تهدیدات و آسیب‌های احتمالی منطقه از طریق برآوردزیرساخت های اطلاعاتی، افزایش همدلی اجتماعی در بین مردم از طریق ایجاد گروه‌های سازمان یافته در قالب سازمان‌های غیردولتی، گروه‌های کوچک محلی، بسیج و سازمان‌های خیریه، بکارگیری اثربخش مردم در فرایند امدادرسانی از طریق بسترسازی در زمینه ایجاد تشکل‌های مردمی، شناسایی توانایی‌ها و سازمان‌دهی مناسب آنها.

پی‌نوشت

1. Crisis Management
2. Local community
3. Community-based crisis management
4. Capacity Building
5. Sustainable Development
6. Capacity building of local communities
7. Capacity building as an umbrella
8. Foster and Fishman models
9. Crisp et al
10. .NSW Health In Gladesville
11. Mitroff & Shrivastava
12. Scott-D.johnson
13. Lechat
14. Mitroff & pierson
15. Nellson & Halcher
16. Terwit & Celay
17. Rilly

18. .Culture
19. .Tokakis et all
20. .Arnold et all
21. .Nordeman & Humanson
22. .Hosseini et all

منابع و ماخذ

1. Falk, K. (2013). Preparing for disaster: a community-based approach. Copenhagen: Danish Red Cross press,.

۲. پور عزت، علی اصغر، فیروز پور، آرمین، سعدآبادی، علی اصغر(۱۳۹۲). مطالعه و مقایسه رویکرد اجتماع‌محور مدیریت بحران در کشورهای منتخب. فصل‌نامه‌ی مدیریت سازمان‌های دولتی، سال ۱، شماره ۲، صفحات ۵۲-۳۷.

3. Allen, K. M. (2006). Community-based disaster preparedness and climate adaptation: local capacity-building in the Philippines. Disasters, 30(1), 81-101.

4. Fahrudin, A. (2012). Preparing social work students for working with disaster survivors. Asian Social Work and Policy Review, 6(2), 86-94.

۵. طالقانی،محمد،سلیمی نیا،احسان(۱۳۹۷).ظرفیت‌سازی جوامع به عنوان ابزاری برای توسعه پایدار گردشگری.مطالعات مدیریت و کارآفرینی،دوره چهارم،شماره۱/۱،صص۱۵۴-۱۴۴.

۶. رفیعیان،مجتبی،خدایی،زهرا،داداش پور،هاشم(۱۳۹۲).:ظرفیت‌سازی اجتماعات محلی به مثابه رویکردی در توانمندسازی نهادهای اجتماعی. فصلنامه جامعه شناسی نهاد های اجتماعی،دوره اول،شماره دوم.

7. Verity, F. (2007). Community capacity Building-A review of the literature. Workforce planning, 1.

8. Jaques, T. (2007). Issue management and crisis management: An integrated, non-linear, relational construct. Public Relations Review, 33(2), 147-157.

۹. سجاسی قیداری، حمدالله،صادق لو، طاهره، رئیسی، اسلام(۱۳۹۳). سنجش سطح دانش مدیریت بحران مدیران محلی روستایی با تأکید بر زلزله مطالعه موردی: دهستان گشت شهرستان سراوان. پژوهش‌های روستایی، شماره ۳، صص ۵۶۱-۵۴۱.

۱۰. حسینی، علی،امیدواری،فرشته(۱۳۹۷).واکاوی نقش طراحی شهری در چرخه مدیریت بحران.مجله معماری شناسی،سال اول،شماره دوم.

۱۱. کریمی، خدیجه، تقی لو، علی اکبر(۱۳۹۹). مدیریت بحران اجتماع‌محور راهی به سوی توسعه پایدار. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره دهم، شماره اول .

12. Jahanghiri, K., & pouria Hedayati, S. (2014). Community participation in confronting natural disasters in Sistan va Baluchestan, Iran: A situational analysis. Payesh (Health Monitor), 13(1), 101-106.

13. Abarquez, I., & Murshed, Z. (2006). Field Practitioners' Handbook. Bangkok: Asian Disaster Preparedness Center.

14. Yeo, J., Li, H., Shin, Y. A., & Haupt, B. (2017). Cultural approach to crisis management. Global encyclopedia of public administration, public policy, and governance, 1-4.

15. Bergeron, W. P. (2015). Considering culture in evacuation planning and consequence management. Journal of emergency management (Weston, Mass.), 13(2), 87-92.

16. Florida Center for Public Health Preparedness [FCPHP] (2017). Assuring cultural competence in disaster response. University of South Florida.

۱۷. اصلانی، فرشته، اسدی، سعیده، شرفی،علی،کاکاوند،یاشل(۱۳۹۹). بررسی تاثیر ابعاد بازسازی محلات بر التیام پیامدهای اجتماعی روانی، پس از زلزله ۱۳۸۲بم. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره دهم، شماره دوم.

۱۸. مهدیه، امید(۱۳۹۹). بررسی تاثیر مشارکت مردمی بر عملکرد مدیریت بحران. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره دهم، شماره دوم .

۱۹. محمدی فر،یوسف، اعظمی،محسن،فیض آقایی،پریا(۱۳۹۹). طراحی مدل بومی مدیریت بحران سوانح گسترده طبیعی(موردمطالعه: زلزله کرمانشاه). فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره دهم، شماره دوم .

20. Tokakis, V., Polychroniou, P., & Boustras, G. (2019). Crisis management in public administration: The three phases model for safety incidents. Safety science, 113, 37-43.

21. Appleby-Arnold, S., Brockdorff, N., Jakovljev, I., & Zdravković, S. (2018). Applying cultural values to encourage disaster preparedness: Lessons from a low-hazard country. International journal of disaster risk reduction, 31, 37-44.

22. Humanson, R., & Nordeman, P. (2017). Proactive Crisis Management (PCM): Perceptions of crisis-awareness and crisis-readiness in organizations in relation with their actual strategic initiatives against industrial crises caused by human errors.

23. Hosseini, S. H., Amanat, N., Ghanbari, V., Nakhaee, M., Abbasabadi, M., Najafi, M., ... & Pashaei Sabet, F. (2017). Community-Based Management Challenges in Disaster Risk Reduction: A Content Analysis in Iran. Health in Emergencies and Disasters, 2(2), 63-70.

۲۴. دانایی‌فرد، حسن؛ الوانی، مهدی؛ آذر، عادل (۱۳۹۵). روش‌شناسی پژوهش کیفی در مدیریت: رویکردی جامع. تهران، صفاراشراقی.

مدل‌سازی هم‌جواری کاربری‌های پرخطر بر اساس ارزیابی شاخص تهدید

مطالعه موردی: پمپ‌بنزین‌های ناحیه ۳ منطقه ۷ شهر تهران

علی قنبری نسب*: استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، Alighanbari2454@gmail.com
مهدی مدیری: استاد تمام دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
مرضیه مشهدی: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
ابراهیم هاشمی فسایی: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
میعاد یاری: دانشجوی کارشناسی ارشد پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

در عصر حاضر با توجه به رویکرد جدید تأثیر محوری کشورهای متخاصم که صحنه نبرد را به مناطق شهری منتقل کرده‌اند، دشمن در پی ایجاد اختلال در عملکرد زیرساخت‌های حیاتی کشور هدف است. ازجمله این زیرساخت‌های حیاتی که نقش مهمی در خدمت‌رسانی شهری دارد، شبکه سوخت‌رسانی و جایگاه‌های عرضه سوخت است. جایگاه‌های عرضه سوخت در مناطق شهری افزون بر نقش خطیر سوخت‌رسانی به وسایل نقلیه، به دلیل وجود مخازن نگهداری سوخت قابل اشتعال، از پتانسیل بالایی جهت ایجاد حوادث بزرگ برخوردار است. این حوادث می‌تواند شامل حوادث فرایندی، عمدی و متخاصمانه باشد؛ ولی با به‌کارگیری صحیح اصول برنامه‌ریزی کاربری اراضی می‌توان خطر این‌گونه کاربری‌ها را تا حدود زیادی کاهش داد. لذا این پژوهش درصدد آن است تا با بهره‌گیری از نرم‌افزار PHAST، سامانه اطلاعات مکانی و همچنین کشف و به‌کارگیری شاخص‌هایی جهت استخراج میزان آسیب‌پذیری هرکدام از کاربری‌های هم‌جوار این جایگاه‌ها؛ نتایج حاصل از پیامدهای وقوع حادثه در جایگاه عرضه سوخت را ادغام نموده و با ارائه نقشه‌های کاربردی، فرایند برنامه‌ریزی کاربری اراضی را تسهیل نماید.

واژه‌های کلیدی: *تهدید، مدل‌سازی مکانی، کاربری پرخطر، برنامه‌ریزی کاربری زمین، سامانه اطلاعات مکانی*

Modeling the Proximity of Hazardous Land Uses Based on Threat (Risk) Index Assessment

(Case Study: Gas Stations, Region 3, District 7, Tehran).

Ali ghanbari nasab*[1], Mehdi Modiri[2], Marzieh Mashhadi[3], Ebrahim Hashemi Fasaei[4]

Abstract

In the present age, according to the new approach of the axial influence of the hostile countries that have moved the battlefield to urban areas, the enemy seeks to disrupt the functioning of the critical inftastructures of the target country. One of the critical infrastructure is the transportation system, which consists of various parts, including the fuel supply network and fuel supply stations. Fuel supply stations in urban areas, in addition to the serious role of refueling vehicles, have a high potential for major accidents due to the presence of flammable fuel storage tanks. These events can include process events and intentional and hostile events. However, by applying the principles of land use planning correctly, the risk of such events can be greatly reduced. Therefore, this research intends to use PHAST software and create a spatial information system. It also attempts to discover and apply indicators to extract the vulnerability of each of the neighboring uses of these sites; integrate the consequences of an accident at a fuel supply point and facilitate land use planning by providing application maps.

Keywords: *Hazardous Facilities, Land Use Planning, Spatial Information System, Spatial Modeling, Threat*

1 – Assistant Professor, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran, Alighanbari2454@gmail.com
2 – Professor, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
3 – Master of Passive Defense, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
4 –Master of Passive Defense, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
5 – M.A student, Passive Defense, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

مقدمه

یکی از ارکان و ضوابط برنامه‌ریزی و طراحی شهری نیل به پایداری شهر، ایجاد ایمنی در آن و کاهش آسیب‌پذیری انسانی ناشی از خطرات طبیعی و انسانی است و درواقع برای بهبود وضع زندگی شهروندان ضروری به نظر می‌رسد که تا حد ممکن شهر ایمن بوده و شهروندان از خطرات و حوادث مصون باشند [۱]. امروزه با گسترش کالبدی و افزایش تراکم شهرهای بزرگ، وضعیت خطرناکی در صورت وقوع بحران به وقوع می‌پیوندد، زیرا سلسله‌مراتب شبکه‌های ارتباطی رعایت نشده، عرض راه‌ها کم و از مراکز خدماتی و درمانی دور بوده و در منطقه بحران‌خیز بالایی قرارگرفته‌اند. بروز بحرانی با شدت بالا در این شهرها به از بین رفتن کارایی شبکه ارتباطی، حجم بالای تلفات انسانی و خسارات مالی منجر خواهد شد [۲]. محیط انسانی متأثر از مسائل و مخاطرات محیطی است که گاهی اوقات به‌وسیله عامل انسانی نیز تشدید می‌شود؛ بنابراین تعمق در شناخت عوامل آسیب‌پذیری و ارائه راه‌حل‌های سازنده و پیشنهادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳]. نیاز به حمل‌ونقل و استفاده از وسایل نقلیه نیز روزانه توأم با افزایش جمعیت شهر در حال افزایش است. این موضوع احتیاج‌های ثانویه‌ای را برای شهرها ایجاد کرده است که خود نیازمند توجه برنامه‌ریزان است. مواردی چون سوخت‌رسانی و تأمین جایگاه‌های عرضه سوخت، تعمیرات و نگهداری وسایل نقلیه، تأمین فضای کافی پارک در سطح شهر و ... در این حوزه قرار می‌گیرند که هرکدام از این موارد به‌تنهایی طیف گسترده‌ای از مطالعات در خصوص بهترین نحوه چیدمان آن‌ها در شهر را به خود اختصاص داده‌اند. از گذشته موضوع تأمین سوخت برای شهرها اهمیت زیادی داشته است. با پیشرفت فناوری و دستیابی انسان به سوخت‌های فسیلی نفت و فرآورده‌های حاصل از پالایش آن به‌سرعت جایگزین چوبی شد که درگذشته منبع اصلی سوخت محسوب می‌شد [۴]. به‌طورکلی شبکه حمل‌ونقل به‌طورمعمول ۱۰-۲۰ درصد سطح شهر را پوشش می‌دهد [۵]. تهدیداتی که متوجه جایگاه‌های عرضه سوخت است، می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی (زلزله، سیل، صاعقه و ...)، عوامل صنعتی (نقایص فرایندی، معایب تجهیزاتی، خطای انسانی و ...) و یا عوامل خصمانه و تعمدی (حملات نظامی، خرابکاری و تروریستی و ...) باشد. حوادثِ محل‌های ذخیره مواد یک اثر دومینو را در پی دارد [۶]. به‌نحوی‌که ممکن است در یک تهدید خصمانه با اصابت یک بمب به جایگاه عرضه سوخت، علاوه بر منفجرشدن سوخت موجود در مخزن ذخیره جایگاه، آتش گرفتن خودروهای موجود در محدوده نیز کمک به افزایش پیامدهای نشت عادی سوخت از مخزن ذخیره کند و با به‌کارگیری صحیح اصول برنامه‌ریزی کاربری اراضی می‌توان خطر این‌گونه کاربری‌ها را تا حدود زیادی کاهش داد. به‌منظور فراهم ساختن بستر اجرای راهبردهای پایداری باید بر اساس وضعیت موجود با برنامه‌ریزی هماهنگ و منسجم در دو محور اقدام‌های سریع و فعالیت‌های بلندمدت و تکمیل چرخه دفاعی کشور در برابر حوادث غیرمترقبه و تعامل با دفاع و پدافند غیرعامل انجام پذیرد [۷].

جهت کاهش ضایعات و تلفات حوادث در کاربری‌های پرخطر یکی از راه‌حل‌ها، افزایش ایمنی و کاهش تهدیدات در کاربری و اقدام غیرمستقیم است. ازجمله این اقدامات غیرمستقیم، برنامه‌ریزی کاربری اراضی است که بیش از همه در جانمایی محل جایگاه عرضه سوخت ایفای نقش می‌کند و بعضاً در مورد جایگاه‌های ساخته‌شده و مورد بهره‌برداری نیز با روش‌هایی می‌توان آسیب‌پذیری را کاهش و در جهت افزایش تاب‌آوری گام برداشت. در این راستا، نقشه‌های ریسک در نرم‌افزارهای مکان‌مبنا چون Arc GIS به کمک برنامه‌ریزان آمده‌اند تا دقت فرایند را بالا ببرند. مکان‌یابی صحیح مراکز خدمات شهری و به‌ویژه جایگاه‌های عرضه سوخت در شهرها و خصوصاً کلان‌شهرها می‌تواند جابجایی‌های روزانه و عملکردهای متقابل عناصر شهری را روان و پویا سازد که علاوه بر صرفه‌جویی در وقت موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها نیز شود [۸]. بر همین اساس در مکان‌یابی جایگاه‌ها علاوه بر معیارها و شاخص‌های عمومی موجود چون سهولت دسترسی، فاصله تا جایگاه‌های مجاور، پراکندگی مناسب در سطح شهر و ... لحاظ شاخص‌های پدافند غیرعامل و مدیریت بحران به جهت حفظ حریم‌های ایمنی ضرورت می‌یابد. در این راستا انتخاب هوشمندانه محل پمپ‌بنزین و یا تغییر حساب‌شده در جانمائی برخی کاربری‌های مجاورآن نقش بسزایی در کم شدن هزینه‌ها پس از وقوع بحران دارد که شامل هزینه‌های هدر رفت سوخت از مخزن، درمان افراد آسیب‌دیده و بعضاً مرمت و بازسازی بناهای تخریب‌شده است. وقوع حادثه در این کاربری‌ها می‌تواند منجر به پیامدهایی نظیر آتش‌سوزی، انفجار و انتشار مواد سمی شده و سلامت ساکنان در کاربری‌های هم‌جوار، سرمایه موجود در آن‌ها، عملکردهای تولیدی و خدمات شهری آن‌ها و محیط‌زیست اطراف را با صدماتی مواجه نماید. همین عامل باعث شده است تا مدیریت ریسک حوادث محتمل ناشی از تأسیسات پرخطر اهمیت بسزایی یابد. برای مدیریت ریسک حوادث عظیم در تأسیسات مذکور روش‌هایی وجود دارد. برخی از روش‌های معمول در این زمینه مکان‌یابی مناسب، به‌کارگیری فناوری ایمن، مدیریت ایمنی تأسیسات و طرح واکنش اضطراری در داخل تأسیسات است؛ اما به نظر می‌رسد برخی از اقدامات شهری در خارج از این تأسیسات نیز در راستای مدیریت ریسک حوادث احتمالی در تأسیسات مذکور انجام می‌شود که یکی از این اقدامات مهم برنامه‌ریزی کاربری اراضی در اطراف آن‌ها باشد.

به‌طورکلی، سه روش رویکرد فواصل تفکیک عمومی[1]، رویکرد مبتنی بر ریسک[2] و رویکرد مبتنی بر پیامد[3] برای برنامه‌ریزی استفاده از زمین در جهت برآورد ریسک[4] وجود دارد [۹].

تعیین و استفاده از فواصل تفکیک «عمومی» بیشتر بر اساس نوع فعالیت کاربری است تا تجزیه‌وتحلیل دقیق خطرات. این فواصل ایمنی اغلب از قضاوت‌های متخصصان به دست می‌آیند که بیشتر بر اساس عوامل تاریخی، تجربه و محاسبات ناشی از

نتایج یا اطلاعات مربوط به تأثیرات محیطی استوار است. این رویکرد در آلمان و سوئد ایجاد و مورد استفاده قرار گرفته است.

رویکرد مبتنی بر ریسک بر ارزیابی پیامدها و فرکانس وقوع مورد انتظار یا احتمال سناریوهای احتمالی تمرکز دارد. معیارهای برنامه‌ریزی زمین با توجه به ریسک محاسبه‌شده بر اساس معیارهای خاص قابل‌پذیرش است. از دید برنامه‌ریزی زمین، نتایج تجزیه‌وتحلیل ریسک به‌عنوان مبنایی برای اقدامات کاهش ریسک برای کاهش احتمال و پیامد حوادث استفاده می‌شود و همچنین یک راهنما برای تعیین قابل‌قبول بودن توسعه پیشنهادی در مجاورت مکان‌های خطرناک است. این روش در انگلستان و هلند استفاده می‌شود.

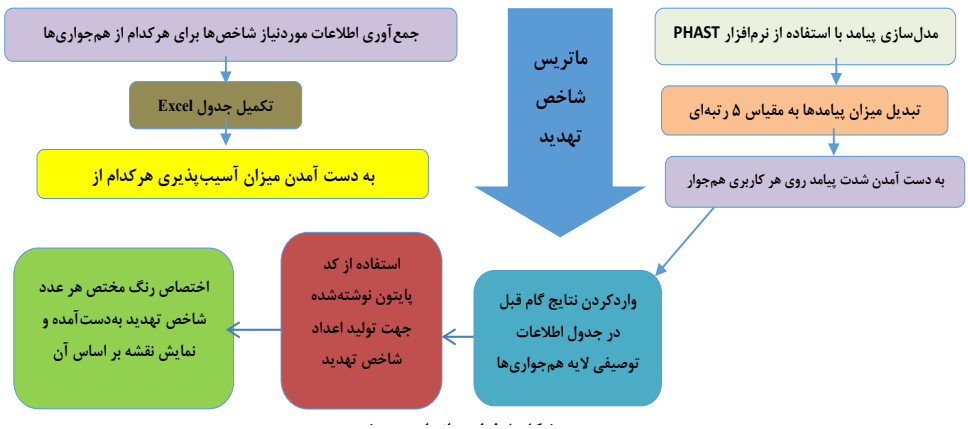
رویکرد مبتنی بر پیامد بر ارزیابی پیامدهای تعدادی از سناریوهای مرجع حاصل از مطالعه ارزیابی کمی ریسک[۵] متمرکز است. مقادیر آستانه خسارت برای اثرات فیزیکی حادثه (فشار بیش‌ازحد، تابش حرارتی، غلظت سمی) با توجه به پیامدها ناخواسته (تلفات، اثرات غیرقابل‌برگشت، اثرات برگشت‌پذیر و غیره) تعیین می‌شود. این روش به‌طورکلی در فنلاند، لوکزامبورگ، اسپانیا، بلژیک و اتریش مورد استفاده قرارگرفته است. به‌طورکلی در شکل ۱ فرایند انجام پژوهش ارائه شده است.

در مقالات بین‌المللی طی سال‌های اخیر و پس از وقوع چند حادثه عظیم در صنایع پرخطر چون انفجار بزرگی که در کارخانه ازت فرانسه[۶] در سال ۲۰۰۱ به وقوع پیوست و حادثه‌ی بانسفیلد[۷] در حوزه‌های نفت و گاز در یازده دسامبر سال ۲۰۰۵، توجه ویژه‌ای به بحث برنامه‌ریزی کاربری زمین[۸] در برنامه‌های پیشگیرانه کشورها با توجه به ارزیابی ریسک صنایع و کاربری‌های پرخطر انجام شده است [۴].

پیشینه تحقیق

در مقاله «مقدمه‌ای بر تجزیه‌وتحلیل تهدید در فرایند برنامه‌ریزی کاربری زمین» نوشته برانکو و دِیوُر کُنتیک در سال ۲۰۰۹ یک روش برای معرفی ارزیابی ریسک در فرایند برنامه‌ریزی کاربری زمین معرفی‌شده است که به دلیل اقتباس نتایج ارزیابی ریسک که برای برنامه‌ریزان کاربری اراضی ضروری است، عنوان کلی تجزیه‌وتحلیل تهدید برای آن استفاده شده است [۹]. جیووانی و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «ارزیابی پیامدهای حوادث خطوط لوله جهت پشتیبانی برنامه‌ریزی کاربری زمین» در سال ۲۰۱۷ یک ارزیابی تاریخی بر یک نمونه از ۱۰۶۳ حادثه رخ‌داده در خطوط لوله ساحلی انجام داده‌اند تا ریسک مرتبط با این سامانه‌ها و اهمیت آن در برنامه‌ریزی کاربری زمین را نشان دهند. این تحقیق در بررسی پیامدهای ناشی از این حوادث بر انسان‌ها به این نتیجه رسیده است که زندگی انسان به طرق مختلفی تحت تأثیر حوادث عظیم قرار می‌گیرد که وابسته به‌شدت تأثیر و تراکم جمعیت است [۱۰]. مقاله «برنامه‌ریزی کاربری زمین پیرامون صنایع پرخطر» نوشته پایلون و همکاران در سال ۲۰۱۴ برخی بازتاب‌ها در مورد به‌کارگیری قوانین منطقه‌ای و استانی مرتبط با ریسک‌های عمده صنایع و برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری و سرزمینی را ارائه می‌دهد [۱۱]. در مقاله «نقشه‌سازی مشارکتی برای کاهش خطر آتش‌سوزی در مناطق پرتراکم شهری» راهماواتی و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک راه‌حل برای کاهش آسیب‌پذیری و بهبود قابلیت جوامع معرفی‌شده است. بیشتر مناطق شهر مورد نظر در این پژوهش در ریسک آتش بالا قرار گرفته‌اند [۱۲]. در مقاله‌ی «برنامه‌های شرایط اضطراری شهرداری در ایتالیا: الزامات و نقاط ضعف» نوشته پایلون و همکاران در سال ۲۰۱۷ هدف تهیه نشانه‌هایی برای چگونگی دستیابی به رویکردی متفاوت در هر دو برنامه‌ریزی کاربری زمین و شرایط اضطراری بوده است که در آن ارزیابی ریسک به‌عنوان بخشی از یک فرایند جامع متشکل از فازهای مهم و درهم‌تنیده شامل نه‌تنها شرایط اضطراری پس از حادثه بلکه نقش ساخت‌وساز برای حفاظت درازمدت، بیان‌شده است [۱۳]. در مقاله‌ی دیگری با عنوان «تعیین حریم ایمن برای جایگاه‌های عرضه‌ی گاز طبیعی فشرده در شهرها» نوشته سیدی و مهدی زاده در سال ۱۳۹۵ نویسندگان به مطالعه خطرات ناشی از فعالیت این جایگاه‌ها در مناطق شهری پرداخته و آن‌ها عللی که پتانسیل آزاد شدن خطر در جایگاه دارد را موارد زیر بیان کرده‌اند [۱۴]:

۱- فشار عملیاتی و ذخیره‌سازی؛
۲- تنش ناشی از پر و خالی شدن مخزن خودرو؛
۳- خوردگی بدنه مخزن به علت وجود آب و ترکیبات مرکاپتان (تشکیل سولفوریک اسید)؛



شکل ۱. فرایند انجام پژوهش

۴- عدم انجام آزمون‌های بازرسی دوره‌ای؛
۵- دست‌کاری مخازن.

سیدی در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان «الزامات پدافند غیرعامل در کاربری‌های هم‌جوار انبارهای نفت (مطالعه موردی: انبار نفت شمال شرق تهران)» برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی هم‌جوار انبارهای نفت بر مبنای تهدیدات نظامی متصور بر روی این انبارها و پیامدهای ناشی از مورد هدف قرار گرفتن آن‌ها (موج انفجار، انتشار بخارهای سمی و گرمای تشعشعی)، یک مدل ارائه کرده است [۴]. مدیری و همکاران در مقاله‌ای با عنوان «بررسی جایگاه برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مدیریت ریسک تأسیسات پرخطر بر اساس سناریوی وقوع حوادث عظیم در آن‌ها» سعی کرده‌اند تا نقش برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مدیریت ریسک تأسیسات پرخطر را بررسی و جایگاه آن در مدیریت ریسک تأسیسات پرخطر را مشخص کنند [۱۵]. یعقوب زاده و بالارستاقی در مقاله‌ای با عنوان «مکان‌یابی بهینه جایگاه‌های عرضه‌ی سوخت (پمپ‌بنزین) (مطالعه موردی: شهر گرگان)» علاوه بر تعیین مکان‌های مناسب جایگاه‌های عرضه سوخت در سطح مناطق خدماتی شهر گرگان تعداد این جایگاه‌ها را نیز تخمین زده‌اند [۱۶]. یاری در مقاله‌ای با عنوان «طراحی ذاتاً ایمن در ساخت پمپ‌بنزین‌های شهری» ابتدا با بررسی اولیه شهرستان قزوین و شناسایی استانداردهای ایمنی در پمپ‌بنزین‌های شهری درنهایت وی به این نتیجه رسیده است که جامعه مورد بررسی بیشتر به ایمنی غیرفعال و کم‌هزینه گرایش داشته است [۶]. لنگری و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «آنالیز نرم‌افزارهای مدل‌سازی پیامد ALOHA و PHAST» پس از بررسی ضرورت فرایند ارزیابی پیامد و مراحل اجرای آن درنهایت به تحلیل و بررسی و مزایا و معایب نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST پرداخته است [۱۷]. یعقوب زاده و کتانچی در مقاله‌ای با عنوان «مکان‌یابی بهینه‌ی جایگاه‌های عرضه سوخت (پمپ‌بنزین) (مطالعه موردی: شهر بندرگز)» بهترین زمین را از میان چهار زمین انتخابی بندرگز مشخص کرده‌اند که جهت این انتخاب از روش‌های تاپسیس و تاکسونومی بهره جسته‌اند [۱۸]. نیری و همکاران در مقاله خود با عنوان مکان‌یابی مراکز امداد و نجات در شهرستان نهاوند با استفاده از مدل FAHP به این نتیجه رسیده‌اند که با بهره‌گیری از شرایط طبیعی می‌توان در راستای مدیریت بحران بهره گرفت [۱۹].

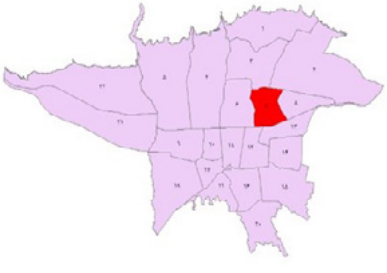
با بررسی کارهای انجام‌شده پیرامون موضوع این تحقیق، مشاهده می‌شود که هم‌جواری کاربری پرخطر پمپ‌بنزین تاکنون مدل‌سازی نشده است تا بتوان به ارائه الگوی مناسبی برای نحوه قرارگیری کاربری‌های هم‌جوار رسید.

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه ناحیه ۳ از منطقه ۷ شهر تهران است. مشاهده می‌شود که منطقه موردنظر از شمال با مناطق ۳ و ۴، از شرق با منطقه ۸، از غرب با منطقه ۶ و از سمت جنوب با مناطق ۱۲ و ۱۳ هم‌مرز است. در ناحیه مورد نظر دو پمپ‌بنزین وجود دارد که موقعیت آن‌ها مطابق با شکل ۲ شامل جایگاه شماره ۱۱۰ واقع در خیابان مفتح (شریانی درجه ۱) و جایگاه شماره ۱۵۵ در تقاطع خیابان‌های شریعتی (شریانی درجه ۱) و بهار شیراز است.

روش تحقیق

در این تحقیق از روش تحلیلی-توصیفی استفاده شده است. این روش، شاخص تهدید[۹] را به‌عنوان ابزاری برای تمایز بین پیامدهای مختلف مورد انتظار در اجزای محیطی واقعی معرفی می‌کند. بیان عددی شاخص تهدید نشان‌دهنده سطوح مختلف تهدید است. این شاخص اصولاً بر اساس یک رویکرد ارزیابی ریسک مبتنی بر پیامدها تدوین و با آسیب‌پذیری محیط پذیرنده آن ترکیب شده است. در همین راستا، فرایند مذکور مستلزم شناسایی سناریوهای حادثه با در نظر گرفتن توزیع فضایی اثرات فیزیکی آن است. سناریوهای حادثه بر اساس ارتباط آن‌ها برای برنامه‌ریزی استفاده از زمین انتخاب می‌شوند. این بدان معنی است که همه سناریوهای تأثیرگذار بر خارج از محدوده پمپ‌بنزین، بدون توجه به فراوانی و احتمال وقوع آن باید مدنظر باشند. چنین رویکردی شرایط (سناریوها) با احتمال وقوع کم و پیامد بالا را حذف نمی‌کند و به دو دلیل مناسب است. نخست اینکه احتمال وقوع یک حادثه و بزرگی (دامنه) پیامدهای آن نیز ارزیابی می‌شود و دوم، برنامه‌ریزان کاربری اراضی و همه طرف‌های درگیر اطمینان می‌یابند که به حوادث احتمالی به‌صورت جامع و کامل توجه شده



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

است. بر اساس آنچه در مقدمه اشاره شد، در این پژوهش به‌منظور برنامه‌ریزی استفاده از زمین جهت برآورد ریسک روش سوم یعنی رویکرد مبتنی بر پیامد بکار گرفته شده است.

اساساً، معنای اصطلاح «تحلیل تهدید» شبیه اصطلاح «تحلیل پیامد» در چارچوب ارزیابی ریسک است، البته بدون در نظر گرفتن احتمال‌ها و یا فرکانس‌های وقوع آن‌ها؛ بنابراین، تفاوت اصلی بین تهدید و ریسک این است که تهدید احتمال عواقب موردنظر را مشخص نمی‌کند. مزیت واردکردن تهدید به برنامه‌ریزی کاربری زمین در موارد زیر است:

- طرح کاربری زمین به‌عنوان یک خروجی و محصول، احتمال استفاده از زمین را تعیین نمی‌کند؛ بنابراین به نظر می‌رسد ریسک یک مبنای کارآمد برای تعیین کاربری‌های واقعی و همسایگی نیست. به‌عنوان‌مثال، در یک طرح کاربری اراضی احتمال وقوع یک حادثه صنعتی اهمیتی ندارد همچنین محاسبه و تعداد تلفات ناشی از آن نیز انجام یا تأیید نمی‌شود، بلکه در مورد استفاده از زمین و محیط اطراف آن به‌صورت قطعی تصمیم‌گیری می‌کند. بااین‌وجود، رویکرد احتمالی می‌تواند به‌طور مؤثری تصمیمی را در مورد نوع استفاده از زمین مناسب‌تر مدنظر را اطلاع دهد.

- در نظر گرفتن پیامدهای محیطی در برنامه‌ریزی زمین، امکان تعیین شرایط استفاده از زمین‌های همسایه و همچنین شرایط سازمانی و معماری و راه‌حل‌های شهرنشینی را فراهم می‌کند. به‌عنوان‌مثال، احتمال حادثه‌ای که به تخلیه شهروندان در محله نیاز دارد، می‌تواند راهنمای طراحی زیرساخت‌های حمل‌ونقل باشد. همان‌طور که قبلاً گفته شد، در نظر گرفتن صریح احتمال تلفات در برنامه‌ریزی کاربری زمین عرف نیست [۹].

جهت نمایش ریسک هرکدام از هم‌جواری‌های کاربری پرخطر موردنظر (پمپ‌بنزین)، از ماتریس تعیین شاخص تهدید استفاده شده است که دو سطح شدت تهدید[۱۰] بر روی کاربری و دیگری عدد آسیب‌پذیری تهدید محیطی کاربری[۱۱] بر آن تأثیرگذار هستند. روش‌های گردآوری اطلاعات؛ کتابخانه‌ای و از طریق بررسی پایان‌نامه‌های مرتبط با موضوع تحقیق، کتب و مقالات لاتین و فارسی بوده است. برای تجزیه‌وتحلیل اطلاعات از نرم‌افزارهای Arc GIS 10.3، PHAST 7.2، Google Earth Pro، Excel استفاده شده است.

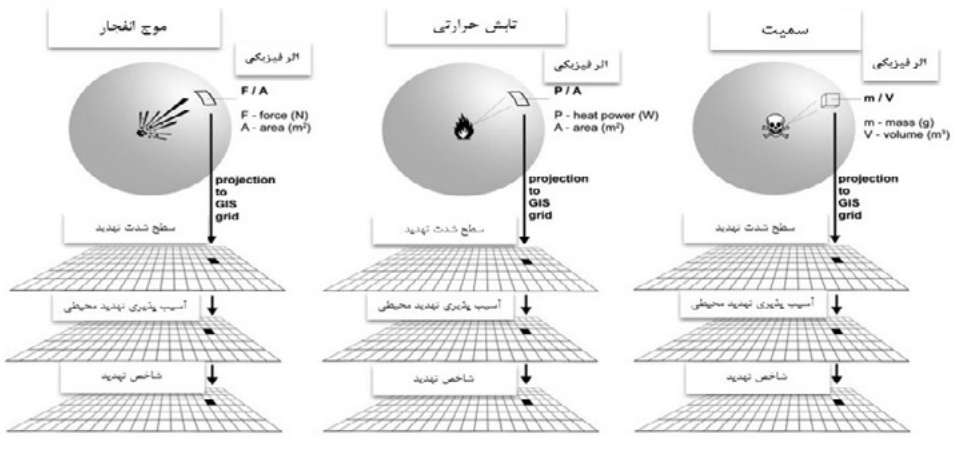
روند انجام این پژوهش بدین‌صورت است که در ابتدا شبیه‌سازی پیامد بر اساس سناریوی مفروض (به‌منظور به دست آوردن سطح شدت تهدید) صورت می‌پذیرد. سپس شاخص‌های آسیب‌پذیری تهدید محیطی کاربری تعیین می‌شود و در ادامه پس از به دست آوردن هر کاربری، دو عدد آسیب‌پذیری و پیامد (سطح شدت تهدید) در ماتریس شاخص تهدید قرار می‌گیرد و سپس عدد شاخص تهدید برای هر کاربری استخراج می‌شود.

با استفاده از تحقیقات پیشین در این زمینه، روش کمی جهت نیل به اهداف تحقیق اتخاذ شد که نمایشی از میزان استقرار صحیح هم‌جواری‌ها در اطراف کاربری پرخطر پمپ‌بنزین است. با مرور منابع علمی از ماتریسی استفاده شد که با رتبه‌بندی کاربری‌ها به پنج گروه مختلف، میزانی از شاخص تهدید را برای هرکدام بیان می‌دارد.

داده‌های مورد استفاده در این ماتریس مطابق با شکل ۳، عددی برای سطح شدت تهدید و عددی برای آسیب‌پذیری تهدید محیطی است.

سطح شدت تهدید (پیامد)

برای به دست آوردن سطح شدت تهدید از مدل‌سازی پیامد استفاده می‌شود. مدل‌سازی پیامد شامل مدل‌سازی رهایش مواد در محیط و به دنبال آن مدل‌سازی پیامدهای ناشی از سمیت، اشتعال یا انفجار این مواد است. امروز این کار به دلیل پیچیدگی معادلات و زمان‌بر بودن حل آن‌ها، توسط نرم‌افزارهای رایانه‌ای انجام می‌شود. تعدادی از این نرم‌افزارها تنها قادر به مدل‌سازی پخش مواد هستند ولی توانایی مدل‌سازی پیامدهای آتش و انفجار را ندارند. نرم‌افزار PHAST از قوی‌ترین و مشهورترین نرم‌افزارهای موجود است. نتایج حاصله از مطالعات جداگانه مدل جامع پیامد UDM[۱۲] ارائه شده توسط DNV، بیانگر آن است که هم تئوری و هم توانایی این مدل در پیش‌بینی حوادث بسیار کارآمد است. برای مدل‌سازی به‌وسیله نرم‌افزار PHAST باید ابتدا مشخصات منبع انتشار (ماده اشتعال‌پذیر) را مشخص کرد. اطلاعات مورد نیاز در این بخش شامل نوع و مقدار مواد و همچنین شرایط عملیاتی نظیر دما و فشار مورد نظر است. پس از تعیین مشخصات مواد



شکل ۳. نمایش شما شاخص تهدید [۹]

موجود در فرایند باید سناریوی محتمل، پارامترهای سناریو و انتخاب روش جهت مدل‌سازی انفجار را تعیین کرد.

بنابراین نرم‌افزار مورد استفاده در این تحقیق جهت مدل‌سازی پیامدها نرم‌افزار PHAST است. تعریف سناریوها در این نرم‌افزار با دو سناریوی تخلیه ناگهانی مواد و نشت در نظر گرفته شد. ماده مورد استفاده در تعیین پارامترهای لازم این سناریوها طبق نظر کارشناسان شامل Kerosine به دلیل شباهت خواص آن به بنزین توزیع‌شده در کشور ایران (در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار) و مدل TNT به‌عنوان روش انفجار انتخاب شد. حجم ذخیره‌سازی بنزین در هر دو جایگاه طی بررسی‌های صورت گرفته و مشاهدات میدانی پمپ‌بنزین‌های منطقه مورد مطالعه، ۴۵۰۰۰ لیتر بوده است. همچنین از داده‌های آب و هوائی پیش‌فرض نرم‌افزار استفاده شد تا قابلیت نمایش در بدترین حالت را داشته باشد. مدل‌های متعددی برای مدل‌سازی موج انفجار ارائه شده‌اند که در پژوهش پیش رو از مدل TNT Equivalency استفاده شده است. این مدل از ساده‌ترین مدل‌های ارائه‌شده برای محاسبات موج انفجار بوده و بر اساس مدل‌سازی جرم گاز قابل‌انفجار در محیط TNT استوار است. مقدار مشخصی گاز قابل اشتعال با توجه معادله ۱ با TNT معادل‌سازی می‌شود:

معادله (۱)
$$w = \frac{\eta M E_C}{E_{TNT}}$$

که در آن:

w: جرم معادل باTNT (kg)

M: جرم گاز قابل اشتعال (kg)

Ec: گرمای احتراق گاز (kj/kg)

ETNT: گرمای احتراق TN (حدود ۴۶۰۰kj /kg)

به‌این‌ترتیب با داشتن جرم TNT معادل و خصوصیات انفجار آن می‌توان انفجار گاز را شبیه‌سازی کرد. برای استفاده از ماتریس شاخص تهدید مقادیر عددی پیامدی که نرم‌افزار محاسبه می‌کند باید به مقیاس ۵ رتبه‌ای طی جدول‌های ۱، ۲ و ۳ تبدیل شوند.

آسیب‌پذیری تهدید محیطی

آسیب‌پذیری تهدیدات زیست‌محیطی حالت یا ویژگی اجزای محیطی است که گیرنده یک تغییر منفی (اثر) ناشی از حادثه مواد خطرناک است که سطح حساسیت اجزای محیطی در برابر صدمه ناشی از حادثه مواد خطرناک را توصیف می‌کند. یا برعکس، درجه یک سامانه محیطی یا بخشی از آن (یک جز) نسبت به انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر پیامدهای خاص یک حادثه است. به‌عنوان‌مثال، ساختمان‌های مختلف سطوح مختلف مقاومت (با آسیب‌پذیری) را نسبت به فشار بیش‌ازحد بیان می‌کنند یا همه رودخانه‌ها پس از یک واقعه آلودگی اتفاقی، سطح یکسانی از خود پالایی را ادا نمی‌کنند. سرانجام، آسیب‌پذیری تهدید محیطی معیاری برای پایداری یک عنصر/جز محیطی است که در معرض یک حادثه خاص قرار گیرد. اجزای محیطی شامل انسان، اکو سامانه‌های طبیعی (جانوران، گیاهان)، آب، هوا و زیرساخت‌ها (ساختمان‌ها) و غیره هستند [۹].

جدول ۱. تبدیل مقادیر عددی موج انفجار به مقیاس ۵ رتبه‌ای شدت [۹]

میزان موج انفجار (Kpa)	درجه شدت
۲/۱ >	۱
۶/۹ -۲/۱	۲
۱۳/۸-۶/۹	۳
۲۰/۷-۱۳/۸	۴
۲۰/۷ <	۵

جدول ۲. تبدیل مقادیر عددی گرمای تشعشعی به مقیاس ۵ رتبه‌ای شدت [۹]

میزان گرمای تشعشعی (Kw/m^2)	درجه شدت
۴/۵ >	۱
۱۲/۵ -۴/۵	۲
۲۵ -۱۲/۵	۳
۳۷/۵-۲۵	۴
۳۷/۵ <	۵

جدول ۳. تبدیل مقادیر عددی غلظت گازهای سمی به مقیاس ۵ رتبه‌ای شدت [۹]

میزان غلظت گاز سمی		درجه شدت
<ERPG1	<TEEL1	۱
ERPG1	TEEL1	۲
ERPG2	TEEL2	۳
ERPG3	TEEL3	۴
>ERPG3	>TEEL3	۵

برای به دست آوردن اعداد آسیب‌پذیری تهدید محیطی هر کاربری، ابتدا تعدادی شاخص مدنظر قرار گرفت و سپس این شاخص‌ها به روش مقایسه دودویی وزن دهی و بعدازآن جداول اختصاصی جهت امتیازدهی به وضعیت موجود هر کاربری از دیدگاه آن شاخص تهیه شد. جهت تهیه این جدول‌ها از اسناد و متون موجود استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۴ ارائه شده است [۴].

امتیاز کسب‌شده هر کاربری برای هر شاخص پس از مقایسه دودویی وزن دهی هر کاربری عددی بین ۱ تا ۱۰۰ و طبق جدول ۵ به مقیاس پنج رتبه‌ای تبدیل شده است.

یافته‌های تحقیق

یافته‌های تحقیق حاضر به دو بخش تقسیم می‌شوند. بخش اولیه یافته‌ها، نمودارهای توزیع پیامد (سطح شدت تهدید) وقوع انفجار در مخزن پمپ‌بنزین که شعاع گسترش پیامدها در سناریوهای مختلف با سطوح آسیب‌زنندگی بر هم‌جواری جایگاه عرضه سوخت نشان می‌دهند. بخش نهایی یافته‌ها شاخص تهدید برای هر کاربری است. پس از به دست آمدن سطح شدت تهدید و آسیب‌پذیری تهدید محیطی، آن‌ها به ماتریس شاخص

جدول ۴. وزن دهی شاخص‌ها [۴]

شاخص	ضریب وزنی	شاخص	ضریب وزنی
تعداد جمعیت حاضر در کاربری	۰/۳۴۶	استحکام تأسیسات ساختمان کاربری	۰/۰۹
اهمیت افراد حاضر در کاربری	۰/۰۶۴	خطرات کاربری‌های هم‌جوار کاربری	۰/۰۲۸
ساعات حضور جمعیت	۰/۰۸۳	ارزش اقتصادی کاربری	۰/۰۲۸
حضور گروه‌های خاص در کاربری	۰/۱۶۲	عدم امکان تجدید پذیری کاربری	۰/۰۰۹
تعداد طبقات کاربری	۰/۰۳۱	اهمیت راهبردی فعالیت‌های کاربری	۰/۰۴۴
نمای ساختمان کاربری	۰/۰۴۲	انحصاری بودن فعالیت‌های کاربری	۰/۰۱۴
نوع سازه ساختمان کاربری	۰/۰۵۰	عمق تأثیرگذاری فعالیت‌های کاربری	۰/۰۱۳
عمر سازه ساختمان‌های کاربری	۰/۰۴۶	ضعف مدیریت شرایط اضطراری و توانائی تخلیه کاربری	۰/۰۱۴
وسایل داخل ساختمان کاربری	۰/۰۰۶		

جدول ۵. تبدیل درجه آسیب‌پذیری تهدید محیطی به مقیاس پنج رتبه‌ای [۴]

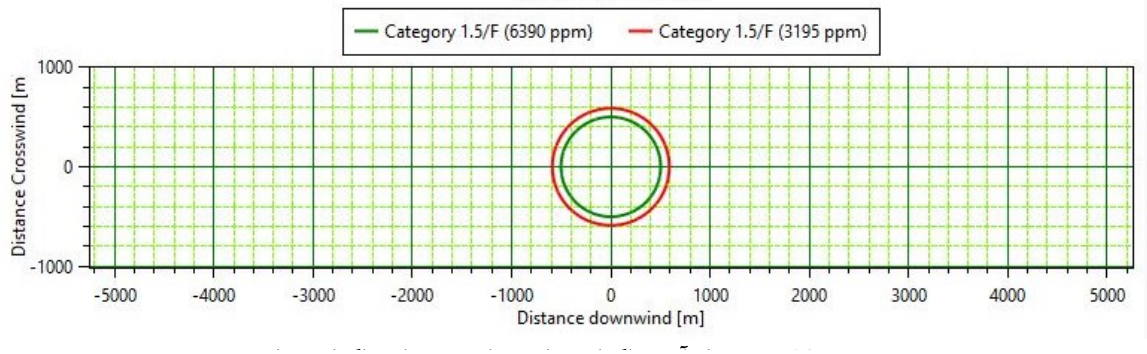
امتیاز تعدیل‌شده آسیب‌پذیری تهدید محیطی	درجه آسیب‌پذیری تهدید محیطی
۱-۲۰	۱
۲۱-۴۰	۲
۴۱-۶۰	۳
۶۱-۸۰	۴
۸۱-۱۰۰	۵

تهدید وارد می‌شوند تا به یک مقدار مشخص از شاخص تهدید برای هر کاربری برسند.

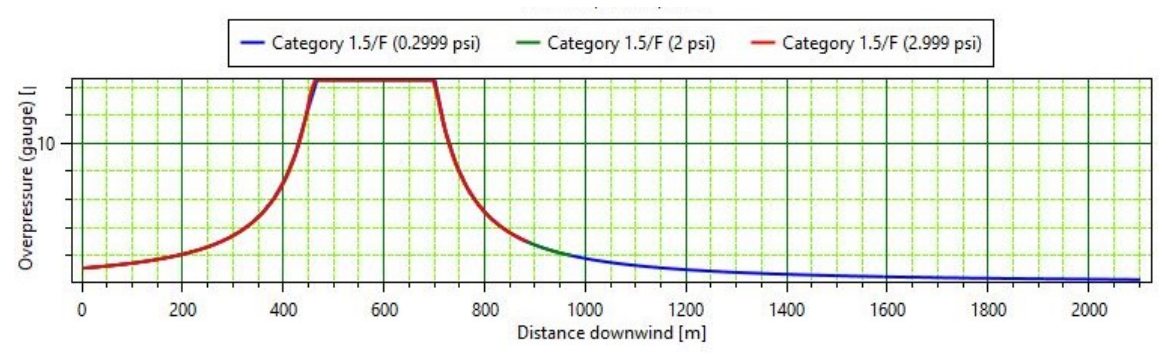
نتایج مربوط به سطح شدت تهدید

الف- نتایج حاصل از سناریوی تخلیه ناگهانی مواد

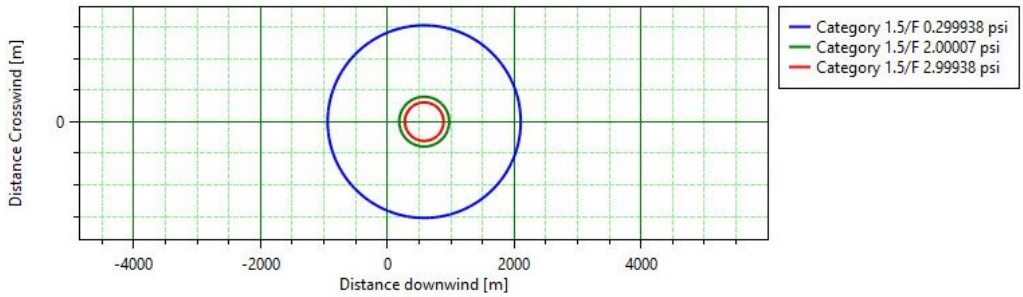
طبق این سناریو و با توجه به حجم مخزن هر دو جایگاه که ۴۵۰۰۰ لیتر بوده است و استفاده از مدل TNT برای انفجار آن، در ابتدا انفجاری رخ نمی‌دهد. تنها پیامد در این حالت آتش ناگهانی است. نمودار آتش ناگهانی برای این سناریو در شکل ۴ ارائه شده است.



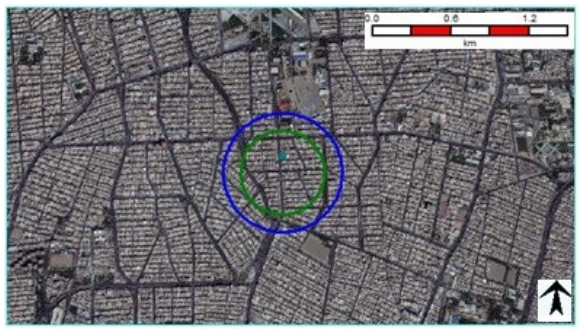
شکل ۴. نمودار آتش ناگهانی برای سناریوی تخلیه ناگهانی مواد



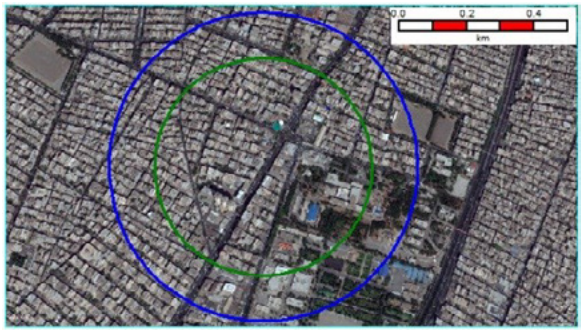
شکل ۵. نمودار میزان افزایش فشار ناشی از انفجار سناریوی تخلیه ناگهانی مواد پس از گذشت مدت‌زمانی از شروع حادثه در بدترین حالت



شکل ۶. نمودار مسافت‌های پوشش داده‌شده توسط مقادیر مشخص افزایش فشار



شکل ۷: عکس هوائی مربوط به موج انفجار در جایگاه شماره ۱۱۰



شکل ۸: عکس هوائی مربوط به موج انفجار در جایگاه شماره ۱۵۵

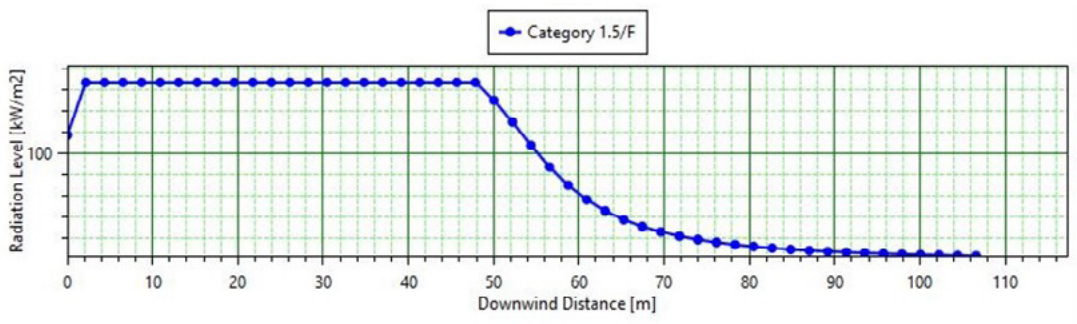
نمودار آتش ناگهانی حاصله در تصویر ۶ روی محور افقی فاصله از منبع رهایش در جهت باد و روی محور عمودی فاصله از منبع رهایش در جهت عمود بر باد و موازی با سطح زمین را نشان می‌دهد. اعداد ارائه شده در بالای تصویر حدود اشتعال‌پذیری را برای این ماده نشان می‌دهند. با توجه به این تصویر محدوده‌ای به شعاع ۶۰۰ متر دارای غلظتی کمتر از نصف حد پایین اشتعال‌پذیری است و محدوده‌ای به شعاع ۵۰۰ متر که با رنگ سبز مشخص شده است، غلظتی بیش‌ازحد اشتعال‌پذیری دارد.

نمودار میزان افزایش فشار ناشی از انفجار در شکل ۵ نشان می‌دهد که افزایش فشار تا نزدیک Psi ۳ با شعاع نزدیک ۹۰۰ متر از مرکز انفجار وجود دارد، پس‌ازآن تا حدود شعاع ۹۸۰ متر در جهت باد افزایش فشار Psi ۲ ملاحظه و سپس میزان افزایش فشار تا نزدیک ۰/۳ با شعاع ۲۰۰۰ متری مشاهده می‌شود که در شعاع نزدیک به ۲۱۰۰ متر این مقدار به صفر می‌رسد. در شکل ۶ با توجه به سطوح مختلف افزایش فشار که می‌توانند هنگام تعریف کردن مدل، تعیین شوند، فواصلی که حداقل افزایش فشار در آن‌ها برابر با مقادیر مطلوب است، از نمای بالا و رنگ متمایز مشخص می‌شوند.

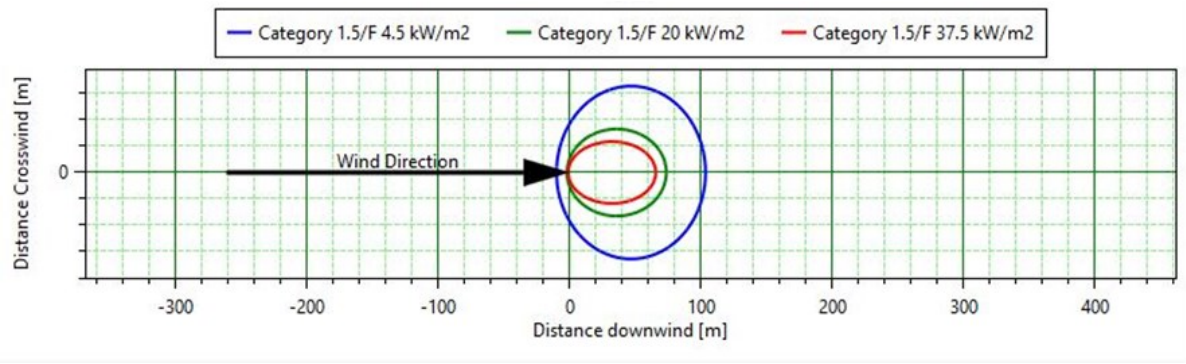
مطابق با شکل‌های ۷ و ۸، برای تحلیل بهتر نتایج و تعیین کیفی نقاط تحت تأثیر موج انفجار می‌توان با رعایت مقیاس مناسب، نتایج حاصل را بر روی نقشه هوائی محل مورد نظر رسم کرد. مرز محدوده‌های جغرافیائی که حداقل افزایش فشار در آن‌ها برابر با مقادیر مطلوب است، از نمای بالا و رنگ متمایز مشخص شده‌اند. با توجه به نمودارهای حاصل در این بخش مشاهده می‌شود که نهایت شعاع آسیب زنندگی انفجار در این سناریو ۳۹۴ متر (برای میزان موج انفجار Psi ۳ که حد پائینی برای ایجاد خسارت جدی به ساختمان‌هاست) و ۱۵۲۱ متر (برای میزان موج انفجار Psi ۰/۳ که در آن ۱۰ درصد شیشه‌ها شکسته می‌شوند) از محل وقوع انفجار است.

ب- نتایج حاصل از سناریوی نشت

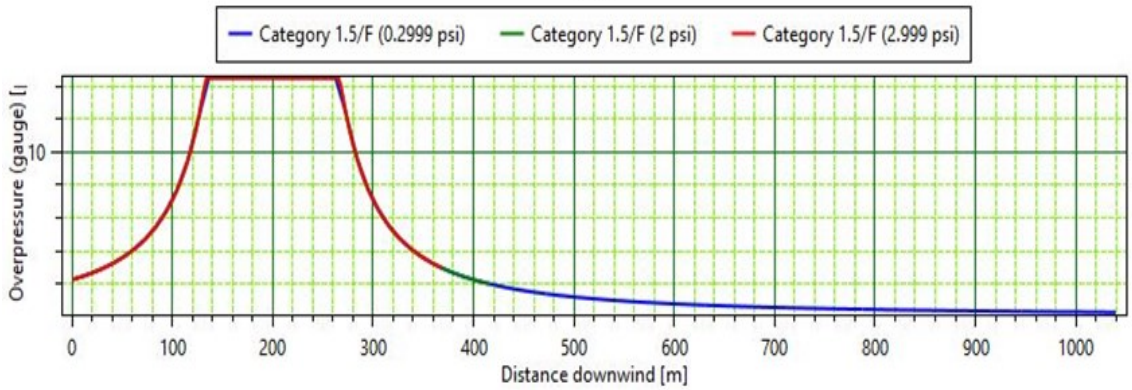
در این سناریو آتش فورانی[۱۳]، انفجار[۱۴] و آتش ناگهانی[۱۵] رخ می‌دهد و هیچ‌گونه آتش استخری[۱۶] تشکیل نمی‌شود. نتایج این سناریو در شکل‌های ۹ تا ۱۵ آمده است. به دلیل در نظر گرفتن بدترین حالت پیامد جهت به دست آوردن اعداد پیامد هم‌جواری‌ها، با بررسی نمودارهای حاصل از هر دو سناریو، مشاهده می‌شود که پیامدهای انفجار سناریوی تخلیه ناگهانی مواد بیشتر و شعاع آن گسترده‌تر از سناریوی نشت است؛ بنابراین اعداد شدت پیامد بر اساس سناریوی تخلیه ناگهانی مواد محاسبه می‌شوند.



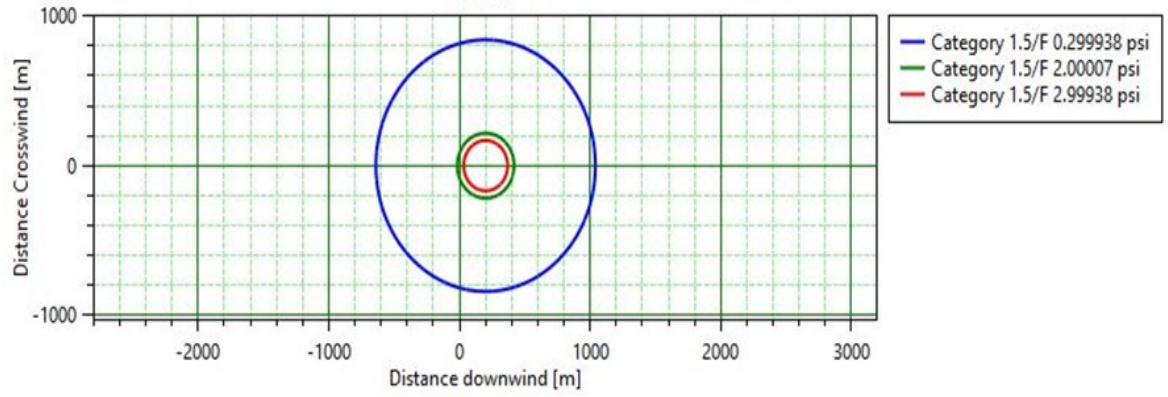
شکل ۹. نمودار تابش حرارتی برحسب فاصله برای سناریوی نشت (پیامد آتش فورانی)



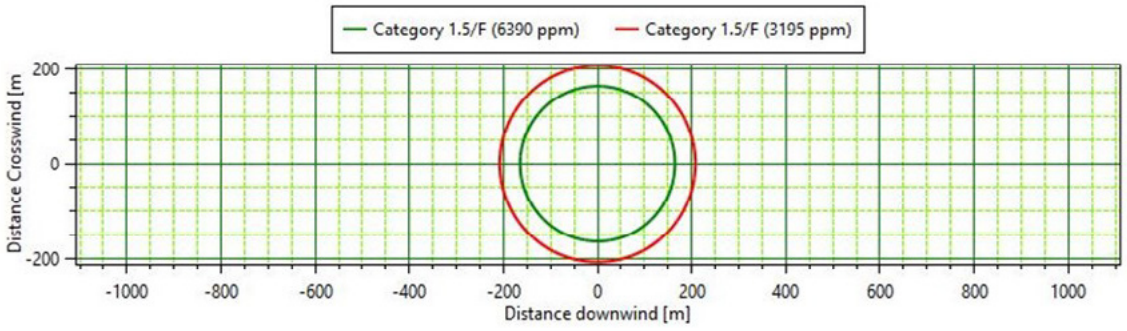
شکل ۱۰. نمودار مسافت پوشش داده‌شده توسط سطوح مختلف شدت تابش حرارتی در آتش فورانی (سناریوی نشت)



شکل ۱۱. نمودار میزان افزایش فشار ناشی از انفجار سناریوی نشت پس از گذشت مدت‌زمانی از شروع حادثه در بدترین حالت

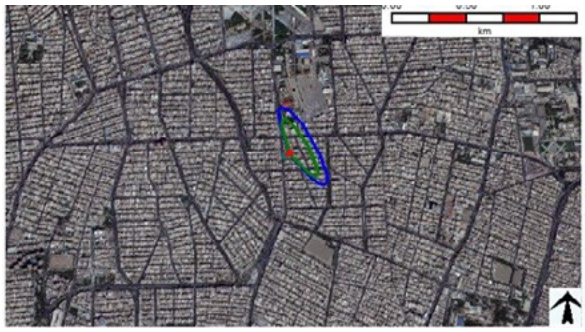


شکل ۱۲. بدترین حالت در پیامد انفجار با سناریوی نشت پس از گذشت مدت‌زمانی از شروع حادثه



شکل ۱۳. نمودار آتش ناگهانی برای سناریوی نشت

شکل ۱۴. عکس هوائی مربوط به پیامد آتش ناگهانی با سناریوی نشت در جایگاه شماره ۱۱۰



شکل ۱۵. عکس هوائی مربوط به پیامد آتش ناگهانی با سناریوی نشت در جایگاه ۱۵۵

جدول ۶. ماتریس شاخص تهدید [۹]

درجه شدت پیامد بر روی کاربری	آسیب‌پذیری تهدید محیطی (درجه حساسیت کاربری)				
	1	2	3	4	5
1	1	1	2	3	4
2	1	2	3	3	4
3	2	3	4	4	5
4	3	3	4	4	5
5	3	4	4	5	5

در شکل‌های شماره ۹ و ۱۰ مربوط به آتش فورانی دو نوع نمودار ارائه شده است. در شکل ۱۰ شدت تابش حرارتی برحسب فاصله از منبع رهایش نشان داده می‌شود. محور افقی این نمودار فاصله از منبع رهایش در جهت باد و محور عمودی آن شدت تابش حرارتی را نشان می‌دهد. تا شعاع ۶۵/۲ متر تابش حرارتی بیش از ۳۷/۵ Kw/m۲ ملاحظه می‌شود و تا شعاع ۷۳ متری شدت تابش حرارتی بیش از ۲۰ Kw/m۲ و در فواصل بیش از ۱۰۲ متر از مرکز حادثه شدت تابش حرارتی به کمتر از ۴/۵ Kw/m۲ (ایجاد درد در افرادی که حداقل ۲۰ ثانیه در معرض آن هستند، سوختگی درجه اول) می‌رسد. شکل ۹ سطوح مختلف تابش حرارتی تعیین‌شده در هنگام تعریف مدل برای آتش فورانی را به‌صورت محدوده‌هایی برحسب فاصله نشان می‌دهد. در این نمودار پس از مشخص شدن شدت‌های تشعشع مطلوب (با امکان تعیین سه سطح تشعشع مختلف) محدوده‌های جغرافیایی که حداقل شدت تشعشع در آن‌ها برابر با مقادیر مطلوب است، از نمای بالا و رنگ متمایز مشخص می‌شوند.

نتایج مربوط به شاخص تهدید هر کاربری

جهت یافتن عدد شاخص تهدید برای هر کاربری، از ماتریس شاخص تهدید ارائه شده در جدول ۶ استفاده می‌شود. به دلیل اینکه موضوع این تحقیق مدل‌سازی مکانی است، این فرایند در نرم‌افزار Arc GIS انجام می‌شود؛ یعنی ابتدا جدول آسیب‌پذیری تهدید محیطی تکمیل و اعداد آسیب‌پذیری برحسب مقیاس پنج رتبه‌ای به دست می‌آیند و سپس به جدول اطلاعات توصیفی لایه‌ی کاربری‌ها اضافه می‌شود.

با توجه به اعداد استخراج‌شده از ماتریس شاخص تهدید جدول شماره ۳، استقرار کاربری در محل فعلی و جدید با استفاده از جدول ۷ به دست می‌آید.

سپس هر مقدار به یک سلول خاص GIS در منطقه مورد نظر اختصاص می‌یابد و درنهایت لایه مورد نظر طبق نتایج این ستون رنگ‌آمیزی می‌شود و نقشه شاخص تهدید برای محدوده مورد نظر به دست می‌آید.

جدول ۷. استقرار کاربری‌های موجود و جدید با توجه به عدد شاخص تهدید

عدد شاخص تهدید	کاربری‌های موجود	کاربری‌های جدید
۱ (رنگ سفید)	استقرار کاربری در محل فعلی قابل‌قبول بوده و شرایط عادی است. ادامه شرایط فعلی برای کاربری از بعد جمعیت، زیرساخت و ابنیه و فعالیت بلامانع است. در صورت ایجاد و تغییر در هرکدام از شاخص‌های موجود در این حوزه‌ها باید ارزیابی مجدد انجام شود.	استقرار کاربری در محل مورد نظر مانعی ندارد. به شرطی که خصوصیات بیان‌شده در طرح توجیهی و نقشه‌ها، کاملاً دقیق اجرا شود و بهره‌برداری از کاربری نیز بر اساس شرایط توصیف‌شده برای ارزیابی باشد. به این معنی که میزان آسیب‌پذیری کاربری افزایش نیابد.
۲ (رنگ زرد)	استقرار کاربری در محل فعلی قابل‌قبول مشروط است. باید اقداماتی در جهت کاهش آسیب‌پذیری کاربری بر روی شاخص‌های موجود صورت گیرد تا میزان آسیب‌پذیری کاهش‌یافته و وضعیت ۱ برقرار شود.	استقرار کاربری در محل مورد نظر به‌شرط ایجاد تغییراتی در شاخص‌های موجود و حرکت به سمت میزان آسیب‌پذیری پایین‌تر در طرح‌ها، نقشه‌ها و شرایط بهره‌برداری مانعی ندارد.
۳ (رنگ نارنجی)	استقرار کاربری در محل فعلی غیرقابل‌قبول ولی قابل‌تحمل است و باید اقداماتی در رابطه با کاهش آسیب‌پذیری کاربری صورت گیرد تا میزان حساسیت کاهش یابد. این اقدامات باید در عرض یک سال پس از ارزیابی و ابلاغ صورت گیرد.	استقرار کاربری در محل مورد نظر مورد تأیید نیست و کاربری باید به خارج از محدوده هم‌جوار منتقل شود.
۴ (رنگ قرمز)	استقرار کاربری در محل فعلی غیرقابل‌قبول و غیرقابل‌تحمل است و باید محل استقرار کاربری را جابجا نمود. این جابجایی می‌تواند در داخل محدوده‌ی هم‌جوار باشد، به شرطی که ارزیابی‌ها قبل از استقرار در مکان جدید صورت گیرد و محل جدید شاخص تهدید پایین‌تری داشته باشد.	استقرار کاربری د محل مدنظر مورد تأیید نیست و کاربری باید به خارج از محدوده هم‌جوار منتقل شود.
۵ (رنگ بنفش)	استقرار کاربری در محل فعلی کاملاً خطرناک، غیرقابل‌قبول و غیرقابل‌تحمل است و باید برنامه‌ریزی لازم برای انتقال هرچه سریع‌تر کاربری به خارج از محدوده هم‌جوار صورت گیرد.	استقرار کاربری در محل مورد نظر به‌هیچ‌وجه مورد تأیید نیست و کاربری باید به خارج از محدوده هم‌جوار منتقل شود.

شکل ۱۶. نقشه نهایی شاخص تهدید

نتیجه‌گیری

تجزیه‌وتحلیل تهدید برای تأسیسات صنعتی خطرناک، به‌عنوان رویکردی را برای برنامه‌ریزی استفاده از زمین با آگاهی از تهدید، تفسیر شفاف و قابل‌درک تهدید در راستای اهداف برنامه‌ریزی استفاده از زمین امکان‌پذیر می‌کند. این نتایج با موفقیت نتایج تجزیه‌وتحلیل ارزیابی ریسک کمی را با تجزیه‌وتحلیل آسیب‌پذیری محیطی ترکیب می‌کند. یک نقشه شاخص تهدید ممکن است به‌عنوان پشتیبان درروند بازنگری طرح استفاده از زمین در اطراف تأسیسات خطرناک موجود و به‌عنوان راهنمایی برای توسعه یک طرح جدید یا یافتن مکان مناسب برای یک پروژه توسعه پیشنهادی باشد. اگر گزینه‌های سایت برای تخصیص نصب خطرناک صنعتی وجود داشته باشد، می‌توان از نتایج شاخص تهدید برای ارزیابی اینکه کدام گزینه می‌تواند کمترین تهدید را ایجاد کند، استفاده شود.

همان‌طور که در شکل ۱۶ ملاحظه می‌شود، اغلب کاربری‌های واقع‌شده در حلقه‌ی اول پیامدها دارای عدد شاخص تهدید ۴ یا ۵

هستند که این موضوع به دلیل وجود عدد پیامد ۵ در این محدوده است و طبق جدول ۶ با وجود عدد پیامد ۵ (سطح شدت تهدید) برای یک کاربری هرچقدر هم که میزان آسیب‌پذیری کاربری مدنظر کم باشد، بازهم میزان شاخص تهدید، عددی را میان ۳ تا ۵ (که مقدار کمابیش زیادی است) به خود اختصاص می‌دهد؛ بنابراین باید هرچه بیش‌تر در پی کاهش میزان آسیب‌پذیری کاربری‌های هم‌جوار مرکز پرخطر و یا افزایش فاصله آن‌ها از مرکز پرخطر بود. در جدول ۸ اولویت مکانی هم‌جواری‌های یک پمپ‌بنزین ارائه شده است. شایان‌ذکر است که طبقه‌بندی ارائه‌شده در جدول زیر حاصل مدل‌سازی بکار گرفته‌شده در پژوهش بوده و در صورت عدم رعایت حریم عنوان‌شده، رعایت اقدامات حفاظتی و مدیریت بحران الزامی است.

پی‌نوشت

1 Generic separation distances approach

2 Risk based approach

3 Consequence-based approach

4 Risk-informed land use planning

5 Quantitative Risk Assessment (QRA)

6 Azot de France

7 Buncefield oil storage depot

8 Landuse Planning

9 Threat index

10 Threat intensity level

11 Environmental threat vulnerability

12 Unified Dispersion Model

۱۳ Jet fire: آتش فورانی، باریکه ممتدی از آتش است که در اثر تخلیه مواد قابل اشتعال گازی یا مایعات فرار تحت‌فشار با سرعت‌بالا به محیط بیرون در حضور منبع جرقه به وجود می‌آید.

۱۴ Explosio: انفجار عبارت است از آزاد شدن ناگهانی و فاجعه‌آمیز انرژی که سبب ایجاد موج فشار می‌شود. این موج فشار را اصطلاحاً Blast wave می‌گویند.

۱۵ Flash fire: احتراق کوتاه‌مدت گازهای قابل اشتعالی که در محدوده اشتعال‌پذیری قرار دارند را آتش ناگهانی می‌گویند. این آتش بدون تشکیل موج انفجار ایجاد می‌شود.

۱۶ Pool fire: در اثر شکستگی در خطوط لوله و مخازن ذخیره حاوی مایعات قابل اشتعال و تخلیه در صورت تجمع، حوضچه‌ای از سیال را تشکیل می‌دهند. درصورتی‌که سیال تجمع یافته قابل اشتعال باشد، از طریق جذب گرما به‌تدریج شروع به تبخیر می‌کند و ابر گازی در اطراف محل نشتی ایجاد می‌شود. درصورتی‌که بخارهای ناشی از تبخیر در مسیر انتشار به منبع جرقه برسند، مشتعل شده و شعله‌های حاصل از این آتش‌سوزی به‌صورت حوضچه‌ای (استخری) تشکیل می‌شود.

جدول ۸: اولویت مکانی هم‌جواری‌های یک پمپ‌بنزین

کاربری / پیامد	۰-۸۸۶ متر (تجهیزات اصلی آسیب غیرقابل‌جبران می‌بینند)	۸۸۶-۹۷۵ متر (ایجاد خسارات قابل جبران، فروریختن سازه‌های سبک)	۹۷۵-۲۱۰۳ متر (آسیب جزئی به ساختمان‌ها)	۲۱۰۳- بی‌نهایت متر (ایمن)
مسکونی	ممنوع	ممنوع	مشروط	مجاز
آموزشی	ممنوع	ممنوع	مشروط	مجاز
تجاری	ممنوع	مشروط	مشروط	مجاز
شبکه معابر	مشروط	مشروط	مجاز	مجاز
مذهبی	ممنوع	ممنوع	مشروط	مجاز
فرهنگی	ممنوع	مشروط	مشروط	مجاز
جهانگردی- پذیرائی	ممنوع	ممنوع	مشروط	مجاز
درمانی	ممنوع	ممنوع	مشروط	مجاز
بهداشتی	ممنوع	ممنوع	مشروط	مجاز
ورزشی	ممنوع	ممنوع	مشروط	مجاز
اداری- انتظامی	ممنوع	ممنوع	ممنوع	مجاز
باغات	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
اراضی کشاورزی و مزارع و کشتزارها	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
اراضی و فضای سبز تجهیز شده	مشروط	مشروط	مشروط	مجاز
اراضی سبز حفاظت‌شده	مشروط	مشروط	مشروط	مجاز
مناطق نظامی	ممنوع	ممنوع	ممنوع	مجاز
صنعتی و کارگاهی	ممنوع	ممنوع	مشروط	مجاز
تأسیسات و تجهیزات شهری	ممنوع	مشروط	مشروط	مجاز
حمل‌ونقل و انبارداری	ممنوع	مشروط	مشروط	مجاز
اراضی بایر	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
فضای باز و حریم	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
کاربری‌های عملکرد ویژه	ممنوع	ممنوع	ممنوع	مجاز

منابع

۱. حسینی، سید احمد، مدیری مهدی و هوشنگ، محمدمهدی (۱۳۹۱)، ارزیابی نحوه پراکنش و چگونگی دسترسی شهروندان به خدمات اضطراری در حوادث انسان‌ساخت با رویکرد پدافند غیرعامل، نشریه پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، سال دوم، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۱، صص ۱۹۲-۱۷۳.

۲. حسینی، سید احمد، احد نژاد، محسن، مدیری، مهدی و کاملی، محمدجواد (۱۳۹۲)، ارزیابی کیفیت نواحی شهری با توجه به توزیع خدمات شهری در بحران‌های انسان‌ساخت با رویکرد پدافند غیرعامل (نمونه موردی: نواحی شهر تهران)، برنامه‌ریزی فضایی سال سوم تابستان، شماره ۲ (پیاپی ۹)

۳. امینی ورکی، سعید؛ مدیری، مهدی؛ شمسایی، فتح‌الله و قنبری نسب، علی (۱۳۹۳)، شناسایی دیدگاه‌های حاکم بر آسیب‌پذیری شهرها در برابر مخاطرات محیطی و استخراج مؤلفه‌های تأثیرگذار در آن با استفاده از روش کیو، نشریه مدیریت بحران، دوره ۳، ویژه‌نامه هفته پدافند غیرعامل، پاییز و زمستان

۴. سیدی، میر داوود (۱۳۹۰)، الزامات پدافند غیرعامل در کاربری‌های هم‌جوار انبارهای نفت (مطالعه موردی: انبار نفت شمال شرق تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

5. Paül, V. & McKenzie, F. (2013). Peri-urban farmland conservation and development of alternative food networks: Insights from a case-study area in metropolitan Barcelona (Catalonia, Spain). Land Use Policy, 30(1), 94-105.

۶. یاری، سعید (۱۳۹۴)، طراحی ذاتاً ایمن در ساخت پمپ‌بنزین‌های شهری، مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، دوره ۳، شماره ۲.

۷. مدیری، مهدی؛ مدیری، احسان (۱۳۹۱)، راهبردهای مشارکت نیروهای مسلح در حوادث غیرمترقبه، فصلنامه راهبرد دفاعی، سال دهم، شماره ۳۹.

۸. ولی پور، معصوم؛ بهرامی، معصومه؛ رحیم‌آبادی، ابوالفضل و کریمی، احمد (۱۳۹۳)، مکان‌یابی پمپ‌بنزین‌های شهر بروجرد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فصل‌نامه جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس ۱۷۹-۱۶۱، (۲۰)۶.

9. Kontić, D. & Kontić, B. (2009). Introduction of threat analysis into the land-use planning process. Journal of Hazardous Materials, 163(2-3), 683-700.

10. Ramírez-Camacho, J. Carbone, F. Pastor, E. Bubbico, R. & Casal, J. (2017). Assessing the consequences of pipeline accidents to support land-use planning. Safety Science, 97, 34-42.

11. Demichela, M. Pilone, E. & Camuncoli, G. (2014). Land use planning around major risk installations: from EC directives to local regulations in Italy. Land Use Policy, 38, 657-665.

12. Rahmawati, D. Pamungkas, A. Aulia, B. Larasati, K. Rahadyan, G. & Dito, A. (2016). Participatory Mapping for Urban Fire Risk Reduction in High-density Urban Settlement. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 227, 395-401.

13. Pilone, E. Mussini, P. Demichela, M. & Camuncoli, G. (2016). Municipal emergency plans in Italy: requirements and drawbacks. Safety Science, 85, 163-170

۱۴. مهدی زاده، محمدحسین؛ سیدی، میر داوود (۱۳۹۵)، تعیین حریم ایمن برای جایگاه‌های عرض گاز طبیعی فشرده CNG در شهرها، دومین همایش سراسری مباحث کلیدی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی ایران، گرگان.

۱۵. میر داوود، سیدی؛ مدیری، مهدی؛ حسینی جناب، وحید (۱۳۹۴)، بررسی جایگاه برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مدیریت ریسک تأسیسات پرخطر بر اساس سناریوی وقوع حوادث عظیم در آن‌ها. هفتمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران. تهران.

۱۶. یعقوب زاده، نوید؛ بالارستاقی، فاطمه (۱۳۹۴)، مکان‌یابی بهینه جایگاه‌های عرضه سوخت پمپ‌بنزین مطالعه موردی: شهر گرگان، اولین همایش ملی علوم زمین و توسعه شهری، تبریز

۱۷. لنگری، مبین؛ شامحمدی، ابراهیم؛ رشتچیان، داوود (۱۳۸۹)، آنالیز نرم‌افزارهای مدل‌سازی پیامد PHAST و ALOHA. نخستین همایش بین‌المللی بازرسی و ایمنی در صنایع نفت و انرژی، تهران.

۱۸. یعقوب زاده، نوید؛ کتانچی، مهرزاد (۱۳۹۴)، مکان‌یابی بهینه جایگاه‌های عرضه سوخت پمپ‌بنزین مطالعه موردی: شهر بندرگز، کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران.

۱۹. نیری، هادی؛ کرمی، محمدرضا؛ سوری، محمود (۱۳۹۸)، مکان‌یابی مراکز امداد و نجات در شهرستان نهاوند با استفاده از مدل فازی- ای اچ پی FAHP، نشریه مدیریت مخاطرات محیطی، دوره ۶، شماره ۲

ارائـه مـدل ریاضـی به‌منظـور طراحـی شـبکه سلسـله مراتبـی تسـهیلات اضطـراری موقـت در شـرایط بحـران

سوگل موسوی: دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
سید مجتبی سجادی *: دانشیار، گروه کسب و کار، دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، Email: msajadi@ut.ac.ir
اکبر عالم تبریز: استاد، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
سید اسماعیل نجفی: استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۹

چکیده

طراحی تسهیلات سلامت از دیرباز یکی از مهم‌ترین موضوع‌های مورد توجه برنامه‌ریزان حوزه سلامت بوده است. در هنگام بحران به‌منظور امدادرسانی به مصدومان، شبکه سلامت شامل مجموعه‌ای از درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها فعالیت می‌کند. هدف این تحقیق تشکیل ساختاری سلسله مراتبی در راستای ارائه خدمت به مصدومان با افزودن مراکز اضطرار موقت درمان به شبکه مزبور، برای جلوگیری از هجوم و ازدحام مصدومان در دو سطح درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها است. در این مقاله از روش برنامه‌ریزی چند هدفِ خطی آمیخته با اعداد صحیح استفاده شده است. برای حل مدل، نرم‌افزار بهینه‌ساز GAMS، به‌کاررفته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مدل سلسله مراتبی نسبت به مدل ساده، سبب کاهش ازدحام جمعیت در بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها در هنگام بحران می‌شود. در این مدل ضمن بهینه شدن هزینه ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت، زمان و مسافت طی شده برای انتقال مصدومان کمینه شده است. با استفاده از مدل پیشنهادی بهترین مکان‌ها جهت تأسیس مراکز اضطرار درمان از بین نقاط منتخب و سپس نحوه تخصیص بهینه مصدومان به‌طور سلسله مراتبی از نواحی شهری به مراکز درمان اضطرار و ازآنجا به درمانگاه‌ها و درنهایت به بیمارستان‌ها مشخص می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *ساختار سلسله مراتبی، مراکز درمان اضطرار موقت، مدل‌سازی ریاضی، مدیریت بحران*

A Novel Mathematical Model for Designing of Hierarchical Temporary Emergency Facilities Network in Disaster Situation

Sogol Mousavi [1], Seyed Mojtaba Sajadi*[2], Akbar AlemTabriz [3], Seyed Esmaeil Najafi[4]

Abstract:

Designing health facilities has long been one of the most important issues for health planners. During the disaster, the health network, which includes a set of clinics and hospitals, are activated to help the injured people. The purpose of this study is to add temporary emergency treatment centers to the network, in order to prevent the influx and overcrowding at the two levels of clinics and hospitals during the disaster and to create a hierarchical structure to serve the casualties. In this paper, a mixed linear integer programming with integers is used. Gams optimization software was used to solve the model. The results showed that the hierarchical model reduced the crowding in hospitals and clinics during disaster compared to the simple model. In this model, while optimizing the cost of setting up emergency treatment centers, the time and distance traveled for casualties are minimized. Using the proposed model of the best places to establish emergency treatment centers among the selected candidate points and then the optimal allocation of injuries is determined hierarchically from city areas to temporary emergency treatment centers, and from there to clinics and ultimately to hospitals.

Keywords: *Hierarchical Structure, Temporary Emergency Treatment Centers, Mathematical Modeling, Disaster Management*

1Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2*New Business Department, Faculty of Entrepreneurship, University of Tehran, Tehran, Iran, msajadi@ut.ac.ir
3Department of Industrial Management, Management and Accounting Faculty, Shahid Beheshti University G.C., Tehran, Iran
4Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

مقدمه

بحران‌های ناشی از بلایای طبیعی یکی از موانع اصلی توسعه پایدار است. عدم آمادگی و مقابله مناسب کشورها در این رابطه تلفات و خسارات سنگینی را به ملت‌ها و دارائی‌های آن‌ها وارد نموده که گاهی جبران‌ناپذیر است. مدیریت بحران، بر چهار رکن اساسی پیشگیری، آمادگی، مقابله و بازسازی استوار است. عملیات مربوط به دو فاز پیشگیری و آماده‌سازی قبل از وقوع حادثه انجام می‌شوند که هدف آن جلوگیری از پیشروی اثرات نامطلوب حادثه است. زمانی که بحران رخ می‌دهد دو فاز مقابله و بازسازی به مرحله اجرا درمی‌آیند. جهت برنامه‌ریزی مناسب برای مقابله با بحران، نیاز به طراحی مناسبی از یک شبکه سلامت خواهیم داشت. درزمینه طراحی شبکه تسهیلات سلامت مفاهیمی مانند تعیین مکان بهینه، تخصیص آن تسهیلات به مناطق جمعیتی، ظرفیت هرکدام، برنامه‌ریزی منابع انسانی مورد نیاز در هریک از تسهیلات فعال‌شده و سایر موارد ازجمله مهم‌ترین مفاهیمی هستند که استفاده از آن‌ها افزایش قابلیت اطمینان شبکه سلامت، کاهش هزینه‌های سیستم، افزایش رضایتمندی مصدومان و نیروهای انسانی موجود، جلوگیری از احداث تسهیلات در مکان‌های نامناسب، بهره‌گیری کامل از تمام ظرفیت و اهدافی دیگر را به همراه خواهد داشت و استفاده از آن‌ها کمک بسزایی در یک برنامه‌ریزی شبکه سلامت به‌منظور کاهش اثر بحران با کمترین تلفات جانی خواهد داشت [۱].

هدف اصلی سیستم خدمات اضطراری[۱] ارائه پاسخی به موقعیت‌های اضطراری است. مدل‌های طراحی‌شده برای حل مشکلات مکان‌یابی مربوط به این سیستم‌ها، زمان و مسافت لازم برای برآورده شدن درخواست خدمات اضطرار بین نقاط تقاضا، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها را به حداقل می‌رسانند [۲]. در موارد اضطراری، اگر نزدیک‌ترین مرکز درمان موقت در زمان بروز حادثه مشغول ارائه خدمت باشد، مصدومان خدمات فوری دریافت نمی‌کنند. مکان‌یابی تسهیلات اضطراری به‌ویژه در بخش موقت درزمینه‌هایی مانند مدیریت بلایا، توزیع امدادی و تدارکات اضطراری و خدمات اورژانسی وسایل نقلیه مورد مطالعه قرارگرفته است [۳].

بخش مهمی از ادبیات موضوع در مدیریت عملیات امدادی مربوط به تعریف بحران‌های شهری است. ازاین‌رو مکان‌یابی مراکز ارائه خدمات درمانی و بیمارستانی و تخصیص آن‌ها به متقاضیان، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی برنامه ریزان شهری است. دلایل چرایی انجام این تحقیق به‌صورت خلاصه عبارت‌اند از:

- بحران‌های زیادی به‌خصوص زلزله کشور را تهدید می‌کند.
- زیرساخت‌های شهری کشور مناسب نیست. در هنگام بروز حادثه، به علت زیرساخت‌های نامناسب شهری مانند راه‌های دسترسی، واقع‌شدن ساختمان‌ها در مناطق زلزله‌خیز، عدم توجه به‌اندازه نامناسب خیابان‌ها و کوچه‌ها، رسیدگی به‌موقع به مصدومان دشوار است.
- ناهمگونی توزیع مراکز درمانی و جمعیت در شهرها از دیگر عوامل نیاز به مراکز اضطرار درمان است. تعداد مراکز درمانی در بعضی از نقاط بیشتر از قسمت‌های دیگر و نامتناسب با پراکندگی جمعیت شهری است.
- ظرفیت مراکز درمان محدود است و در زمان بروز حادثه تعداد زیادی از مصدومان به مراکز درمان منتقل می‌شود که خود باعث اخلال در نوع رسیدگی به مصدومان با اولویت بالاتر خواهد بود.
- بنابراین در هنگام بروز حادثه، ستاد بحران نیازمند آن است که به‌صورت متمرکز مدیریت عملیات امداد و نجات را بر عهده گیرد و بتواند عکس‌العمل سریع‌تری را نشان دهد. درنتیجه به‌طورکلی نیازمند دو راهکار است: (الف) ایجاد مراکزی جهت غربالگری که مصدومان قبل از اعزام به مراکز درمانی، ازاین‌رو در این مقاله به مکان‌یابی این مراکز پرداخته می‌شود. (ب) نحوه تخصیص مصدومان به‌صورت سلسله مراتبی مشخص شود. به عبارتی پوشش نواحی شهری توسط مراکز اضطرار موقت مربوطه تعیین شود و پس از درمان و غربالگری اولیه، مصدومانی که نیازمند دریافت خدمات بیشتری هستند به درمانگاه‌ها و یا بیمارستان‌ها به‌صورت بهینه منتقل شوند.

مطالعه و بررسی تحقیقات و پژوهش‌های قبلی صورت گرفته درزمینه مراکز اضطرار موقت درمان در هنگام بحران و موضوعات مشابه نشان می‌دهد که معیارهای اصلی و رایج در بیشترین ادبیات موضوع، امدادرسانی در زنجیره تأمین مواد به آسیب دیدگان است؛ بنابراین تمایز این تحقیق نسبت به تحقیقات دیگر، تمرکز بر احداث مراکز اضطرار موقت درمان به‌صورت سلسله مراتبی و استفاده از نقاط پوشش چندگانه برای درمان افراد حادثه دیده است.

پیشینه تحقیق

در ادامه، مرور مقالاتی مورد بررسی قرار گرفته است که به بررسی طراحی شبکه سلامت اضطرار درمان و مکان‌یابی سیستم‌های اضطرار در زمان قبل و پس از بحران پرداخته‌اند.

در مطالعه گندروا و همکاران، آرایش مجدد مکان تسهیلات اورژانسی در زمان دلخواه بررسی شده است [۳]. ترو-دیاز و همکاران مدلی را پیشنهاد دادند که تصمیمات مکان‌یابی و اعزام را باهم ترکیب می‌کند. در این مدل ریاضی، مکان‌یابی و تخصیص به‌صورت هم‌زمان انجام شده و ویژگی‌هایی مانند سیستم صف و پدیده ازدحام در نظر گرفته شده است [۴]. ساهین و سورال مروری بر مدل‌های مکان‌یابی سلسله مراتبی تسهیلات داشتند [۵]. فراهانی و همکاران مدلی را با در نظر گرفتن احتمال خرابی تسهیلات توسعه دادند که در آن یک سلسله‌مراتب تسهیلات به‌منظور بیشینه‌سازی کل تقاضای تحت پوشش مکان‌یابی شده‌اند [۵]. در پژوهشی که توسط پائول و همکاران انجام شد، فرآیندی سلسله مراتبی چند هدفِ برای مسئله مکان‌یابی بیشترین پوشش جمعیت در یک فاز پاسخ بررسی شده است، درحالی‌که تغییرات در ساختار موجود را به کمترین می‌رساند [۶]. پور علی‌اکبری و همکاران یک مدل مکان‌یابی برای مراکز بهداشتی

انتخاب کرده‌اند. در مدل پیشنهادی آن‌ها، فضا به‌صورت گسسته و هر بیمارستان شامل بخش‌های پایین و سطوح بالا بود. یک ساختار سلسله مراتبی نیز برای نشان دادن مراجعه بیماران از یک سرور سطح پایین به یک سرور سطح بالا استفاده شده است [۷]. موسی زاده و همکاران، یک مدل ریاضی غیرخطی عدد صحیح دو هدفِ مختلط را برای یک مسئله طراحی شبکه خدمات بهداشتی سه سطحی سلسله مراتبی ارائه دادند که هدف این مدل، کمینه کردن هزینه کل استقرار و فاصله کلی وزن بین مناطق بیمار و مراکز بهداشتی است [۸].

یک مدل بهینه‌ساز سه هدفِ برای برنامه‌ریزی پیش از بحران توسط محمدی و جولای انجام شده است. هدف اول بشینه‌سازی مقدار مورد انتظار تقاضای پوشش داده شده، هدف دوم حداقل کردن هزینه‌های کل و هدف سوم کمینه‌سازی اختلاف نرخ پاسخ‌دهی به گره‌ها است [۹]. در تحقیق رضایی و توکلی مقدم، یک مدل ریاضی تصادفی دومرحله‌ای، غیرخطی و یکپارچه را برای پیشگیری در مدیریت بلایا ارائه شد. این مدل، امکان استفاده از مجموعه مسیرهای جایگزین برای هر یک از روش‌های حمل‌ونقل کاربردی را در نظر می‌گیرد [۱۰]. مقاله‌ای توسط مانوپینی و همکاران، به مدل‌سازی ریاضی در جهت بیشینه‌سازی پاسخگویی در فاز پیش و پس از بحران پرداخت که در فاز پیش از بحران در قسمت مکان‌یابی متمرکز شد و در فاز پس از بحران در فاز بهینه‌سازی اقلام مورد نیاز مشخص گردید [۱۱]. کاراتاس و همکاران، تأثیر تسهیلات پشتیبان را مورد بررسی قرار دادند که در آن سیاست‌های مختلف تخصیص تقاضا ارائه و بهترین مکان پشتیبان جهت خدمت‌دهی به مصدومان با توجه به سطوح مختلف سرویس با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی انتخاب شدند [۱۲].

لئو و همکاران با استفاده از حداکثر تعداد بقای مورد انتظار و به حداقل رساندن کل هزینه عملیاتی در استفاده از آمبولانس‌ها و بالگردها، یک مدل ریاضی دو هدفِ را برای تعیین مکان‌های مطلوب سرویس موقت پزشکی و برنامه تخصیص خدمات پزشکی معرفی کردند [۱۳]. معماری و همکاران مطالعه‌ای با هدف تعیین برخی مراکز اضطرار موقت در سراسر منطقه با پوشش بیشینه پس از بحران انجام داده‌اند. برای این منظور، یک مدل پویا و دومنظوره مکان‌یابی-تخصیص و مسیریابی-تخصیص آمبولانس‌ها ارائه شده است. تابع هدف اول هزینه‌های عملیاتی مربوط به خدمات فوریت‌های پزشکی و میزان تلفات انسانی را کاهش می‌دهد. تابع هدف دوم زمان رسیدن آسیب دیدگان به این مراکز را به حداقل می‌رساند [۱۴].

چن و همکاران در مقاله‌ای با هدف طرح‌ریزی زمان‌بندی اورژانس عملیات نجات در بلایای طبیعی، یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی برای اورژانس بر اساس انبارهای متعدد و مکان‌های آسیب‌دیده طراحی کردند. در سطح اول توزیع و در سطح دوم مسیر مناسب در نظر گرفته می‌شود. پس‌ازآن، یک الگوریتم کلونی زنبور عاملی بهبودیافته برای حل مسئله ارائه شده است [۱۵]. در مطالعه قاسمی و همکاران، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط تصادفی، با استفاده از رویکرد برنامه‌نویسی محدودیت شانس برای توزیع لجستیک و برنامه‌ریزی تخلیه در هنگام وقوع زلزله برای قبل و بعد از بحران پیشنهاد شده است.

خواسته‌های تصادفی به‌عنوان ورودی برای مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط تصادفی پیشنهاد شده است [۱۶]. یک الگوی دومرحله‌ای برای اختصاص افراد آسیب‌دیده و تجهیزات پزشکی به مراکز درمانی توسط ماکویی و همکاران انجام شده است. در مرحله اول، یک مدل ریاضی چند هدفِ جهت تخصیص افراد به مراکز و در مرحله دوم، اختصاص منابع پزشکی از نقاط عرضه به مراکز درمانی اختصاص صورت گرفت [۱۷]. اکسوز و ساتوگلو در مقاله‌ای، با هدف تعیین موقعیت و تعداد مراکز درمانی موقت یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای تهیه کردند که هزینه کل مراکز پزشکی موقت و هزینه حمل‌ونقل را به کمترین می‌رساند [۱۸]. چالشی اساسی برای یافتن مراکز توزیع در پی بروز بحران در تعادل بین محدودیت‌های زمانی و منابع است. برای رفع این مشکل، بهارمند و همکاران یک مدل مکان‌یابی- تخصیص ارائه دادند که توپوگرافی مناطق آسیب‌دیده را به چندلایه تقسیم می‌کند. این مدل با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و متناسب با روند کار بشردوستانه است. استفاده از مدل پیشنهادی کاهش هزینه‌های لجستیک تا ۸ درصد بود که می‌تواند در دستیابی به ذینفعان بیشتر و به‌طور بالقوه نجات جان بیشتر افراد کمک کند [۱۹].

مدل‌سازی‌هایی جهت بهبود عملکرد اورژانس‌ها در شرایط متفاوت و عادی توسط محققان صورت گرفته است که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود. طولانی شدن فرایند درمان می‌تواند سبب شود که بیماران سیستم را قبل از اتمام درمان و با رضایت شخصی ترک نمایند. لذا شوندی و همکاران در مقاله خود با مدل‌سازی و زمان‌سنجی خدمات یک مرکز اورژانس و همچنین با در نظر گرفتن سناریوهایی که وجود منابع اضافی را با کمترین هزینه‌ها در نظر می‌گیرد، باعث بهبود فرایند درمان، جلوگیری از ایجاد صفوف طولانی و کاهش ترخیص بیماران با رضایت شخصی آن‌ها شده است [۲۰]. ملکی و همکاران در مقاله‌ای، جریان بهبودیافته فرایند درمان، برای ارائه طراحی مناسبی از فضا، منابع و هزینه‌ها را در بخش اورژانس انجام دادند. این مدل نسبت به مدل قبلی اورژانس سبب طبقه‌بندی مناسب جریان کار و بهبود شاخص‌های عملکردی در اورژانس می‌شود. هم‌چنین با تغییر تعداد منابع و تخت‌ها به‌طور مناسب می‌توان ارائه خدمات به بیماران و نارضایتی‌های آن‌ها را بهبود بخشید [۲۱]. سپهری و همکاران در مقاله‌ای، با استفاده از یک مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی با افزودن دو پرستار در بخش‌های پذیرش و تریاژ، زمان انتظار بیماران را کاهش و کیفیت بهبود را افزایش دادند [۲۲]. در مطالعه شانگ و همکاران، یک چارچوب ارزیابی جهت تعداد بهینه بخش‌های اورژانس در شرایط عملیاتی عادی بر اساس روش درخت حالت پیشنهاد شد [۲۳]. تحقیق مهابادی و همکاران با هدف بررسی پارامترهای مؤثر بر انتظار بیماران در بخش اورژانس خدمات ارتوپدی بخش اورژانس یک بیمارستان انجام شد.

جدول ۱. خلاصه ادبیات موضوع

ردیف	مؤلف	روش حل		محیط مسئله						نوع تابع هدف			تعداد تابع هدف			مرحله مورد بررسی			نوع مدل		خروجی		
		غیر دقیق	دقیق	قطعی	غیر قطعی					کاهش هزینه	بیشترین نقاضا	بشردوستانه	چند هدف	دو هدفه	تک هدف	پیشگیری	آمادگی	پاسخ‌گویی	بازسازی	ساده	سلسله مراتبی	مکان‌یابی	تخصیص	موجودی	طراحی شبکه
		فرا ابتکاری	ابتکاری		بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی	استوار	برنامه‌ریزی تصادفی	فازی	احتمالی																
۱	پائول (۲۰۱۶)	✓							✓	✓			✓					✓			✓	✓			
۲	مانوپینی (۲۰۱۷)		✓						✓	✓		✓	✓				✓	✓		✓		✓		✓
۳	پورعلی‌اکبری (۲۰۱۷)	✓		✓								✓			✓	✓					✓	✓			
٤	موسی‌زاده (۲۰۱۸)					✓		✓		✓				✓				✓			✓				✓
٥	کاراتاس (۲۰۱۸)		✓		✓					✓					✓		✓			✓		✓	✓		
٦	اکسوز (۲۰۲۰)		✓				✓			✓					✓			✓		✓		✓			
۷	محقق (۲۰۲۰)		✓	✓						✓	✓		✓				✓	✓			✓	✓	✓		✓

به‌منظور ایجاد یک مدل شبیه‌سازی، داده‌های موردنیاز بیماران در یک دوره زمانی برای خدمات ارتوپدی جمع‌آوری شده است [۲۴].

در ادامه نیز به برخی از مقالات مروری مکان‌یابی در شرایط بحران پرداخته می‌شود. احمدزاده و همکاران، در پاسخ ستاد فرماندهی عملیات دانشگاه علوم پزشکی البرز در مورد زلزله کرمانشاه در نوامبر ۲۰۱۷ مقاله‌ای مروری نوشتند [۲۵]. شارم و تاتاوارثی در مقاله مروری خود الگوی مناسبی برای سیستم امدادرسانی در برابر حوادث ارائه کردند که می‌تواند به‌عنوان یک برنامه مؤثر برای کمک به قربانیان منطقه آسیب‌دیده با حداقل زمان پاسخگویی استفاده شود [۲۶]. پوخار و همکاران در مقاله‌ای مروری به تئوری و عملکرد مدیریت بحران در شهرهای صنعتی پرداختند. این تحقیق در کلیه مراحل مدیریت بحران و بر چهار موضوع اصلی تسهیلات، منابع، سیستم‌های پشتیبانی و مدل‌سازی متمرکز شده است [۲۷]. صابریان و همکاران در مقاله مروری خود برخی از اطلاعات و یافته‌های سه زمین‌لرزه در ایران ازجمله زمین‌لرزه‌های بم، ورزقان، سرپل ذهاب را بررسی و اقدامات انجام شده توسط خدمات فوریت‌های پزشکی برای آن‌ها را نیز با یکدیگر مقایسه نمودند [۲۸]. در جدول ۱ خلاصه تحقیقاتی ارائه شده است که نزدیک‌ترین ارتباط را با مقاله فعلی دارد.

جهت تلخیص و جمع‌بندی پیشینه تحقیق، با توجه به ادبیات موضوع و شکاف موجود در تحقیقات گذشته، به طراحی هم‌زمان شبکه تسهیلات مقابله با بحران به‌صورت سلسله مراتبی با رویکرد تسهیلات پشتیبان و تخصیص مصدومان پرداخته شده است. در مقالات، بیشتر به‌صورت انفرادی و تنها یکی از جنبه‌های مکان‌یابی، مسیریابی، آرایش مجدد مکان تسهیلات، خرابی تسهیلات، کاهش اختلال نرخ پاسخ‌دهی، تعیین مسیرهای جایگزین انتقال بیماران، تخصیص بهینه اقلام موردنیاز بحران، مقایسه و ارزیابی اقدامات پس از بحران و توزیع منابع پزشکی مورد بررسی قرار گرفته است؛ بنابراین بحث هم‌زمانی مکان‌یابی و تخصیص در مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی آمیخته با هدف بیشترین پوشش دهی، کمترین هزینه و زمان، از نوآوری‌های تحقیق به شمار می‌آید که سعی در پر کردن شکاف تحقیق دارد.

در این پژوهش، مدلی چهار سطحی برای طراحی شبکه تسهیلات سلامت ارائه شده است. طراحی شبکه شامل مکان‌یابی مراکز درمان اضطرار، تخصیص آسیب دیدگان هر ناحیه شهری به این مراکز و سپس اعزام به سطح سوم (کلینیک‌ها) و درنهایت سطح چهارم (بیمارستان‌ها) به‌صورت سلسله مراتبی است. در مدل پیشنهادی، تابعی سه هدفِ ارائه شده است. تابع هدف اول مجموع هزینه‌های انتقال مصدومان و تابع هدف دوم مجموع هزینه‌های تأسیس تسهیلات اضطراری موقت را کمترین می‌کند و تابع هدف سوم میزان پاسخ‌دهی به مصدومان (کاهش زمان اعزام) را بیشترین می‌کند. جهت حل مدل نیز از روش وزن دهی استفاده شده است. مدل ریاضی برای داده‌های مشخص‌شده اجرا و درنهایت نتایج تحلیل حساسیت‌های مختلف گزارش شده است.

ساختار مقاله در ادامه به این صورت است: در بخش سوم جزئیات مسئله پیشنهادی شرح داده شده است. در بخش چهارم مدل ریاضی مسئله و در بخش پنجم روش حل و نتایج محاسباتی آورده شده است. درنهایت در بخش ششم و هفتم نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی بیان شده است.

تشریح مسئله

مسئله مورد بررسی در این مقاله، تعیین مکان‌های بهینه در بحران زلزله جهت تأسیس مراکز درمان اضطرار موقت با رویکرد کاهش هزینه و بیشترین پوشش دهی است. در هنگام زلزله، هجوم مصدومان به بیمارستان‌ها و کلینیک‌ها به‌طور غیرمنتظره‌ای افزایش می‌یابد و به علت فشار جمعیت ناگهانی

عملکرد خدمت‌رسانی به افراد، برنامه‌ریزی نشده است. ازاین‌رو در این مقاله، سعی بر آن است شبکه‌ای طراحی شود که در آن مراکز اضطرار درمان موقت به سیستم سلامت سه سطحی بیمارستان و کلینیک و نواحی شهری به‌گونه‌ای افزوده شود که مصدومان در ابتدا به این مراکز ارجاع و سپس با توجه به نوع جراحات و شدت صدمات آن‌ها به کلینیک‌ها و درنهایت به بیمارستان‌ها منتقل شوند. بدین ترتیب ساختار سلسله مراتبی چهار سطحی (نواحی شهری، مراکز اضطرار درمان، کلینیک‌ها، بیمارستان‌ها) برای پاسخ‌دهی به مصدومان تشکیل می‌شود. از طرفی امدادگران اعزامی از شهرها و کشورها دیگر جهت کمک‌رسانی به مصدومان در هنگام بحران می‌توانند به‌راحتی با این طرح در مراکز اضطرار موقت درمان مستقر شوند. همچنین جهت احداث مراکز درمان اضطرار موقت، نقاط بالقوه ازجمله میدان‌ها، ورزشگاه‌ها و مدارس قابلیت تبدیل‌شدن به این مکان‌ها با کمترین هزینه را خواهند داشت. در مدل ریاضی پیشنهادی، بهترین مکان برای تأسیس این مراکز از بین نقاط بالقوه مشخص شده و تخصیص مصدومان از نواحی شهری متعدد به این مراکز، مورد بررسی قرار گرفته است. هدف آن است که ضمن کاهش زمان و مسافت طی شده برای انتقال مصدومان، هزینه تأسیس این مراکز کمینه شود. در صورت خرابی یک مرکز اضطرار درمان، نقاط بهینه پشتیبان برای آن مرکز تعیین می‌شود. همچنین در مدل‌سازی ریاضی پارامترهای طبقه‌بندی شدت جراحات مصدومان، شدت حادثه، ضریب زیرساخت شهری، کیفیت ساخت و پراکندگی جمعیت هر ناحیه در نظر گرفته شده است. با توجه به ادبیات موضوع و شکاف موجود در تحقیقات گذشته، ایجاد مراکز اضطرار موقت درمان به‌منظور تعیین محل استقرار گروه‌های امداد نجات و همچنین طراحی شبکه مقابله با بحران، به‌صورت چهار سطحی با رویکرد تسهیلات پشتیبان از نوآوری‌های این مقاله است. توسعه مدل ریاضی، برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی آمیخته با هدف بیشترین پوشش دهی، حداقل هزینه، زمان و مسافت نوآوری دیگر تحقیق به شمار می‌آید.

مدل‌سازی ریاضی

مدل ریاضی با اندیس‌ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم‌گیری، محدودیت‌ها و توابع هدف در ادامه توضیح داده شده است.

۳-۱- اندیس‌ها

i: نواحی شهری (zone)

e: مراکز درمان اضطرار موقت (نقاط منتخب)

c: کلینیک‌ها و درمانگاه‌ها

h: بیمارستان‌ها

l: گروه‌بندی شدت جراحات

۳-۲- پارامترها

d_{ch} فاصله بین کلینیک c ام و بیمارستان h ام

d_{ec} فاصله بین مرکز اضطرار درمان e ام و کلینیک c ام

d_{ie} فاصله بین مرکز ناحیه شهری i ام و مرکز اضطراری e ام

t_{ch} زمان انتقال مصدوم از کلینیک c ام به بیمارستان h ام

t_{ec} زمان انتقال مصدوم از مرکز اضطراری e ام به کلینیک c ام

t_{ie} زمان انتقال مصدوم از مرکز منطقه i ام به مرکز اضطراری e ام

$\cos t_e$ هزینه‌ی ثابت فعال‌سازی مرکز اضطرار درمان e ام

budget بودجه ایجاد مراکز اضطرار درمان

p_i جمعیت مصدومان ناحیه شهری i ام

a_i ضریب آسیب زیرساخت‌های ناحیه شهری i ام

r ضریب شدت حادثه

s_i ضریب کیفیت ساخت ناحیه‌ی شهری i ام

ESIil درصد شدت جراحات وارده سطح l ام در ناحیه‌ی شهری i ام

pil تعداد افراد آسیب‌دیده ناحیه شهری i ام با شدت جراحات سطح l ام

cap_h ظرفیت پذیرش بیمارستان h ام

cap_e ظرفیت پذیرش مرکز اضطرار درمان e ام

cap_c ظرفیت پذیرش کلینیک c ام

M یک عدد بزرگ

β_c درصد مصدومانی ارجاعی به کلینیک c و نیازمند خدمات بیشتر در سطح بیمارستان‌ها

β_e درصد مصدومانی ارجاعی به مراکز اضطرار درمان و نیازمند خدمات بیشتر در سطح کلینیک‌ها

تعداد افراد آسیب‌دیده ناحیه شهری i ام با شدت جراحات سطح l ام که تحت شدت حادثه r واقع شده‌اند، با توجه به ضریب آسیب زیرساخت‌ها (a_i) و ضریب کیفیت ساخت ناحیه شهری i ام (s_i) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

رابطه (۱) $$p_{il} = p_i \times \alpha_i \times r \times (1 - s_i) \times ESI_{il}$$

$$0 \le s_i \le 1 \quad 0 \le \alpha_i \le 1 \quad 0 \le r \le 1$$

۳-۳- متغیرهای تصمیم

a_e اگر مرکز اضطراری e ام فعال شود، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

x_{ilech} اگر مصدومان ناحیه شهری i ام با شدت جراحات l ام در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز اضطراری e ام و سپس به کلینیک c ام و پس‌ازآن به بیمارستان h ام منتقل شوند، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

x_{ile} اگر مصدومان ناحیه شهری i ام با شدت جراحات l ام در طی فرایند درمان خود به مرکز اضطراری e ام منتقل شود، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

x_{ilec} اگر مصدومان ناحیه شهری i ام با شدت جراحات l ام در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز اضطراری e ام و سپس به کلینیک c ام منتقل شود، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

y_{ile} تعداد مصدومان ناحیه شهری i ام با شدت جراحات l ام در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز اضطراری e ام و سپس به کلینیک c ام منتقل شود، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

y_{ilec} تعداد مصدومان ناحیه شهری i ام با شدت جراحات l ام که در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز اضطراری e ام و سپس به کلینیک c ام منتقل می‌شوند.

y_{ilech} تعداد مصدومان ناحیه شهری i ام با شدت جراحات l ام که در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز اضطراری e ام و به کلینیک c ام و سپس به بیمارستان h ام منتقل می‌شوند.

D_{ile} تعداد مصدومان از ناحیه شهری i ام با شدت جراحات l ام به مرکز اضطراری e ام مراجعه کرده‌اند و خواستار خدمات در سطح کلینیک‌ها هستند.

D_{ilec} تعداد مصدومان از ناحیه شهری i ام با شدت جراحات l ام به مرکز اضطراری e ام و سپس به کلینیک c ام مراجعه کرده‌اند و خواستار خدمات در سطح بیمارستان‌ها هستند.

۳-۴- تابع هدف و محدودیت‌ها

رابطه (۲)

$$Min\ Z_1=[\sum_i\sum_e\sum_c\sum_h\sum_l dCtoH_{ch}\times y_{ilech}+\sum_i\sum_e\sum_c\sum_l dEtoC_{ec}\times y_{ilec}+\sum_i\sum_e\sum_l dCPtoE_{ie}\times y_{ile}]$$

$$Min\ Z_2=[\sum_e fix\ cost E_e\times a_e]$$

$$\text{Min } Z_3=[\sum_i\sum_e\sum_c\sum_h\sum_l \text{tCH}_{ch}\times y_{ilech}+\sum_i\sum_e\sum_c\sum_l \text{tEC}_{ec}\times y_{ilec}+\sum_i\sum_e\sum_l \text{tIE}_{ie}\times y_{ile}]$$

در رابطه (۲) توابع هدف مسئله تعریف شده است. تابع اول، مجموع هزینه‌های انتقال مصدومان به بیمارستان‌ها، کلینیک‌های درمانی و مراکز اضطرار درمان را محاسبه می‌کند. عبارت دوم، میزان هزینه تحمیل‌شده برای فعال‌سازی مراکز اضطرار درمان بوده و تابع هدف سوم مجموع زمان انتقال مصدومان به مراکز اضطرار موقت درمان، کلینیک‌ها و بیمارستان‌ها است.

رابطه (۳)
$$\sum_e y_{ile}=p_{il}\ \forall i,l$$

تمامی متقاضیان درمان با هر درجه از جراحت در تمامی نواحی شهری که باید به مراکز درمان تخصیص یابند، با رابطه (۳) نشان داده می‌شود.

رابطه (۴)
$$y_{ile}\times\beta_e=D_{ile}\quad ,\forall i,l,e$$

رابطه (۴) بیانگر این مفهوم است که از میان افرادی که به مراکز اضطرار درمان مراجعه می‌نمایند، درصدی از آن‌ها متقاضی دریافت خدمات بیشتر در لایه بالایی یا همان کلینیک‌ها هستند که به تناسب آن، متغیر D_{ile} بر اساس محاسبات به دست آمده است؛ بنابراین $(1-\beta_e)$ درصدی از آسیب دیدگان در مرکز اضطرار درمان شده و به کلینیک‌ها و درمانگاه‌ها منتقل نمی‌شوند.

رابطه (۵)
$$\sum_c y_{ilec}=D_{ile}\quad ,\forall i,l,e$$

رابطه (۵) مدل را ملزم می‌کند تا تقاضای درمانی تمامی متقاضیان (D_{ile}) را برآورده کند و آن‌ها را به درمانگاه‌ها تخصیص دهد.

رابطه (۶)
$$y_{ilec}\times\beta_c=D_{ilec}\quad ,\forall i,l,e,c$$

رابطه (۶) به‌طور مشابه درصد مصدومانی را محاسبه می‌کند که باید به بیمارستان منتقل شوند؛ بنابراین $(1-\beta_e)$ درصدی از مصدومان هستند که از شبکه درمان در سطح درمانگاه‌ها ترخیص می‌شوند.

رابطه (۷)
$$\sum_h y_{ilech}=D_{iec}\quad ,\forall i,l,\text{e},c$$

رابطه (۷) برای تخصیص تمام مصدومان درمانگاه‌ها به بیمارستان‌ها (D_{ilec}) تعریف شده است.

رابطه (۸)
$$y_{ile}\le M\times x_{ile}\quad ,\forall i,l,\text{e}$$

رابطه (۹)
$$y_{ile}\ge x_{ile}\quad ,\forall i,l,\text{e}$$

رابطه (۸) و (۹) به جهت برقراری رابطه بین متغیر مثبت y_{ile} و متغیر صفر و یک x_{ile} تعریف شده است. به‌نوعی که هرگاه متغیر مثبت y_{ile} مقدار بگیرد، متغیر x_{ile} مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

رابطه (۱۰)
$$y_{ilec}\le M\times x_{ilec},\ \forall i,l,\text{e},\text{c}$$

رابطه (۱۱)
$$y_{ilec}\ge x_{ilec},\ \forall i,l,\text{e},c$$

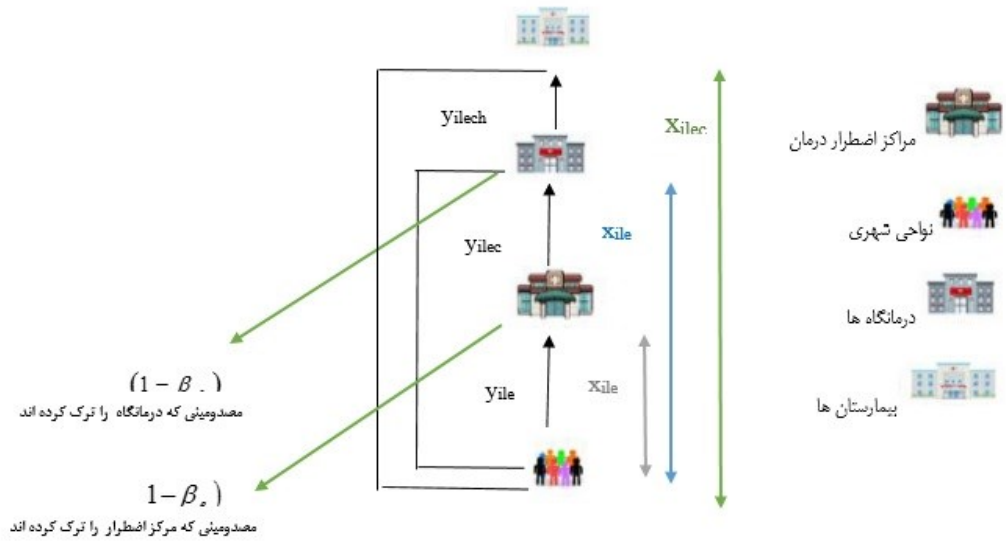
رابطه (۱۲)
$$y_{ilech}\le M\times x_{ilech},\ \forall i,l,\text{e},c,h$$

رابطه (۱۳)
$$y_{ilech}\ge x_{ilech},\ \forall i,l,e,c,h$$

روابط (۱۰) تا (۱۳) به جهت برقراری ارتباط بین متغیرهای صفر و یک و مثبت تعریف شده است.

رابطه (۱۴)
$$x_{i,l,e,c}\le x_{i,l,e},\ \forall i,l,e,c$$

رابطه (۱۴) دو متغیر یک (x_{ile}) و (x_{ilec}) را به هم پیوند می‌دهد تا ازاین‌رو ساختار تخصیص سلسله مراتبی مسئله حفظ شود.



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی سیستم سلامت

رابطه (۱۵) $x_{ilech} \le x_{ilec}, \forall i,l,e,c,h$

رابطه (۱۵) نیز مانند رابطه (۱۴) عمل می‌کند.

رابطه (۱۶) $x_{ile} \le a_e, \forall i,l,e$

رابطه (۱۶) بیانگر آن است که هرگاه متغیر xpile مقدار بگیرد، قبل از آن باید آن مرکز فعال شده باشد و هزینه فعال‌سازی آن در تابع هدف لحاظ شده باشد.

رابطه (۱۷) $\sum_i \sum_e \sum_c \sum_l y_{iechl} \le cap_h \ \forall h$

رابطه (۱۸) $\sum_i \sum_e \sum_l y_{iecl} \le cap_C \ \forall c$

رابطه (۱۹) $\sum \sum \sum \sum_i \sum_e \sum_c \sum_l y_{il} \le cap_e \ \forall e$

روابط (۱۷) تا (۱۹) مقدار ظرفیت‌های مربوط به هر یک از مراکز را تعریف می‌کند.

رابطه (۲۰) $y_{il}, y_{iecl}, y_{iechl}, D_{iec}, D_{ile} \ge 0$

رابطه (۲۱) $x_{ile}, x_{ilec}, x_{ilech}, a_e \in \{0,1\}$

روابط (۲۰) و (۲۱) نوع متغیرها را نشان می‌دهد.

در شکل زیر ساختار سلسله مراتبی سیستم درمان مطابق با متغیرهای موجود در مدل رسم شده است.

حل یک مسئله عددی

به‌منظور ارزیابی و تحلیل مدل ریاضی پیشنهادی، فرایند استقرار مراکز اضطرار درمان و تخصیص سلسله مراتبی مصدومان به سطوح بالاتر (درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها) در قالب یک مثال عددی مدل‌سازی شده است. در جدول ۱ که نشان‌دهنده این مسئله است، ۳۰ ناحیه شهری، ۸ مرکز کاندید ایجاد مراکز اضطرار درمان، ۴ درمانگاه و درنهایت ۲ بیمارستان در نظر گرفته شده است. نواحی شهری به ۳ منطقه شمالی، مرکزی و جنوبی تقسیم می‌شوند. تراکم جمعیت با نزدیک شدن به نواحی جنوبی بیشتر می‌شود (۲۰ هزار نفر در منطق شمالی، ۴۰ هزار نفر در مناطق مرکزی و ۶۰ هزار نفر در مناطق جنوبی). کیفیت ساخت از مناطق شمالی شهر به سمت مناطق جنوبی کاهش یافته است. ضریب آسیب زیرساخت‌های ناحیه شهری واقع‌شده بر روی گسل‌ها، در مناطق شمالی به نسبت جنوبی بدتر است. شدت حادثه برای تمام مناطق شهری یکسان فرض شده است. اطلاعات مسئله به‌صورت خلاصه در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ نشان‌دهنده درصد شدت جراحات (شاخص ESI) است. در مسئله موردمطالعه چنین فرض شده است که ۱۰ درصد افراد دچار شدت جراحات خیلی بالا و ۲۰ درصد دچار شدت

جدول ۲. جمعیت مناطق شهری

نواحی شهری	جمعیت شهری	تعداد محله	ضریب آسیب زیرساخت شهری	تعداد بیمارستان‌ها	تعداد درمانگاه‌ها	تعداد نقاط کاندید مراکز درمان اضطرار موقت
شمالی	۲۰،۰۰۰	۱۲	۰/۱۰	۱	۲	۲
مرکزی	۴۰،۰۰۰	۱۲	۰/۰۴	۱	۱	۴
جنوبی	۶۰،۰۰۰	۶	۰/۰۸	۰	۱	۲
مجموع	۱۲۰،۰۰۰	۳۰	-	۳	۴	۸

جدول ۳. درصد شاخص شدت جراحت‌ها

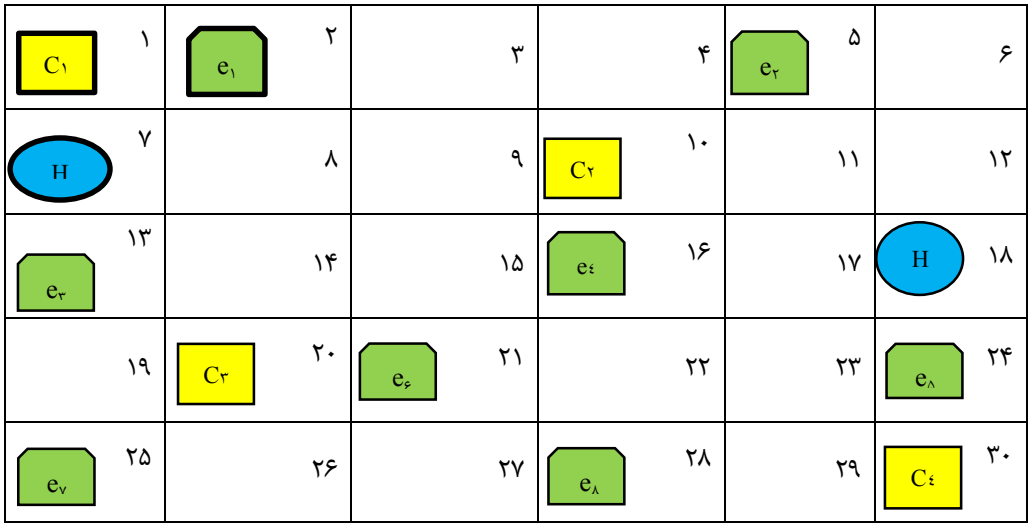
شاخص شدت جراحت‌ها (ESI)	شدت خیلی زیاد	شدت زیاد	شدت متوسط	شدت کم	شدت خیلی کم
درصد	۱۰	۲۰	۲۰	۳۰	۲۰

جراحات زیاد می‌شوند. این افراد نیازمند درمان در بیمارستان‌ها هستند. افراد با شدت جراحات متوسط و کم برابر ۲۰ درصد بوده که پس از انتقال به کلینیک‌ها ترخیص خواهند شد و درنهایت ۲۰ درصد افراد دچار شدت جراحات خیلی کم شده که پس از انتقال به مراکز درمان موقت، ترخیص خواهند شد و به سطوح بالاتر منتقل نمی‌شوند.

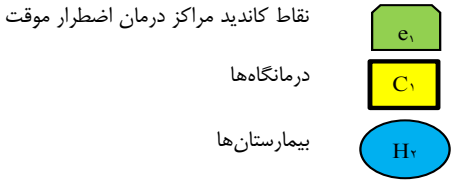
نسبت اهمیت توابع هدف به ترتیب $w_1=2$,$w_2=10$ و $w_3=4$ در نظر گرفته شده است. پراکندگی نواحی شهری، نقاط منتخب برای ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها در شکل ۲ ارائه شده است.

پس از حل مدل به کمک نرم‌افزار GAMS، متغیرهای تصمیم نشان‌دهنده لزوم فعال شدن تمام ۸ مرکز درمان اضطرار هنگام بحران است. نحوه تخصیص سلسله مراتبی مصدومان در شرایط بحران در شکل ۴ و ۵ ارائه شده است. این شکل‌ها ایجاد مراکز اضطرار موقت درمان و نحوه تخصیص آن‌ها به کلینیک‌ها و بیمارستان‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۴ گویای فعال بودن تمام ۸ مرکز اضطرار به‌عنوان نقاط منتخب در نظر گرفته شده است. به‌عنوان‌مثال مرکز اضطرار ششم (e۶) باید در ناحیه شهری بیست‌ویکم (e۲۱) واقع شود. این ناحیه واقع در جنوب شهر، تعداد ۸۰۰ نفر مصدوم دارد. مصدومانی که از ناحیه شهری ۲۱ شناسایی می‌شوند، ابتدا به این مرکز اضطرار منتقل می‌شوند، سپس با توجه به ساختار سلسله مراتبی، پس از بررسی شدت جراحاتشان به درمانگاه سوم واقع در ناحیه بیستم و در صورت نیاز به خدمات بیشتر به بیمارستان یکم واقع در ناحیه هفتم ارجاع داده می‌شوند. شایان ذکر است که در هر مرحله تعدادی از مصدومان ترخیص خواهند شد و دیگر نیاز به انتقال به لایه‌های بالایی ندارند.

در شکل ۵ نحوه تخصیص مصدومان نواحی شهری در هنگام حادثه به مراکز درمانی نشان داده شده است و اینکه در هنگام بحران آسیب دیدگان را از چه نواحی شهری به یک مرکز اضطرار منتقل می‌کنند. برای مثال مصدومان از نواحی ۱۵، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۷ به مرکز اضطرار ششم ارجاع داده می‌شوند. سپس در صورت نیاز به درمان بیشتر به درمانگاه سوم و درنهایت به بیمارستان اول انتقال می‌یابند. بعضی از نواحی شهری به دو یا چند مرکز اضطرار موقت نزدیک تخصیص داده می‌شوند. برای نمونه تعدادی از جمعیت ناحیه پانزدهم به مرکز اضطرار ششم و تعدادی از آن‌ها به مرکز اضطرار چهارم منتقل می‌شوند. همچنین گاهی اوقات یک یا چند مرکز اضطرار موقت درمان دچار اخلال می‌شود، در این صورت باید مرکز پشتیبانی برای آن‌ها در نظر گرفته شود که مسئولیت امدادرسانی به مصدومان را بر عهده بگیرد. در شکل ۵ مراکز درمان

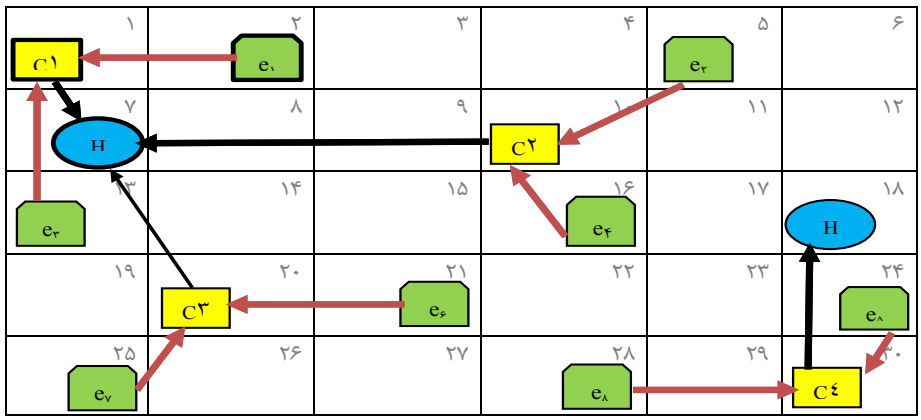


شکل ۲. پراکندگی نقاط شهری، مراکز اضطرار، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها

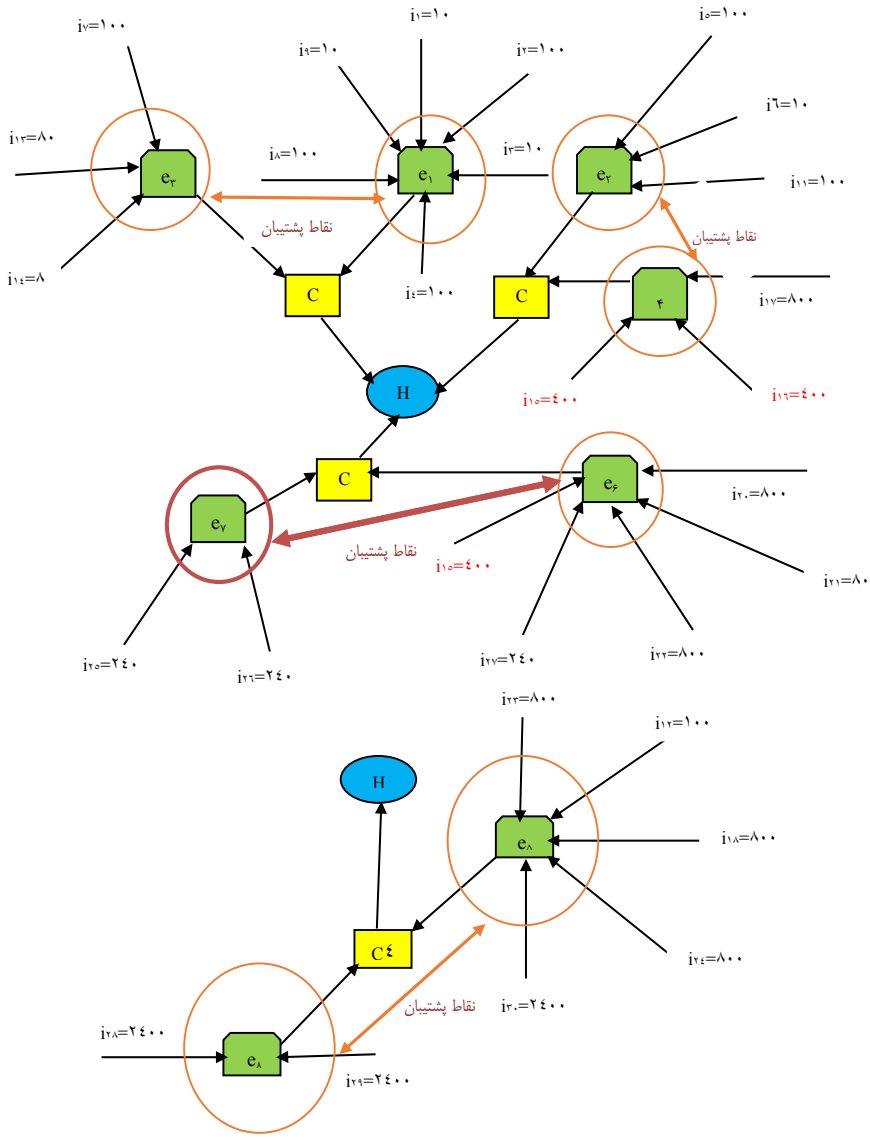


شکل ۳. تصاویر مربوط به مراکز اضطرار درمان موقت، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها

موقت (e۷-e۶)، (e۲-e۴) و همچنین (e۱-e۳) به‌عنوان نقاط پشتیبان یکدیگر لحاظ شده‌اند.



شکل ۴. محل قرارگیری پاسخ‌های نمونه ذکر شده در مدل



شکل ۵. نحوه نمایش مراکز اضطرار به درمانگاه‌ها و سپس به بیمارستان‌ها

هدف این تحقیق بررسی مفهوم ساختار ساده و ساختار سلسله مراتبی است. در ساختار ساده (مدل فعلی) در هنگام بحران ازدحام مصدومان در مراکز درمان لایه‌های بالایی درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها بدون اولویت‌بندی بیماران، بسیار زیاد و بدون برنامه‌ریزی خواهد بود. از طرفی هزینه درمان در درمانگاه‌ها و به‌خصوص بیمارستان‌ها به علت وجود تجهیزات گران‌قیمت و پیشرفته‌تر، بسیار زیاد است؛ بنابراین صرفه نظر از موضوع عدم رسیدگی به‌موقع به همه مصدومان، هزینه زیادی نیز در این نوع ساختار به وجود می‌آید.

در ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی موجود در این مقاله مراکز موقت درمان به سطوح درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها افزوده می‌شود؛ بنابراین در هنگام بحران، درصد زیادی از آسیب دیدگان در مراکز موقت، درمان شده و در همین سطح ترخیص می‌شوند و دیگر نیاز به انتقال به لایه‌های بالاتر را نخواهند داشت؛ اما مصدومانی که نیاز به خدمات بالاتر دارند به ترتیب به درمانگاه‌ها و درنهایت به بیمارستان‌ها تخصیص داده می‌شوند. در سطح درمانگاه نیز ترخیص بعضی از افراد صورت می‌گیرد. بدین ترتیب با یک برنامه‌ریزی از پیش تعیین‌شده، همه آسیب دیدگان درمان خواهند شد و از ازدحام در سطوح بالاتر کاسته خواهد شد. اگرچه استقرار مراکز درمان موقت هزینه خواهد داشت؛ اما از هزینه‌ای بزرگ‌تر که اختلال در سطوح بالای درمان در اوج بحران است جلوگیری خواهد شد.

به‌منظور مقایسه ساختار بهینه پیشنهادی با مدل فعلی با استفاده از مسئله عددی تحلیل و مقایسه هزینه‌ها در هر دو سناریو فقط برای هزینه‌های ایجاد مراکز درمان موقت و هزینه‌های درمان انجام شده است. ساختار مدل فعلی را به‌عنوان سناریو ۱ و مدل بهینه ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی، سناریو ۲ در نظر گرفته شده است. در جدول ۴ مفروضات برای مقایسه دو سناریو لحاظ شده است. هزینه متوسط برای درمان بیماران در بیمارستان‌ها ۸ برابر بیشتر از هزینه درمان در مراکز اضطرار درمان موقت است (۸۰ در برابر ۱۰). این موضوع نشان‌دهنده این است که مدل طراحی‌شده اجازه انتقال بیماران با شدت جراحات کم را به بیمارستان‌ها نمی‌دهد تا از ظرفیت آن‌ها برای خدمت‌رسانی به مصدومان با نیاز بالا استفاده شود. هزینه درمان برای کلینیک‌ها ۳۰ در نظر گرفته شده که نسبت به بیمارستان‌ها کمتر (کمتر از ۵۰ درصد) و نسبت به کلینیک‌ها بیشتر (۳ برابر) است.

جدول ۴. هزینه‌های درمان

هزینه متوسط برای درمان هر مصدوم در بیمارستان	۸۰ واحد
هزینه متوسط برای درمان هر مصدوم در درمانگاه (کلینیک‌ها)	۳۰ واحد
هزینه متوسط برای درمان هر مصدوم در مراکز اضطرار درمان موقت	۱۰ واحد

با توجه به هزینه‌های بالای زیرساختی و مدیریتی بیمارستان‌ها، هزینه‌های درمان مصدومان در بیمارستان‌ها بیشتر از درمانگاه‌ها و هر دو بیشتر از هزینه‌های درمان موقت در مراکز اضطرار درمان لحاظ شده است. در سناریو اول ۶۰ درصد بیماران مستقیم به بیمارستان‌ها مراجعه می‌کنند و ۴۰ درصد در درمانگاه‌ها معالجه و ترخیص می‌شوند درصورتی‌که در سناریو دوم ابتدا تمام مصدومان توسط مراکز اضطرار درمان موقت غربالگری و ۶۰ ترخیص شده و فقط ۴۰ درصد مصدومان به سطح درمانگاه‌ها اعزام می‌شوند. از این تعداد ۶۰ درصد ترخیص و ۴۰ درصد (۱۶ درصد کل مصدومان) دوباره به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود که بار درمانی درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها کاهش‌یافته که این امر سبب کاهش هزینه‌های درمان در مراکز درمانی بالاتر می‌شود. هزینه ثابت ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت ۴۰ هزار واحد و تعداد کل مصدومان بر اساس فرضیات مسئله ۲۵۲۰۰ مصدوم لحاظ شده است. محاسبات برای سناریوی ۱ در جدول ۵ قید شده است. بر اساس جمعیت نواحی شهری (جدول ۱) تعداد مصدومان مراجعه‌کننده به بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها محاسبه شده و با توجه به هزینه‌های درمان که در جدول ۴ ذکر شد، هزینه کل درمان ۱۵۱۲۰۰ واحد پول محاسبه شده است. در این سناریو هزینه‌ای برای ایجاد مراکز اضطرار درمان (به دلیل عدم وجود آن‌ها) در این جدول لحاظ نشده است.

جدول ۵. هزینه‌های سناریو ۱ (وضعیت فعلی)

مصدوم	۱۰۰۸۰	تعداد کل مصدومان انتقال‌یافته به درمانگاه‌ها
مصدوم	۱۵۱۲۰	تعداد کل مصدومان انتقال‌یافته به بیمارستان‌ها
واحد	۳۰۲۴۰۰	هزینه کل درمان مصدومان در درمانگاه‌ها
واحد	۱۲۰۹۶۰۰	هزینه کل درمان مصدومان در بیمارستان‌ها
واحد	۱۵۱۲۰۰۰	هزینه سناریو اول (وضعیت فعلی)

در جدول ۶ محاسبات مربوط به سناریو شماره ۲ ارائه شده است. تعداد کل مصدومان نسبت به سناریو ۱ تغییری نکرده (۲۵۲۰۰ نفر) فقط تخصیص بیماران به‌صورت سلسله مراتبی انجام می‌شود به‌گونه‌ای که فقط مصدومانی که نیاز به درمان بیشتری دارند (شدت جراحات بالا) با سطوح بالاتر (بیمارستان‌ها و کلینیک‌ها) منتقل می‌شوند. بنابراین مجموع هزینه درمان با توجه به اختلاف هزینه موجود کاهش می‌یابد. در این جدول هزینه کل ثابت ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت ۳۲۰ هزار واحد پول در نظر گرفته شده (برای هر واحد ۴۰ هزار واحد پول) که با جمع هزینه‌های درمان، هزینه کل این سناریو ۱،۲۷۷،۶۰۰ واحد پول شده است.

بنابراین طبق محاسبات جدول‌های ۴ و ۵، حتی اگر از هزینه‌های اعزام و هزینه‌های ناشی از تأخیر در فرایند درمان به دلیل ازدحام مصدومان در بیمارستان‌ها در هنگام بروز حادثه و بحران صرفه نظر کنیم و فقط روی هزینه‌های درمان تمرکز شود، سناریوی غربالگری و اعزام سلسله مراتبی مصدومان به کمک ایجاد مراکز درمان موقت، سناریوی مناسب‌تری (۱۵/۵ درصد) است.

جدول ۶. هزینه‌های سناریو ۲ (وضعیت بهینه سلسله مراتبی بعد از حل مدل ریاضی)

مصدوم	۲۵۲۰۰	تعداد کل مصدومان انتقال‌یافته به مراکز درمان موقت
مصدوم	۱۰۰۸۰	تعداد کل مصدومان انتقال‌یافته به درمانگاه‌ها
مصدوم	۵۰۴۰	تعداد کل مصدومان انتقال‌یافته به بیمارستان‌ها
مرکز	۸	تعداد مراکز درمان اضطرار موقت
واحد	۲۵۲۰۰۰	هزینه کل درمان مصدومان در مراکز درمان موقت
واحد	۳۰۲۴۰۰	هزینه کل درمان مصدومان در درمانگاه‌ها
واحد	۴۰۳۲۰۰	هزینه کل درمان مصدومان در بیمارستان‌ها
واحد	۳۲۰۰۰۰	هزینه کل ثابت ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت
واحد	۱،۲۷۷،۶۰۰	هزینه سناریو بهینه (سلسله مراتبی)

نتیجه‌گیری

در این مقاله هدف تعیین: (۱) مکان بهینه مراکز درمان اضطرار موقت، (۲) تخصیص بهینه سلسله مراتبی مصدومان و (۳) تعیین نقاط پشتیبان به نوحی شهری در هنگام بحران با رویکرد: (الف) جلوگیری از ازدحام مصدومان (ب) کاهش هزینه‌های ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت و هزینه‌های اعزام و (ج) کاهش زمان انتقال سلسله مراتبی مصدومان است. به این منظور یک مدل ریاضی مختلط عدد صحیح توسعه داده شد (در بخش ۴ مدل‌سازی ریاضی) و مسئله برای داده‌های نمونه حل شد. نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد که چگونه نواحی شهری به‌صورت بهینه به مراکز اضطرار درمان موقت تخصیص داده می‌شود. این شکل همچنین نقاط بهینه پشتیبان برای حمایت از مراکز درمان اضطرار موقت را ترسیم می‌کند.

برای نشان دادن تفاوت بین وضعیت موجود و وضعیت بهینه پیشنهادی (خروجی مدل ریاضی) میزان هزینه‌های در قالب دو سناریو در جدول‌های ۵ و ۶ محاسبه شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که میزان کاهش هزینه مربوط به حذف انتقال غیرضروری مصدومانی که امکان درمان آن‌ها در سطوح پایین‌تر وجود دارد باعث کاهش ۱۵ درصدی هزینه‌های درمان می‌شود که این درصد کاهش، در سایر پژوهش‌های پیشین گزارش نشده است.

برای مقایسه نتایج حاصل با نتایج سایر محققان، ذکر این نکته ضروری است که جامعیت توسعه داده شده در این مدل ریاضی، در سایر مقالات مورد بررسی قرار نگرفته است. نزدیک‌ترین مقالات به موضوع این مقاله با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که پائول (۲۰۱۶) به بررسی مکان‌یابی و تخصیص منابع در هنگام بحران پرداخته است و تخصیص بهینه سلسله مراتبی که در این مقاله انجام شده را مورد توجه قرار نداده است. ضمن اینکه روش حل دقیق ارائه نکرده است [۶]. مانوپینی (۲۰۱۷) به بررسی مکان‌یابی و موجودی پرداخته است و از تخصیص سلسله مراتبی مصدومان که در این تحقیق ذکر شده صرف‌نظر کرده است [۱۱]. در تحقیق حاضر هزینه‌های تأسیس، تخصیص و زمان انتقال مصدومان مدل شده است که در کارهای پور علی‌اکبری (۲۰۱۷) و موسی زاده (۲۰۱۸) این موارد مورد بررسی قرار نگرفته است [۸،۷]. مدل‌سازی مربوط به ضریب کیفیت ساخت ناحیه‌های شهری، ضریب آسیب زیرساخت‌های ناحیه شهری و ضریب شدت حادثه در این مدل بررسی شده که در کارهای کاراتاس (۲۰۱۸) و اکسوز (۲۰۲۰) مدل‌سازی نشده است [۱۲، ۱۸]. طراحی شبکه سلسله مراتبی با رویکرد مکان یابی-تخصیص در کارهای پیشین مورد توجه قرار نگرفته است.

با محاسبه کاهش هزینه‌های ایجاد مراکز اضطرار درمان موقت به‌منظور غربالگری در هنگام بروز بحران، کاهش زمان جابجایی غیرضروری مصدومان و کاهش هزینه‌های مربوط به تأخیر در فرایند درمان به دلیل ازدحام در بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، مدل پیشنهادی می‌تواند به شکل مؤثری نسبت به سایر کارهای پیشین در هنگام بروز بحران مورد استفاده قرار گیرد.

پیشنهادهای آتی

به‌منظور تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود مدل در محیط عدم قطعیت مورد مطالعه قرار گیرند. در این مقاله فرض شده که خرابی یگانه باشد، حال‌آنکه در عمل ممکن است هم‌زمان چند مرکز اضطرار از دسترس خارج شوند. برای حل مدل ریاضی مسئله، می‌توان از روش‌های دیگر ازجمله الگوریتم‌های فرا ابتکاری (در ابعاد بزرگ) استفاده کرد. همچنین می‌توان تخصیص منابع انسانی به هر یک از مراکز به‌عنوان یکی از تصمیمات مدل را در نظر گرفت.

تشکر و قدردانی

گردآورندگان مقاله وظیفه خود می‌دانند از همکاری مدیریت محترم سازمان بحران تهران، جهت اطلاعات شهری و زیرساختی قدردانی به عمل آورند. لازم به ذکر است که این مقاله حاصل پایان‌نامه دکتری و بدون حمایت مالی از سازمان یا ارگان خاصی انجام گرفته است.

پی‌نوشت

1. Emergency Service System (ESS)

منابع

1.Ahmadi-Javid A, Seyedi P, Syam SS. A survey of health-care facility location. Computers & Operations Research. 2017;79:223-63.

2. Karatas M, Razi N, Tozan H. A multi-criteria assessment of the p-median, maximal coverage and p-center

location models. Technical Gazette. 2017;24(2):399-407.

3. Gendreau M, Laporte G, Semet F. The maximal expected coverage relocation problem for emergency vehicles. Journal of the Operational Research Society. 2006;57(1):22-8.

4. Toro-DíAz H, Mayorga ME, Chanta S, Mclay LA. Joint location and dispatching decisions for emergency medical services. Computers & Industrial Engineering. 2013;64(4):917-28.

5. Şahin G, Süral H. A review of hierarchical facility location models. Computers & Operations Research. 2007;34(8):2310-31.

6. Paul JA, MacDonald L. Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters. European Journal of Operational Research. 2016;251(1):252-63.

7. Pouraliakbari M, Mohammadi M, Mirzazadeh A. Location of heath care facilities in competitive and user choice environment. Journal of Industrial and Systems Engineering. 2017;10(special issue on healthcare):24-54.

8. Mousazadeh M, Torabi SA, Pishvaee MS, Abolhassani F. Health service network design: a robust possibilistic approach. International transactions in operational research. 2018;25(1):337-73.

9. Mohammadi R, Ghomi SF, Jolai F. Prepositioning emergency earthquake response supplies: A new multi-objective particle swarm optimization algorithm. Applied Mathematical Modelling. 99,5183:(10-9)40;2016.

10. Rezaei-Malek M, Tavakkoli-Moghaddam R, Cheikhrouhou N, Taheri-Moghaddam A. An approximation approach to a trade-off among efficiency, efficacy, and balance for relief pre-positioning in disaster management. Transportation research part E: logistics and transportation review. 2016;93:485-509.

11. Manopiniwes W, Irohara T. Stochastic optimisation model for integrated decisions on relief supply chains: preparedness for disaster response. International Journal of Production Research. 2017;55(4):979-96.

12. Karatas M, Yakıcı E. An analysis of p-median location problem: Effects of backup service level and demand assignment policy. European Journal of Operational Research. 2019;272(1):207-18.

13. Liu, Y., Cui, N., & Zhang, J. (2019). Integrated temporary facility location and casualty allocation planning for post-disaster humanitarian medical service. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 128, 1-16.

14. Memari, P., Tavakkoli-Moghaddam, R., Navazi,. F, Jolai,F. (2020). Air and ground ambulance locationallocation- routing problem for designing a temporary emergency management system after a disaster,Institution of Mechanidal Engineers, Proc IMechE Part H:J Engineering in Medicine, 1–17_ IMechE 2020, DOI: 10.1177/0954411920925207.

15. Chen, T., Wu, Sh., Yang, J., Cong, G., & Li,G. (2020). Modeling of Emergency Supply Scheduling Problem Based on Reliability and Its Solution Algorithm under Variable Road Network after Sudden-Onset Disasters. Volume 2020, Article ID 7501891, 15 pages. doi: https://doi.org/10.1155/2020/7501891.

16. Ghasemi, P., Khalili-Damghani, K., Hafezalkotob, A., & Raissi, S. (2019).Stochastic optimization model for distribution and evacuation planning (A case study of Tehran earthquake). Socio-Economic Planning Sciences. http://www.elsevier.com/locate/seps.

17. Makui A, Ashouri F, Barzinpour F. Assignment of injuries and medical supplies in urban crisis management. Journal of Applied Research on Industrial Engineering. 2019;6(3):232-50.

18. Oksuz MK, Satoglu SI. A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2020;44:101426.

19. Baharmand, H., Comesa, T., & Lauras, M,. (2019). Bi-objective multi-layer location–allocation model for the immediate aftermath of sudden-onset disasters. Transportation Research Part E 127 (2019) 86–110.

۲۰. شوندی زهرا، سجادی سید مجتبی، سلطانی رؤیا (۱۳۹۹). شبیه‌سازی سیستم ترخیص با رضایت شخصی بیماران بیمارستان تخصصی و فوق تخصصی خاتم‌الانبیا (ص) تهران. مدیریت اطلاعات سلامت. ۱۳۹۹؛ ۱۷(۲): ۵۹-۵۴.

۲۱. عباس ملکی، سید مجتبی سجادی، بابک رضایی خبوشان (۱۳۹۳). تبیین و بهبود شاخص‌های عملکردی در سیستم اورژانس با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد: (مطالعه موردی بیمارستان امام خمینی (ره) اراک). مدیریت اطلاعات سلامت. ۱۳۹۳؛ ۱۱(۱): ۱۶-۴.

22. Sepehri, Z., Sajadi, S.M., & Arabzad, S.M. (2015). Analysing the performance of emergency department by simulation: *The case of Sirjan Hospital. International Journal of Services and Operations Management. Vol. 20, No. 3, 2015*.

23. Shang, Q., Wang, T., & Li, J. (2020). Seismic resilience assessment of emergency departments based on the state tree method. Structural Safety 85 (2020) 101944 . www.elsevier.com/locate/strusafe.

24. Mahabadi, A., Ketabi, S., Sajadi., S.M. (2015), "Investigate the parameters which affect the patients

waiting time in emergency department of orthopedic services in Ayatollah Kashani hospital with the lean management approach", Health Inf Manage, 11 (7), 1016-1025.

25. Ahmadzadeh F, Mohammadi N, Babaie M .Evaluation the Emergency Response Program of Emergency Operations Command Center of the Alborz University of Medical Sciences in Response to Kermanshah Earthquake in November 2017. Health in Emergencies and Disasters. 2019;4(3):135-46.

26. Sharma SD, Tatavarthy SR, editors. Development of optimized solution for a generic disaster management problem through construction of responsive supply chain a review. AIP Conference Proceedings; 2019: AIP Publishing LLC.

27. Rebeeh YA, Pokharel S, Abdella GM, Hammuda AS. Disaster management in industrial areas: Perspectives, challenges and future research. Journal of Industrial Engineering and Management. 2019;12(1):133-53.

28. Saberian P, Kolivand P-H, Hasani-Sharamin P, Dadashi F, Farhoud D. Iranian emergency medical service response in disaster; report of three earthquakes. Advanced journal of emergency medicine. 2019;3(2).

مدل‌سازی ریاضی استوار برای مسئله مکان‌یابی-مسیریابی-موجودی چندهدفه در شرایط وقوع بحران با درنظرگرفتن عدم قطعیت تقاضا و قابلیت اطمینان تسهیلات

علی‌اکبر عشقی: دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
رضا توکلی‌مقدم *: استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران،
Email: tavakoli@ut.ac.ir
سعدالله ابراهیم‌نژاد: دانشیار، گروه مهندسی صنایع، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج
وحیدرضا قضاوتی: دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۹

چکیده
پاسخگویی سریع به نیازها و ارسال اقلام مورد نیاز به مناطق متأثر از بحران اولویت بسیار بالایی در زمان وقوع آن‌ها دارد. به‌علاوه برنامه‌ریزی با توجه به ذات غیرقطعی شدت بحران و تعداد مناطق آسیب‌دیده برای این مواقع ضروری است. در این پژوهش فازهای آمادگی و پاسخ در چرخه مدیریت بحران به کمک مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه تحت شرایط عدم قطعیت مدل‌سازی شده است. این رویکرد دارای دو گام اصلی است که در گام اول یعنی فاز آمادگی مکان بهینه مراکز توزیع امداد و همچنین مراکز درمانی، میزان موجودی کالاهای امدادی برای ذخیره‌سازی از تأمین‌کنندگان را تعیین کرده و در گام دوم یا فاز پاسخ میزان حمل کالاهای امدادی از نقاط تأمین به مراکز توزیع امداد و از مراکز توزیع به نقاط آسیب‌دیده و میزان حمل مصدومان از نقاط آسیب‌دیده به مراکز درمانی و بیمارستان‌ها را توسط آمبولانس‌ها و حمل هوایی تعیین می‌شود. همچنین پارامترهای اساسی آن مانند تقاضا و تعداد مصدومان با توجه به ماهیت مسئله به‌صورت غیرقطعی مدنظر قرار می‌گیرد. درنهایت نیز خرابی تسهیلات تأمین‌کننده و توزیع‌کننده در اثر وقوع بحران در نظر گرفته می‌شود که به‌طور مستقیم در ارائه خدمات آن‌ها تأثیرگذار است. جهت حل مدل ریاضی سه‌هدفه از الگوریتم‌های ژنتیک بر مبنای رتبه‌بندی نا مغلوب‌ها (NSGA-II) و گرگ خاکستری چندهدفه (MOGWO) استفاده می‌شود. با مقایسه نتایج الگوریتم‌های فرا ابتکاری با حل دقیق مشخص می‌شود که این الگوریتم‌ها در مدت‌زمان مناسب دارای عملکرد قابل قبولی هستند.
واژه‌های کلیدی: *مدل ریاضی استوار، مکان‌یابی-مسیریابی-موجودی، قابلیت اطمینان، الگوریتم فرا ابتکاری چندهدفه، بحران*

Robust Mathematical Modeling for a Multi-objective Location-Routing-Inventory Problem in Disaster under Demand Uncertainty and Facilities Reliability

AliakbarEshghi[1], Reza Tavakkoli-Moghaddam[2], SadollahEbrahimnezhad[3], VahidrezaGhezavati[4]

Abstract
At the time of natural disasters occurrence, prompt respondingand providingrequired items to affected areas is the most urgent priority. Moreover, given ش stochastic nature of the crisis severity and the number of the affected areas,effective planning is a crucial task. In this study, two major steps in the disaster management cycle,namely preparation and response phases, are formulated using a multi-objective mathematical model under uncertainty. In the preparation phase, the optimum location of relief distributions, medical centers and inventories of relief goods to storage items received from suppliers are determined. Also, in the second step or response phase, the amount of relief goods transported from supply points to relief distribution centers and from these centers to affected areas as well as the number of injured people transferred to medical centers and hospitals through ambulances and aerial transportationare determined. Moreover, regarding the problem nature, its key parameters (e.g., demand and the number of injured people) are considered to be uncertain. Furthermore, given that the failureof facilities in both supplier and distributor sections can adverselyaffect their service provision, this issueisconsidered in the model. To efficiently solve the model, the non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGA-II) and the multi-objective grey wolf optimizer (MOGWO) areused. Comparison of the results obtained from the proposed meta-heuristics with the exact solution method indicates that these algorithms can provide acceptable solutions in a reasonable amount of computational time.
Keywords:*Robust mathematical model, Location-routing-inventory problem,Reliability, Multi-objective meta-heuristic algorithms, Disaster.*

1-Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran, E-mail: st_a_eshghi@azad.ac.ir
2-School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, E-mail: tavakoli@ut.ac.ir
3-Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran, E-mail: ibrahimnejad@kiau.ac.ir
4-School of Industrial Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran, E-mail: v_ghezavati@azad.ac.ir

مقدمه

بلایای طبیعی (مانند سیل، خشک‌سالی، زلزله، طوفان، قحطی و غیره) و فجایع انسانی (مانند جنگ، درگیری و بحران پناهندگان و غیره) در دهه‌های اخیر به‌طور فزاینده جوامع و ملت‌های سراسر جهان را در برگرفته و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که این روند ادامه خواهد داشت. تحقیقات دانشگاهی مدیریت عملیات فاجعه و لجستیک بشردوستانه کمابیش جدید است [۱]. عدم قطعیت در زمان، مکان و شدت فاجعه عملیات بشردوستانه در مرحله پیش از وقوع حادثه و شرایط بد زیرساخت‌های موجود در مرحله پس‌ازآن را مختل می‌کند. غلبه بر مشکلات در طول این مرحله نیازمند طراحی شیوه‌های کارآمد عملیات بشردوستانه در راستای کاهش تلفات انسانی و اقتصادی است. لجستیک بحران شامل فرآیند برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و پایش جریان و ذخیره مؤثر و با هزینه مناسب کالا، مواد و همچنین اطلاعات مرتبط از نقطه ارسال تا لحظه رسیدن آن‌ها به دست مصرف‌کنندگان برای کاهش و التیام درد افراد حادثه‌دیده است. این عملیات دربرگیرنده دامنه‌ای از فعالیت‌ها همچون آمادگی، برنامه‌ریزی، تدارکات، حمل‌ونقل، انبارداری، رهگیری، ردیابی و ترخیص گمرکی است. درواقع فعالیت‌های اشاره شده در تعریف بالا همگی جزء فعالیت‌های اصلی در ۲ فاز آمادگی و پاسخ از چرخه مدیریت بحران هستند. میزان و حجم فعالیت‌های لجستیکی در این ۲ فاز به حدی است که نزدیک به ۸۰ درصد از فعالیت‌های لجستیکی در این ۲ فاز را شامل می‌شود [۲].

با توجه واقع‌شدن ایران بر روی کمربند زلزله، تعداد زیادی از شهرهای آن نیز در معرض خطر زلزله هستند [۳] و در این صورت اهمیت مسئله لجستیک بحران یا امداد در تمامی کشورها، به‌ویژه ایران بسیار چشمگیر است.

با توجه به مطالب ارائه شده در این مطالعه طراحی مدلی از برنامه‌ریزی بهینه بر مبنای کنترل و برنامه‌ریزی خدمات پس از وقوع بحران در قالب توسعه یک مدل مکان‌یابی-مسیریابی-موجودی مدنظر است؛ به‌طوری‌که بتوان تا جای ممکن بیشترین سطح پوشش شرایط و سوانح رخ‌داده در دنیای واقعی را پیش‌بینی و خدمات‌رسانی کرد. به همین دلیل در مسئله پیش رو موارد زیر به‌طور کامل مورد بررسی قرار می‌گیرد:

الف- توجه به تصمیمات اساسی درزمینه مدیریت منابع و برنامه‌ریزی امداد پس از وقوع فاجعه، به‌طوری‌که بتوان تمامی تصمیم‌های مورد نیاز در دنیای واقعی شامل تعیین سیاست‌های بهینه موجودی کالاهای اضطراری، تعداد و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل وسایل نقلیه مورد نیاز شامل آمبولانس‌ها و بالگردها در صورت امکان و مکان‌یابی تسهیلات تأمین و توزیع با در نظر گرفتن احتمال شکست آن‌ها در ارائه خدمات و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان تأمین و توزیع را مورد بررسی و تحقیق قرار داد.

ب- هزینه‌های سیستم امدادرسانی و یا افزایش سطح سرویس در بسیاری از پژوهش‌ها ارائه شده است؛ اما تمرکز این تحقیق بر زمان خدمت‌دهی به مجروحان به‌دلیل مهم‌ترین عامل برای نجات افراد آسیب‌دیده در هنگام ایجاد بحران است. بنابراین در این پژوهش به کمینه‌سازی زمان پاسخ‌دهی به‌عنوان اصلی‌ترین هدف آن پرداخته می‌شود و تصمیم‌های پس از آن، با توجه به این هدف اخذ می‌شود. از سوی دیگر، هزینه کل ارائه خدمات به‌عنوان‌مثال شامل به‌کارگیری تسهیلات مورد نیاز، هزینه‌های حمل‌ونقل و خدمات‌دهی، هزینه‌های جریمه عدم خدمات‌دهی و تلفات بالقوه هم به‌عنوان هدف دوم و کاربردی در مسئله مورد توجه قرار خواهد گرفت.

ج- از سوی دیگر اطلاعات دقیق از مسیرهای باز و مسدود شده و همچنین تعداد مجروحان از انواع آسیب‌دیدگی به علت وجود عدم قطعیت شدید در پارامتر تقاضا یا همان تعداد افراد آسیب‌دیده در شرایط بحران وجود ندارد. به همین دلیل از بهینه‌سازی استوار جهت فرموله کردن شرایط عدم قطعیت برای نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی عدم قطعیت در پارامتر تعداد مجروحان و حادثه دیدگان استفاده می‌شود.

د- همچنین در نظر گرفتن نیاز به انواع کالاهای ضروری (شامل دارو، خون، مواد غذایی و غیره) در شبکه نیز همواره در دنیای واقعی مطرح است که در پژوهش حاضر نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ه- درنهایت، خرابی تسهیلات تأمین‌کننده و توزیع‌کننده در اثر وقوع بحران به‌دلیل تأثیر مستقیم آن در ارائه خدمات نیز در نظر گرفته می‌شود. درواقع، مراکز تأمین و توزیع همانند هر تسهیل آسیب‌پذیر در هنگام وقوع فاجعه نمی‌تواند همواره به‌صورت ۱۰۰ درصد پایا به فعالیت خود در فاز پس از وقوع بحران ادامه دهد. به همین دلیل خرابی‌های این تسهیلات در یک بازه زمانی خاص مدنظر است و هدف بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان کل در ارائه و ارسال خدمات به‌عنوان تابع هدف سوم است.

در ادامه پژوهش (بخش دوم) به بررسی ادبیات موضوع، در بخش سوم به تعریف مسئله و مفروضات اصلی آن و در ادامه به معرفی مدل ریاضی قطعی و استوار پرداخته می‌شود. بخش چهارم به توسعه روش‌های حل پیشنهادی پژوهش و درنهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ادبیات موضوع

نخستین تحقیق درزمینه حمل‌ونقل اقلام امدادی به پژوهش‌های نات[1] در سال ۱۹۸۷ بازمی‌گردد. نات با در اختیار داشتن منابع محدود به مدل‌سازی شرایطی می‌پردازد که در آن تعدادی از وسایل نقلیه متفاوت در انباری قرار دارند و هدف کمینه‌سازی تقاضاهای ازدست‌رفته است [۴]. بدیهی است زیرساخت‌های حمل‌ونقل برای تجهیزات امدادی در هنگام وقوع بحران غیرقابل‌اعتماد هستند. به همین دلیل باربارosوگولو و همکاران[2] به مدل‌سازی برنامه‌ریزی پرواز و عملیات امدادرسانی بالگردها می‌پردازند. مسئله با ۲ سطح تجزیه شده مورد توجه است که در سطح اول به تصمیم‌های تاکتیکی شامل مدیریت ناوگان، خلبان‌ها و تعیین تعداد تورهایی طی شده توسط هر بالگرد و در سطح دوم به اتخاذ تصمیمات عملیاتی در ارتباط با طراحی

مسیرها، بارگذاری و تخلیه بار، نجات و سوخت‌گیری هر بالگرد می‌پردازد [۵]. ازدامار و همکاران[۳] به بررسی برنامه‌ریزی لجستیکی در مواقع اضطراری جهت ارسال کالا به مراکز توزیع در نواحی آسیب‌دیده پرداخته‌اند. شبکه توسعه داده‌شده این تحقیق به مسئله حمل‌ونقل پویای وابسته به زمان و به‌صورت تکرارشونده به ارائه پاسخ در بازه‌های زمانی اراده شده در تحویل کمک‌ها می‌پردازد [۶]. دورنر و همکاران[۴] به حداقل سازی تقاضای برآورده نشده در شرایط بحران با استفاده از تور پوششی پرداخته‌اند. در مدل ارائه شده از یک دپوی مرکزی استفاده شده و به مکان‌یابی مراکز پزشکی و مسیریابی یک وسیله نقلیه برای تأمین کالای مورد نیاز آن‌ها می‌پردازد. همچنین نقاط تقاضا، روستاهای کوچک با جمعیت کمابیش اندک و با فاصله کوتاه از یکدیگر در نظر گرفته شده است. این مدل توسط ۳ الگوریتم ابتکاری بر اساس فرضیات مسئله فروشنده دوره‌گرد حل و خروجی آن‌ها باهم مقایسه شده است [۷]. نولز و همکاران[۵] یک مدل دو هدفه برای رساندن دارو، غذا و تأمین پناهگاه به مناطق آسیب‌دیده ارائه کرده‌اند. مدل ارائه‌شده بر اساس مسئله پوشش به تعیین نحوه توزیع کالا به مناطق آسیب‌دیده می‌پردازد که الگوریتمی ژنتیک دارد و توسعه آن بر اساس جستجوی همسایگی برای حل مدل است. این الگوریتم با داده‌های واقعی مربوط به زلزله ایالت منبایی در اکوادور پیاده‌سازی و با روش محدودیت اپسیلون مقایسه شده است [۸]. هانگ و همکاران[۶] مدل‌های مسیریابی و تخصیص منابع تأمین در کمک‌رسانی به افراد آسیب‌دیده در فجایع را بررسی کردند. آن‌ها ۳ عامل مهم در مسیریابی و تخصیص منابع در فجایع یعنی کارآمدی، سودمندی و بهره‌مندی را یکسان معرفی کردند و مدل ریاضی یکسانی با تابع هدف متفاوت را به‌منظور بررسی این ۳ معیار در نظر گرفتند [۹].

رت و گودجار[۷] یک مدل مسیریابی و مکان‌یابی درزمینه امدادرسانی در فجایع ارائه کردند. آن‌ها بیان کردند که باید انبارهای میانی به‌صورت موقت و سرپایی بنا شده تا مراحل امدادرسانی و تأمین نیاز افراد آسیب‌دیده با سرعت بیشتری صورت گیرد. آن‌ها مدل ۳ هدفه‌ای را به منظور کاهش هزینه‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت و افزایش میزان ارسال کالاهای بشردوستانه ارائه و اقدام به حل آن با روش محدودیت اپسیلون کردند [۱۰]. چن و یو[۸] به بررسی مسئله مکان‌یابی تسهیل موقت برای خدمات اضطراری پزشکی با در نظر گرفتن در شرایط بحران و فاجعه با ملاحظه میزان تقاضا و حمل‌ونقل در پاسخگویی به بحران پرداختند. در این پژوهش زیرساخت‌های حمل‌ونقل با توجه به وابستگی شدید خدمات اضطراری پزشکی در نظر گرفته شده است [۱۱].

فونتم و همکاران[۹] مسائل مسیریابی اضطراری با استفاده از الگوریتمی ابتکاری مبتنی بر تجزیه را بررسی کردند. گروهی از کارکنان نجات‌دهنده در مسئله پیشنهادی آن‌ها وجود دارند که تأمین نیازهای ضروری مراکز جمعیتی بحران عملیات نجات را با استفاده از انبارهای نجات و حمل‌ونقل‌ها انجام می‌دهند. عملیات نجات باید قبل از آخرین فرصت‌ها انجام شود. هدف مسئله بیشینه‌سازی تحویل به‌موقع کمک‌ها و نیازهای ناجی است. مسئله دارای عدم قطعیت در زمان سفر و زمان نهایی مقصد جهت دریافت عملیات نجات است. آن‌ها پس از مدل‌سازی مسئله، الگوریتم ابتکاری پیشنهادی خود را جهت مسائل با ابعاد کوچک مورد آزمون قرار دادند و سپس به حل آن‌ها با ابعاد واقعی پرداختند [۱۲]. زکایی و همکاران[۱۰] یک مدل برنامه‌ریزی پویا برای طراحی شبکه امدادرسانی ۳ سطحی تحت شرایط عدم قطعیت ارائه کردند. هدف آن‌ها کمینه‌سازی هزینه‌های کل عملیاتی و افزایش رضایت مردم از طریق کاهش کمبود کالاهای ضروری بود [۱۳]. بونمی و همکاران[۱۱] یک مدل بهینه‌سازی مکان‌یابی برای لجستیک اضطراری بشردوستانه را توسعه دادند و در مسئله خود به بررسی شرایط پیش و پس از بحران برای مکان‌یابی تسهیلاتی مانند پناهگاه‌ها، انباره‌ها، مراکز پخش و پزشکی پرداختند. آن‌ها اقدام به حل چند مسئله موجود در ادبیات جهت بررسی کاربردی بودن مدل خود کردند [۱۴]. مانوپینیوس و ایروهارا[۱۲] یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه احتمالی برای اتخاذ تصمیم‌گیری‌های یکپارچه در زنجیره تأمین امداد در سطح آماده‌سازی برای پاسخگویی بحران ارائه کردند. آن‌ها نشان دادند که محدودیت‌های زمانی و در دسترس بودن وسایل نقلیه امدادی تأثیر بسیار عمده‌ای بر اهداف مسئله دارد [۱۵]. ربانی و همکاران[۱۳] به توسعه یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی استوار برای حل مسئله برنامه‌ریزی تخلیه بیمارستان تحت شرایط عدم قطعیت و با در نظر گرفتن افق برنامه‌ریزی پرداختند. هدف آن‌ها کمینه‌سازی زمان کل تخلیه و تعداد کل مصدومانی است که در هر دوره تخلیه نشده بودند. آن‌ها برای حل مسئله به توسعه ۲ الگوریتم فرا ابتکاری برای حل مسئله پیشنهادی خود پرداختند [۱۶]. رودریگز اسپیندولا و همکاران[۱۴] یک سیستم آماده‌سازی بحران مبتنی بر ترکیب یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه و سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی جهت تصمیم‌گیری‌های چند سطحی در وقوع بحران را معرفی کردند. همچنین سیستم پیشنهادی خود را برای وقوع سیل مکزیک در سال ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار دادند که پس از حل آن مشخص شد افزایش هزینه‌های کل به دلیل بیش‌ازحد نیاز بودن تعداد سازمان‌های دولتی دخیل بوده است [۱۷].

وحدانی و همکاران[۱۵] هم به توسعه یک مدل ریاضی دومرحله‌ای چندهدفه برای مسئله مکان‌یابی مسیریابی موجودی در طراحی شبکه لجستیک انسان دوستانه تحت شرایط عدم قطعیت پرداختند. هدف آن‌ها کمینه‌سازی هزینه کل، زمان سفر و افزایش قابلیت اطمینان مسیرهای امدادرسانی بود. آن‌ها با رویکرد بهینه‌سازی استوار در مسئله، شرایط عدم قطعیت را بررسی کردند [۱۸]. توانا و همکاران یک زنجیره تأمین بشردوستانه برای حل مسئله یکپارچه مکان‌یابی-موجودی-مسیریابی برای برنامه‌ریزی و مدیریت پیش و پس از فاجعه را طراحی کردند. آن‌ها از الگوریتم‌های فرا ابتکاری NSGA-II در ۲ نسخه مختلف را برای حل مسئله خود استفاده کردند [۲]. لیو و همکاران[۱۶] یک مدل ریاضی بهینه‌سازی استوار برای برنامه‌ریزی لجستیک امداد با در نظر گرفتن تقاضا و زمان حمل‌ونقل غیرقطعی را توسعه دادند. آن‌ها به پیاده‌سازی مدل پیشنهادی خود برای مسئله مطالعه

موردی در یکی از شهرهای زلزله زده چین اقدام و سیاست‌های بهینه مدیریتی را با استفاده از تجزیه‌وتحلیل حساسیت ارائه دادند [۱۹]. به‌تازگی داوودی و گلی[۱۷] یک مدل ریاضی بر اساس مفاهیم تورهای پوششی با استفاده از یک روش‌شناسی ترکیبی شامل الگوریتم تجزیه بندرز و جستجوی همسایگی متغیر را توسعه دادند. آن‌ها به پیاده‌سازی روش پیشنهادی خود در یک مسئله مطالعه موردی در ایران طی این پژوهش پرداختند [۲۰].

تعریف مسئله

لجستیک امداد بلایا یکی از فعالیت‌های اصلی در بحث مدیریت بحران است. در این پژوهش فازهای آمادگی و پاسخ در چرخه مدیریت بحران به کمک مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه تحت شرایط عدم قطعیت مدل‌سازی شده است. این رویکرد دارای ۲ گام اصلی است که در گام اول یعنی فاز آمادگی مکان بهینه مراکز توزیع امداد و همچنین مراکز درمانی، میزان موجودی کالاهای امدادی برای ذخیره‌سازی از تأمین‌کنندگان را تعیین و در گام دوم یا فاز پاسخ، میزان حمل کالاهای امدادی از نقاط تأمین به مراکز توزیع امداد یا از مراکز توزیع به نقاط آسیب‌دیده و میزان حمل مصدومان از نقاط آسیب‌دیده به مراکز درمانی و بیمارستان‌ها را توسط آمبولانس‌ها تعیین می‌شود.

به‌طورکلی برنامه‌ریزی لجستیکی در پاسخگویی به فاجعه دارای ۲ هدف کلی است. نخستین هدف حمل مصدومان از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و هدف دوم، توزیع کالاهای اضطراری مانند آب، غذا و چادرهای اسکان از انبارهای از پیش تعیین‌شده و تأمین‌کنندگان به مناطق آسیب‌دیده است. این اقدام‌ها با محدودیت‌های ظرفیت بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، ظرفیت انبارها و تعداد کالاهای موجود در آن روبه‌رو هستند که باید با توجه به حجم تقاضای غیرقطعی مکان‌ها، مراکز بالقوه جهت اسکان اضطراری، تأمین کالاها و خدمات مورد نیاز در سیستم لجستیک بحران در نظر گرفته شوند.

همان‌طور که عنوان شد، حجم مجروحان یا تقاضا در سیستم برای مناطق آسیب‌دیده نیز دارای عدم قطعیت است که با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر عدم قطعیت بازه‌ای در نظر گرفته می‌شود. هدف اصلی ما در برنامه‌ریزی لجستیک امداد کاهش زمان انتظار افراد برای دریافت کالاها و همچنین کاهش زمان انتظار افراد مصدوم برای ارائه خدمات درمان است. رسیدگی به مصدومان در اولویت اول و ارسال و توزیع کالاهای امدادی در اولویت دوم قرار دارد.

از سوی دیگر، مراکز تأمین و توزیع همانند هر تسهیل آسیب‌پذیر در هنگام وقوع فاجعه نمی‌تواند همواره به‌صورت ۱۰۰ درصد پایا به فعالیت خود در فاز پس از وقوع بحران ادامه دهند. زمان مورد انتظار تا وقوع شکست تأمین‌کننده i در یک دوره T_i از یک توزیع نمایی با میانگین λ_i پیروی می‌کند. درنتیجه، پایایی یا قابلیت اطمینان مرکز تأمین (R_i)، در ارسال و توزیع محصولات به مراکز آسیب‌دیده در یک دوره از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_i = P(T_i > \tau) = e^{-\lambda_i \cdot \tau} \qquad \forall i .$$

مراکز توزیع شبکه نیزممکن است دچار اختلال و شکست در خدمات‌دهی شوند. به‌طور مشابه داریم:

$$R_j = P(T_j > \tau) = e^{-\lambda'_j \cdot \tau} \qquad \forall j .$$

به‌طوری‌که λ'_j میانگین توزیع نمایی زمان انتظار تا وقوع شکست در مرکز توزیع j و T_i نیز زمان مدنظر تا وقوع شکست در مرکز توزیع j است. بنابراین در این پژوهش به تعیین محل انبارها، مراکز و تسهیلات درمانی، مدیریت و کنترل موجودی کالاهای اضطراری، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل توسط آمبولانس‌ها تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن اهداف مرتبط با زمان و هزینه پرداخته می‌شود. مدل‌سازی شبکه با وجود پارامترهای غیرقطعی از طریق رویکرد بهینه‌سازی استوار انجام می‌گیرد.

از این رو به‌طورکلی اهداف مدل ریاضی ارائه‌شده برای برنامه‌ریزی لجستیکی بحران پیشنهادی عبارت‌اند از:

۱. کمینه‌سازی هزینه‌های کل در فاز آمادگی و پاسخ؛
۲. کمینه‌سازی زمان پاسخگویی به مصدومان؛
۳. بیشینه‌سازی متوسط کالاهای ارسالی از سوی تأمین‌کنندگان و مراکز توزیع.

مدل‌سازی ریاضی

مفروض زیر را پیش از فرمول‌بندی مدل در این بخش بیان می‌شود که در مسئله مورد بررسی در نظر گرفته شده است:

- نقاط آسیب‌دیده، بیمارستان‌ها و نقاط تأمین و فواصل بین آن‌ها معلوم است؛
- نقاط منتخب مراکز درمانی، مراکز توزیع مشخص و فواصل بین تمام نقاط نیز معین است؛
- چند نوع کالا اضطراری در نظر گرفته می‌شود؛
- چند نوع مصدومیت با درجه اهمیت متفاوت وجود دارد. تعیین نوع مصدومیت‌ها و درجه اهمیت آن‌ها بر اساس عواملی نظیر شدت و بزرگی فاجعه، سیاست‌های واکنش و غیره است؛
- ظرفیت بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موجود برای پذیرش انواع مختلف مصدومان و ظرفیت مراکز تأمین مشخص است؛
- بخشی از مراکز توزیع، مراکز درمانی، بیمارستان‌ها و تأمین‌کنندگان ممکن است در اثر فاجعه تخریب شوند و یا در اثر آسیب و تخریب جاده‌ها امکان استفاده از آن‌ها وجود نداشته باشد؛
- پارامتر تقاضا دارای عدم قطعیت است؛
- همه گره‌های مرتبط با تأسیس مراکز توزیع از پیش تعیین‌شده و مراکز درمانی منتخب هستند؛
- هر مرکز توزیع ممکن است توسط تأمین‌کنندگان و یا مراکز توزیع دیگر (پوشش پشتیبان) تأمین شود؛
- موجودی کالاهای اضطراری ممکن است در مراکز توزیع ذخیره شود و با کمبود هم مواجه شود؛
- آمبولانس‌ها در مراکز درمانی تأسیس شده و بیمارستان‌ها مستقر هستند؛

- بالگردها در ایستگاه‌های مخصوص به خود مستقر هستند؛
- هر آمبولانس و بالگرد هزینه به‌کارگیری مخصوص به خود را دارد.
- برنامه‌ریزی مسیریابی آمبولانس‌ها و بالگردها فقط در مناطق آسیب‌دیده انجام می‌شود؛
- بالگردها تنها می‌توانند سفر خود را از ایستگاه‌های مشخص خود شروع و پس از جمع‌آوری مصدومان از نقاط آسیب‌دیده آن‌ها را به بیمارستان‌ها منتقل کنند؛

در ادامه نمادهای استفاده شده در فرمول‌بندی مکان‌یابی تسهیلات و زنجیره لجستیک امداد ارائه شده‌اند:

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

h, s اندیس عمومی برای نمایش گره‌های شبکه

I مجموعه گره‌های تأمین‌کننده $i \in I$

J مجموعه گره‌های منتخب برای تأسیس مراکز توزیع $j \in J$

K مجموعه گره‌های نقاط آسیب‌دیده $k, k' \in K$

M مجموعه گره‌های منتخب احداث مراکز درمانی $m \in M$

N مجموعه گره‌های بیمارستان‌ها $n \in N$

T مجموعه آمبولانس‌ها $t \in T$

W مجموعه بالگردها $w \in W$

Q مجموعه ایستگاه بالگردها $q \in Q$

C مجموعه انواع کالاها $c \in C$

D مجموعه انواع مصدومیت‌ها $d \in D$

پارامترها

F_j هزینه ثابت تأسیس مرکز توزیع در گره j

λ_i پارامتر توزیع نمایی بیانگر نرخ شکست مرکز تأمین در گره i

λ'_j پارامتر توزیع نمایی بیانگر نرخ شکست مرکز توزیع در گره j

τ حداقل مدت‌زمان انتظار تا عدم وقوع شکست

CX_t هزینه به‌کارگیری آمبولانس t

CX'_w هزینه به‌کارگیری بالگرد w

ϑ_m هزینه ثابت تأسیس مرکز درمانی در گره m

φ_{ic} هزینه تأمین هر واحد کالای نوع c از تأمین‌کننده i

CA_{ijc} هزینه حمل هر واحد کالای نوع c از تأمین‌کننده i به گره توزیع j

CB_{cjk} هزینه حمل هر واحد کالای نوع c از گره توزیع j به گره تقاضای k

CU_{hst} هزینه حمل از گره s به گره h توسط آمبولانس t به‌طوری‌که $h \in \{N,K\}, s \in \{K,N,M\}$

TU_{hst} زمان سفر از گره s به گره h توسط آمبولانس t به‌طوری‌که $h \in \{N,K\}, s \in \{K,N,M\}$

CU'_{hsw} هزینه حمل از گره s به گره h توسط بالگرد w به‌طوری‌که $h \in \{Q,K\}, s \in \{K,N,Q\}$

TU'_{hsw} زمان سفر از گره s به گره h توسط بالگرد w به‌طوری‌که $h \in \{Q,K\}, s \in \{K,N,Q\}$

TA_{ij} زمان سفر از تأمین‌کننده i به گره توزیع j

TB_{jk} زمان سفر از گره توزیع j به گره تقاضای k

CC_{dm} هزینه رسیدگی و درمان مصدوم نوع d در مرکز درمانی m

CD_{dn} هزینه رسیدگی و درمان مصدوم نوع d در بیمارستان n

a پارامتر مرتبط با بیشترین تعداد مرکز توزیع قابل احداث

b پارامتر مرتبط با بیشترین مرکز درمانی قابل احداث

h_c هزینه نگهداری موجودی هر واحد کالای نوع c در مراکز توزیع

π_c هزینه کمبود موجودی هر واحد کالای نوع c در مراکز توزیع

σ_d هزینه عدم رسیدگی به مصدوم نوع d

pop_k جمعیت گره تقاضای k

$T_{\max}$ بیشینه زمان محرومیت به‌طوری‌که هیچ تلفات انسانی رخ ندهد.

VC_{jc} ظرفیت مرکز توزیع j برای تأمین کالای نوع c

TC_{dt} ظرفیت آمبولانس t برای حمل مصدوم نوع d

TC'_{dw} ظرفیت بالگرد w برای حمل مصدوم نوع d

D_{kc} مقدار تقاضا برای کالای نوع c در گره تقاضای k

SC_{ic} ظرفیت تأمین‌کننده i برای تأمین کالای نوع c

ON_{kd} تعداد مصدومان نوع d در گره تقاضای k

ϕC_{nd} ظرفیت بیمارستان n برای درمان مصدومان نوع d

SS_{md} ظرفیت مرکز درمانی m تأسیس‌شده جهت درمان مصدومان نوع d

M عدد بزرگ

متغیرهای تصمیم

Q_{ijc} مقدار کالای نوع c تأمین‌شده از تأمین‌کننده i برای ذخیره در مرکز توزیع j

Y_{jkc} مقدار کالای نوع c حمل شده از مرکز توزیع j به گره آسیب‌دیده k

I_{jc} مقدار کالای نوع c ذخیره‌شده در مرکز توزیع j در انتهای دوره برنامه‌ریزی آمادگی

b_{jc} مقدار کمبود کالای نوع c در مرکز توزیع j در انتهای دوره برنامه‌ریزی آمادگی

AM_{kmdt} تعداد مصدوم نوع d منتقل‌شده از گره آسیب‌دیده k به مرکز درمانی m توسط آمبولانس t

BN_{kndt} تعداد مصدوم نوع d منتقل‌شده از گره آسیب‌دیده k به بیمارستان n توسط آمبولانس t

BN'_{kndw} تعداد مصدوم نوع d منتقل‌شده از گره آسیب‌دیده k به بیمارستان n توسط بالگرد w

E_{kd} تعداد مصدوم نوع d رسیدگی نشده در گره آسیب‌دیده k

Xa_{ij} متغیر صفر و یک (هنگامی برابر با ۱ است که مرکز توزیع گره j کالاهای مورد نیاز خود را از تأمین‌کننده i دریافت کند)

Xb_{jk} متغیر صفر و یک (هنگامی برابر با ۱ است که گره آسیب‌دیده k کالاهای مورد نیاز خود را از مرکز توزیع در گره j دریافت کند)

ZJ_j متغیر صفر و یک (هنگامی برابر با ۱ است که مرکز توزیع در گره j تأسیس شده باشد)

HM_m متغیر صفر و یک (هنگامی برابر با ۱ است که مرکز درمانی در گره m تأسیس شده باشد)

AX_{hst} متغیر صفر و یک (هنگامی برابر با ۱ است که مسیر بین h تا s توسط آمبولانس t پیموده شود به‌طوری‌که $(h \in \{N,K\}, s \in \{K,N,M\})$

BX_{hsw} متغیر صفر و یک (هنگامی برابر با ۱ است که مسیر بین h تا s توسط بالگرد w پیموده شود به‌طوری‌که $(h \in \{O,K\}, s \in \{K,N,O\})$

U_t متغیر صفر و یک (هنگامی برابر با ۱ است که آمبولانس t استفاده شود)

U'_w متغیر صفر و یک (هنگامی برابر با ۱ است که بالگرد w استفاده شود)

تابع هدف اول:

رابطه (۱)

$$\text{Min } TC = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{c\in C}\varphi_{ic}Xa_{ij} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{c\in C}CA_{ijc}Q_{ijc} + \sum_{k\in K}\sum_{j\in J}\sum_{c\in C}CB_{cjk}Y_{jkc} + \sum_{j\in J}F_jZJ_j + \sum_{m\in M}\vartheta_m HM_m + \sum_{j\in J}\sum_{c\in C}h_cI_{jc} + \sum_{j\in J}\sum_{c\in C}\pi_c b_{jc} + \sum_{h\in\{N,K\}}\sum_{s\in\{N,K,M\}}\sum_{t\in T}CU_{hst}AX_{hst} + \sum_{h\in\{Q,K\}}\sum_{s\in\{K,Q\}}\sum_{w\in W}CU'_{hsw}BX_{hsw} + \sum_{t\in T}\sum_{k\in K}\sum_{m\in M}\sum_{d\in D}CC_{dm}AM_{kmdt} + \sum_{w\in W}\sum_{t\in T}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K}\sum_{d\in D}CD_{dn}(BN_{kndt} + BN'_{kndw}) + \sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sigma_d E_{kd} + \sum_{t\in T}CX_tU_t + \sum_{w\in W}CX'_wU'_w$$

تابع هدف دوم:

رابطه (۲)

$$\text{Min } TT = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}TA_{ij}Xa_{ij} + \sum_{j\in J}\sum_{k\in K}TB_{jk}Xb_{jk} + \sum_{h\in\{N,K\}}\sum_{s\in\{N,K\}}\sum_{t\in T}TU_{hst}AX_{hst} + \sum_{h\in\{Q,K\}}\sum_{s\in\{K,Q\}}\sum_{w\in W}TU'_{hsw}BX_{hsw}$$

تابع هدف سوم:

رابطه (۳)

$$\text{Max } RT = \sum_{j\in J}\sum_{i\in I}\sum_{c\in C}e^{-\lambda_i\cdot\tau}Q_{ijc} + \sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{c\in C}e^{-\lambda'_j\cdot\tau}Y_{jkc}$$

.s.t

رابطه (۴)

$$\sum_{i\in I}Xa_{ij} \geq ZJ_j \qquad \forall j \in J,$$

رابطه (۵)

$$\sum_{j\in J}Xb_{jk} \geq 1 \qquad \forall k \in K,$$

رابطه (۶)

$$Q_{ijc} \leq MM\cdot Xa_{ij} \qquad \forall i \in I, j \in J, c \in C,$$

رابطه (۷)
$$Y_{jkc} \le MM.Xb_{jk} \quad \forall k \in K, j \in J, c \in C,$$

رابطه (۸)
$$\sum_{j \in J} Q_{ijc} \le SC_{ic} \quad \forall i \in I, c \in C,$$

رابطه (۹)
$$\sum_{k \in K} Y_{jkc} \le VC_{jc} \quad \forall j \in J, c \in C,$$

رابطه (۱۰)
$$I_{jc} = \sum_{i \in I} Q_{ijc} + b_{jc} - \sum_{k \in K} D_{kc} \quad \forall j \in J, c \in C,$$

رابطه (۱۱)
$$\sum_{j \in J} ZJ_j \le a$$

رابطه (۱۲)
$$\sum_{m \in M} HM_m \le b$$

رابطه (۱۳)
$$Xb_{jk} \le ZJ_j \quad \forall j \in J, k \in K$$

رابطه (۱٤)
$$AM_{kmdt} \le MM.HM_m \quad \forall k \in K, m \in M, d \in D, t \in T,$$

رابطه (۱۵)
$$TA_{ij} Xa_{ij} \le T_{\max} \quad \forall i \in I, j \in J,$$

رابطه (۱٦)
$$TB_{jk} Xb_{jk} \le T_{\max} \quad \forall k \in K, j \in J,$$

رابطه (۱۷)
$$\sum_{t \in T} \sum_{m \in M} \left(AM_{kmdt} + \sum_{w \in W} \sum_{n \in N} (BN_{kndt} + BN'_{kndw}) \right) + E_{kd} = ON_{kd} \quad \forall k \in K, d \in D,$$

رابطه (۱۸)
$$\sum_{n \in N} \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} (AM_{kmdt} + BN_{kndt}) \le TC_{dt} \quad \forall d \in D, t \in T,$$

رابطه (۱۹)
$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in k} AM_{kmdt} \le SS_{md} \quad \forall m \in M, d \in D,$$

رابطه (۲۰)
$$\sum_{t \in T} \sum_{w \in W} \sum_{k \in K} (BN_{kndt} + BN'_{kndw}) \le \phi C_{nd} \quad \forall n \in N, d \in D,$$

رابطه (۲۱)
$$\sum_{h \in \{N, M, K\}} AX_{hht} = 0 \quad \forall t \in T,$$

رابطه (۲۲)
$$\sum_{n \in N} AX_{nkt} - \sum_{h \in \{N, M\}} AX_{kht} = 0 \quad \forall t \in T, k \in K,$$

رابطه (۲۳)
$$\sum_{k \in K} AX_{kk't} - \sum_{k \in K} AX_{k'kt} = 0 \quad \forall t \in T, k' \in \{M, N, K\},$$

رابطه (۲۴)
$$\sum_{k \in K} AX_{knt} + \sum_{k \in K} AX_{kmt} \le 1 \quad \forall n \in N, m \in M, t \in T$$

رابطه (۲۵)
$$\sum_{h \in \{N, K\}} \sum_{s \in \{M, K, N\}} AX_{hst} \le MM.U_t \quad \forall t \in T,$$

رابطه (۲۶)
$$\sum_{h \in \{Q, K\}} BX_{hhw} = 0 \quad \forall w \in W,$$

رابطه (۲۷)
$$\sum_{h \in \{K, Q\}} BX_{hsw} - \sum_{h \in \{K, N, Q\}} BX_{shw} = 0 \quad \forall s \in K, w \in W,$$

رابطه (۲۸)
$$\sum_{s \in K} BX_{hsw} - \sum_{n \in N} BX_{nhw} = 0 \quad \forall s \in K, w \in W,$$

رابطه (۲۹)
$$\sum_{n \in N} \sum_{k \in K} BN'_{kndw} \le TC'_{dw} \quad \forall d \in D, w \in W,$$

رابطه (۳۰)
$$\sum_{h \in \{Q, K\}} \sum_{s \in \{Q, K, N\}} BX_{hsw} \le MM.U'_w \quad \forall w \in W,$$

رابطه (۳۱)
$$AM_{kmdt} \le MM. \sum_{\substack{h \in \{N, K\} \\ h \ne k}} AX_{hkt} \quad \forall k \in K, m \in M, d \in D, t \in T,$$

رابطه (۲۳)
$$BN_{kndt} \le MM. \sum_{\substack{h \in \{N, K\} \\ h \ne k}} AX_{hkt} \quad \forall k \in K, n \in N, d \in D, t \in T,$$

رابطه (۳۳)

$$BN'_{kndw} \le MM \cdot \sum_{\substack{h\in\{Q,K\}\\ h\neq k}} BX_{hkw}$$

$$\forall k \in K, n \in N, d \in D, w \in W,$$

رابطه (۳۴)

$$\sum_{n\in N}\sum_{t\in T}\sum_{q\in Q}\sum_{w\in W}(AX_{nkt} + BX_{qkw}) \ge 1$$

$$\forall k \in K,$$

رابطه (۳۵)

$$Q_{ijc}, Y_{jkc}, I_{jc}, b_{jc} \ge 0;$$
$$AM_{kmdt}, BN_{kndt}, BN'_{kndw},$$
$$E_{kd} \in Z^{+}; Xa_{ij}, Xb_{jk}, ZJ_{j},$$
$$HM_{m}, AX_{hst}, U_{t}, U'_{w} \in \{0,1\};$$
$$\forall i \in I, j \in J, c \in C, k \in K,$$
$$d \in D, h, s \in \{K, N, M\}.$$

رابطه (۱) بیانگر تابع هدف اول شامل کمینه‌سازی هزینه‌های کل در فاز آماده‌سازی و پاسخگویی است. رابطه (۲) هدف دوم مسئله شامل کمینه‌سازی زمان کل پاسخگویی در فاز پاسخگویی را ارائه می‌دهد. رابطه (۳) بیانگر تابع هدف سوم مسئله شامل بیشینه‌سازی متوسط کالای ارسالی از سوی مراکز تأمین و مراکز توزیع است. رابطه (۴) ارائه دهنده لزوم تخصیص هر مرکز توزیع تأسیس‌شده به یکی از مراکز تأمین است. رابطه (۵) بیانگر لزوم تخصیص هر یک از مراکز تقاضا به یکی از مراکز توزیع است. رابطه (۶) ارتباط بین متغیر تخصیص مراکز توزیع به مراکز تأمین و حجم کل کالای انتقال‌یافته بین این مراکز را نشان می‌دهد. رابطه (۷) نشان‌دهنده ارتباط بین متغیر تخصیص مراکز تقاضا به مراکز توزیع و حجم کل کالای انتقال‌یافته بین این مراکز است. روابط (۸) و (۹) به ترتیب بیانگر محدودیت ظرفیت مراکز تأمین و توزیع هر کالا هستند. رابطه (۱۰) میزان موجودی هر کالا را در مراکز توزیع محاسبه می‌کند. روابط (۱۱) و (۱۲) به ترتیب بیانگر لزوم رعایت بیشترین تعداد تأسیس مراکز توزیع و درمانی را نشان می‌دهد. رابطه (۱۳) نشان‌دهنده امکان تخصیص مرکز تقاضا به یک مرکز توزیع در صورت احداث آن است. رابطه (۱۴) هم نشان‌دهنده امکان انتقال مصدومان به یک مرکز درمانی در صورت احداث آن است. روابط (۱۵) و (۱۶) به ترتیب بیانگر لزوم رعایت بیشترین زمان سفر بین مراکز تأمین، توزیع و تقاضاست؛ به شرطی که هیچ تلفات انسانی رخ ندهد. رابطه (۱۷) رابطه تعادل بین تعداد مصدومان منتقل‌شده به بیمارستان و مراکز درمانی و تعداد مصدومان رسیدگی نشده با تعداد کل مصدومان را ارائه می‌دهد.

رابطه (۱۸) بیانگر محدودیت ظرفیت هر آمبولانس برای انتقال هر نوع مصدوم است. رابطه (۱۹) و (۲۰) به ترتیب ارائه دهنده محدودیت ظرفیت مراکز درمانی و بیمارستان‌ها هستند. روابط (۲۱) تا (۲۵) مرتبط با روابط مسیریابی آمبولانس‌هاست به‌طوری‌که رابطه (۲۱) بیانگر آن است که هیچ آمبولانسی نمی‌تواند دور تشکیل دهد. روابط (۲۲) و (۲۳) بیانگر رابطه پیوستگی مسیر آمبولانس‌هاست. رابطه (۲۴) بیانگر آن است که درصورتی‌که آمبولانسی برای خدمات‌دهی انتخاب شود، درنهایت باید سفر خود را یا در مراکز درمانی و یا در بیمارستان‌ها به پایان برساند. رابطه (۲۵) بیانگر آن است که تا وقتی آمبولانسی جهت خدمات‌دهی انتخاب نشود، امکان استفاده از آن وجود ندارد. روابط (۲۶) تا (۲۸) مرتبط با روابط مسیریابی بالگردهاست. به‌طوری‌که رابطه (۲۶) بیانگر آن است که هیچ بالگردی نمی‌تواند دور تشکیل دهد. روابط (۲۷) و (۲۸) بیانگر روابط پیوستگی مسیر بالگردهاست. به‌طوری‌که هر بالگرد سفر خود را از ایستگاه‌های مشخص‌شده شروع می‌کند و درنهایت مصدومان را به بیمارستان‌ها منتقل کرده و به ایستگاه دوباره برمی‌گردد. رابطه (۲۹) نشان‌دهنده محدودیت ظرفیت بالگردهاست. رابطه (۳۰) بیانگر آن است که امکان استفاده از بالگرد جهت خدمات‌دهی تا هنگام انتخاب آن وجود ندارد. رابطه (۳۱) بیانگر ارتباط بین تعداد مصدومان منتقل‌شده به مراکز درمانی و لزوم سفر آمبولانس به منطقه تقاضای متناظر است. رابطه (۳۲) نیز ارتباط بین تعداد مصدومان منتقل‌شده به بیمارستان‌ها و لزوم سفر آمبولانس به منطقه تقاضای متناظر را ارائه می‌دهد. رابطه (۳۳) بیانگر ارتباط بین تعداد مصدومان منتقل‌شده به بیمارستان‌ها و لزوم سفر بالگردها به منطقه تقاضای متناظر است. رابطه (۳۴) بیانگر آن است که حداقل یک بالگرد یا آمبولانس باید به منطقه تقاضا خدمات‌دهی ارائه کند. رابطه (۳۵) هم نوع متغیرهای مسئله را نشان می‌دهد.

مدل‌سازی استوار

مدل برتسیماس و سیم [۲۱] برای مسئله بهینه‌سازی خطی در حالتی بیشتر تشریح می‌شود که تابع هدف کمینه‌سازی است و ضرایب عدم قطعیت هم در تابع هدف و هم در محدودیت‌ها وجود دارند؛ سپس مدل اصلی پژوهش جهت تطابق آن‌ها بررسی می‌شود. مسئله بهینه‌سازی زیر به‌صورت کلی مدنظر قرار می‌گیرد:

رابطه (۳۶)

$$\text{Min} c^T x$$
$$\text{s.t.: } Ax \le b$$
$$l \le x \le u$$

بازه‌های عدم قطعیت به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

هرکدام از ضرایب محدودیت‌ها $a_{ij}, j \in N = \{1,2,\dots,n\}$ به‌صورت یک متغیر تصادفی مستقل با توزیع متقارن ولی ناشناخته $\tilde{a}_{ij}, j \in N$ مدل می‌شود که در بازه $[a_{ij} - \hat{a}_{ij}, a_{ij} + \hat{a}_{ij}]$ مقدار می‌گیرد که $\hat{a}_{ij}$ نشان‌دهنده انحراف از ضریب اسمی a_{ij} است.

هرکدام از ضرایب تابع هدف به‌صورت $c_j, j \in N$ در بازه $[c_j - d_j, c_j + d_j]$ مقدار می‌گیرد که d_j نشان‌دهنده انحراف از ضریب اسمی c_j است. لازم به ذکر است که چون تابع هدف کمینه‌سازی و هدف مدل‌های استوار حصول حداکثر تأسف[۱۸]

است، تنها یک‌طرف بازه مذکور مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ یعنی فرض می‌شود که c_j در بازه $[c_j, c_j + d_j]$ مقدار می‌گیرد.

برای فرمول‌بندی همتای استوار مسئله Γ_i به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

محدودیت iام مسئله به‌صورت $a_i^T x \leq b_i$ در نظر گرفته شده و J_i به‌صورت مجموعه ضرایب غیرقطعی در سطر i تعریف می‌شود. پارامتر Γ_i که برحسب لزوم عِدد صحیح نیست برای هر سطر i تعریف می‌شود؛ به‌طوری‌که $\Gamma_i \in [0, |J_i|]$ درواقع نقش Γ_i ها در محدودیت‌ها تنظیم کردن میزان استواری[19] روش پیشنهادی در مقابل سطح محافظه‌کاری جواب است. برتسیماس و سیم نشان دادند که ممکن است تمامی ضرایب باهم با احتمال کمی دچار عدم قطعیت شوند. لذا فرض میشود بیشترین $[\Gamma_i]$ عدد از این ضرایب اجازه تغییر دارند و یک ضریب a_{it} هم می‌تواند تا مقدار $\hat{a}_{ij}$ $(\Gamma_i - \lfloor\Gamma_i\rfloor)$ تغییر کند. به‌عبارت‌دیگر فرض می‌شود فقط یک زیرمجموعه از ضرایب مجاز خواهند بود که در حل ما تأثیر ناخوشایند بگذارند. با این فرض تضمین می‌شود اگر در حالت واقعی همین اتفاق روی دهد، جواب بهینه استوار ما به‌طور قطعی موجه خواهد بود. همچنین با توجه به توزیع متقارن متغیرها حتی در صورت آنکه تعداد ضرایبی که تغییر می‌کنند از $[\Gamma_i]$ هم بیشتر شود، جواب بهینه با احتمال خیلی زیادی موجه خواهد ماند. لذا Γ_i سطح حفاظت[20] برای محدودیت ام اطلاق می‌شود.

پارامتر Γ_0 سطح استواری در تابع هدف را کنترل می‌کند. بنابراین مقدار جواب بهینه در حالت‌هایی یافت می‌شود که Γ_0 تا ضرایب تابع هدف تغییر می‌کند و بیشترین تأثیر را بر روی جواب می‌گذارد.

در حالت‌های کلی مقادیر بالاتر Γ_0 سطح محافظه‌کاری را در مقابل هزینه بیشتری که به ازای آن باید در تابع هدف پرداخت شود، بالا می‌برد. Γ_0 لزوماً باید عدد صحیح و سایر Γ_0ها می‌توانند صحیح یا غیر صحیح باشند.

بر این اساس همتای استوار بهینه‌سازی خطی اسمی ذکرشده به‌صورت زیر به دست می‌آید [۲۱]:

رابطه (۳۷)

$$\text{Min} \quad c^T x + \underset{\{s.|s.\subseteq J.,|s.|\leq \Gamma.\}}{\text{Max}} \left\{ \sum_{j\in s.} d_j |x_j| \right\}$$

s.t.

$$\sum_j a_{ij} x_j + \underset{\{s_i \cup \{t_i\} | s_i \subseteq J_i, |s_i| \leq \lfloor\Gamma_i\rfloor, t_i \in J_i \setminus s_i\}}{\text{Max}} \left\{ \sum_{j\in s_i} \hat{a}_{ij} |x_j| + (\Gamma_i - \lfloor\Gamma_i\rfloor) \hat{a}_{it_i} |x_{t_i}| \right\} \leq b_i$$

$$l \leq x \leq u$$

درصورتی‌که بخواهیم مدل فوق را به‌صورت یک مدل بهینه‌سازی خطی درآید، نیاز به قضیه زیر است:

قضیه: به ازای بردار داده‌شده x^*، تابع حفاظت محدودیت iام که از رابطه زیر حاصل می‌شود:

رابطه (۳۸)

$$\beta_i(x^*, \Gamma_i) = \underset{\{s_i \cup \{t_i\} | s_i \subseteq J_i, |s_i| \leq \lfloor\Gamma_i\rfloor, t_i \in J_i \setminus s_i\}}{max} \left\{ \sum_{j\in s_i} \hat{a}_{ij} |x^*_j| + (\Gamma_i - \lfloor\Gamma_i\rfloor) \hat{a}_{it_i} |x^*_{t_i}| \right\}$$

برابر است با مقدار بهینه تابع هدف مسئله زیر که خطی است.

رابطه (۳۹)

$$\beta_i(x^*, \Gamma_i) = max \sum_{j\in J_i} \hat{a}_{ij} |x^*_j| z_{ij}$$

s.t.

$$\sum_{j\in J_i} z_{ij} \leq \Gamma_i$$

$$0 \leq z_{ij} \leq 1 \qquad \forall i, j \in J_i$$

اعمال بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم در مدل ریاضی

در مدل ریاضی پیشنهادی پژوهش، پارامترهای تعداد مصدومان نوع d در گره تقاضای k (ON_{kd}) و مقدار تقاضا برای کالای نوع c در گره تقاضای k (D_{kc}) از اصلی‌ترین پارامتر مسئله با ماهیت غیرقطعی است که در این پژوهش در یک بازه عدم قطعیت تعریف می‌شود. بدین‌صورت که در یک بازه عدم قطعیت برای این تعداد از انواع مصدومان در هر گره ($[\hat{ON}_{kd} - \bar{ON}_{kd}, \hat{ON}_{kd} + \bar{ON}_{kd}]$) و مقدار تقاضای انواع کالاها در گره‌های تقاضا ($[\hat{D}_{kc} - \bar{D}_{kc}, \hat{D}_{kc} + \bar{D}_{kc}]$) بر اساس رویکرد برتسیماس و سیم در نظر گرفته می‌شود. مطابق با فضای عدم قطعیت بازه‌ای هر یک از ON_{kd}های غیرقطعی در قالب یک فاصله متقارن، محدود و با مرکزیت $\bar{ON}_{kd}$ به شکل $\hat{ON}_{kd} = \alpha.\bar{ON}_{kd}$ است که $\bar{ON}_{kd}$ مقدار تخمینی پارامتر تعداد مصدومان، $\hat{ON}_{kd}$ میزان نوسان پارامتر تعداد مصدومان و سطح عدم قطعیت است. به‌طور مشابه هم برای پارامتر D_{kc} در قالب یک فاصله متقارن، محدود و با مرکزیت $\bar{D}_{kc}$ به شکل $\hat{D}_{kc} = \beta.\bar{D}_{kc}$ است که $\bar{D}_{kc}$ مقدار تخمینی پارامتر تقاضا، $\hat{D}_{kc}$ میزان نوسان پارامتر تقاضا و $\beta>0$ سطح عدم قطعیت است.

حال با توجه به مدل ریاضی ارائه شده، محدودیت‌های (۱۰) و (۱۷) به دلیل وجود پارامترهای غیرقطعی منجر به ایجاد عدم قطعیت شده و این محدودیت‌ها باید بر اساس مدل پیشنهادی برتسیماس و سیم استوار شوند. بنابراین تغییرات ایجادشده حال مدل‌سازی مدل استوار پیشنهادی به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\sum_{k\in K}(\bar{D}_{kc}-\Gamma^1_{kc}\hat{D}_{kc})\le -I_{jc}+ \qquad (۱-۱۰)$$

$$\sum_{i\in I}Q_{ijc}+b_{jc}\le\sum_{k\in K}(\bar{D}_{kc}+\Gamma^1_{kc}\hat{D}_{kc}) \quad \forall j\in J, c\in C,$$

$$O\bar{N}_{kd}-\Gamma^2_{kd}O\hat{N}_{kd}\le\sum_{t\in T}\sum_{m\in M} \qquad (۱-۱۷)$$

$$\left(AM_{kmdt}+\sum_{w\in W}\sum_{n\in N}(BN_{kndt}+BN'_{kndw})\right)$$

$$+E_{kd}\le O\bar{N}_{kd}+\Gamma^2_{kd}O\hat{N}_{kd}$$

$$\forall k\in K, d\in D,$$

لازم به ذکر است که سطوح محافظه‌کاری (بودجه عدم قطعیت) مرتبط با محدودیت‌های (۱۰-۱) و (۱۷-۱) به ترتیب $\Gamma^1_{kc}\in[0,1]$ و $\Gamma^2_{kd}\in[0,1]$ است که تعاریفی مشابه با مدل پایه پیشنهادی برتسیماس و استوار دارند.

حال مدل نهایی استوار پژوهش به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

رابطه (۴۰)

$$\text{Min } TC=\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{c\in C}\varphi_{ic}Xa_{ij}+\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{c\in C}CA_{ijc}Q_{ijc}+$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{j\in J}\sum_{c\in C}CB_{cjk}Y_{jkc}+\sum_{j\in J}F_jZJ_j+\sum_{m\in M}\vartheta_mHM_m+$$

$$\sum_{j\in J}\sum_{c\in C}h_cI_{jc}+\sum_{j\in J}\sum_{c\in C}\pi_cb_{jc}+\sum_{h\in\{N,K\}}\sum_{s\in\{N,K,M\}}\sum_{t\in T}CU_{hst}AX_{hst}+$$

$$\sum_{h\in\{Q,K\}}\sum_{s\in\{K,Q\}}\sum_{w\in W}CU'_{hsw}BX_{hsw}+\sum_{t\in T}\sum_{k\in K}\sum_{m\in M}\sum_{d\in D}CC_{dm}AM_{kmdt}+$$

$$+\sum_{w\in W}\sum_{t\in T}\sum_{n\in N}\sum_{k\in K}\sum_{d\in D}CD_{dn}(BN_{kndt}+BN'_{kndw})+$$

$$\sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sigma_dE_{kd}+\sum_{t\in T}CX_tU_t+\sum_{w\in W}CX'_wU'_w$$

رابطه (۴۱)

$$\text{Min } TT=\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}TA_{ij}Xa_{ij}+\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}TB_{jk}Xb_{jk}+$$

$$\sum_{h\in\{N,K\}}\sum_{s\in\{N,K\}}\sum_{t\in T}TU_{hst}AX_{hst}+$$

$$\sum_{h\in\{Q,K\}}\sum_{s\in\{K,Q\}}\sum_{w\in W}TU'_{hsw}BX_{hsw}$$

رابطه (۴۲)

$$\text{Max } RT=\sum_{j\in J}\sum_{i\in I}\sum_{c\in C}e^{-\lambda_i\cdot\tau}Q_{ijc}+$$

$$\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{c\in C}e^{-\lambda'_j\cdot\tau}Y_{jkc}$$

.s.t

رابطه (۴۳)

(۴)-(۹), (۱۰-۱), (۱۱)-(۱۶), (۱۷-۱), (۱۸)-(۳۵).

روش حل

در این بخش، روش‌های حل توسعه‌یافته و مقایسه بین آن‌ها برای مدل ریاضی تشریح شده ارائه می‌شود. درواقع، در این بخش به حل مدل ریاضی توسط الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک بر مبنای رتبه‌بندی نامغلوب‌ها (NSGA-II) و گرگ خاکستری چندهدفه (MOGW) پرداخته و نتایج این الگوریتم‌ها با روش دقیق محدودیت اپسیلون (EC) مقایسه می‌شود.

روش محدودیت اپسیلون (ε-constraint)

روش محدودیت اپسیلون از رویکردهای شناخته‌شده برای مواجهه با مسائل چندهدفه است که با انتقال تمامی توابع هدف به‌جز یکی از آن‌ها در هر مرحله به محدودیت به حل این نوع مسائل می‌پردازد [۲۲]. مرز پارتو[۲۱] می‌تواند با روش قید ε ایجاد شود. ازجمله مزیت‌های روش محدودیت اپسیلون در مقایسه با سایر روش‌های دقیق مانند روش جمع وزنی اهداف در طریقه جمع وزنی، یکی کردن و هم واحد کردن اهداف است که تأثیر زیادی بر نتایج حاصل دارد. درصورتی‌که در روش محدودیت اپسیلون چنین کاری انجام نشده و نتایج بر اساس هدف اصلی حاصل می‌شود. همچنین درروش محدودیت اپسیلون ما قادر به کنترل تعداد جواب‌های کارای ایجاد شده هستیم؛ درصورتی‌که چنین امکانی درروش جمع وزنی وجود ندارد [۲۲]. با در نظر گرفتن مقادیر منتخب برای ε_i ها مسئله حل خواهد شد. تابع هدف اول به‌عنوان تابع هدف اصلی و تابع هدف دوم به‌عنوان تابع هدف فرعی در روش محدودیت اپسیلون پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از روش محدودیت اپسیلون در بخش نتایج عددی ارائه خواهد شد.

الگوریتم NSGA-II

الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نا مغلوب یکی از مطرح‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌ها درزمینه بهینه‌سازی چندهدفه است. این الگوریتم در سال ۲۰۰۲ توسط دب معرفی شده است. در کنار تمام کارایی‌های NSGA-II می‌توان آن را الگوی شکل‌گیری بسیاری از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه دانست. این الگوریتم و شیوه منحصربه‌فرد آن در برخورد با مسائل بهینه‌سازی چندهدفه بارها و بارها توسط افراد مختلف برای ایجاد الگوریتم‌های جدیدتر استفاده شد. بدون شک این الگوریتم از اساسی‌ترین اعضای مجموعه الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه تکاملی است و در این پژوهش هم از آن استفاده شده است.

- نحوه نمایش جواب

در الگوریتم‌های پیشنهادی برای نمایش جوابی شدنی از ماتریسی با ۸ سطر به کار رفته است که تمامی درایه‌های آن اعداد صفر و یک هستند. شکل ۱ رشته تعریف شده مربوط به الگوریتم ژنتیک را ارائه می‌دهد. در این تصویر، در سطر اول این ماتریس، I*J ستون وجود دارد و چنانچه مرکز توزیع گره j کالاهای مورد نیاز خود را از تأمین‌کننده i دریافت کند، درایه مربوط به آن از این سطر مقدار یک را به خود می‌گیرد. در سطر دوم این ماتریس هم J*K ستون وجود دارد و اگر گره آسیب‌دیده k کالاهای مورد نیاز خود را از مرکز توزیع در گره j دریافت کند، درایه مربوط به آن از این سطر مقدار یک را به خود می‌گیرد.

در سطر سوم ماتریس J ستون وجود دارد و چنانچه مرکز توزیع در گره j تأسیس شده باشد، j امین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می‌گیرد. سطر چهارم ماتریس هم دارای M ستون است و اگر مرکز درمانی در گره m تأسیس شده باشد، m امین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می‌گیرد. در سطر پنجم T ستون وجود دارد و چنانچه آمبولانس t استفاده شود، t امین درایه از این سطر

i_1j_1	i_1j_2	i_1j_3	...	i_1j_J	i_2j_1	i_2j_2	i_2j_3	...	i_2j_J	i_Ij_1	...	i_Ij_J
j_1k_1	j_1k_2	j_1k_3	...	j_1k_K	j_2k_1	j_2k_2	j_2k_3	..	j_2k_K	j_Jk_1	...	j_Jk_K
j_1	j_2	j_3	j_4	j_5	j_6	j_7	j_8	..	...	...	j_{J-1}	j_J
m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7	m_8	..	...	...	m_{M-1}	m_M
t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	..	...	...	t_{T-1}	t_T
w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	...	...	...	w_{W-1}	w_W
$h_1s_1v_1$	$h_1s_1v_2$	...	$h_1s_1v_T$	...	$h_1s_2v_V$	...	$h_1s_2v_V$	...	...	$h_Hs_Sv_1$	...	$h_Hs_Sv_V$
$h_1s_1t_1$	$h_1s_1t_2$	...	$h_1s_1t_T$	...	$h_1s_2t_T$	...	$h_1s_2t_T$	...	...	$h_Hs_St_1$	...	$h_Hs_St_T$

شکل ۱. نحوه نمایش جواب الگوریتم NSGA-II

مقدار یک را به خود می‌گیرد. سطر ششم ماتریس هم دارای W ستون است و اگر بالگرد w استفاده شود، wامین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می‌گیرد. سطر هفتم ماتریس H*S*V ستون دارد و درایه HSVام از این سطر زمانی برابر با یک است که مسیر بین h تا s توسط بالگرد w پیموده شود. به‌طور مشابه، سطر هشتم ماتریس H*S*T ستون دارد و درایه HSTام از این سطر زمانی برابر با یک است که مسیر بین h تا s توسط آمبولانس t پیموده شود. لازم به ذکر است، برای عملگر تقاطع در الگوریتم ژنتیک از عملگر تقاطع ۲نقطه‌ای و برای عملگر جهش از عملگر جهش یک نقطه‌ای استفاده شده است.

الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (GWO)

الگوریتم گرگ خاکستری GWO یا Grey Wolf Optimizer الگوریتمی فرا ابتکاری الهام گرفته از طبیعت است که بر اساس ساختار سلسله‌مراتبی و رفتار اجتماعی گرگ‌ها در زمان شکار است. الگوریتم GWO مبتنی بر جمعیت و دارای فرآیندی ساده در تنظیمات است و قابلیت راحت تعمیم به مسائل با ابعاد بزرگ را داراست. در پیاده‌سازی این پروژه ۴ نوع از گرگ‌های خاکستری مانند آلفا، بتا، دلتا و امگا برای شبیه‌سازی سلسله‌مراتب رهبری استفاده شده است که با ۳ گام اصلی شکار شامل جستجو برای طعمه، محاصره و حمله به طعمه اجرا می‌شود. نتایج شبیه‌سازی مقایسه شده با الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) نیز عملکرد بهتر الگوریتم GWO را نشان می‌دهد. ساختار سلسله‌مراتبی و رفتار اجتماعی گرگ‌های خاکستری به‌صورت زیر است:

گرگ‌های خاکستری در رأس زنجیره غذایی هستند و زندگی اجتماعی دارند. تعداد متوسط گرگ‌های هر گله بین ۵ تا ۱۲ رأس است. در هر گله ۴ رتبه اصلی وجود دارد:

۱. گرگ‌های رهبر، گروه آلفا (alpha) نامیده می‌شوند که می‌توانند مذکر یا مؤنث باشند. این گرگ‌ها بر گله مسلط هستند و مواردی مانند محل استراحت یا نحوه شکار را مدیریت می‌کنند؛ اما علاوه بر رفتار مسلط گرگ‌های آلفا، نوعی ساختار دموکراتیک هم در گروه دیده می‌شود.

۲. گرگ‌های بتا (beta): کمک به گرگ‌های آلفا در فرآیند تصمیم‌گیری و همچنین مستعد انتخاب شدن به‌جای آن‌ها.

۳. گرگ‌های دلتا (delta): پایین‌تر از گرگ‌های بتا و شامل گرگ‌های پیر، شکارچی‌ها و گرگ‌های مراقبت‌کننده از نوزادان.

۴. گرگ‌های امگا (omega): پایین‌ترین مرتبه در هرم سلسله‌مراتب و دارای کمترین حق نسبت به بقیه اعضای گروه. بعد از همه غذا می‌خورند و در فرآیند تصمیم‌گیری مشارکتی ندارند.

فرآیند شکار گرگ‌های خاکستری شامل ۳ فاز اصلی است:

۱. مشاهده شکار، ردیابی و تعقیب آن (Tracking and approaching)

۲. نزدیک شدن، احاطه کردن (حلقه زدن) به دور شکار و گمراه کردن آن تا زمانی که از حرکت بازبماند (Pursing and encircling).

۳. حمله به شکار (attacking).

بهینه‌سازی با استفاده از گرگ‌های بتا، آلفا و دلتا انجام می‌شود. یک گرگ به‌عنوان آلفا هدایت‌کننده اصلی الگوریتم فرض می‌شود و یک گرگ بتا و دلتا نیز مشارکت دارند و بقیه گرگ‌ها به‌عنوان دنبال کننده آن‌ها محسوب می‌شوند. درنتیجه، الگوریتم گرگ خاکستری شامل پارامترهای α، β، δ و ω است. برای مدل کردن رفتار شکار گرگ‌ها به‌صورت ریاضی از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$\vec{D} = \left|\vec{C}.\overrightarrow{X_P}(t) - \vec{X}(t)\right| \quad \text{رابطه (۴۴)}$$

$$\vec{X}(t+1) = X_P(t) - \vec{A}.\vec{D} \quad \text{رابطه (۴۵)}$$

که t نشان‌دهنده تکرار جریان، A و C ضرایب بردار، $\overrightarrow{X_P}$ بردار جایگاه شکار و X بردار جایگاه گرگ‌های خاکستری است. بردارهای A و C از طریق معادلات زیر به دست می‌آیند:

$$\vec{A} = 2\vec{a}.\vec{r_1} - \vec{a} \quad \text{رابطه (۴۶)}$$

$$\vec{C} = 2.\vec{r_2} \quad \text{رابطه (۴۷)}$$

درایه‌های $\vec{a}$ به‌صورت خطی از ۲ تا صفر کاهش می‌یابند و r_1 و r_2 بردارهای تصادفی در بازه [۰، ۱] هستند.

درنهایت، پروژه شکار و تغییر جایگاه‌های گرگ‌ها برای رسیدن به شکار در نقطه بهینه به طریق زیر مدل‌سازی می‌شود.

رابطه (۴۸)
$$\overrightarrow{D_\delta} = |\overrightarrow{C_۳}.\overrightarrow{X_\delta} - \vec{X}|, \quad \overrightarrow{D_\beta} = |\overrightarrow{C_۲}.\overrightarrow{X_\beta} - \vec{X}|, \quad \overrightarrow{D_\alpha} = |\overrightarrow{C_۱}.\overrightarrow{X_\alpha} - \vec{X}|,$$

رابطه (۴۹)
$$\vec{X}_۳ = \overrightarrow{X_\delta} - \overrightarrow{A_۱}.(\vec{D}_\delta) \quad \vec{X}_۲ = \overrightarrow{X_\beta} - \overrightarrow{A_۱}.(\vec{D}_\beta), \quad \vec{X}_۱ = \overrightarrow{X_\alpha} - \overrightarrow{A_۱}.(\vec{D}_\alpha),$$

رابطه (۵۰)
$$\vec{X}(t+۱) = \frac{\vec{X}_۱ + \vec{X}_۲ + \vec{X}_۳}{۳}$$

به‌طور خلاصه، فرآیند جستجو با ایجاد یک جمعیت تصادفی در الگوریتم GWO (پاسخ‌های منتخب) آغاز می‌شود. گرگ‌های آلفا، بتا و دلتا احتمال شکار در طول دوره تکرار را برآورد می‌کنند. هر جواب پیشنهادی فاصله خود را با طعمه به‌روز می‌کند. پارامتر "a" از ۲ به صفر کاهش می‌یابد تا روند شناسایی را تقویت کند و به طعمه حمله کند. وقتی $|A| > 1$، جواب‌های نامزد شده واگرا می‌شوند و زمانی که $|A| < 1$ جواب‌ها همگرا می‌شوند.

جهت تشکیل مرز پارتوی الگوریتم MOGWO آرشیوی از پاسخ‌ها تشکیل می‌شود. این آرشیو عهده‌دار نگهداری پاسخ های پارتوی نا مغلوب است. درواقع، آرشیو یک واحد ذخیره‌سازی ساده است که می‌تواند پاسخ‌های پارتو را ذخیره‌سازی و یا تعویض کند. بنابراین آرشیو همواره تعدادی مشخصی از پاسخ‌های پارتو را نگهداری می‌کند و در مواقع لزوم آن‌ها را با جواب‌های بهتر جایگزین می‌کند. دقت شود که هر آرشیو ظرفیت مشخصی داشته و مجاز به نگهداری از تعداد مشخصی از پاسخ‌های پارتو است. در طول اجرای الگوریتم جواب‌های نا مغلوب تولید شده با پاسخ‌های موجود در آرشیو مقایسه می‌شوند. در این صورت یکی از حالت‌های زیر اتفاق می‌افتد:

- پاسخ جدید توسط حداقل یکی از اعضای آرشیو مغلوب می‌شود. در این حالت جواب جدید اجازه ورود به آرشیو را نخواهد یافت.
- جواب جدید حداقل یکی از اعضای آرشیو را مغلوب می‌کند. در این صورت پاسخ(های) مغلوب شده از آرشیو حذف شده و جواب جدید به آرشیو افزوده می‌شود.
- اگر جواب جدید و جواب‌های موجود در آرشیو هیچ‌کدام موفق به غلبه بر دیگری نشوند، جواب جدید وارد آرشیو می‌شود.
- اگر ظرفیت آرشیو تکمیل باشد، فضای جواب تمامی جواب‌ها دوباره بررسی شده و جواب با بیشترین فاصله ازدحامی حذف می‌شود. این کار باعث می‌شود گوناگونی جواب‌های جبهه پارتوی نهایی افزایش یابد.

شبه کد الگوریتم گرگ خاکستری چندهدفه در شکل ۲ ارائه شده است [۲۳].

```
Initialize the grey wolf population Xi (i = ۱, ۲, ..., n)
Initialize a, A, and C
Calculate the objective values for each search agent
Find the non-dominated solutions and initialized the archive with them
Xα=Select Leader (archive)
Exclude alpha from the archive temporarily to avoid selecting the same leader
Xβ=Select Leader (archive)
Exclude beta from the archive temporarily to avoid selecting the same leader
Xδ=Select Leader (archive)
Add back alpha and beta to the archive
t=۱;
while(t < Max number of iterations)
  for each search agent
     Update the position of the current search agent by equations (۴۴)-(۵۰)
  end for
  Update a, A, and C
  Calculate the objective values of all search agents
  Find the non-dominated solutions
  Update the archive with respect to the obtained non-dominated solutions
  If the archive is full
     Run the grid mechanism to omit one of the current archive members
     Add the new solution to the archive
  end if
  If any of the new added solutions to the archive is located outside the hypercube
     Update the grids to cover the new solution(s)
  end if
  Xα=Select Leader (archive)
  Exclude alpha from the archive temporarily to avoid selecting the same leader
  Xβ=Select Leader (archive)
  Exclude beta from the archive temporarily to avoid selecting the same leader
  Xδ=Select Leader (archive)
  Add back alpha and beta to the archive
  t=t+۱
end while
return archive
```

شکل ۲. شبه کد الگوریتم گرگ خاکستری چندهدفه

نتایج محاسباتی

پس از معرفی روش‌های حل مورد استفاده در تحقیق، در این بخش برای تجزیه‌وتحلیل کارایی مدل ریاضی ارائه شده و روش‌های حل توسعه داده‌شده، چندین نمونه در ابعاد مختلف به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شود که اطلاعات هر نمونه در جدول ۱. تشریح می‌شود. به این منظور مسائل نمونه در ابعاد کوچک (P۱)، ابعاد متوسط (P۲ و P۳)، ابعاد بزرگ (P۴) در فضای دوبعدی تولید می‌شود.

نرم‌افزار GAMS نسخه ۲۴/۱ برای حل از روش حل دقیق محدودیت اپسیلون و از نرم‌افزار MATLAB نسخه ۱۶/۰ جهت کد کردن الگوریتم استفاده می‌شود. ابتدا مسائل برای تعیین نقاط پارتو بر اساس هر یک از توابع هدف به‌صورت جداگانه حل می‌شوند. لازم به ذکر است که تمامی ران‌های مسائل در نرم‌افزار GAMS با در نظر گرفتن محدودیت زمانی ۳۶۰۰ ثانیه انجام می‌گیرد. درواقع پس از اجرای محدودیت ۳۶۰۰ ثانیه بهترین جواب حاصل گزارش می‌شود که ممکن است بهینه کلی یا بهینه محلی باشد. لازم به ذکر است که مسئله P۴ درروش محدودیت اپسیلون، جوابی به ازای این محدودیت زمانی ارائه نمی‌کند. مسئله P۴ تنها با الگوریتم‌های فرا ابتکاری قابل‌حل است.

ستون اول در جدول ۲ . بیانگر رده نمونه‌های تصادفی ایجاد شده، ستون دوم شامل تعداد گره‌های تأمین‌کننده در شبکه گراف، ستون سوم تعداد گره‌های نامزد برای تأسیس مراکز توزیع، ستون چهارم تعداد گره‌های نقاط آسیب‌دیده، ستون پنجم تعداد گره‌های نامزد احداث مراکز درمانی، ستون ششم تعداد بیمارستان‌ها، ستون هفتم تعداد آمبولانس‌ها، ستون هشتم تعداد بالگردها، ستون نهم تعداد ایستگاه بالگردها، ستون دهم تعداد انواع کالاها و ستون یازدهم تعداد انواع مصدومیت‌هاست.

جدول ۲ . نمونه‌های تصادفی ایجادشده

مسئله	I	J	K	M	N	T	W	Q	C	D
P۱	۵	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲
P۲	۹	۳	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۴	۳
P۳	۱۳	۵	۳	۲	۳	۳	۲	۲	۶	۵
P۴	۵۰	۱۰	۶	۵	۵	۵	۳	۲	۱۰	۱۰

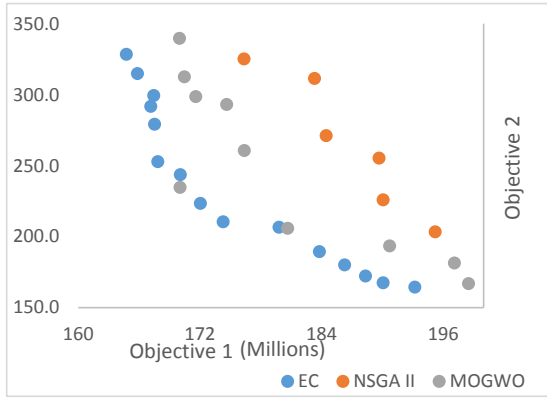
به‌عنوان نمونه، مسئله نمونه شماره ۱ توسط الگوریتم اپسیلون محدودیت، NSGA-II و MOGWO پیشنهادی حل شده و جواب‌های پارتوی یافت‌شده آن‌ها به‌عنوان نماینده‌ای از مسائل کوچک در جدول ۳. گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، الگوریتم NSGA-II موفق به یافتن ۱۲ جواب پارتو برای مسئله شماره ۱ شده است. درحالی‌که الگوریتم MOGWO، ۱۱ جواب پارتو برای این مسئله به دست آورده است. در شکل‌های

جدول ۱. مقادیر پارامترها

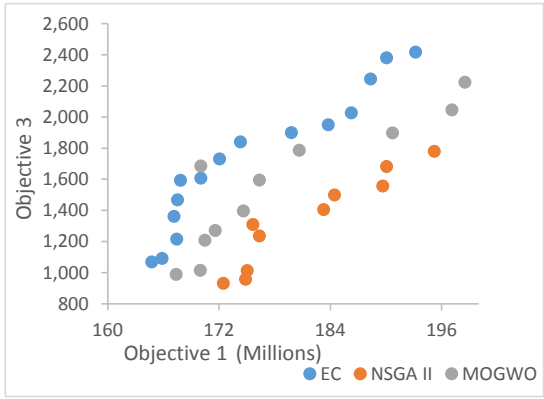
پارامترها	مقدار	پارامترها	مقدار
F_j	uniform(1000,2000)	CU_{hst}	uniform(2,3)
λ_i	uniform(0.01,0.02)	TU_{hst}	uniform(10,100)
λ'_j	uniform(0.01,0.02)	CU'_{hsw}	uniform(10,100)
τ	720	TU'_{hsw}	uniform(5,22)
CX_t	uniform(10,20)	TA_{ij}	uniform(10,50)
CX'_w	uniform(400,600)	TB_{jk}	uniform(10,50)
ϑ_m	uniform(3000,4000)	CC_{dm}	uniform(5,22)
φ_{ic}	uniform(2,4)	CD_{dn}	uniform(2,3)
CA_{ijc}	uniform(1,2)	a	6
CB_{cjk}	uniform(1,2)	b	5
h_c	uniform(2,4)	pop_k	round(uniform(20,50))
π_c	uniform(7,12)	$T_{\max}$	480
σ_d	uniform(11,22)	VC_{jc}	uniform(500,700)
h_c	uniform(2,4)	TC_{dt}	round(uniform(2,5))
TC'_{dw}	round(uniform(20,25))	ON_{kd}	round(uniform(12,50))
D_{kc}	uniform(11,23)	ϕC_{nd}	uniform(2,4)
SC_{ic}	uniform(1000,8100)	SS_{md}	round(uniform(150,200))
Γ^1_{kc}	uniform(0.5,0.8)	MM	100000000
		Γ^2_{kd}	uniform(0.5,0.8)

جدول ۳. جواب بهینه پارتو حاصل از حل نمونه شماره ۱

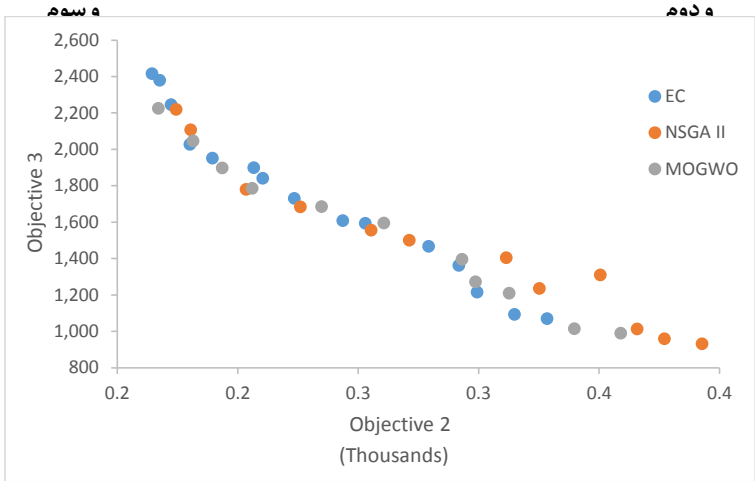
رده نمونه	جواب بهینه پارتو الگوریتم EC			جواب بهینه پارتو الگوریتم NSGA-II			جواب بهینه پارتو الگوریتم MOGWO		
	هدف اول	هدف دوم	هدف سوم	هدف اول	هدف دوم	هدف سوم	هدف اول	هدف دوم	هدف سوم
۱	۱۹۳,۲۰۸,۶۸۴	۱۶۴	۲,۴۱۶	۲۱۶۰۸۹۱۸۱	۱۷۴	۲۲۲۰	۱۹۸۵۰۳۱۲۴	۱۶۷	۲۲۲۵
۲	۱۹۰,۰۸۰,۳۳۵	۱۶۷	۲,۳۸۰	۲۰۶۶۰۶۹۲۵	۱۸۰	۲۱۰۷	۱۹۷۱۱۶۱۲۱	۱۸۱	۲۰۴۶
۳	۱۸۸,۳۴۶,۸۳۷	۱۷۲	۲,۲۴۵	۱۹۵۲۲۳۸۰۴	۲۰۳	۱۷۸۰	۱۹۰۷۰۶۲۳۹	۱۹۳	۱۸۹۸
۴	۱۸۶,۲۶۲,۴۳۸	۱۸۰	۲,۰۲۸	۱۹۰۰۷۴۱۷۵	۲۲۶	۱۶۸۳	۱۸۰۶۵۳۲۳۵	۲۰۶	۱۷۸۶
۵	۱۸۳,۷۸۷,۰۸۵	۱۸۹	۱,۹۵۱	۱۸۹۶۶۸۸۵۱	۲۵۵	۱۵۵۷	۱۷۰۰۳۴۹۲۷	۲۳۵	۱۶۸۵
۶	۱۷۹,۸۰۳,۶۲۲	۲۰۶	۱,۸۹۹	۱۸۴۴۵۵۰۳۷	۲۷۱	۱۵۰۰	۱۷۶۳۶۴۶۷۳	۲۶۱	۱۵۹۵
۷	۱۷۴,۲۹۵,۰۵۸	۲۱۰	۱,۸۴۱	۱۸۳۲۹۲۴۲۸	۳۱۱	۱۴۰۵	۱۷۴۶۲۹۲۹۷	۲۹۳	۱۳۹۷
۸	۱۷۲,۰۴۸,۱۳۱	۲۲۳	۱,۷۳۱	۱۷۶۳۵۶۹۱۳	۳۲۵	۱۲۳۶	۱۷۱۵۷۹۹۶۵	۲۹۹	۱۲۷۲
۹	۱۷۰,۰۵۰,۶۳۳	۲۴۳	۱,۶۰۸	۱۷۵۶۵۸۳۱۷	۳۵۱	۱۳۱۰	۱۷۰۴۶۸۷۵۶	۳۱۳	۱۲۰۹
۱۰	۱۶۷,۸۴۴,۱۴۰	۲۵۲	۱,۵۹۴	۱۷۵۰۴۹۳۲۱	۳۶۶	۱۰۱۳	۱۶۹۹۷۷۲۱۰	۳۴۰	۱۰۱۵
۱۱	۱۶۷,۵۲۴,۹۳۱	۲۷۹	۱,۴۶۸	۱۷۴۸۵۹۵۰۲	۳۷۷	۹۵۹	۱۶۷۳۶۵۹۵۴	۳۵۹	۹۹۰
۱۲	۱۶۷,۱۵۱,۷۰۵	۲۹۱	۱,۳۶۲	۱۷۲۴۶۴۹۴۳	۳۹۳	۹۳۲	–	–	–
۱۳	۱۶۷,۴۲۴,۰۹۷	۲۹۹	۱,۲۱۵	–	–	–	–	–	–
۱۴	۱۶۵,۸۴۴,۰۶۵	۳۱۴	۱,۰۹۳	–	–	–	–	–	–
۱۵	۱۶۴,۷۴۲,۳۵۳	۳۲۸	۱,۰۷۱	–	–	–	–	–	–



شکل ۳. مرز پارتو حاصل از حل مسئله اول برای توابع هدف اول و دوم



شکل ۴. مرز پارتو حاصل از حل مسئله اول برای توابع هدف اول و سوم



شکل ۵. مرز پارتو حاصل از حل مسئله اول برای توابع هدف دوم و سوم

۳ تا ۵ نیز نقاط پارتو به‌دست‌آمده توسط ۳ الگوریتم برای مسئله شماره ۱ به‌عنوان مثالی از ابعاد کوچک تشریح می‌شود.

با توجه به شکل‌های ۳ تا ۵، مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های NSGA-II و MOGWO تا حد زیادی مشابه روش دقیق عمل

می‌کنند؛ اما برای آنکه دقیق تشخیص اینکه الگوریتم‌های فرا ابتکاری پیشنهادی تا چه حد نزدیک به روش دقیق عمل می‌کنند و کدام‌یک عملکرد بهتری دارند، باید از شاخص‌های مربوط به الگوریتم‌های چندهدفه استفاده کرد. در این پژوهش جهت مقایسه کارایی الگوریتم‌ها از ۴ شاخص پراکندگی (DM)، فاصله از نقطه ایده‌آل (MID)، فاصله (SM) و تعداد جواب‌های پارتو (NPS) به کار رفته است.

کارایی الگوریتم‌های فرا ابتکاری NSGA-II و MOGWO

در این بخش نتایج حل عددی دقیق مسائل با نتایج الگوریتم‌های NSGA-II و MOGWO مقایسه و اعتبارسنجی الگوریتم‌ها بررسی می‌شود. درواقع، نتایج الگوریتم‌های NSGA-II و MOGWO در مسائل با ابعاد کوچک و متوسط با نتایج حل دقیق توسط حل‌کننده CPLEX نرم‌افزار GAMS مقایسه می‌شوند. سپس ازآنجاکه حل دقیق مدل در ابعاد بزرگ امکان‌پذیر نیست، مسئله با ابعاد بزرگ توسط الگوریتم‌های فرا ابتکاری حل می‌شود. همان‌طور که ذکر شد، از شاخص‌های مربوط به الگوریتم‌های چندهدفه برای اعتبارسنجی دقیق‌تر الگوریتم پیشنهادی و میزان توان آن‌ها در شناسایی مرز بهینه پارتو استفاده شده است. برای این منظور، ۴ شاخص فاصله از جواب ایده‌آل[۲۲] (MID)، پراکندگی[۲۳] (DM)، فاصله[۲۴] (SM) و تعداد جواب‌های پارتو۲۵ (NPS) را محاسبه کرده و عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی با توجه به مقادیر منتج از محاسبه این ۴ شاخص بررسی می‌شود. هر چه شاخص DM بیشتر، شاخص MID کمتر، شاخص SM کمتر و شاخص NPS بیشتر باشد، الگوریتم عملکرد بهتری دارد. مقادیر محاسبه‌شده برای مرزهای حاصل از ۲ الگوریتم برای مسائل چهارگانه مطابق با جدول ۴ است. مطابق با این جدول، مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده‌شده در این تحقیق بسیار نزدیک به الگوریتم دقیق عمل کرده و نمودارهای عملکردی آن‌ها بسیار نزدیک به‌هم هستند؛ بنابراین کارایی بسیار مناسبی در یافتن جواب‌های نزدیک به بهینه دارند. درنتیجه با توجه به عملکرد مطلوب این الگوریتم‌ها، می‌توان به صورتی مناسب از آن‌ها در حل مسائلی استفاده کرد که روش محدودیت اپسیلون در ابعاد بزرگ قادر به حلشان نیست.

به‌طور جزئی‌تر مشاهده می‌شود که الگوریتم MOGWO در معیار گوناگونی، عملکردی بسیار مناسب‌تر نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد. این بدان معنی است که الگوریتم MOGWO قادر به تولید پاسخ‌های پارتویی با دامنه گسترده‌تری از جواب‌های ممکن هستند. بنابراین به‌طورکلی می‌توان گفت که الگوریتم MOGWO عملکرد مناسب‌تری در این شاخص از خود به‌جای گذاشته است.

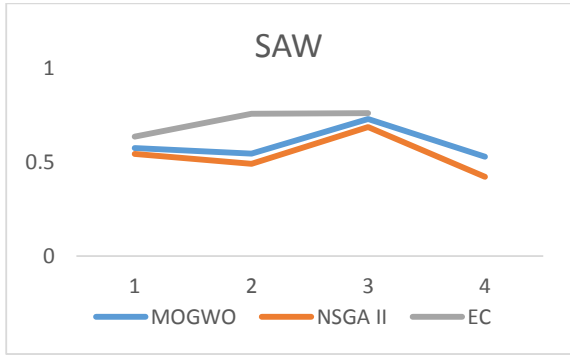
الگوریتم MOGWO در معیار فاصله از نقطه ایده‌آل نیز کارایی بهتری از خود نشان می‌دهد. یعنی فاصله از جواب ایده‌آل در این الگوریتم کمتر از سایر الگوریتم‌هاست. برخلاف شاخص گوناگونی، استثنائی در شاخص فاصله از نقطه ایده‌آل وجود نداشته و الگوریتم MOGWO به‌طورقطع بهتر عمل کرده است. همچنین عملکرد این الگوریتم در معیار فاصله بغایت مناسب‌تر بوده، جواب‌های نزدیک‌تری نسبت به هم تولید کرده و می‌توان گفت مرز یکنواخت‌تری نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد. ضمن اینکه الگوریتم MOGWO همواره موفق به یافتن تعداد بیشتری جواب‌های پارتو شده است.

جهت مقایسه کلی الگوریتم‌ها از روش مجموع میانگین وزن‌دار (MOSAW) استفاده می‌شود. ابتدا تمامی مقادیر حاصل از شاخص‌ها، نرمالیزه می‌شوند؛ سپس میانگین شاخص‌ها برای هر الگوریتم در هر مسئله را محاسبه کرده (با وزن یکسان) و به‌عنوان عملکرد آن الگوریتم در مسئله هدف، مدنظر قرار می‌گیرند. این مقایسه‌ها در شکل ۶ ارائه شده است. با توجه به این شکل واضح است که الگوریتم‌های NSGA-II و MOGWO تا حدود زیادی نزدیک به روش بهینه عمل می‌کنند. اما برای حل مسائل در ابعاد بالا (مسئله ۴) ازآنجایی‌که روش اپسیلون محدودیت از حل دقیق مسائل عاجز مانده است، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری پیشنهادی در این پژوهش استفاده می‌شود. جهت تشخیص الگوریتمی با عملکرد بهتر در ابعاد بالا، مقادیر شاخص‌های حاصل را در شکل ۶ مورد بررسی قرار می‌گیرند و مشخص می‌شود که به‌طورکلی الگوریتم MOGWO عملکرد بسیار بهتری در ابعاد بالا دارد.

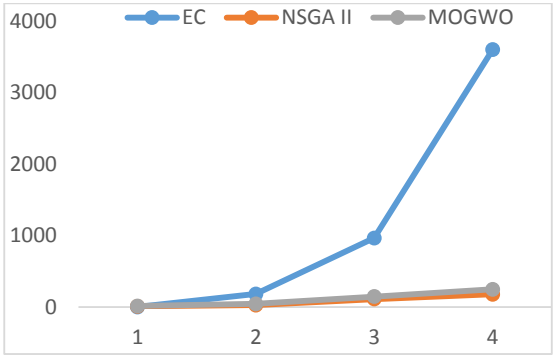
شکل ۷ نیز زمان حل رده‌های مختلف مسئله را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل با افزایش ابعاد مسئله زمان حل دقیق به‌طور چشمگیری افزایش یافته تا جایی که در مسئله نمونه شماره ۴، روش اپسیلون قادر به حل دقیق مسئله در محدودیت زمانی در نظر گرفته نیست. اما الگوریتم‌های فرا ابتکاری در زمان بسیار کوتاه‌تری قادر به حل آن هستند. به‌هرحال همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوریتم NSGA-II به زمان کمتری جهت یافتن مرز

جدول ۴. مقادیر متوسط شاخص‌های به‌دست‌آمده برای سه الگوریتم

شاخص	DM			MID			SM			NPS		
مسئله/ روش EC	NSGA-II	MOGWO	EC	NSGA-II	MOGWO	EC	NSGA-II	MOGWO	EC	NSGA-II	MOGWO	EC
۱	۱/۲۵	۱/۱۳	۱/۲۱	۰/۸۱	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۹۲	۱/۱۳	۰/۹۸	–	۱۲	۱۱
۲	۱/۱۶	۱/۰۴	۱/۱۲	۱/۲۱	۱/۲۹	۱/۲۴	۱/۰۷	۱/۳۹	۱/۱۴	–	۲۵	۳۲
۳	۰/۹۵	۰/۸۴	۰/۷۱	۰/۹	۱/۱۱	۰/۹۴	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۶۷	–	۴۸	۵۱
۴	–	۱/۱۹	۱/۲۲	–	۱/۶۱	۱/۴۷	–	۲/۶۱	۲/۴۵	–	۷۱	۸۹



شکل ۶. مقایسه کلی عملکرد روش‌های EC، NSGA-II و MOGWO



شکل ۷. زمان حل روش‌های حل پیشنهادی

پارتو نیاز دارد و می‌توان آن را به عنوان برتری‌های این الگوریتم نسبت به MOGWO دانست.

نتیجه‌گیری

بلایای طبیعی (مانند سیل، خشک‌سالی، زلزله، طوفان و قحطی و غیره) و فجایع انسانی (مانند جنگ، درگیری و بحران پناهندگان و...) در دهه‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای جوامع و ملت‌ها را در سراسر جهان در برگرفته و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که این روند ادامه خواهد یافت. بنابراین مسئله لجستیک بحران یا امداد اهمیت بیشتری در تمامی کشورها، به‌خصوص ایران دارد. ازاین‌رو در این مطالعه به طراحی یک مدل برنامه‌ریزی بهینه بر مبنای کنترل و برنامه‌ریزی خدمات پس از وقوع بحران در قالب توسعه یک مدل مکان‌یابی-مسیریابی-موجودی پرداخته شد؛ به‌طوری‌که در صورت امکان بتوان در دنیای واقعی شرایط را پیش‌بینی و با بیشترین سطح پوشش به خدمت‌رسانی در سوانح پرداخت. در این پژوهش به کمینه‌سازی زمان پاسخ‌دهی به‌عنوان اصلی‌ترین هدف تحقیق پرداخته شد. از سوی دیگر، هزینه کل ارائه خدمات به‌عنوان‌مثال شامل به‌کارگیری تسهیلات موردنیاز، هزینه‌های حمل‌ونقل و خدمات‌دهی، هزینه‌های جریمه عدم خدمات‌دهی و تلفات بالقوه هم به‌عنوان هدف دوم و کاربردی در مسئله مورد توجه قرار گرفت. درنهایت نیز خرابی تسهیلات تأمین‌کننده و توزیع‌کننده در اثر وقوع بحران که به‌طور مستقیم در ارائه خدمات آن‌ها تأثیرگذار است را تحت عنوان قابلیت اطمینان به‌عنوان تابع هدف سوم در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی عدم قطعیت در پارامتر تعداد مجروحان و حادثه دیدگان با گوناگونی آسیب و همچنین میزان تنوع کالای مورد نیاز آن‌ها از بهینه‌سازی استوار جهت فرموله کردن شرایط عدم قطعیت استفاده شد. جهت حل مدل ریاضی الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک بر مبنای رتبه‌بندی نا مغلوب‌ها (NSGA-II) و گرگ خاکستری چندهدفه (MOGW) مورد استفاده قرار گرفت و نتایج این الگوریتم‌ها با روش دقیق محدودیت اپسیلون (EC) مقایسه شد. با توجه به نتایج مشاهده شد که الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده‌شده در این تحقیق بسیار نزدیک به الگوریتم دقیق عمل کرده و نمودارهای عملکردی آن‌ها بسیار به هم نزدیک هستند. بنابراین کارایی بسیار مناسبی جهت یافتن جواب‌های نزدیک به بهینه دارند. ازاین‌رو با توجه به این عملکرد مناسب می‌توان از آن‌ها به شکلی مطلوب در حل مسائلی استفاده کرد که روش محدودیت اپسیلون در ابعاد بزرگ قادر به حل آن‌ها نیست. جهت پیشنهادهای آتی می‌توان مواردی همچون درنظرگیری مسئله به‌صورت دوره‌ای، افزودن تابع هدف عدالت و ارائه برنامه زمان‌بندی جهت انجام عملیات امدادی، درنظر داشتن مدل در حالت پویا و یا استفاده از انواع دیگر عدم قطعیت شامل احتمالی، سناریویی، چند دوره‌ای کردن زمان امدادرسانی و همچنین احتمال خرابی مسیر و قابلیت اطمینان مسیر را بررسی و مطالعه کرد.

پی‌نوشت

1 Knott
2 Barbarosoğlu et al.
3 Özdamar et al.
4 Doerner et al.
5 Nolz et al.
6 Huang et al.
7 Rath and Gutjahr
8 Chen and Yu
9 Fontem et al.
10 Zokaee et al.
11 Boonmee et al.
12 Manopiniwes and Irohara
13 Rabbani et al.
14 Rodríguez-Espíndola et al.
15 Vahdani et al.
16 Liu et al.
17 Davoodi and Goli
18 Maximum Regret
19 Robustness
20 Protection Level
21 Pareto Front
22 Mean Ideal Distance
23 Diversification Metric
24 Spacing Metric
25 Number of Pareto Solutions

منابع

1. Halskau, O. (2014). Offshore Helicopter Routing in a Hub and Spoke Fashion: Minimizing Expected Number of Fatalities. *Procedia Computer Science*, 31, 1124-1132.

2. Tavana, M., Abtahi, A. R., Di Caprio, D., Hashemi, R., & Yousefi-Zenouz, R. (2018). An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre-and post-disaster management considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 64, 21-37.

3. Nikoo, N., Babaei, M., & Mohaymany, A. S. (2018). Emergency transportation network design problem: Identification and evaluation of disaster response routes. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 27, 7-20.

4. Knott, R., (1987), The logistics of bulk relief supplies, *Disasters*, 11, 113-115.

5. Barbarosoğlu, G., Özdamar, L., and Cevik, A., (2002), An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations, *European Journal of Operational Research*, 140, 118-133.

6. Özdamar, L., Ekinci, E., Küçükyazici, B., (2004), Emergency logistics planning in natural disasters, *Annals of Operations Research*, 129, 217-245.

7. Doerner, K., Focke, A., Gutjahr, W.J., (2007), Multicriteria tour planning for mobile healthcare facilities in a developing country, *European Journal of Operational Research*, 179, 1078-1096.

8. 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*, 272, 167-187.

9. Huang, M., Smilowitz, K., Balcik, B., (2012), Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48, 2-18.

10. Rath, S., & Gutjahr, W. J., (2014), A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief, *Computers & Operations Research*, 42, 25-39.

11. Chen, A. Y., & Yu, T. Y. (2016). Network based temporary facility location for the Emergency Medical Services considering the disaster induced demand and the transportation infrastructure in disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological*, 91, 408-423.

12. Fontem, B., Melouk, S. H., Keskin, B. B., & Bajwa, N. (2016). A decomposition-based heuristic for stochastic emergency routing problems. *Expert Systems with Applications*, 59, 47-59.

13. Zokaee, S., Bozorgi-Amiri, A., & Sadjadi, S. J. (2016). A robust optimization model for humanitarian relief chain design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 40(17), 7996-8016.

14. Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 485-498

15. Manopiniwes, W., & Irohara, T. (2017). Stochastic optimisation model for integrated decisions on relief supply chains: preparedness for disaster response. *International Journal of Production Research*, 55(4), 979-996.

16. Rabbani, M., Zhalechian, M., & Farshbaf-Geranmayeh, A. (2018). A robust possibilistic programming approach to multiperiod hospital evacuation planning problem under uncertainty. *International Transactions in Operational Research* , 25(1), 157-189.

17. Rodríguez-Espíndola, O., Albores, P., & Brewster, C. (2018). Disaster preparedness in humanitarian logistics: A collaborative approach for resource management in floods. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 978-993

18. Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, F., & Mansour, F. (2018). Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 27, 290-306.

19. Liu, Y., Lei, H., Zhang, D., & Wu, Z. (2018). Robust optimization for relief logistics planning under uncertainties in demand and transportation time. *Applied Mathematical Modelling*, 55, 262-280.

20. Davoodi, S. M. R., & Goli, A. (2019). An integrated disaster relief model based on covering tour using hybrid Benders decomposition and variable neighborhood search: Application in the Iranian context. *Computers & Industrial Engineering*, 130, 370-380.

21. Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations research*, 52(1), 35-53.

22. Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied mathematics and computation*, 213(2), 455-465.

23. Mirjalili, S., Saremi, S., Mirjalili, S. M., & Coelho, L. D. S. (2016). Multi-objective grey wolf optimizer: a novel algorithm for multi-criterion optimization. *Expert Systems with Applications*, 47, 106-119.

شناسایی عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار در صنعت پتروشیمی: رویکردی تحلیل عاملی

سید علی هادوی: گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
حسین بختیاری*: گروه مدیریت صنعتی، دانشکده معارف اسلامی و مدیریت، دانشگاه امام صادق(ع)، تهران، ایران؛
Email: h.bakhtiari@isu.ac.ir
سید علی ترابی: دانشکده مهندسی صنایع، پردیس فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۹

چکیده

در شرایط کنونی، نگهداشت و استمرار فعالیت‌های محوری و حیاتی به‌عنوان موضوعی مهم در صنعت پتروشیمی مطرح است و شناخت عوامل اصلی موفقیت فرایند تداوم کسب‌وکار در این صنعت می‌تواند عامل اساسی موفقیت یا شکست آن باشد. هدف اصلی پژوهش حاضر تعیین عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار در صنعت پتروشیمی است. این پژوهش بر اساس هدف یک تحقیق کاربردی و به لحاظ روش‌شناسی یک مطالعه توصیفی-اکتشافی است. جامعه آماری تحقیق، شرکت‌های پتروشیمی هستند که مدیران ستاد مرکز فرماندهی تداوم کسب‌وکار آن‌ها به‌عنوان واحد تحلیل انتخاب شدند. بر اساس بررسی عمیق مطالعات گذشته، عوامل فرعی مؤثر بر مدیریت تداوم کسب‌وکار استخراج شدند و به‌منظور شناسایی و تأیید عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار از روش‌های تحلیل عاملی اکتشافی و تأییدی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که ۹ عامل اصلی موفقیت شناسایی و تأییدشده عبارت‌اند از: «راهبرد تداوم کسب‌وکار»، «برنامه‌ریزی اقتضایی»، «مدیریت بحران»، «مدیریت اضطراری»، «مدیریت ریسک سازمانی»، «بازیابی فاجعه»، «فرهنگ تداوم کسب‌وکار»، «تعهد و پشتیبانی مدیریت ارشد» و «تحلیل تأثیر کسب‌وکار». این تحقیق می‌تواند ادبیات نظری درباره عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار را توسعه دهد و همچنین بینش عمیقی را برای مدیران سازمان‌های مورد مطالعه به‌طور خاص و سایر سازمان‌ها به‌طور عام جهت اجرای مدیریت تداوم کسب‌وکار ایجاد کند.

واژه‌های کلیدی: *مدیریت تداوم کسب‌وکار، عوامل اصلی موفقیت، تحلیل عاملی، صنعت پتروشیمی*

Critical Success Factors (CSFs) of Business Continuity Management

A Case Study in the Iranian Petrochemical Industry

Seyed ali torabi[1], hosein bakhtiari*[2], Ali hadawy[3]

Abstract

Abstract. The primary purpose of the present study is to determine Critical Success Factors (CSFs) of Business Continuity Management (BCM) in the Iranian petrochemical industry. Based on an in-depth review of previous studies, the sub-factors affecting BCM were extracted. Then, exploratory factor analysis and confirmatory factor analysis were applied to identify and verify the CSFs of BCM.

The results demonstrate the significance of nine CSFs as follows: "business continuity strategy", "contingency planning", "crisis management", "emergency management", "enterprise risk management", "disaster recovery", "business continuity culture", senior management commitment and support", and "business impact analysis". As this study was performed in the Iranian petrochemical industry, caution should be taken on the generalization of our findings. Practical implications - The identified CSFs could provide useful insights to successfully implement BCM for the managers of the surveyed organizations, especially, and other organizations in general. This research could develop theoretical literature on the CSFs of BCM and create a deep insight into the implementation of BCM.

Keywords *Business Continuity Management, Critical Success Factors, Factor Analysis, Petrochemical Industry*

1 – Department of Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2 – Department of Management, University of Imam Sadeq, Tehran Iran, h.bakhtiari@isu.ac.ir
3 – School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

مقدمه

صنعت پتروشیمی از جمله صنایع در معرض خطرات مختلف است. این خطرات همیشه آتش یا سیل نیستند؛ بلکه گاهی همانند رعدوبرق، پرهیاهو و گاهی ظاهری آرام دارند که فقط تداوم کسب‌وکار یک سازمان را مختل می‌کنند. «سایتی که مخازن آن در آتش مواد اولیه نفتی می‌سوزد»، «ساختمان اداری که در اثر وقوع سیل یا آتش‌سوزی از بین می‌رود» یا «سایتی که در اثر یک اتصال، کل سیستم برق آن قطع می‌شود و همه اطلاعات فنی و بااهمیت از دسترس خارج می‌گردد»، همه با بحران مواجه‌اند و در همه موارد افرادی در حال فعالیت عملیات عبور از حادثه هستند. در این وضعیت، نیاز است که علاوه بر عبور از حادثه، برنامه‌ای طرح‌ریزی شود تا تداوم تولید، فروش و سایر فعالیت‌های مرتبط با صنعت قطع نشود [۱].

علاوه بر هزینه‌های مستقیم مدیریت حادثه، وقوع حادثه ممکن است سبب آسیب‌های جدی مالی و جانی از جمله مرگ‌ومیر، آلودگی محیط‌زیست، وقفه‌های کسب‌وکار، از دست دادن اعتبار و قطعاً منجر به کاهش سود یا افزایش زیان شود [۲]. در این شرایط، حتی بیمه‌ها ناکارآمد هستند و نمی‌توانند همه این هزینه‌ها و مشتری‌های ازدست‌رفته را جبران کنند. در چنین شرایطی است که وجود مدیریت تداوم کسب‌وکار الزامی به نظر می‌رسد [۳]. سازمان بین‌المللی برای استانداردها[۱] مدیریت تداوم کسب‌وکار را این‌گونه تعریف می‌کند: «یک فرایند مدیریت جامع که تهدیدات بالقوه و تأثیرات آن را بر همه فعالیت‌ها و عملیات تجاری یک سازمان شناسایی می‌کند و اگر آن تهدیدها تحقق یابد، تلاش می‌کند که چارچوبی را برای ایجاد انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری سازمانی با قابلیت یک پاسخ مؤثر جهت تضمین منافع ذی‌نفعان کلیدی، شهرت، برند و فعالیت‌های ارزش‌افزا[۲] فراهم کند» [۴]. این تعریف نشان می‌دهد که تمرکز بر ایجاد چارچوبی روشن برای مدیریت تداوم کسب‌وکار می‌تواند قابلیت تاب‌آوری سازمان‌ها برای پاسخ‌دهی مؤثر به حوادث را ارتقاء دهد. مطالعات متعددی درباره روش‌ها و چارچوب‌های مختلف مدیریت تداوم کسب‌وکار ارائه شده است. بهمرا و همکاران[۳] [۵] رابطه بین تداوم کسب‌وکار و تاب‌آوری سیستم را نشان دادند و اشاره کردند که آن سازمان‌هایی که مدیریت تداوم کسب‌وکار را اتخاذ می‌کنند می‌توانند یک سطح تاب‌آورتری داشته باشند. ترابی و همکاران[۴] [۶] بیشترین دوره قابل تحمل[۵] اختلال برای هدف حداقلی تداوم کسب‌وکار را درون یک چارچوب تحلیل تأثیر کسب‌وکار توسعه دادند. صاحب‌جمع‌نیا و همکاران [۷] مدیریت تداوم کسب‌وکار و برنامه‌ریزی بازیابی فاجعه[۷] را به‌منظور ارائه رویکردی پیشگیرانه برای تاب‌آوری سازمان یکپارچه کردند. ربانی و همکاران[۸] [۸] یک تحلیل هزینه-سود[۹] را برای ارزیابی راهبردهای مدیریت تداوم کسب‌وکار ارائه کردند.

بررسی ادبیات گذشته نشان می‌دهد که بیشتر تحقیقات مربوطه بر محاسبه شاخص‌های مختلف تاب‌آوری سازمان براساس چهارچوب مدیریت تداوم کسب‌وکار تمرکز کردند [۵،۶،۷،۸]. همچنین برخی مطالعات به‌طور اختصاصی بر ارائه رویکردهای تحلیلی یا کمّی درباره برخی عوامل مؤثر بر مدیریت تداوم کسب‌وکار از جمله برنامه‌ریزی بازیابی فاجعه [۳،۷،۹]، تحلیل تأثیر کسب‌وکار [۶،۱۰،۱۱]، برنامه‌ریزی اقتضایی [۱۰،۱۲،۱۳] و مدیریت بحران [۲،۱۴،۱۵،۱۶] تأکید نموده‌اند؛ بنابراین، مطالعات اندکی بر شناسایی عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار تمرکز کردند و می‌توان استدلال کرد که عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار در مطالعات قبلی به‌خوبی مشخص نشده است. ازاین‌رو، شناسایی عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار می‌تواند نقشی حیاتی در اجرای موفق آن، کاهش زیان‌های ناشی از آن و ارتقاء تاب‌آوری سازمان ایفا کند.

صنعت پتروشیمی از صنایع مادر و اشتغال‌زا است که نقش اساسی را به‌عنوان تغذیه‌کننده سایر صنایع و موتور حرکت اقتصاد ایران ایفا می‌کند. محصولات پتروشیمی ایران به ۶۰ کشور مختلف صادر می‌شوند؛ به‌گونه‌ای که شبه‌قاره هند ۱۳ درصد، آسیای جنوب شرقی ۲۳ درصد، چین ۲۲ درصد، خاور دور ۱۸ درصد، کشورهای اروپایی ۵ درصد و خاورمیانه ۱۹ درصد از سهم صادرات پتروشیمی ایران را به خود اختصاص می‌دهند [۱۷]. امروزه صنعت پتروشیمی ایران بیش‌ازپیش در معرض انواع تهدیدات و اختلالات قرار دارد که بقای آن را دچار تهدید می‌کند. تهدیدات ازنظر شدت، تناوب و منشأ بروز (درون‌سازمانی یا برون‌سازمانی) متفاوت هستند. از دست دادن ظرفیت فن‌آوری اطلاعات، شرایط بد جوی، قطع ارتباطات راه دور، تأخیر در دریافت مواد از سوی تأمین‌کنندگان، بحران‌های مالی جهانی و رکود اقتصادی، شرایط پر نوسان بازار و سقوط بازارهای بورس، اقدامات قانونی و تغییر تقاضای مشتری فقط نمونه‌هایی از رخدادهایی است که می‌تواند پیامدهای فاجعه باری را برای صنعت پتروشیمی ایران داشته باشد. همچنین، تهدیدها به شکل‌های متفاوتی همچون توفان، گردباد، زمین‌لرزه و آتش‌سوزی رخ می‌دهد. بلایای طبیعی، حملات تروریستی، خرابی تجهیزات و خطاهای انسانی نیز می‌توانند به‌صورت بالقوه یک تهدید پیش‌بینی‌نشده و شدید برای تداوم عملیات صنعت پتروشیمی باشد. ازآنجاکه شرکت‌های پتروشیمی جهت تداوم فرایندهای عملیاتی خود به‌طور فزاینده‌ای با ریسک‌ها و بحران‌های متفاوتی روبه‌رو هستند، ضروری است که از بروز اختلالات پیشگیری کنند. به‌علاوه، به دلیل عواقب ناگوار برخی از این اختلالات در صورت نداشتن پاسخ مناسب، مدیران صنعت پتروشیمی باید در زمان بروز اختلالات جهت کاهش این عواقب تلاش کنند. ازاین‌رو، شناخت چگونگی مقابله با این‌گونه اختلالات برای مدیران این صنعت ضروری است. بااین‌وجود استفاده از رویکرد تداوم کسب‌وکار به‌صورت عملی در میان مدیران این صنعت به‌مراتب بیشتر از سایر صنایع است؛ اما عوامل اصلی موفقیت تداوم کسب‌وکار در این صنعت به‌خوبی شناسایی نشده است؛ بنابراین، یک مطالعه درباره شناسایی عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار می‌تواند اهمیت بسزایی برای سیاست‌گذاران و مدیران ارشد صنعت پتروشیمی ایران جهت ارتقاء تاب‌آوری سازمان و کاهش خسارات و هزینه‌ها داشته باشد. با توجه به مباحث بالا، هدف اصلی تحقیق حاضر تعیین عوامل

اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار در صنعت پتروشیمی ایران است. در این راستا، دو پرسش اصلی این تحقیق به شرح زیر است:

۱. عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار کدامند؟
۲. اثربخشی عوامل شناسایی‌شده در صنعت پتروشیمی ایران چگونه است؟

۱- ادبیات نظری تحقیق

۱-۱ مدیریت تداوم کسب‌وکار

به‌طورکلی، تعاریف متنوعی از سوی محققان مختلف درباره مدیریت تداوم کسب‌وکار ارائه شده است که مفاهیم اصلی مشابهی را تشریح می‌کنند. شاید بتوان تعریف مؤسسه تداوم کسب‌وکار را به‌عنوان جامع‌ترین و اصلی‌ترین تعریف در نظر گرفت. مدیریت تداوم کسب‌وکار یک فرایند مدیریت جامع است که تهدیدهای بالقوه و اثراتی که می‌تواند تهدیدکننده سازمان باشد را شناسایی کرده و چارچوبی را برای ایجاد تاب‌آوری سازمانی با قابلیت یک پاسخ مؤثر جهت حفظ منافع ذی‌نفعان کلیدی، شهرت، برند و فعالیت‌های ارزش‌افزا[10] فراهم کند. راندری و همکاران[11] [۱۸] اظهار می‌کنند که مدیریت تداوم کسب‌وکار بر مدیریت فرایندهای بحرانی کسب‌وکار تمرکز دارد. مدیریت تداوم کسب‌وکار یک چارچوب برای شناسایی و رفع تهدیدهای داخلی و خارجی سازمان است [۱۹]. هدف مدیریت تداوم کسب‌وکار ارتقاء توانایی سازمان برای پاسخ‌دهی مؤثر به تهدیدات مختلف از قبیل بلایای طبیعی یا نقض داده‌ها۱۲ و حمایت از منافع تجاری سازمان است [۱]. بر اساس ایزو ۲۲۳۰۱ (۲۰۱۲)، یک سیستم مدیریت تداوم کسب‌وکار بر اهمیت موارد زیر تأکید می‌کند:

- درک نیازهای تداوم و آمادگی و همچنین ضرورت برای ایجاد سیاست و اهداف مدیریت تداوم کسب‌وکار؛
- پیاده‌سازی و به‌کارگیری کنترل‌ها و اقداماتی برای مدیریت ریسک‌های تداوم کلی سازمان؛
- نظارت و بررسی عملکرد و اثربخشی سیستم مدیریت تداوم کسب‌وکار؛
- بهبود مستمر بر اساس اندازه‌گیری‌های عینی.

طبق بررسی عمیق مطالعات گذشته، عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار که در این مطالعه شناسایی شدند به شرح ذیل است:

۱-۱-۱ راهبرد تداوم کسب‌وکار[13]

تداوم کسب‌وکار راهبرد تداوم کسب‌وکار یک‌فاز در فرایند برنامه‌ریزی مدیریت است که شامل خلاصه مفهومی از راهبردهای پیشگیرانه، راهبردهای پاسخ به بحران و راهبردهای بازیابی است و باید بین وقوع یک فاجعه و زمان بازسازی عملیات طبیعی انجام شود [۲۰]. طراحی این راهبرد برای کمک به کسانی است که مسئولیت تضمین اجرای توافقنامه مدیریت تداوم کسب‌وکار را در سراسر سازمان دارند [۲۱]. راهبرد مذکور مسئولیت‌پذیری برنامه مدیریت تداوم کسب‌وکار را تعیین می‌کند، هم‌ترازی با اهداف راهبردی را نشان می‌دهد و نقش‌ها و مسئولیت‌های کلیدی را نیز مشخص می‌کند [۲۲]. از طرفی، هزینه‌ها و اثربخشی بالقوه راهبردهای جایگزین برای کاهش تأثیر حوادث بر فعالیت‌های زمان‌های بحرانی باید مورد ارزیابی قرار گیرند [۱۴]. به عبارتی، حصول اطمینان از تناسب برنامه‌های مدیریت تداوم کسب‌وکار برای اجرا، پیاده‌سازی با بالاترین کارایی و در صورت نیاز به‌روزرسانی ضروری است [۲۳]. بر اساس مفاهیم استخراج‌شده از ادبیات مربوطه، موارد مهم راهبرد مدیریت تداوم کسب‌وکار مؤثر و کارا عبارت‌اند از [۲۴،۲۳،۲۲،۲۱،۲۰،۱۴]: «تعیین چشم‌انداز، اهداف، ارزش‌های بنیادی برای مدیریت تداوم کسب‌وکار و ارتباط آن‌ها با راهبردهای کسب‌وکار»، «تعیین نقشه راه مدیریت تداوم کسب‌وکار برای تحویل کارکردهای حیاتی»، «شناسایی راهبردهای جایگزین موجود برای مواجهه با دیگر شیوه‌های مدیریت تداوم کسب‌وکار»، «توسعه پاسخ به چالش‌ها و برنامه‌های تداوم کسب‌وکار و زیربنای آن‌ها»، «ارزیابی عملکرد مدیریت تداوم کسب‌وکار» و «تضمین کیفیت مدیریت تداوم کسب‌وکار و به‌روزرسانی آن».

۱-۱-۲ برنامه‌ریزی اقتضایی[14]

برنامه‌ریزی اقتضایی یک مسیر عملی طراحی‌شده است که به یک سازمان در پاسخگویی مؤثر به یک رویداد یا وضعیت آینده قابل‌توجه کمک می‌کند که ممکن است رخ دهد [۱۰]. یک برنامه اقتضایی گاهی اوقات به‌عنوان «طرح ب» مطرح می‌شود؛ زیرا در صورت عدم تحقق نتایج مورد انتظار می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای اقدامات به کار گرفته شود [۲۵]. طرح‌های اقتضایی برنامه‌هایی هستند که تنها زمانی کسب‌وکارها را پشتیبانی می‌کنند که یک فاجعه یا وضعیت پیش‌بینی‌نشده، عملیات شرکت را مختل کرده یا کارکنان آن را در معرض خطر قرار دهد [۲۰]. هدف اصلی برنامه اقتضایی این است که به سازمان اجازه دهد پس از یک رویداد پیش‌بینی‌نشده به عملیات روزانه خود با بیشترین سرعت ممکن بازگردد [۱۳]. عناصر کلیدی یک برنامه اقتضایی شامل «حفاظت»، «تشخیص» و «قابلیت بازیابی» است [۲۶]. برنامه اقتضایی سازمان را از طریق هریک از مراحل ذاتی رویداد و اهداف آن یعنی «پاسخ»، «شروع مجدد»، «بازیابی» و «ترمیم» هدایت می‌کند [۱۲]. بر اساس مفاهیم استخراج‌شده از ادبیات نظری، ویژگی‌های یک برنامه‌ریزی اقتضایی مناسب عبارت‌اند از [۲۶،۲۵،۲۰،۱۳،۱۲،۱۰]: «ایجاد مقدمات برای تداوم فرآیندهای کسب‌وکار»، «بررسی کارکردهای حیاتی سازمان»، «شناسایی سناریوهای حوادث احتمالی»، «توسعه رویه‌ها برای رفع معضلات»، «پشتیبانی فرایندهای تصمیم‌گیری و پاسخ‌دهی»، «حمایت از ایجاد راهبردهای مبتنی بر پیش‌بینی شکست».

۱-۱-۳ مدیریت بحران[15]

مدیریت بحران فرایندی است که یک سازمان با رویدادی مخرب و غیرمنتظره سروکار دارد که سازمان را تهدید می‌کند و به آن و ذینفعانش آسیب می‌رساند [۱۵]. مدیریت بحران اصطلاحی است که به فرایندهای اجراشده پس از وقفه‌های کسب‌وکار اشاره دارد که اثرات منفی وقفه‌ها را محدود می‌کند و در هنگام بازگشت کسب‌وکار به حالت عملیاتی عادی تا حد امکان به‌طور اثربخش و کارآمد عمل می‌کند [۱۶]. ویلند[16] [۲۷] اشاره می‌کند که در صورت عدم پاسخ سریع، کارا و اثربخش به حوادث، ممکن است بحران

ایجاد شود. از طرفی به دلیل ماهیت مدیریت بحران، افراد درگیر در این فرایندها به مهارت‌های مقابله با وضعیت‌های تنش‌زا و فشار کاری بالا نیاز دارند. به عقیده تاکر[17] [۱۴] مدیریت بحران، استفاده از راهبردهای طراحی‌شده برای کمک به سازمان در برخورد با یک رویداد منفی ناگهانی و قابل‌توجه است. یک بحران می‌تواند به‌عنوان نتیجه رویداد یا پیامدی غیرقابل‌پیش‌بینی از برخی اتفاق‌ها رخ دهد که به‌عنوان ریسکی بالقوه در نظر گرفته می‌شود [۲]. درهرصورت، بحران‌ها تقریباً همیشه نیازمند تصمیم‌گیری سریع و کار تیمی برای محدود کردن آسیب به سازمان هستند. به همین دلیل ازجمله اقدامات مهم در برنامه‌ریزی مدیریت بحران، آموزش افراد و شناسایی فردی است که به‌عنوان مدیر بحران عمل می‌کند [۱۶]. با توجه به مفاهیم برگرفته از ادبیات نظری، مدیریت بحران عبارت است از [۲،۱۴،۱۵،۱۶،۲۷]: «ارائه چارچوبی راهبردی برای مقابله با شرایط بحرانی به‌طور مؤثر و تا حد امکان در اسرع وقت»، «ایجاد سیستم‌ها و اقدامات نظارتی برای شناسایی سیگنال‌های هشدار زودهنگام هرگونه بحران پیش‌بینی‌شده»، «ایجاد و آموزش یک گروه مدیریت بحران یا انتخاب یک شرکت مدیریت بحران خارجی با یک تأیید ثابت‌شده در منطقه کسب‌وکار مشابه»، «توانمندسازی کارکنان برای کنار آمدن با موقعیت‌های تنش‌زا و فشار کاری بالا» و «تثبیت وضعیت و مشارکت بسیاری از ذینفعان در همه مراحل برنامه‌ریزی و اقدام برای محدود کردن خسارات بیشتر (تا حد امکان)».

۱-۱-۴ مدیریت اضطراری[18]

اضطرار می‌تواند در هر زمانی رخ دهد [۲۸]. هادو و همکاران[19] [۲۹] اشاره می‌کنند که هدف مدیریت اضطراری کاهش آثار مضر همه خطرات، ازجمله حوادث است. مدیریت اضطراری به معنای مدیریت منابع و مسئولیت‌های مربوط به برخورد با همه جنبه‌های بشردوستانه در شرایط اضطراری است و شامل چهار فاز کاهش، آمادگی، پاسخ و بازیابی است [۳۰]. فاز کاهش شامل هر فعالیتی است که از اضطرار جلوگیری می‌کند، احتمال وقوع آن و یا آسیب‌های ناشی از خطرات اجتناب‌ناپذیرش را کاهش می‌دهد. اقدامات پیشگیرانه باید پیش از اضطرار یا وقوع یک حادثه در نظر گرفته شود [۳۰]. فاز آمادگی شامل توسعه برنامه‌هایی است برای آنچه انجام می‌شود، جایی که باید بروید یا کسانی که برای کمک قبل از وقوع یک رویداد فراخوانده می‌شوند. این اقدامات شانس مقابله موفق با یک اضطرار را بهبود می‌دهد [۳۲]. در مرحله پاسخ، ایمنی در شرایط اضطراری بستگی به میزان آمادگی کارکنان و نحوه پاسخگویی آن‌ها به بحران دارد [۳۰]. درنهایت، پس از یک اضطرار و هنگامی‌که خطر فوری به پایان رسیده است (فاز بازیابی)، ایمنی پایدار بستگی به توانایی کارکنان برای عهده‌دار شدن بازسازی محیط خودشان دارد. در طی بازیابی، کارکنان باید مواردی را برای انجام دادن در نظر بگیرند که اثرات حوادث آتی را کاهش می‌دهند [۳۱]. به‌طورکلی، مدیریت اضطراری تلاش می‌کند تا کارکنان را از آسیب محافظت کند، درحالی‌که تداوم کسب‌وکار بر تداوم عملیات کلیدی کسب‌وکار متمرکز است. ازآنجاکه عملیات کسب‌وکار توسط کارکنان انجام می‌شود، توجه به محافظت از کارکنان از آسیب‌ها ضروری است [۲۸،۳۲]. بر اساس تعاریف استخراج‌شده از ادبیات نظری، موارد مهم و الزامی مدیریت اضطراری عبارت‌اند از [۲۸،۲۹،۳۰،۳۱،۳۲]: «حذف یا کاهش خطرات اصلی از بخش‌های مختلف که به کارکنان آسیب می‌رساند»، «تعیین نقش و مسئولیت‌های کارکنان در شرایط اضطراری»، «توانمندسازی و آموزش کارکنان جهت مقابله با شرایط اضطراری با استفاده از تحلیل سناریو» و «بیشترین استفاده از منابع و ابزارهای موجود برای مقابله با شرایط اضطراری و ایجاد ایمنی پایدار».

۱-۱-۵ مدیریت ریسک سازمانی

مدیریت ریسک شامل شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها (تعریف‌شده در ایزو ۳۱۰۰۰ به‌عنوان اثر عدم اطمینان در اهداف) پس از استفاده هماهنگ و اقتصادی از منابع برای به حداقل رساندن، نظارت و کنترل احتمال و یا تأثیر رویدادهای ناگوار یا به بیشینه رساندن تحقق فرصت‌ها است [۳۳،۳۴]. رفع ریسک‌ها مستلزم چارچوبی یکپارچه و جامع با قابلیت شناسایی، ارزیابی و به‌اندازه کافی مشخص کردن پاسخ‌ها است [۳۵]. برای سازمان‌های بیشتر و بیشتر، این به معنی سازگاری مدل مدیریت ریسک سازمانی است. مدیریت ریسک سازمانی به دنبال شناسایی همه تهدیدها ازجمله مالی، راهبردی، کارکنان، بازار، فناوری، قانونی، انطباق، ژئوپولیتیک (وابسته به جغرافیای سیاسی) و محیط‌زیست است که بر سازمان تأثیر ناخوشایندی می‌گذارد [۳۲،۳۶]. این رویکرد جامع، چارچوبی مناسب‌تر جهت کاهش ریسک و پیشبرد اهداف و فرصت‌ها در برابر تهدیدهای تجاری را پیش روی سازمان‌ها قرار می‌دهد [۳۷]. با توجه به مفاهیم برگرفته از ادبیات نظری، موارد اساسی مدیریت ریسک سازمانی عبارت‌اند از [۳۲،۳۴،۳۵،۳۶،۳۷،۳۸]: «شناسایی تهدیدات بالقوه‌ای که می‌تواند منجر به یک فاجعه و اختلال در عملیات کسب‌وکار شود»، «بررسی روش‌های موجود برای مقابله به‌موقع با رویدادهای غیرمعمول»، «اولویت‌بندی تهدیدها و راه‌حل‌های رفع آن‌ها» و «ارزیابی ریسک‌ها، تحلیل نتایج و به‌روزرسانی آن‌ها».

۱-۱-۶ بازیابی فاجعه[20]

آژانس مدیریت اضطراری فدرال آمریکا (FEMA) بازیابی را این‌گونه تعریف نموده است: «اقدامات غیر اضطراری که هدف آن‌ها برگرداندن همه سیستم‌ها (رسمی و غیررسمی) تا حد امکان به حالت عادی است» [۳۹]. بازیابی فاجعه شامل مجموعه‌ای از سیاست‌ها، ابزارها و رویه‌هایی است که قادر به بازیابی یا تداوم زیرساخت‌های فناوری حیاتی و سیستم‌های بااهمیت پس از فاجعه ناشی از طبیعت یا انسان است [۴۰]. بازیابی فاجعه یک منطقه برنامه‌ریزی امنیتی است که هدف آن محافظت یک سازمان از اثرات رویدادهای منفی قابل‌توجه است [۷]. بازیابی فاجعه به سازمان اجازه حفظ وظایف حیاتی مأموریتش و آغاز سریع آن‌ها پس از یک فاجعه را می‌دهد [۹]. تیمس[21] [۳] استدلال می‌کند که هدف نقطه بازیابی و هدف زمان بازیابی از مهم‌ترین پارامترهای بازیابی فاجعه هستند. هماهنگ‌کننده بازیابی فاجعه

مسئول تنظیم برنامه‌های بازیابی به‌سوی حرکت در میان بخش‌ها و گروه‌های مختلف و هماهنگ کردن این تلاش‌ها به‌گونه‌ای است که آن‌ها پیشرفت می‌کنند. همچنین آن‌ها به حل مسائل مواجه شده در طول مسیر کمک می‌کنند و موانعی را که پیشرفت فرایند را کاهش می‌دهند، حذف می‌کنند [۲۰،۴۱]. با توجه به مفاهیم برگرفته از ادبیات نظری، خصوصیات مهم یک بازیابی فاجعه مناسب عبارت‌اند از [۳،۷،۹،۲۰،۴۰،۴۱]: «تمرکز بر بازیابی بخش‌های مختلف و همه کارکردهای مرتبط با آن»، «کاهش زمان‌های ازکارافتادگی در بخش‌های مختلف»، «اولویت‌بندی بازیابی فاجعه» و «اجرا و توسعه عوامل و اقدامات تاب‌آوری جدید برای بازیابی شرکت».

۱-۱-۷ فرهنگ تداوم کسب‌وکار[۲۲]

تداوم کسب‌وکار، رویداد یا برنامه‌ای نیست که از زمانی به زمان دیگر اجرا شود. ازآنجایی‌که این رویکرد نه‌تنها ریسک‌هایی را شناسایی می‌کند که شرکت با آن مواجه است؛ بلکه چگونگی کاهش آن‌ها را نیز به دنبال دارد. به‌این‌ترتیب باید به‌گونه‌ای پیگیری شود که ریشه در کارهای روزانه هر عضو شرکت داشته باشد [۲۳]؛ بنابراین تثبیت تداوم کسب‌وکار از مهم‌ترین اقدامات حرفه‌ای حیاتی در مدیریت تداوم کسب‌وکار است [۱۹]. در سطوح عمیق‌تر، مدیریت تداوم کسب‌وکار به محافظت از شرکت و درنتیجه سرمایه‌گذاری سهامداران و مشاغل کارکنان آن مرتبط است. هر کارمند باید آن را درک و این درک باید به شیوه انجام کار نفوذ کند. فرهنگ تعبیه‌شده تداوم کسب‌وکار به این معنی است که همه کسانی که در این حوزه فعالیت دارند باید به‌طور خودکار با هم به شیوه‌ای عمل کنند که از آن حمایت می‌کنند [۲۳]. با توجه به مفاهیم برگرفته از ادبیات نظری، موارد قابل‌توجه فرهنگ تداوم کسب‌وکار شامل: «آگاهی دادن به ذینفعان اصلی و کارکنان در خصوص فرهنگ تداوم کسب‌وکار»، «آموزش کارکنان درزمینه مدیریت تداوم کسب‌وکار و افزایش انگیزه مسئولیت‌پذیری آن‌ها به‌منظور اجرای برنامه‌های مدیریت تداوم کسب‌وکار» و «ارتقاء فرهنگ کار گروهی» است [۱۹،۲۳].

۱-۱-۸ تعهد و حمایت مدیریت ارشد[۲۳]

تعهد مدیریت ارشد جهت هرگونه ابتکار عمل برای موفقیت لازم است. به عبارتی، می‌توان اظهار داشت که بدون تعهد و حمایت مدیریت ارشد شکست سازمان به‌طور عمده‌ای قطعی است [۴۲]. اسمیت و بروکس[۲۴] [۱۹] بیان می‌کند که امروزه شاید شرکت‌ها باید ایمنی را بیشتر از همیشه افزایش دهند، هزینه‌های کل را کاهش دهند، چرخه‌های تحویل کوتاه‌تر را رعایت کنند و نیازهای کیفی دقیق‌تری را برآورده کنند. حتی رقابتی‌ترین شرکت‌ها باید به دنبال تداوم کسب‌وکار برای رقابت با رقبای خود باشند. شاید بتوان با قاطعیت ادعا کرد که لازمه دستیابی به مدیریت تداوم کسب‌وکار همکاری و اعتماد بین مدیران و کارکنان و مشارکت حمایتی مدیران است [۱۰]. اسمیت و بروکس [۱۹] استدلال می‌کنند که تخصیص منابع و بودجه برای مدیریت تداوم کسب‌وکار ارتباط مستقیمی به مشارکت مدیریت ارشد در اجرای شیوه‌های مدیریت تداوم کسب‌وکار دارد. با توجه به مفاهیم مشتق از ادبیات نظری، تعهد و حمایت مدیریت ارشد شامل مواردی مانند: «ایجاد یک فرهنگ گزارش دهی در میان همه مدیران ارشد و کارکنان»، «فراهم کردن منابع و بودجه لازم برای تقویت مدیریت تداوم کسب‌وکار» و «مشارکت مدیریت ارشد در اجرای شیوه‌ها و فعالیت‌های مدیریت تداوم کسب‌وکار» است [۱۰،۱۹،۴۲].

۱-۱-۹ تحلیل تأثیر کسب‌وکار[۲۵]

تحلیل تأثیر کسب‌وکار یک فرایند نظام‌مند برای تعیین و ارزیابی اثرات بالقوه یک وقفه بر عملیات بحرانی کسب‌وکار به‌عنوان نتیجه یک فاجعه، حادثه یا اضطرار است [۶]. تحلیل تأثیر کسب‌وکار جزئی ضروری از برنامه تداوم کسب‌وکار سازمان است و شامل یک جزء اکتشافی برای آشکارسازی هرگونه آسیب‌پذیری و یک جزء برنامه‌ریزی برای تدوین و توسعه راهبردهایی به‌منظور به حداقل رساندن ریسک است [۱۰]. نتیجه تحلیل تأثیر کسب‌وکار، گزارشی است که ریسک‌های بالقوه مربوط به سازمان مورد مطالعه را توصیف می‌کند [۱۱]. یکی از پیش‌فرض‌های اساسی تحلیل تأثیر کسب‌وکار، وابستگی هر مؤلفه سازمان به کارکرد مداوم همه مؤلفه‌های دیگر است؛ اما برخی از آن‌ها بسیار مهم‌تر از سایرین هستند و به تخصیص منابع بیشتر پس از یک فاجعه نیاز دارند [۴۲]. تحلیل تأثیر کسب‌وکار فرایند شناسایی فرایندهای حیاتی برای موفقیت مداوم شرکت و درک تأثیر اختلال در این فرایندها است و از معیارهای مختلفی ازجمله خدمات مشتری، عملیات داخلی، قانونی یا نظارتی و مالی استفاده می‌کند [۱۱]. تحلیل تأثیر کسب‌وکار پیامدهای ناشی از اختلال کارکرد و فرایند کسب‌وکار را پیش‌بینی می‌کند و اطلاعات مورد نیاز برای توسعه راهبردهای بازیابی را جمع‌آوری می‌نماید [۶]. بر اساس تعاریف استخراج‌شده از ادبیات نظری، موارد مهم یک تحلیل تأثیر کسب‌وکار مفید عبارت‌اند از: [۶،۱۰،۱۱،۴۲]: «شناسایی فرایندهای حیاتی کسب‌وکار و کشف هرگونه آسیب‌پذیری در آن‌ها» و «تحلیل تأثیر اختلال‌ها در فرایندهای حیاتی کسب‌وکار».

۲- روش‌شناسی تحقیق

این پژوهش بر اساس هدف یک تحقیق کاربردی است و ازنظر روش‌شناسی یک مطالعه توصیفی-اکتشافی است و تحقیقی پیمایشی از منظر گردآوری داده‌ها محسوب می‌شود. این مطالعه بر اساس روش تحلیل داده‌ها یک تحقیق کمّی است. جامعه آماری تحقیق شرکت‌های پتروشیمی ایرانی است که مدیران ستاد مرکز فرماندهی تداوم کسب‌وکار این شرکت‌ها به‌عنوان واحد تحلیل انتخاب شدند. دلیل انتخاب صنعت پتروشیمی به سبب فعال‌تر بودن ستاد مرکز فرماندهی تداوم کسب‌وکار این صنعت در بین سایر صنایع ایرانی است. به عبارتی، تداوم کسب‌وکار برای این صنعت بسیار ضروری است و در صورت توقف فعالیت‌های شرکت، هزینه‌های هنگفتی ایجاد می‌شود. تعداد ۱۰۷ شرکت پتروشیمی در ایران وجود دارد که ۳۶۴ مدیر در ستاد مرکز تداوم کسب‌وکار درگیر هستند. بر اساس بریس و همکاران[۲۶] [۴۳]، برای محاسبه اندازه نمونه از فرمول کوکران در جامعه محدود $n = 238$ استفاده شد که در رابطه (۱) نشان داده شد. از سوی دیگر، آذر و همکاران [۴۴]

استدلال می‌کنند که برای انجام تحلیل عاملی اکتشافی حداقل باید ۵ نمونه در هر مؤلفه وجود داشته باشد. اندازه نمونه محاسبه شده نشان می‌دهد که هیچ نگرانی در خصوص اجرای تحلیل عاملی اکتشافی وجود ندارد. به دلیل همگن بودن اعضای واحد تحلیل از نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد.

رابطه (۱)

$$n = \frac{N \times z_{\frac{\alpha}{2}}^2 \times \sigma^2}{\varepsilon^2 (N-1) + \times z_{\frac{\alpha}{2}}^2 \times \sigma^2} =$$

$$\frac{364 \times 1.96^2 \times 0.667}{0.05^2 \times (364-1) + 1.96^2 \times 0.667} \cong 238$$

به‌منظور بررسی ادبیات نظری و استخراج عوامل فرعی مؤثر بر مدیریت تداوم کسب‌وکار از روش کتابخانه‌ای در این تحقیق استفاده شد. برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از روش میدانی و پرسشنامه محقق ساخته استفاده شد. پرسشنامه تحقیق شامل دو بخش عمومی و تخصصی است. بخش عمومی شامل مشخصات دموگرافیک پاسخ‌دهندگان است (جدول ۱). بخش تخصصی شامل ۳۷ سؤال مربوط به عوامل فرعی مؤثر بر مدیریت تداوم کسب‌وکار است که بر اساس مقیاس پنج‌گانه لیکرت با طیف از ۱ (بسیار کم) تا ۵ (بسیار زیاد) اندازه‌گیری شدند. طی فرایند جمع‌آوری داده‌ها، ۳۰۰ پرسشنامه به‌وسیله ایمیل به مدیران ستاد مرکز فرماندهی تداوم کسب‌وکار ارسال و از آن‌ها درخواست شد که طی دو ماه به آن پاسخ دهند. درنهایت، ۲۷۳ پرسشنامه مفید با میزان نرخ پاسخ‌دهی ۹۱ درصد برای تحلیل آماری جمع‌آوری شد.

در این مطالعه، بررسی عمیقی از مطالعات قبلی به‌منظور استخراج عوامل فرعی مؤثر بر مدیریت تداوم کسب‌وکار انجام شد. سپس، به‌منظور شناسایی ساختار و ماهیت عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار و تعیین اعتبار ابزار اندازه‌گیری از تحلیل عامل اکتشافی با نرم‌افزار SPSS استفاده شد [۷]. بریس و همکاران[۲۷] [۴۳] اظهار می‌کنند که تحلیل عاملی اکتشافی یک روش آماری چندمتغیره شناخته‌شده برای دستیابی به اهداف علمی ازجمله کاهش داده، شناسایی ساختار و اندازه‌گیری اعتبار پرسشنامه است. درنهایت، با توجه به ماهیت پیش‌بینی‌نشده سازه‌های تحقیق، تحلیل عاملی تأییدی بر اساس روش حداقل مربعات جزئی[۲۸] با نرم‌افزار SmartPLS برای بررسی میزان سازگاری بین عوامل نظری و تجربی به کار گرفته شد [۴۴]. به عبارتی، تحلیل عاملی تأییدی به‌منظور تعیین توانایی سازگاری مدل عاملیِ از پیش تعریف‌شده (نتیجه تحلیل عامل اکتشافی) با مجموعه داده‌های مشاهده‌شده استفاده شد [۴۶].

۳- یافته‌های تحقیق

۳-۱ شناسایی عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار: تحلیل عاملی اکتشافی

نتایج تحلیل عاملی اکتشافی در جدول ۲ نشان می‌دهند که داده‌های تحقیق و تعداد نمونه برای انجام تحلیل عاملی و شناسایی ساختار مدل عاملی مناسب هستند ($Sig \leq ۰/۵$ ،$KMO \geq ۰/۶$). یافته‌ها، ارزش اشتراک استخراجی همه عوامل فرعی را بالاتر از ۰/۵ نشان دادند (جدول ۲)، بنابراین عوامل فرعی استخراج‌شده توانایی تبیین واریانس کل مدل مورد نظر را دارند [۴۸]. بر اساس پیشنهاد بریس و همکاران [۴۳]، در این مطالعه ۹ عامل اصلی موفقیت به‌وسیله روش تحلیل مؤلفه اصلی و چرخش واریماکس با نرمال‌سازی کیسر استخراج شدند که نزدیک به ۶۷ درصد از واریانس کل مدیریت تداوم کسب‌وکار را تبیین می‌کنند (جدول ۲). جدول ۳ عوامل اصلی شناسایی‌شده، درصد واریانس تبیین شده توسط هر عامل اصلی و بارهای عاملی عوامل فرعی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. توصیف ویژگی‌های جمعیت شناختی پاسخ‌دهندگان

ویژگی جمعیت شناختی	سطوح	فراوانی	درصد فراوانی	درصد فراوانی تجمعی
جنسیت	مرد	۲۵۴	۹۳/۰۴	۹۳/۰۴
	زن	۱۹	۶/۹۶	۱۰۰
سن	کمتر از ۳۰ سال	۸	۲/۹۳	۲/۹۳
	بین ۳۰ تا ۴۰ سال	۵۵	۲۰/۱۵	۲۳/۰۸
	بین ۴۱ تا ۵۰ سال	۹۱	۳۳/۳۳	۵۶/۴۱
	بیشتر از ۵۰ سال	۱۱۹	۴۳/۵۹	۱۰۰
تحصیلات	کارشناسی و پایین‌تر	۸۳	۳۰/۴۰	۳۰/۴۰
	کارشناسی ارشد	۱۴۵	۵۳/۱۱	۸۳/۵۲
	دکتری	۴۵	۱۶/۴۸	۱۰۰
تجربه کاری	کمتر از ۱۰ سال	۴۳	۱۵/۷۵	۱۵/۷۵
	بین ۱۰ تا ۱۵ سال	۵۶	۲۰/۵۱	۳۶/۲۶
	بین ۱۶ تا ۲۰ سال	۶۹	۲۵/۲۷	۶۱/۵۴
	بیشتر از ۲۰ سال	۱۰۵	۳۸/۴۶	۱۰۰

جدول ۲. نتایج تحلیل عاملی اکتشافی

شاخص KMO	آزمون کرویت بارتلت			اشتراک استخراجی عوامل فرعی	تعداد عوامل اصلی استخراج‌شده	واریانس تبیین شده بعد از چرخش (درصد)
	x^2	درجه آزادی	سطح معناداری (Sig)			
۰/۷۸۳	۳۲۷۹/۲۰۳	۶۶۶	۰/۰۰۰	بیشتر از ۰/۵	۹	۶۷/۰۶۳

جدول ۳. عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار

عامل	زیرعامل	بار عاملی	واریانس تبیین شده (درصد)	منابع
راهبرد تداوم کسب‌وکار	تعیین چشم‌انداز، اهداف، ارزش‌های بنیادی برای مدیریت کسب‌وکار و ارتباط آن‌ها با راهبردهای کسب‌وکار	۰/۸۷۳	۱۱/۹۰۴	[۱۴،۲۰،۲۱،۲۲،۲۳،۲۴]
	تعیین نقشه راه مدیریت تداوم کسب‌وکار برای ارائه نقش‌های حیاتی	۰/۸۲۷		
	توسعه پاسخ به چالش‌ها و برنامه‌های تداوم کسب‌وکار و زیربنای آن‌ها	۰/۷۹۴		
	شناسایی راهبردهای جایگزین موجود برای مقابله با دیگر فعالیت‌های مدیریت تداوم کسب‌وکار	۰/۷۷۹		
	ارزیابی عملکرد مدیریت تداوم کسب‌وکار	۰/۷۳۱		
برنامه‌ریزی اقتضایی	تضمین کیفیت مدیریت تداوم کسب‌وکار و به‌روزرسانی آن	۰/۷۰۵	۹/۵۷۰	[۱۰،۱۲،۱۳،۲۰،۲۵،۲۶]
	ایجاد مقدمات برای تداوم فرایندهای کسب‌وکار	۰/۸۴۵		
	بررسی کارکردهای حیاتی سازمان	۰/۸۱۴		
	شناسایی سناریوهای حوادث محتمل	۰/۷۸۸		
	توسعه رویه‌ها برای رفع معضلات	۰/۷۶۴		
	ارائه پشتیبانی برای فرایندهای تصمیم‌گیری و پاسخ‌دهی	۰/۷۳۹		
	ارائه پشتیبانی برای ایجاد راهبردهای مبتنی بر پیش‌بینی شکست	۰/۶۸۳		
مدیریت بحران	ارائه یک چارچوب راهبردی برای مقابله با شرایط بحرانی به‌طور مؤثر و تا حد امکان در اسرع وقت	۰/۸۴۳	۸/۸۹۰	[۲،۱۴،۱۵،۱۶،۲۷]
	ایجاد سیستم‌ها و اقدامات نظارتی برای شناسایی سیگنال‌های هشدار زودهنگام هرگونه بحران پیش‌بینی‌نشده	۰/۷۹۷		
	ایجاد و آموزش یک گروه مدیریت بحران یا انتخاب یک شرکت مدیریت بحران خارجی با یک تأیید ثابت‌شده در منطقه کسب‌وکار مشابه	۰/۷۷۶		
	توانمندسازی کارکنان برای کنارآمدن با موقعیت‌های تنش‌زا و فشارکاری بالا	۰/۷۴۲		
	تثبیت وضعیت و مشارکت بسیاری از ذینفعان تا حد ممکن در همه مراحل برنامه‌ریزی و اقدام برای محدود کردن خسارات بیشتر	۰/۷۰۸		
مدیریت اضطراری	حذف یا کاهش خطرات اصلی از بخش‌های مختلف آسیب‌رسان به کارکنان	۰/۸۳۲	۷/۰۶۷	[۲۸،۲۹،۳۰،۳۱،۳۲]
	تعیین نقش و مسئولیت‌های کارکنان در شرایط اضطراری	۰/۷۷۰		
	توانمندسازی و آموزش کارکنان جهت مقابله با شرایط اضطراری با استفاده از تحلیل سناریو	۰/۷۴۱		
	استفاده حداکثری از منابع و ابزارهای موجود برای مقابله با شرایط اضطراری و ایجاد ایمنی پایدار	۰/۷۰۹		

جدول ۳. عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار

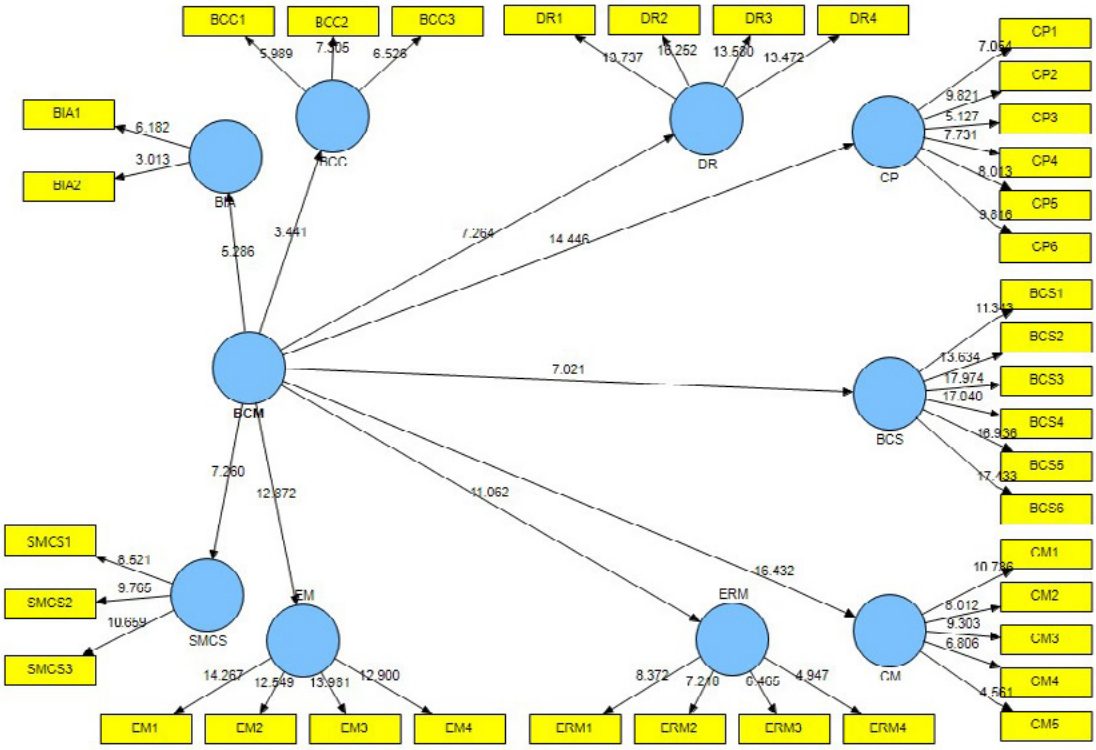
عامل	زیرعامل	بار عاملی	واریانس تبیین شده (درصد)	منابع
مدیریت ریسک سازمانی	شناسایی تهدیدات بالقوه فاجعه آور و مختل‌کننده در عملیات کسب‌وکار	۰/۸۱۴	۶/۴۸۵	[۳۲،۳۴،۳۵،۳۶،۳۷،۳۸]
	بررسی روش‌های موجود برای مقابله به‌موقع با رویدادهای غیرمعمول	۰/۷۸۵		
	اولویت‌بندی تهدیدها و راه‌حل‌های رفع آن‌ها	۰/۷۵۱		
	ارزیابی ریسک‌ها، تحلیل نتایج و به‌روزرسانی آن‌ها	۰/۷۰۲		
بازیابی فاجعه	تمرکز بر بازیابی بخش‌های مختلف و همه کارکردهای مرتبط	۰/۸۲۵	۶/۴۰۵	[۳،۷،۹،۲۰،۴۰،۴۱]
	کاهش زمان‌های ازکارافتادگی در بخش‌های مختلف	۰/۷۷۵		
	اولویت‌بندی بازیابی فاجعه	۰/۷۳۱		
	اجرا و توسعه عوامل و اقدامات تاب‌آوری جدید برای بازیابی شرکت	۰/۶۹۳		
فرهنگ مدیریت کسب‌وکار	آگاهی دادن به ذینفعان اصلی و کارکنان در خصوص فرهنگ تداوم کسب‌وکار	۰/۸۱۷	۶/۰۹۰	[۱۹،۲۳]
	آموزش کارکنان درزمینه مدیریت تداوم کسب‌وکار و افزایش انگیزه مسئولیت‌پذیری کارکنان به‌منظور اجرای برنامه‌های مدیریت تداوم کسب‌وکار	۰/۷۷۴		
	ارتقاء فرهنگ کار تیمی	۰/۷۰۷		
تعهد و حمایت مدیریت ارشد	ایجاد یک فرهنگ گزارش دهی در میان همه مدیران ارشد و کارکنان	۰/۸۲۱	۵/۳۶۷	[۱۰،۱۹،۴۲]
	فراهم کردن منابع و بودجه لازم برای تقویت مدیریت تداوم کسب‌وکار	۰/۷۸۸		
	مشارکت مدیریت ارشد در اجرای شیوه‌ها و فعالیت‌های مدیریت تداوم کسب‌وکار	۰/۷۲۱		
تحلیل تأثیر کسب‌وکار	شناسایی فرایندهای حیاتی کسب‌وکار و کشف هرگونه آسیب‌پذیری در آن‌ها	۰/۸۱۵	۵/۲۸۵	[۶،۱۰،۱۱،۴۲]
	تحلیل تأثیر اختلالات در فرایندهای حیاتی کسب‌وکار	۰/۷۷۲		

۳-۲ تعیین اثربخشی عوامل شناسایی‌شده در صنعت پتروشیمی: تحلیل عاملی تأییدی

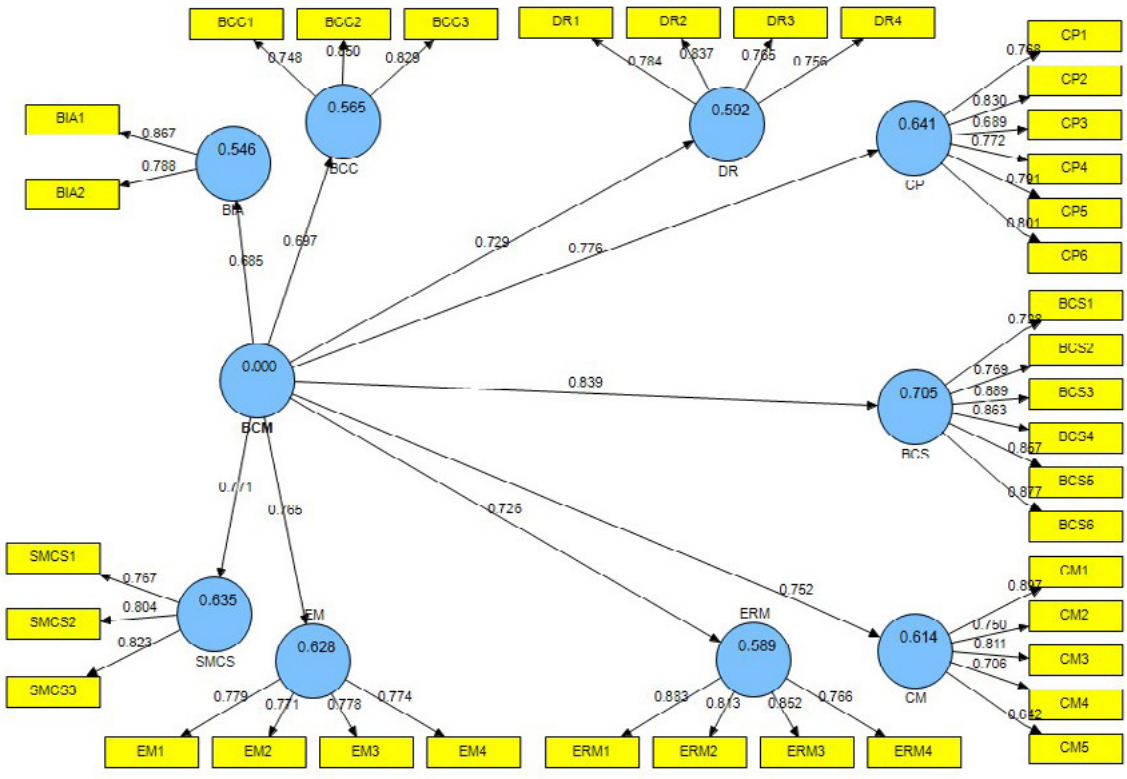
تحلیل عاملی تأییدی بر اساس روش حداقل مربع‌های جزئی شامل دو بخش اندازه‌گیری و ساختاری است که نتایج آن در شکل‌های ۱ و ۲ و جدول ۴ ارائه شده است. بخش اندازه‌گیری شامل دو مفهوم روایی و پایایی است [۴۸]. در این مطالعه از روایی محتوا و روایی سازه استفاده شد. طبق پیشنهاد قاسمی و والمحمدی [۴۹]، پرسشنامه طراحی‌شده توسط پنج نفر از اساتید دانشگاه و پنج مدیر ستاد مرکزی تداوم کسب‌وکار برای ارزیابی روایی صوری تأیید شد. روایی سازه شامل روایی همگرا و واگرا است که از طریق مدل اندازه‌گیری حاصل می‌شود [۴۴] روایی همگرایی عوامل شناسایی‌شده با استفاده از میانگین واریانس استخراج‌شده[۲۹] بررسی شد که بر اساس پیشنهاد هییر و همکاران[۳۰] میانگین واریانس استخراج‌شده همه آن‌ها بیشتر از ۰/۵ است (جدول ۴). روایی واگرایی از طریق شاخص فورنل-لارکر[۳۱] ارزیابی گردید [۴۸]. نتایج حاصله در جدول ۴ حاکی از آن است که میانگین واریانس استخراج‌شده هر عامل بیشتر از بالاترین مربع ضریب همبستگی آن عامل با سایر عوامل است، بنابراین روایی واگرایی عوامل شناسایی‌شده تأیید می‌شود. از طرفی، پایایی همه عوامل شناسایی شده با استفاده از شاخص‌های آلفای کرون باخ و پایایی ترکیبی ارزیابی شد [۴۸] که بیشتر از ۰/۷ است (جدول ۵).

در بخش ساختاری، نتایج جدول ۴ نشان می‌دهند که مقدار آماره t همه عوامل شناسایی‌شده بیشتر از ۱/۹۶ است که حاکی از برازش مناسب آن‌ها است [۴۸]. همچنین بر اساس پیشنهاد [۵۰]، ضریب مسیر (بارعاملی) همه عوامل اصلی موفقیت و عوامل فرعی مربوط به آن‌ها بیشتر از ۰/۴ است که نشان می‌دهد اثربخشی عوامل مورد نظر تأیید می‌شود (جدول ۵). به‌عنوان‌مثال، مقدار آماره t عامل «راهبرد تداوم کسب‌وکار» بیشتر از ۱،۹۶

($t\text{-}value_{BCS}$=۷/۰۲۱) است؛ بنابراین اثربخشی این عامل در مطالعه حاضر تأیید می‌شود. همچنین مقدار ضریب تعیین تعدیل‌شده عامل «راهبرد تداوم کسب‌وکار» برابر با ۰/۷۰۵ است که نشان می‌دهد این عامل می‌تواند تقریباً ۷۰/۵ درصد از کل واریانس مدیریت تداوم کسب‌وکار در صنعت پتروشیمی را تبیین و پیش‌بینی کند.



شکل ۱. مقدار آماره t در تحلیل عاملی تأییدی



شکل ۲. مقدار ضریب تعیین تعدیل‌شده و بارهای عاملی در تحلیل عاملی تأییدی

جدول ۴. نتایج تحلیل عاملی تأییدی (نتایج مدل‌های اندازه‌گیری و ساختاری)

عوامل اصلی موفقیت	مدل اندازه‌گیری												مدل ساختاری			
	AVE (روایی همگرا)	آلفای کرون باخ	پایایی ترکیبی	ضریب همبستگی بین عوامل شناسایی‌شده									ضریب مسیر	ضریب تعیین تعدیل‌شده	سطح معناداری (t)	نتیجه
				(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)				
راهبرد مدیریت تداوم کسب‌وکار (۱)	۰،۶۹۶	۰/۸۴۶	۰/۹۰۵	–	۰/۴۲۱	۰/۱۱۵	۰/۱۰۱	۰/۲۷۰	۰/۲۰۰	۰/۲۶۰	۰/۳۴۷	۰/۳۷۲	۰/۸۳۹	۰/۷۰۵	۷/۰۲۱	تأیید شد
برنامه‌ریزی اقتضایی (۲)	۰/۶۳۰	۰/۷۸۷	۰/۸۴۶	–	–	۰/۱۶۴	۰/۲۴۶	۰/۲۱۳	۰/۱۳۲	۰/۱۶۶	۰/۲۲۵	۰/۴۰۴	۰/۷۷۶	۰/۶۴۱	۱۴/۴۴۶	تأیید شد
مدیریت بحران (۳)	۰/۵۸۷	۰/۷۴۸	۰/۸۰۷	–	–	–	۰/۴۳۶	۰/۲۷۶	۰/۲۴۵	۰/۲۱۹	۰/۱۲۳	۰/۳۷۹	۰/۷۵۲	۰/۶۱۴	۱۶/۴۳۲	تأیید شد
مدیریت اضطراری (۴)	۰/۶۰۱	۰/۷۲۵	۰/۷۸۴	–	–	–	–	۰/۲۸۲	۰/۲۴۲	۰/۲۸۸	۰/۳۴۱	۰/۳۴۵	۰/۷۶۵	۰/۶۲۸	۱۲/۸۷۲	تأیید شد
مدیریت ریسک سازمانی (۵)	۰/۶۸۸	۰/۸۰۰	۰/۸۵۹	–	–	–	–	–	۰/۴۲۷	۰/۲۵۸	۰/۳۹۵	۰/۱۳۷	۰/۷۲۶	۰/۵۸۹	۱۱/۰۶۲	تأیید شد
بازیابی فاجعه (۶)	۰/۶۱۸	۰/۷۴۱	۰/۸۰۰	–	–	–	–	–	–	۰/۳۷۳	۰/۱۷۱	۰/۳۴۳	۰/۷۲۹	۰/۵۹۲	۷/۲۶۴	تأیید شد
فرهنگ مدیریت کسب‌وکار (۷)	۰/۶۵۶	۰/۷۳۱	۰/۷۹۰	–	–	–	–	–	–	–	۰/۴۰۲	۰/۲۸۹	۰/۶۹۷	۰/۵۶۵	۳/۴۴۱	تأیید شد
تعهد و حمایت مدیریت ارشد (۸)	۰/۶۳۷	۰/۷۱۲	۰/۷۷۱	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۴۲۱	۰/۷۷۱	۰/۶۳۵	۷/۲۶۰	تأیید شد
تحلیل تأثیر کسب‌وکار (۹)	۰/۷۳۰	۰/۷۳۹	۰/۷۹۸	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۶۸۵	۰/۵۴۶	۵/۲۸۶	تأیید شد

۴- بحث و نتیجه‌گیری

امروزه اجرای موفق مدیریت تداوم کسب‌وکار یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که ذهن مدیران صنعت پتروشیمی را به خود جلب کرده است. به‌منظور دستیابی به چنین اهمیتی، شناخت عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار یک ضرورت به نظر می‌رسد. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که توجه به عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار پراکنده است و مطالعات مربوطه بر اهمیت برخی از عوامل خاص و محدودی تأکید دارند. این موضوع حاکی از آن است که شناسایی عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار مسئله‌ای مهم برای دانشگاهیان و مدیران است. براساس نتایج حاصله، ۹ عامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار شناسایی و تأیید شده عبارت‌اند از: «راهبرد تداوم کسب‌وکار»، «برنامه‌ریزی اقتضایی»، «مدیریت بحران»، «مدیریت اضطراری»، «مدیریت ریسک سازمانی»، «بازیابی فاجعه»، «فرهنگ تداوم کسب‌وکار»، «تعهد و پشتیبانی مدیریت ارشد» و «تحلیل تأثیر کسب‌وکار».

نتایج نشان داد که راهبرد تداوم کسب‌وکار یکی از عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار است که شامل شناسایی راهبردهای جایگزین موجود برای کاهش تلفات و نیز تعیین اثربخشی بالقوه راهبردها جهت اجرای نقش حیاتی آن‌ها است. به زبان ساده می‌توان گفت که راهبرد تداوم کسب‌وکار به معنای حصول اطمینان از برنامه‌های مدیریت تداوم کسب‌وکار جهت به‌کارگیری مناسب آن‌ها و نیز اطمینان خاطر از کیفیت تداوم کسب‌وکار و به‌روز بودن آن است. برنامه‌ریزی اقتضایی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار شناسایی شد که یک فرایند برنامه‌ریزی روبه‌جلو در وضعیتی غیرمطمئن است و در آن «سناریوها و اهداف توافق وجود دارد»، «اقدامات مدیریتی و فنی تعریف شده است» و «سیستم‌های واکنش بالقوه برای پیشگیری یا واکنش بهتر به یک وضعیت اضطراری یا بحرانی تعبیه شده است». در این برنامه‌ریزی اقدامات اصلی و مهم طی یک برنامه‌ریزی کاملاً منطقی و با مشارکت سازمان‌های دخیل در بحران تهیه می‌شود که سبب حفظ تداوم کسب‌وکار است.

مدیریت بحران یکی دیگر از عوامل شناسایی‌شده است که به فرایندهای اجراشده پس از وقفه کسب‌وکار اشاره دارد که به‌منظور محدود کردن اثرات منفی وقفه در هنگام بازگشت کسب‌وکار به حالت عملیاتی عادی به کار می‌رود و تا جایی که ممکن است به‌طور اثربخش و کارآمد عمل می‌کند. مدیریت اضطراری یکی از مهم‌ترین اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب کار شامل فرایند آماده شدن، کاهش، پاسخگویی و بهبود شرایط اضطراری است و مستلزم داشتن یک طرح اصلی برای همه حوادثی است که موجب خسارت بالقوه یا نابودی دارایی‌های ارزشمند مانند داده‌های حساس و تجهیزات فن‌آوری اطلاعات می‌شود.

نتایج تحقیق نشان داد که مدیریت ریسک شرکت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار در نظر گرفته می‌شود. هدف اصلی مدیریت ریسک شرکت شناسایی تهدیدات بالقوه برای پیشگیری از یک فاجعه و بازیابی هرچه سریع‌تر در سازمان است. به عبارتی، مدیریت ریسک سبب بهبود عملکرد تداوم کسب‌وکار می‌شود و به سازمان‌ها کمک می‌کند که از زیان، ورشکستگی و هزینه‌هایی اجتناب کنند که به شهرت و اعتبار آن‌ها آسیب می‌زند. مدیریت ریسک همچنین برای افزایش قدرت تصمیم‌گیری و تسهیل فرایندهای تخصیص سرمایه کاربرد دارد.

بازیابی فاجعه دیگر عامل شناسایی‌شده است که شامل واکنش به هرگونه اختلال در یک عملیات کسب‌وکار جهت «جلوگیری از وضعیت بحرانی و بی‌ثباتی برنامه‌ریزی و بدتر شدن کسب‌وکار» و «برگشت آن به‌سوی تداوم کسب‌وکار» است. فرهنگ تداوم کسب‌وکار یکی دیگر از عوامل شناسایی‌شده است. مدیریت تداوم کسب‌وکار بیشتر از اینکه یک پروژه باشد یک فرهنگ است. هچ[۳۲] [۵۱] عقیده دارد که مدیریت تداوم کسب‌وکار یک رویداد نیست بلکه فرایندی است که باید تغییر کند و با سازمان منطبق شود. همچنین آموزش به کارکنان درباره موضوعات مربوط به تداوم کسب‌وکار کمک می‌کند که کار تیمی طی موقعیت‌های بحران ارتقاء یابد و کارکنان با آگاهی و تجربه بیشتری جهت تداوم کسب‌وکار تلاش کنند.

نتایج حاکی از آن است که تعهد و پشتیبانی مدیریت ارشد یکی از عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار است. هنگامی‌که مدیران ارشد احساس تعهد بیشتری نسبت به فعالیت‌های کسب‌وکار داشته باشند، فرهنگ گزارش دهی بین مدیران ارشد و کارکنان آن‌ها افزایش می‌یابد. اسمیت و بروکس [۱۹] دریافتند که هرچه مدیران متعهدتر باشند، سازوکارهای کنترل تداوم کسب‌وکار بیشتری بین شرکای تجاری ایجاد می‌شود و اهداف تداوم کسب‌وکار با کیفیت بالاتری از طریق توسعه سطح اعتماد بالاتر در میان شرکا، مدیران و کارکنان محقق می‌شود. تحلیل اثر کسب‌وکار یکی دیگر از عوامل شناسایی‌شده است. سازمان باید تأثیر اختلال در فعالیت‌هایی را تعیین و مستندسازی کند که از محصولات و خدمات کلیدی آن پشتیبانی می‌کنند. سازمان همچنین ممکن است فعالیت‌های حیاتی خود را با توجه به اولویت آن‌ها برای بازیابی طبقه‌بندی کند.

این مطالعه به‌طور چشمگیری به محققان و مدیران صنعت پتروشیمی کمک می‌کند. به لحاظ تئوری، این تحقیق ادبیات درباره عوامل اصلی موفقیت مدیریت، تداوم کسب‌وکار را توسعه می‌دهد. این در حالی است که مطالعات قبلی در سایر زمینه‌ها فقط به تعداد محدودی از عوامل اشاره کردند [۷،۱۰،۱۱،۱۲،۱۴، ۱۶،۱۹،۲۳،۳۰،۳۱،۳۷،۴۲]. همچنین این تحقیق می‌تواند به درک رفتار مدیران جهت اجرای موفق مدیریت تداوم کسب‌وکار کمک کند. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار به‌خوبی شناسایی و طبقه‌بندی نشدند. به عبارتی، بیشتر مطالعات گذشته بر یکی از عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار بر اساس مطالعه تجربی و نظرات کارشناسان تمرکز داشتند که این امر می‌تواند جامع بودن عوامل را محدود کند. بررسی عمیق مطالعات قبلی و استفاده از رویکردهای آماری معتبر، این تحقیق را از مطالعات قبلی متمایز کرده و اعتبار نتایج آن را تقویت می‌کند. از طرفی، سهم اصلی پژوهش حاضر

شناسایی عوامل اصلی موفقیت مدیریت تداوم کسب‌وکار در صنعت پتروشیمی است. به لحاظ کاربردی، عوامل شناسایی‌شده می‌توانند بر بینش و دیدگاه مدیران صنعت پتروشیمی جهت اجرای موفق مدیریت تداوم کسب‌وکار و کاهش خسارات ناشی از وقفه در کسب‌وکار تأثیرگذار باشند. به عبارتی، عدم توجه به عوامل اصلی موفقیت تعیین‌شده احتمال ایجاد اختلال در فعالیت‌های مختلف صنعت پتروشیمی را افزایش می‌دهد. همچنین پیشنهادهای زیر برای اجرای موفقیت‌آمیز عوامل شناسایی‌شده ارائه می‌شود:

- تشکیل دپارتمان مدیریت تداوم کسب‌وکار به‌منظور اجرای سیاست‌ها و راهبردهای تداوم کسب‌وکار (مربوط به راهبرد مدیریت تداوم کسب‌وکار)
- شناسایی حوادث محتمل و سناریوسازی به‌منظور رفع و کاهش خسارات ناشی از آن‌ها (مربوط به برنامه‌ریزی اقتضایی)
- شناسایی فرایندهای حیاتی و اولویت‌بندی بازیابی آن‌ها (مربوط به بازیابی فاجعه)
- شناسایی فرایندهای حیاتی کسب‌وکار و کشف و تحلیل هرگونه آسیب‌پذیری و اختلال در آن‌ها (مربوط به تحلیل تأثیر کسب‌وکار)
- آموزش و آگاه‌سازی مدیران و کارکنان درزمینه شیوه‌های مدیریت تداوم کسب‌وکار (مربوط به فرهنگ مدیریت کسب‌وکار)
- ایجاد سازوکاری نظارتی و کنترلی به‌منظور کشف هرگونه حوادث و بحران پیش‌بینی‌نشده (مربوط به مدیریت بحران)
- به‌کارگیری منابع، ابزارهای موجود و سناریوهای از پیش طراحی‌شده برای مقابله با شرایط اضطراری (مربوط به مدیریت اضطراری)
- آگاه‌سازی مدیریت ارشد به لزوم توجه به اجرای مدیریت تداوم کسب‌وکار (مربوط به تعهد و حمایت مدیریت ارشد)

پی‌نوشت

1. International Organization for Standards (ISO)
2. value-creating activities
3. Bhamra et al
4. Torabi et al
5. Maximum Tolerable Period
6. Sahebjamnia et al
7. Disaster Recovery Planning
8. Rabbani et al
9. Cost-Benefit Analysis
10. value-creating activities
11. Randeree et al
12. Data breaches
13. Business Continuity Strategy
14. Contingency Planning
15. Crisis Management
16. Wayland
17. Tucker
18. Emergency Management
19. Haddow et al
20. Disaster Recovery
21. Timms
22. Business Continuity Culture
23. Senior Management Commitment and Support
24. Smith & Brooks
25. Business Impact Analysis
26. Brace et al
27. Brace et al
28. Partial Least Squares (PLS)
29. Average Variance Extracted (AVE)
30. Hair et al
31. Fornell-Larcker
32. Hecht

منابع

1. Maboudian, Y., & Rezaie, K. (2017). Applying data mining to investigate business continuity in petrochemical companies. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 12*(2), 126-131.
2. Sennewald, C. A., & Baillie, C. (2016). 19 - Crisis Management. In C. A. Sennewald & C. Baillie (Eds.), *Effective Security Management (Sixth Edition)* (pp. 189-195): Butterworth-Heinemann
3. Timms, P. (2018). Business continuity and disaster recovery – advice for best practice. *Network Security, 2018*(11), 13-14.
4. ISO 22301:2012 – Societal Security – Business Continuity Management Systems – Requirements.
5. Bhamra, R., Dani, S., & Burnard, K. (2011). Resilience: the concept, a literature review and future directions. *International Journal of Production Research, 49*(18), 5375-5393.
6. Torabi, S. A., Rezaei Soufi, H., & Sahebjamnia, N. (2014). A new framework for business impact analysis in business continuity management (with a case study). *Safety Science, 68*, 309-323.
7. 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.
8. Rabbani, M., Soufi, H. R., & Torabi, S. A. (2016). Developing a two-step fuzzy cost–benefit analysis for strategies to continuity management and disaster recovery. *Safety Science, 85*, 9-22.
9. Schätter, F., Hansen, O., Wiens, M., & Schultmann, F. (2019). A decision support methodology for a disaster-caused business continuity management. *Decision*

tinuity of business models: Evaluating the resilience of business models for contingencies. *International Journal of Information Management, 49*, 208-216.

24. Rittinghouse, J. W., & Ransome, J. F. (2006). 1 - Contingency and Continuity Planning. In J. W. Rittinghouse & J. F. Ransome (Eds.), *Business Continuity and Disaster Recovery for InfoSec Managers* (pp. 1-21). Burlington: Digital Press.

25. Wayland, B. A. (2015). 7 - The Crisis Management Team. In B. A. Wayland (Ed.), *Emergency Preparedness for Business Professionals* (pp. 125-136). Boston: Butterworth-Heinemann.

26. Purpura, P. P. (2008). 12 - Risk Management, Business Continuity, and Emergency Management. In P. P. Purpura (Ed.), *Security and Loss Prevention (Fifth Edition)* (pp. 263-293). Boston: Butterworth-Heinemann.

27. Haddow, G. D., Bullock, J. A., & Coppola, D. P. (2017). 10 - The Future of Emergency Management. In G. D. Haddow, J. A. Bullock, & D. P. Coppola (Eds.), *Introduction to Emergency Management (Sixth Edition)* (pp. 439-445): Butterworth-Heinemann.

28. Tucker, E. (2015a). Chapter 4 - Emergency Management—Preparedness and Response. In E. Tucker (Ed.), *Business Continuity from Preparedness to Recovery* (pp. 51-67). Boston: Butterworth-Heinemann.

29. Fay, J. J., & Patterson, D. (2018). Chapter 15 - Emergency Management. In J. J. Fay & D. Patterson (Eds.), *Contemporary Security Management (Fourth Edition)* (pp. 301-339): Butterworth-Heinemann.

30. Purpura, P. P. (2019). 12 - Resilience, Risk Management, Business Continuity, and Emergency Management. In P. P. Purpura (Ed.), *Security and Loss Prevention (Seventh Edition)* (pp. 355-392): Butterworth-Heinemann.

31. Hubbard, Douglas (2009). *The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It.* John Wiley & Sons. p. 46.

32. Gibb, F., & Buchanan, S. (2006). A framework for business continuity management. *International Journal of Information Management, 26*(2), 128-141.

33. Renault, B. Y., Agumba, J. N., & Balogun, O. A. (2016). Drivers for and Obstacles to Enterprise Risk Management in Construction Firms: A Literature Review. *Procedia Engineering, 164*, 402-408.

34. Ruan, K. (2019). Chapter 3 - Cyber Risk Management: A New Era of Enterprise Risk Management. In K. Ruan (Ed.), *Digital Asset Valuation and Cyber Risk Management* (pp. 49-73): Academic Press.

35. Torabi, S. A., Giahi, R., & Sahebjamnia, N. (2016). An enhanced risk assessment framework for business continuity management systems. *Safety Science, 89*, 201-218.

36. Järveläinen, J. (2012). Information security and business continuity management in interorganizational IT relationships. *Information Management & Support Systems, 118*, 10-20.

10. Faertes, D. (2015). Reliability of Supply Chains and Business Continuity Management. *Procedia Computer Science, 55*, 1400-1409.

11. Tucker, E. (2015c). Chapter 5 - Business Impact Analysis. In E. Tucker (Ed.), *Business Continuity from Preparedness to Recovery* (pp. 69-89). Boston: Butterworth-Heinemann.

12. Fischer, R. J., Halibozek, E. P., & Walters, D. C. (2019). 11 - Contingency Planning Emergency Response and Safety. In R. J. Fischer, E. P. Halibozek, & D. C. Walters (Eds.), *Introduction to Security (Tenth Edition)* (pp. 249-268): Butterworth-Heinemann.

13. Kovacich, G. L., & Halibozek, E. P. (2017). Chapter 8 - Contingency Planning. In G. L. Kovacich & E. P. Halibozek (Eds.), *Security Metrics Management (Second Edition)* (pp. 73-82): Butterworth-Heinemann.

14. Tucker, E. (2015b). Chapter 8 - Business Continuity Plans and Procedures. In E. Tucker (Ed.), *Business Continuity from Preparedness to Recovery* (pp. 129-159). Boston: Butterworth-Heinemann.

15. Fener, T., & Cevik, T. (2015). Leadership in Crisis Management: Separation of Leadership and Executive Concepts. *Procedia Economics and Finance, 26*, 695-701.

16. Loyear, R. (2017). Industry Specific Q&A: Business Continuity and Crisis Management. In S. J. Davies (Ed.), *Women in the Security Profession* (pp. 209-213). Boston: Butterworth-Heinemann.

17. MoP (2018), "Report of activities related to Business Continuity Management", Ministry of Petroleum (MoP) of Iran, Iran.

18. Randeree, K., Mahal, A. and Narwani, A. (2012). A business continuity management maturity model for the UAE banking sector. *Business Process Management Journal, 18*(3), 472-492.

19. Smith, C. L., & Brooks, D. J. (2013). *Business Continuity Management.* In C. L. Smith & D. J. Brooks (Eds.), *Security Science* (pp. 199-223). Boston: Butterworth-Heinemann.

20. Botha, J. (2004). A cyclic approach to business continuity planning. *Information Management & Computer Security, 12*(4), 328-337.

21. Fitzgerald Kevin, J. (1995). Establishing an effective continuity strategy. *Information Management & Computer Security, 3*(3), 20-24.

22. Ernest-Jones, T. (2005). Business continuity strategy – the life line. *Network Security, 2005*(8), 5-9.

23. Pheng Low, S., Sio, S., & Liu, J. (2010). Business continuity management in large construction companies in Singapore. *Disaster Prevention and Management: An International Journal, 19*(2), 219-232.

1- Savage, M. (2002). Business continuity planning. *Work Study, 51*(5), 254-261.

2- Niemimaa, M., Järveläinen, J., Heikkilä, M., & Heikkilä, J. (2019). Business con-

Computer Security, 20(5), 332-349.

37. Federal Emergency Management Agency (FEMA), (2000). *Coastal Construction Manual: Principles and Practices of Planning, Siting, Designing, Constructing, and Maintaining Residential Buildings in Coastal Areas*, FEMA 55, Third Edition. Washington, DC, June 2000.

38. Herbane, B., Elliott, D., & Swartz, E. M. (2004). Business Continuity Management: time for a strategic role? *Long Range Planning, 37*(5), 435-457.

39. Snedaker, S., & Rima, C. (2014). Chapter 1 - Business Continuity and Disaster Recovery Overview. In S. Snedaker & C. Rima (Eds.), *Business Continuity and Disaster Recovery Planning for IT Professionals (Second Edition)* (pp. 1-28). Boston: Syngress.

40. Bajgoric, N. (2014). Business continuity management: a systemic framework for implementation. *Kybernetes, 43*(2), 156-177.

41. Brace, N., Kemp, R., & Snelgar, R. (2009). *SPSS for Psychologists: A Guide to Data Analysis using SPSS for Windows*. New York: Palgrave Macmillan.

۴۲. آذر، عادل، غلام‌زاده، رسول و قنواتی، مهدی (۱۳۹۱)، مدل‌سازی مسیری-ساختاری در مدیریت: کاربرد نرم‌افزار Smart PLS تهران، انتشارات نگاه دانش.

43. Zientek, L. R. (2008). Exploratory and Confirmatory Factor Analysis: Understanding Concepts and Applications. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 15*(4), 729-734.

44. Henseler, J., Hubona, G., & Ray, P. A. (2016). Using PLS path modeling in new technology research: updated guidelines. *Industrial Management & Data Systems, 116*(1), 2-20.

45. Thompson, B. (2004). *Exploratory and Confirmatory Factor Analysis: Understanding Concepts and Applications*. Washington, DC, US: American Psychological Association.

46. Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2014). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling*. Thousand Oaks, CA: Sage.

47. Ghasemi, B. and Valmohammadi, C. (2018), "Developing a measurement instrument of knowledge management implementation in the Iranian oil industry", *Kybernetes,* Vol 47 No 10, pp. *1874-1905.*

48. Hashim, R. A., & Sani, A. M. (2008). A Confirmatory Factor Analysis of Newly Integrated Multidimensional School Engagement Scale. *Malaysian Journal of Learning and Instruction (MJLI), 5*, 21-40.

49. Hecht, J. (2002). Business Continuity Management, *Communications of the Association for Information Systems, 8*(30), 444-450.

مکان‌یابی مراکز توزیع و مسیریابی حمل‌ونقل در شرایط بحران با استفاده از برنامه‌ریزی دومرحله‌ای

محبوبه ایزدی: کارشناس ارشد، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان
پروانه سموئی*: استادیار، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، Email: p.samouei@basu.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده:
مسئله مکان‌یابی و مسیریابی با افزایش بلایای طبیعی طی چند دهه اخیر از مهم‌ترین مسائل در شرایط بحران شناسایی و معرفی شده است. امکان دسترسی راحت‌تر آسیب‌دیدگان به این تسهیلات در صورت مکان‌یابی صحیح تسهیلات امدادی فراهم می‌شود و از سوی دیگر به دلیل جایگاه بسیار حساس زمان در شرایط بحران، مسیریابی صحیح وسایل نقلیه از هدر رفت زمان جلوگیری به عمل می‌آورد. ازاین‌رو، در این تحقیق مدل دومرحله‌ای مکان‌یابی و مسیریابی در شرایط بحران ارائه شده است که در مرحله اول آن، تصمیم‌گیرنده مسئولیت انتخاب مکان مراکز توزیع را از میان کاندیداهای موجود برعهده دارد و در مرحله دوم باید تا حد ممکن بهترین مسیرها را جهت کمینه کردن مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه در محدودیت زمانی انتخاب کند. در این راستا برای نشان دادن کارایی و ارزیابی مدل پیشنهادی، چندین مسئله به روش قطعی حل شده و تحلیل حساسیت‌های مختلف بر پارامترهای تأثیرگذار آن انجام گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که دو عامل مؤثر ظرفیت و شعاع پوشش پارامترهایی بیشترین تأثیر را بر مدل دارند.
واژه‌های کلیدی: *مسئله مکان‌یابی مسیریابی، فاجعه، تسهیلات انسانی اضطراری، بهینه‌سازی دومرحله‌ای.*

Locating Distribution Centers and Vehicle Routing in the disaster condition using two-stage programming

Mahboubeh Izadi[1], Parvaneh Samouei[2*]

Abstract
Natural disasters have increased in recent decades and the issue of locating and routing have been identified and introduced as the most important issues in crisis situations. This importance is due to the fact that if the relief facilities are located correctly, it will be possible for the injured to have easier access to these facilities. On the other hand, the correct routing of vehicles will prevent waste of time due to their very significant role in times of crisis. Therefore, the present study used a two -stage model of locating and routing in crisis situations. In the first stage of the model, the decision maker is responsible for selecting the location of distribution centers from among the available candidates and in the second stage, the best route of transportation with the shortest distance should be identified due to time limit. In this regard, to show the efficiency and evaluation of the proposed model, several problems have been solved definitively and different sensitivities have been analyzed on its effective parameters. The results showed that the two effective factors of capacity and coverage radius were the parameters that had the greatest impact on the model.
Keywords: *Locating-Routing Problem, Disaster, Emergency Human Facilities, two-stage programming*

1 M.Sc., Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2 Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

مقدمه

همان‌طور که مشاهده می‌شود هرساله بلایای طبیعی همانند زلزله، سیل، طوفان و خشک‌سالی قسمت‌های مختلفی از جهان را گرفتار می‌کند. برنامه‌ریزی لجستیکی در شرایط وقوع بحران و بلایا، یکی از فعالیت‌های کلیدی مدیریت امداد بلایا است. وقوع این حوادث طبیعی اغلب با صدمه به جان و مال انسان‌ها همراه است. در ایران بسیاری از شهرها از زلزله رنج می‌برند. ازجمله این بلایا می‌توان به زلزله بم در سال ۱۳۸۲، زلزله کرمانشاه در سال ۱۳۹۶ و سیل سال ۱۳۹۸ در بیشتر شهرهای ایران اشاره کرد. تجزیه‌وتحلیل آماری نشان می‌دهد که ایران در طول قرن گذشته حدود ۱۳۰ زلزله با شدت ۷/۵ ریشتر یا بیشتر را تجربه کرده است. زلزله ۷/۳ ریشتری کرمانشاه در سال ۱۳۹۶ یکی از بزرگ‌ترین و مخرب‌ترین زمین‌لرزه‌های دو دهه اخیر ایران بود که بیش از نیمی از کشور را به لرزه درآورد. شهرستان طبس در اثر زلزله سال ۱۹۷۸ و شهر منجیل و رودبار در سال ۱۹۹۰ ویران شدند و شهر بم در سال ۲۰۰۳ به ویرانه تبدیل شد. ایران، مانند دیگر کشورهای درحال‌توسعه، از آسیب زلزله و آسیب‌های اقتصادی رنج می‌برد. در زلزله بم در سال ۲۰۰۳، شرایط به حالت عادی بازنگشت و وضعیت در یک دوره معقول (به‌عنوان‌مثال ظرف ۷۲ ساعت پس از زلزله) فرودگاه به علت آسیب شدید غیرسازمانی ناشی از پایانه و برج کنترل بسته شده بود. در حوادث بم، تقریباً تمام امکانات اصلی بیمارستان‌ها نابود شد و تعدادی از پزشکان و پرستاران آن‌ها به‌طورجدی مجروح و یا کشته شدند [۱]. از طرفی ماهیت بحران‌های طبیعی به‌گونه‌ای است که پاسخگویی به آن‌ها باید در زمان اندک صورت پذیرد. در چنین شرایط اضطراری و پیچیده‌ای، تصمیم‌گیرنده باید با سرعت و به‌صورت مؤثر به مسائل لجستیکی پاسخ دهد. در راستای نیل به این اهداف، پشتیبانی و امدادرسانی حوزه‌ای است که بهبود در آن می‌تواند نتایج اثربخشی را حاصل کند. درواقع قسمت اعظم مدیریت بحران، چیزی جز مدیریت لجستیک نیست. علاوه بر این لجستیک موجب هماهنگی بیشتر در تحویل کالاها و ارتباطات شده و موجب افزایش سرعت تحویل و پاسخگویی می‌شود [۲].

فاجعه رویدادی است که موجب آسیب، تخریب، اختلال زیست‌محیطی، از دست دادن زندگی انسان، رنج او و یا بدتر شدن خدمات بهداشتی و درمانی در منطقه آسیب‌دیده است [۳]. چنین شرایطی ممکن است شامل بلایای طبیعی مانند خشک‌سالی، زمین‌لرزه، سیل یا طوفان و بیماری‌های همه‌گیر یا اختلالات ساختگی مانند انفجارهای هسته‌ای یا شیمیایی نیز باشد [۴، ۵ و ۶].

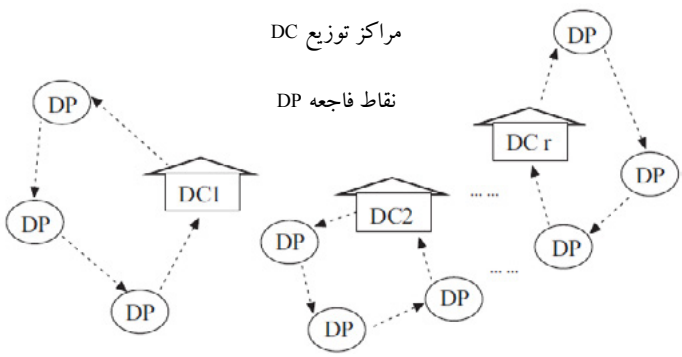
ازآنجایی‌که کشور ایران جزء ده کشور بلاخیز نخست جهان است، آثار مخرب ناشی از وقوع بحران از یک‌سو و فراوانی وقوع چنین حوادثی در ایران از سوی دیگر اهمیت بررسی‌ها درزمینه مدیریت بحران را گوشزد می‌کند [۷].

یکی از مسائل مهم در مدیریت لجستیک، طراحی شبکه‌های توزیع است که می‌تواند هزینه‌ها و خسارات را تا حد زیادی کاهش دهد. یک بعد مهم از طراحی شبکه‌های توزیع در نظر گرفتن انواع محدودیت‌های موجود در دنیای واقعی و گنجاندن آن‌ها در مسائل کلاسیک شبکه‌های توزیع است. مکان‌یابی و مسیریابی از مسائل پرکاربرد در این حوزه است [۸] که به حل مسئله‌ی تعیین مراکز توزیع و تعیین مسیرهای حمل می‌پردازد؛ بنابراین این مسئله باهدف مشخص نمودن تصمیمات مربوط به مکان‌یابی، مسیریابی و تأمین هماهنگی مناسب میان این دو مسئله در طراحی شبکه‌های توزیع مطرح است [۹].

مسئله مکان‌یابی-مسیریابی شامل دو زیر مسئله مکان‌یابی (LAP[1]) و مسائل مربوط به مسیریابی وسایل نقلیه (۲VRP) [۱۰] است. در سال‌های اخیر، محققان بسیاری به مطالعه و بررسی مسئله مکان‌یابی تسهیلات پرداخته‌اند [۷]. مسئله مکان‌یابی نیاز به تصمیم‌گیری در مکان‌های اضطراری مرکز توزیع دارد و شامل انتخاب مکان‌هایی است که قادر به ارسال کالاهای امدادی به نقاط فاجعه هستند. مسیریابی وسایل نقلیه برای بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل جهت اطمینان از انجام امدادرسانی به‌موقع است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود مراکز توزیع منتخب نقاط فاجعه را برای عملیات امدادرسانی پوشش می‌دهند.

در مسائل مکان‌یابی-مسیریابی، تصمیم‌گیری‌های مکان‌یابی و مسیریابی وسایل نقلیه همبسته شده و در یک مدل قرار می‌گیرند؛ بنابراین به‌طور هم‌زمان به دنبال راه‌حل‌های بهینه و مکان‌یابی می‌گردند. مرجع [۱۲] یک طبقه‌بندی سلسله مراتبی برای طبقه‌بندی مطالعات (۳LRP) ازلحاظ دیدگاه مسئله و روش راه‌حل توسعه ارائه کرد. ازلحاظ دیدگاه مسئله، طبقه‌بندی مسائل مکان‌یابی-مسیریابی به تک مرحله و دومرحله‌ای یک طرح مهم است. پیشرفت‌های اخیر مطالعات مسائل مکان‌یابی-مسیریابی



شکل ۱. طراحی شبکه مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات در شرایط بحران [۱۱]

مرجع [۱۲] را مورد بررسی قرار دادند. ارائه روش بهینه‌سازی برای انبارها، توزیع تجهیزات پزشکی برای بحران و مدیریت آن‌ها در حوادث مختلف همراه با شدت‌های مختلف توسط مرجع [۱۳] انجام شد. مدل ارائه‌شده، مدلی دومرحله‌ای بود که در آن مرحله اول برای انتخاب مکان‌های بهینه برای ایجاد انبارهای احتمالی و تعیین سطح موجودی ذخیره‌سازی آن‌ها تعیین شد و مرحله دوم توسط تخصیص وسایل نقلیه و مسیرهای مختلف تحت سناریوهای مختلف و ارسال امکانات پزشکی از انبارهای تسهیلات به بیمارستان‌ها بود. مرجع [۱۴] یک مدل بهینه‌سازی برای مسئله مکان‌یابی-مسیریابی برای کمک بعد از وقوع حادثه پیشنهاد کردند. مرجع [۱۵] مسئله‌ی مکان‌یابی-مسیریابی باهدف حداقل زمان انتظار دریافت‌کنندگان ارائه کرد که با بهینه‌سازی هر دو مکان‌های انبارها و مسیرهای وسایل نقلیه به حداقل می‌رساند. مرجع [۱۶] مدلی (الگویی) برای مسئله‌ی پاک‌سازی آوار باهدف حداقل کردن زمان دسترسی به مناطق بحرانی نظیر بیمارستان‌ها ارائه کرد. آن‌ها برای کاهش زمان حل مسئله، الگوریتم دومرحله‌ای مبتنی بر الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ارائه کردند. مرجع [۱۷] بر روی سامانه‌ی توزیع امداد زلزله پس از زلزله تمرکز دارد. این مقاله نشان‌دهنده یک مدل برنامه‌ریزی خطی عریض با دو هدف جدید است که کل زمان انتظار وزن کل و میزان کل درخواست‌های ازدست‌رفته را به حداقل می‌رساند. مرجع [۱۸] یک عدد صحیح دومرحله‌ای، چندهدفه، مدل‌سازی ریاضی چندمرحله‌ای و چند کالا در زنجیره تأمین سه سطح ارائه کرد. مرجع [۱۹] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چندهدفه مختلط برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین یکپارچه در تخریب فاجعه پیشنهاد کرد. همچنین آن‌ها چارچوبی ترکیبی مبتنی بر برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای و رویکردهای برنامه‌ریزی احتمالی، برای مقابله با مخلوطی از عدم قطعیت تصادفی و شناختی طراحی کردند. مرجع [۲۰] یک شبکه لجستیک چندمرحله‌ای مکان انبارهای مرکزی، مدیریت موجودی محصولات را در مرحله قبل از فاجعه و مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در مرحله پس از فاجعه را بررسی کرد. مرجع [۲۱] رویکردی دومرحله‌ای برای بهینه‌سازی انتقال کالاهای امدادی به مناطق آسیب‌دیده و تخلیه‌ی افراد آسیب‌دیده با در نظر گرفتن نقش نیروهای مسلح در آن را ارائه کرد. مرجع [۲۲] یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای مراحل قبل و بعد از فاجعه ارائه کرد که با در نظر گرفتن انواع تلفات، تقاضا، امکان خسارت به جاده‌ها و بیمارستان‌ها و فاصله بین مناطق فاجعه و مراکز درمانی، راه‌حلی مناسب برای موقعیت مکانی یافته و کل هزینه حمل‌ونقل مورد انتظار را به حداقل می‌رساند.

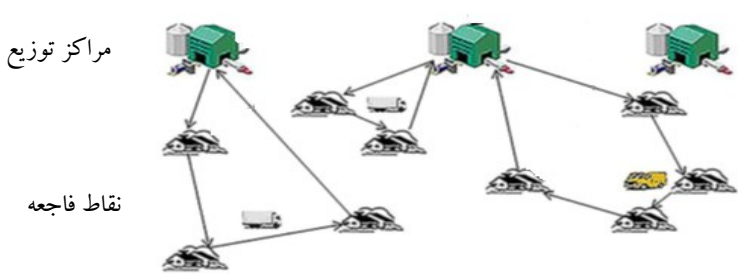
۱- مدل‌سازی مسئله

۱-۱ تعریف مسئله

با افزایش بلایای طبیعی مسئله مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات به رویکردی برتر برای برخورد با مسائل تسهیلات انسانی اضطراری تبدیل شده است. تعداد زیادی از محققان برای کمک به افرادی که در معرض خطر در پی به‌کارگیری رویکردهای علمی در امر تصمیم‌گیری، به‌منظور بهبود عملکرد نظام مدیریت بحران هستند تا از وقوع فاجعه جلوگیری شود یا بهبود یابد. با توجه به‌شدت فزاینده فجایع اخیر، تحقیق در مورد برخورد با تسهیلات انسانی، تصمیم‌گیری و شبیه‌سازی به‌عنوان رویکردهای اصلی پیشنهاد شده است. این تحقیق مسئله مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات در بحران به روش بهینه‌سازی دومرحله‌ای به‌صورت چندهدفه با کمینه‌سازی هزینه احداث مراکز توزیع و فاصله مراکز تا نقاط فاجعه و همچنین کمینه کردن مسافتی که وسایل نقلیه طی می‌کنند که در زمان کوتاهی امدادرسانی انجام شود.

مسئله مکان‌یابی نیاز به تصمیم‌گیری در مکان‌های اضطراری مرکز توزیع دارد و مسیریابی وسایل نقلیه برای بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل برای اطمینان از امدادرسانی به‌موقع مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از یک فاجعه، تصمیم‌گیرنده باید مکان‌های مرکز توزیع را انتخاب کند، نقاط فاجعه را برای هر مرکز توزیع تخصیص دهد و برنامه‌های حمل‌ونقل مناسب را برای اتصال نقاط مدنظر بیاورد. شکل ۲ شبکه توزیع امدادرسانی هنگام فاجعه را ارائه می‌دهد که مراکز توزیع نقاط فاجعه را پوشش می‌دهند.

در این پژوهش مراکز برنامه‌ریز در حوزه بحران مرحله اول و مسئول احداث و انتخاب مکان‌های مرکز توزیع از نامزدهای موجود است. تصمیمات مسئله مکان‌یابی-مسیریابی باید در مدل‌های مسئله مکان‌یابی گنجانده شود تا اطمینان حاصل شود که کل سامانه تدارکات اورژانسی آماده امدادرسانی است. مسئله مکان‌یابی شامل انتخاب مکان‌هایی است که توانایی انجام مطالبات مواد را



شکل ۲. شبکه توزیع امدادرسانی در شرایط بحران

در مقصدهای نامشخص تحت محدودیت‌های مختلف دارند [۲۳ و ۲۴]. مراکز برنامه‌ریز در حوزه بحران می‌خواهند به‌طور منطقی مکان‌هایی با کمترین فاصله را انتخاب کنند. مقدار تقاضا در هر نقطه فاجعه متفاوت است و توجه به فواصل و تقاضاها از تمام نقاط آسیب‌دیده خدمات بالقوه به هنگام تعیین مناطق خدماتی یک مرکز توزیع توسط تصمیم‌گیرنده ضروری است. برای مثال، اگر یک مرکز توزیع بسیاری از نقاط فاجعه را بدون توجه به تقاضا پوشش دهد، تقاضا در تمام نقاط فاجعه خدمت‌رسانی انجام نمی‌شود. ازآنجایی‌که در مرحله اول انتخاب مراکز در حوزه بحران قادر به آماده کردن سریع وسایل نقلیه موردنیاز و کنار هم قرار دادن آن‌ها نیست، پس در مرحله دوم به دلیل حمل کالاهای امدادی به‌وسیله‌ی وسایل حمل‌ونقل، این عملیات به‌صورت تجهیز کالاهای امدادی حمل می‌شود.

در مرحله دوم مسئولیت انتخاب مسیرهای بهینه را بر عهده دارد. بر اساس مرحله اول، مسیرهای حمل‌ونقل برای رسیدن به کوتاه‌ترین مسافت حمل‌ونقل ممکن است انتخاب شوند. تعداد نقاط فاجعه خدمت‌رسانی شده و میزان تقاضا در هر مرکز توزیع متفاوت است؛ بنابراین مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه برای هر حلقه حمل‌ونقل نیز از هر مرکز توزیع تا نقاط فاجعه خدماتی، کمتر است و زمان حمل‌ونقل باید از مقدار مشخصی تجاوز نکند. هنگامی‌که مراکز برنامه‌ریز در حوزه بحران اهداف مکان‌یابی را در نظر می‌گیرد و زمانی که یک مرکز توزیع می‌تواند بسیاری از نقاط تقاضا را پوشش دهد؛ علاوه بر این، همراه با محدودیت‌های کالاهای امدادی، پوشش نقاط تقاضای بیشتر می‌تواند کارایی عملیاتی را تحت تأثیر قرار دهد، زیرا تقاضا در نقاط فاجعه ممکن است به دلیل زمان حمل‌ونقل طولانی‌تر غیرقابل انجام باشد. بدون توجه به وضعیت، ممکن است هنوز امدادرسانی نتواند انجام شود یا به تأخیر بیافتد که می‌تواند منجر به افزایش میزان مرگ‌ومیر و تعداد بیشتری از صدمات شود. در ۷۲ ساعت بعد از زلزله، کمبود اطلاعات در مورد شرایط نقطه فاجعه، عدم اطمینان تلاش‌های امدادی را افزایش می‌دهد.

تدارکات اضطراری مکان‌یابی-مسیریابی دومرحله‌ای چندهدفه با محدودیت‌های پنجره زمانی و وجود یا عدم وجود جاده‌ی سانحه دیده یک مسئله جدید در تحقیقات لجستیک است. در این پژوهش، یک مدل ریاضی برای مناطقی که بیشترین آسیب از یک فاجعه را پشت سر می‌گذارند، در کمترین مسافت و هزینه ممکن با توجه به محدودیت زمان برای افراد فاجعه دیده پیشنهاد شده است تا به تصمیم‌گیرنده در حل مسئله مکان‌یابی-مسیریابی یاری کند.

۱-۲ مدل ریاضی

در این بخش ابتدا مفروضات مسئله بیان و سپس مدل ریاضی مسئله شرح داده می‌شود.

مفروضات مسئله به شرح زیر است:

- مسئله می‌تواند دارای چند مرکز توزیع باشد.
- کالاهای امدادی یکسانی در مراکز توزیع قرار دارند.
- ظرفیت وسایل نقلیه متفاوت است.
- بیشینه تعداد وسایل نقلیه معلوم است.
- وسایل نقلیه بعد از سرویس‌دهی باید به مرکز توزیع بازگردد.
- تقاضا نباید از ظرفیت مراکز توزیع بیشتر باشد.
- زمان امدادرسانی باید کمتر از ۷۲ ساعت پس از وقوع بحران باشد.
- هزینه مراکز توزیع می‌تواند متفاوت باشد.

نماد و علائم ریاضی

مجموعه‌ها و اندیس‌ها	
$C = \{1, 2, ..., c, ..., \|C\|\}$	مجموعه مشتریان (نقاط فاجعه/نواحی زلزله‌زده)
$R = \{1, 2, ..., r, ..., \|R\|\}$	مجموعه نقاط بالقوه/نامزد برای استقرار مراکز توزیع
$N = C \cup R$	کل گره‌های شبکه (شامل نقاط فاجعه و نقاط بالقوه برای مراکز توزیع): اندیس گذاری با نماد i,j
$K = \{1, 2, ..., k, ..., K\}$	مجموعه وسایل نقلیه
پارامترها/داده‌های مسئله	
h_c	برآورد تقاضای تجهیزات امداد در گره c تا ۷۲ ساعت بعد از وقوع زلزله/بحران
w_c	اهمیت نسبی گره c
d_{ij}	فاصله دو گره i و j
cap_r^R	ظرفیت مرکز توزیع بالقوه r
cap_k^K	ظرفیت وسیله نقلیه k
φ	بیشینه فاصله بین گره c با مرکز توزیع اختصاص داده‌شده به آن
fc_r	هزینه استقرار مرکز توزیع در نقطه r
t_{i-j}	مدت‌زمان جابجایی بین گره i تا گره j
متغیرها/خروجی‌های مسئله	
y_r	اگر مرکز توزیع در مکان r استقرار یابد برابر با ۱ و در غیر این صورت ۰ است.
a_{rc}	اگر مرکز توزیع مستقر در مکان r به گره c تخصیص یابد برابر با ۱ و در غیر این صورت ۰ است.

b_{kr} اگر وسیله نقلیه k از مرکز توزیع r کالاهای امدادی را به گره‌های متقاضی عرضه کند برابر با ۱، در غیر این صورت ۰ است.

x_{kij} اگر وسیله نقلیه k مسافت i به j را طی کند، برابر با ۱، در غیر این صورت ۰ است.

u_{ki} متغیر کمکی عدد صحیح که نشان‌دهنده گره i در مسیر وسیله نقلیه k است (این متغیر در محدودیت حذف زیر دور بکار گرفته می‌شود).

توابع هدف در مکان‌یابی

هدف ۱ در مرحله مکان‌یابی مراکز توزیع: کمینه‌سازی فاصله مراکز توزیع از مشتریان:

معادله (۱):

$$Minimize\ f_1^{location} = \sum_r \sum_c w_c d_{rc} a_{rc}$$

در این رابطه مجموع فواصل مراکز توزیع از گره‌ها (نقاط فاجعه‌زده) کمینه است. لازم به توضیح است که در این رابطه وزن نسبی هر گره به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$w_c = \frac{h_c}{\sum_c h_c}$$

هدف ۲ در سطح مکان‌یابی مراکز توزیع: کمینه‌سازی هزینه احداث مراکز توزیع:

معادله (۲)
$$Minimize\ f_2^{location} = \sum_r fc_r y_r$$

در این رابطه مجموع هزینه‌های احداث مراکز توزیع کمینه می‌شود.

محدودیت‌ها در سطح مکان‌یابی مراکز توزیع:

معادله (۳)
$$\sum_r a_{rc} = 1; \forall c \in C$$

تقاضای هر گره متقاضی امداد توسط یک مرکز به آن توزیع می‌شود (اختصاص یک مرکز توزیع به هر گره).

معادله (۴)
$$a_{rc} \le y_r; \forall c \in C, r \in R$$

تخصیص مراکز توزیع به هر گره متقاضی امداد، مستلزم احداث مرکز توزیع است.

معادله (۵)
$$\sum_c h_c a_{rc} \le cap_r^R; \forall r \in R$$

در این رابطه ظرفیت هر مرکز توزیع کنترل می‌شود.

معادله (۶)
$$d_{rc} a_{rc} \le \varphi; \forall k \in K, c \in C$$

در فاجعه‌ای مانند زلزله ۷۲ ساعته، فاصله بین نقطه فاجعه c و مرکز توزیع r برای امدادرسانی مؤثر مهم است؛ بنابراین، بیشترین فاصله بین مرکز توزیع r و نقطه فاجعه c نباید بیشتر از یک مقدار داده‌شده‌ی باشد. این رابطه، تخصیص هر مرکز توزیع را به هر گره متقاضی امداد تضمین می‌کند که نباید فاصله بین آن‌ها از حد مشخصی بیشتر شود. به‌عبارت‌دیگر اگر $a_{rc}=1$ باشد آنگاه حتماً $d_{rc} \le \varphi$ که شعاع پوشش مجاز است.

تابع هدف در مسیریابی وسایل نقلیه برای توزیع تجهیزات امداد از مراکز توزیع به گره‌های متقاضی هدف ۱ در مرحله مسیریابی: کمینه‌سازی مجموع مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه

معادله (۷)
$$Minimize\ f_1^{routing} = \sum_r \sum_c \sum_k d_{ij} x_{ijk}$$

در این رابطه مجموع مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه طی مسیر آن‌ها برای توزیع تقاضای گره‌ها کمینه می‌شود.

محدودیت‌ها در سطح مسیریابی وسایل نقلیه

معادله (۸)
$$\sum_k \sum_r x_{krc} = 1; \forall c \in C$$

تقاضای هر گره متقاضی امداد توسط یک وسیله نقلیه به آن تحویل داده می‌شود.

معادله (۹)
$$\sum_r x_{krc} \le b_{kr}; \forall k \in K, r \in R$$

این رابطه بیان می‌کند که هر وسیله نقلیه از آن مرکز توزیع مربوط به خود ($b_{kr}=1$) شروع به حرکت و پیوستگی مسیر هر وسیله نقلیه را تضمین می‌کند.

معادله (۱۰)
$$\sum_{i \in N} x_{kic} = \sum_{i \in N} x_{kci}; \forall k \in K, c \in C$$

معادله (۱۱)
$$u_{ki} - u_{kj} + |C| . x_{kij} \le |C| - 1; \forall i, j \in C; k \in K$$

در این رابطه به محدودیت حذف زیر دور ۴ اشاره می‌شود.

معادله (۱۲)
$$\sum_i x_{kic} \le b_{kr} . a_{rc}; \forall k \in K, c \in C$$

این رابطه بیان می‌کند که هر گره فقط می‌تواند توسط آن وسیله نقلیه‌ای بازدید شود که از مرکز توزیع تخصیص داده‌شده حرکت کرده باشد ($b_{kr} . a_{rc}=1$).

معادله (۱۳)
$$\sum_r b_{kr} = 1; \forall k \in K$$

این رابطه بیان می‌کند که هر وسیله نقلیه فقط به یک مرکز توزیع تعلق می‌گیرد.

معادله (۱۴)
$$\sum_i \sum_c h_c x_{kic} \le cap_k^K; \forall k \in K$$

در این رابطه محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه اعمال می‌شود.

معادله (۱۵)
$$\sum_i \sum_j t_{i-j} x_{kij} \le 72; \forall k \in K$$

در این رابطه اجبار می‌شود که هر وسیله باید طی حداکثر ۷۲ ساعت به بازدید گره‌های متقاضی امداد بپردازد.

معادله (۱۶)

$$\left\{\begin{array}{l} y_r \in \{0,1\} \\ a_{rc} \in \{0,1\} \\ x_{kij} \in \{0,1\} \\ b_{kr} \geq 0 \\ u_{ki} 0,1,2,3,... \\ x_{krr'} = 0 \\ x_{kcc} = 0 \end{array}\right\}$$

درنهایت، دامنه تغییر هر یک از متغیرهای در مدل بهینه‌سازی پیشنهادی ارائه شده است. لازم به توضیح است که مدل پیشنهادی دو مرحله دارد (مکان‌یابی و مسیریابی) و مرحله اول دوهدفه است. ضمن اینکه روابط و متغیرها نیز خطی آمیخته (MILP) هستند. همان‌طور که مشاهده شد سطح بالای مدل مسئله دارای دو تابع هدف است برای ساده‌سازی و حل راحت‌تر مدل بهتر است که دو تابع هدف با یکی از روش‌های ممکن به یک هدف تبدیل شود. در اینجا از روش مجموع وزنی اهداف استفاده شده است.

۳-۱ روش حل دوهدفه برای مکان‌یابی مراکز توزیع (روش مجموع وزنی اهداف (WSM[۵]))

در بخش قبلی، برای حل مسئله مورد نظر تحقیق مدل بهینه‌سازی چندهدفه ارائه شد. به‌طورکلی، روش‌های متعددی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM[۶]) و موازنه اهداف در ادبیات ارائه شده است. روش مجموع وزنی (WSM) را می‌توان شناخته‌شده‌ترین و متداول‌ترین روش MADM قلمداد کرد که نخستین بار در سال ۱۹۵۷ پژوهشگران و برنامه‌ریزان اقتصادی از آن برای انتخاب سیاست‌های سرمایه‌گذاری در بخش تجارت استفاده کردند. این روش به‌عنوان همچنان شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین روش در برنامه‌های MADM استفاده می‌شود که دلیل اصلی آن به‌کارگیری ساده و فهم آن است. کارایی محاسباتی و سهولت استفاده از آن جذابیت جهانی دارد [۲۵]. در این بخش روش مجموع وزنی (WSM) توضیح داده می‌شود.

در حالت کلی، یک مسئله MODM به‌صورت زیر قابل‌بیان است (البته ممکن است برخی از اهداف بیشینه‌سازی نیز باشند ولی به‌سادگی قابل‌تبدیل به‌صورت زیر هستند):

معادله (۱۷)

$$\{Min(f_1(x), f_2(x), ..., f_n(x)); x \in X$$

فرض کنید مقدار بهینه هر یک از اهداف $i = 1,2,...,n$ برابر با f_i^* باشد. در مسائل واقعی MODM، با توجه به تناقض[۷] بین اهداف، معمولاً جواب $x^* \in X$ وجود ندارد که به ازای آن‌همه اهداف در حالت بهینه قرار گیرند ($\nexists x^* \in X : f_i^* = f_i(x^*)$). ازاین‌رو، اگر A یک روش حل باشد و جواب x^A به‌عنوان خروجی آن حاصل شود، آنگاه این روش A زمانی کارایی بیشتری داشته است که فاصله کمتری نسبت به f_i^* داشته باشد.

به‌عبارت‌دیگر، بر اساس معیار انحراف از ایده‌آل[۸] (MID)، اگر جواب $F^* = (f_1^*, f_2^*, ..., f_n^*)$ به‌عنوان جواب ایده‌آل در نظر گرفته شود، آنگاه هرچه جواب $F^A = (f_1(x^A), f_2(x^A), ..., f_n(x^A))$ از جواب F^* فاصله کمتری داشته باشد، عملکرد روش A و پاسخ آن بهتر است.

فرض کنید f_i^* مقدار بهینه (در اینجا کمینه) هدف اول باشد، در روش WSM پس از نرمال‌سازی مقادیر هدف مدل تک هدفه زیر باید حل شود:

معادله (۱۸)

$$\min z_{WSM} = \sum_{i=1}^{n} w_i \left| \frac{f_i(x^A) - f_i^*}{f_i^*} \right|$$

۲- نتایج محاسباتی

در این بخش اطلاعات عددی برای مسائل مختلف به‌صورت دومرحله‌ای در نرم‌افزار GAMS حل شده است. این اطلاعات در ابعاد مختلف ارزیابی عملکرد مکان‌یابی و مسیریابی در شرایط بحران با تحلیل حساسیت‌های مختلف برای این مسائل انجام شده که برای هر مسئله تعداد تقاضا، تعداد ظرفیت مراکز توزیع، ظرفیت وسایل نقلیه، فاصله هزینه احداث مراکز توزیع و شعاع پوشش متناسب با مسئله تغییر کرده است. مسئله مورد نظر که دومرحله‌ای است مرحله اول (مکان‌یابی) را به‌صورت دو هدفه (کمینه‌سازی هزینه احداث مراکز توزیع، کمینه‌سازی فواصل از گره‌ها) و مرحله دوم (مسیریابی) را باهدف کمینه‌سازی مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه حل می‌کند.

سامانه رایانه‌ای مورد استفاده، لپ‌تاپی با پردازنده، حافظه‌ی CPU i۵ Intel ® Core™ M۴۶۰@۲,۵۳GHz، رَم ۴ گیگابایت و سیستم‌عامل Microsoft Windows 10 است.

در جدول ۱ با انجام تحلیل حساسیت در مقدار تغییرات تعداد مراکز توزیع، تعداد نقاط فاجعه و تعداد وسایل نقلیه در ۱۰ مثال عددی مختلف دریافت شده از مقاله [۱۸] انجام شده است.

مطابق با جدول ۱ روش‌های حل دقیق این‌گونه مسائل، زمان حل آن‌ها در صورت بزرگ شدن ابعاد مسئله بسیار طولانی و با بزرگ شدن ابعاد مسئله نشدنی می‌شود که نرم‌افزار نیز دیگر توان پاسخگویی ندارد. همچنین مشخص می‌شود که مقادیر توابع هدف دو مرحله با افزایش اندازه مسئله به‌طورکلی افزایش می‌یابد.

در جدول ۲ مسائل مختلفی با تغییر مقدار تقاضا حل شده که حالت صفر مسئله پایه است و به‌صورت درصد منفی که مقدار آن کمتر، درصد مثبت به‌صورت افزایش مقدار تقاضا تغییرات اعمال و نتایج گزارش شده است. مجموعه جواب‌های حاصل از توابع هدف نشان می‌دهد که با کاهش تقاضا، تغییری در مقدار توابع هدف مشاهده نمی‌شود؛ ولی با افزایش مقدار تقاضای نقاط فاجعه، تابع هدف اول مرحله اول که کمینه شدن فاصله مراکز توزیع از نقاط فاجعه است، ابتدا کمتر شده و با افزایش درصد بیشتری از مقدار تقاضا مقدار این تابع هدف نیز افزایش یافته است. همچنین مقدار

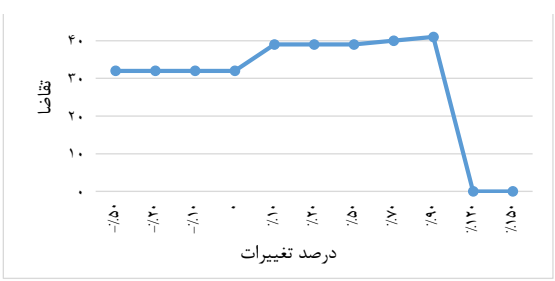
تابع هدف دوم مرحله اول (هزینه احداث مراکز توزیع) به‌صورت صعودی در حال افزایش است. تابع هدف مرحله دوم مربوط به مسیریابی نیز در حال افزایش است. شکل ۳ نمودار تغییرات مقدار تقاضا را در دو مرحله نشان می‌دهد.

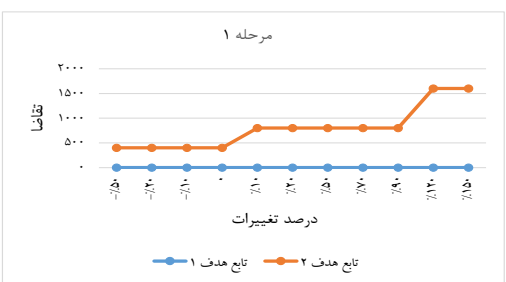
جدول ۱. حل مسائل مختلف با استفاده از نرم‌افزار Gams

	زمان حل (ثانیه)	مرحله ۲	مرحله ۱	تعداد	تعداد	تعداد
	تابع هدف ۱	تابع هدف ۲	تابع هدف ۱	وسایل نقلیه	نقاط فاجعه	مراکز توزیع
مسئله ۱	۲۵	۴۰۰	۳/۸۴۸	۳	۸	۴
مسئله ۲	۴۰	۸۰۰	۲/۹۲۱	۳	۱۳	۵
مسئله ۳	۴۱	۸۰۰	۲/۶۶۸	۴	۱۵	۵
مسئله ۴	۵۵	۸۰۰	۲/۶۶۷	۴	۲۰	۵
مسئله ۵	۳۷	۸۰۰	۲/۷۶۵	۴	۱۲	۶
مسئله ۶	۴۷	۸۰۰	۲/۹۸۰	۴	۱۷	۶
مسئله ۷	۵۴	۸۰۰	۲/۸۴۵	۵	۲۰	۷
مسئله ۸	۵۵	۸۰۰	۲/۶۶۰	۴	۲۰	۸
مسئله ۹	۶۱	۸۰۰	۲/۸۸۰	۵	۲۵	۸
مسئله ۱۰	۵۲	۸۰۰	۳/۰۰۵	۵	۱۸	۱۰

جدول ۲. حل مسائل مختلف با تغییرات مقدار تقاضا

مرحله ۲	مرحله ۱		درصد تغییرات	مسئله
تابع هدف ۱	تابع هدف ۲	تابع هدف ۱		تقاضا
۳۲	۴۰۰	۳/۷۷۴	-٪۵۰	مسئله ۱
۳۲	۴۰۰	۳/۷۷۴	-٪۲۰	مسئله ۲
۳۲	۴۰۰	۳/۷۷۴	-٪۱۰	مسئله ۳
۳۲	۴۰۰	۳/۷۷۴	۰	مسئله ۴
۳۹	۸۰۰	۲/۹۱۸	٪۱۰	مسئله ۵
۳۹	۸۰۰	۲/۹۱۸	٪۲۰	مسئله ۶
۳۹	۸۰۰	۲/۹۱۸	٪۵۰	مسئله ۷
۴۰	۸۰۰	۲/۹۶۸	٪۷۰	مسئله ۸
۴۱	۸۰۰	۳/۰۳۴	٪۹۰	مسئله ۹
-	۱۶۰۰	۲/۷۳۶	٪۱۲۰	مسئله ۱۰
-	۱۶۰۰	۳/۰۷۱	٪۱۵۰	مسئله ۱۱





شکل ۳ نمودار تغییرات مقدار تقاضا

با مشاهده نمودار تغییرات ظرفیت دو مرحله (شکل ۴) مشخص می‌شود که با کاهش درصدی مقدار ظرفیت مراکز توزیع تمامی توابع هدف دو مرحله افزایش می‌یابد و با کاهش بیشتر ظرفیت، مسئله در مرحله دوم نشدنی می‌شود.

شکل ۵ نشان می‌دهد که ظرفیت وسایل نقلیه تأثیری بر مرحله اول ندارد؛ ولی در مرحله دوم با کاهش ظرفیت مقدار تابع هدف بیشتر شده و اگر ظرفیت بیشتر کاهش یابد، تابع هدف مرحله دوم نشدنی می‌شود. از نتایج شکل ۴ و ۵ می‌توان نتیجه گرفت که با تغییر مقدار ظرفیت مسئله مورد نظر نشدنی می‌شود.

در شکل ۶ مشاهده می‌شود که افزایش زمانِ مؤثر بر مرحله دوم، تابع هدف این مرحله را نشدنی می‌کند. با توجه به محدودیت زمان ۷۲ ساعت برای امدادرسانی در مدل مسئله، در صورت گذر زمان از حد ممکن مسئله نشدنی می‌شود.

این نمودار فاصله گره i از گره j را نشان می‌دهد که با بیشتر شدن فاصله مقدار تابع هدف اولِ مرحله نخستِ بیان‌کننده‌ی فاصله مراکز توزیع به نقاط فاجعه افزایش می‌یابد و همچنین مقدار تابع هدف مرحله دوم که مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه است بیشتر می‌شود؛ ولی با افزایش مقدار فاصله، تابع هدف مرحله دوم نشدنی می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

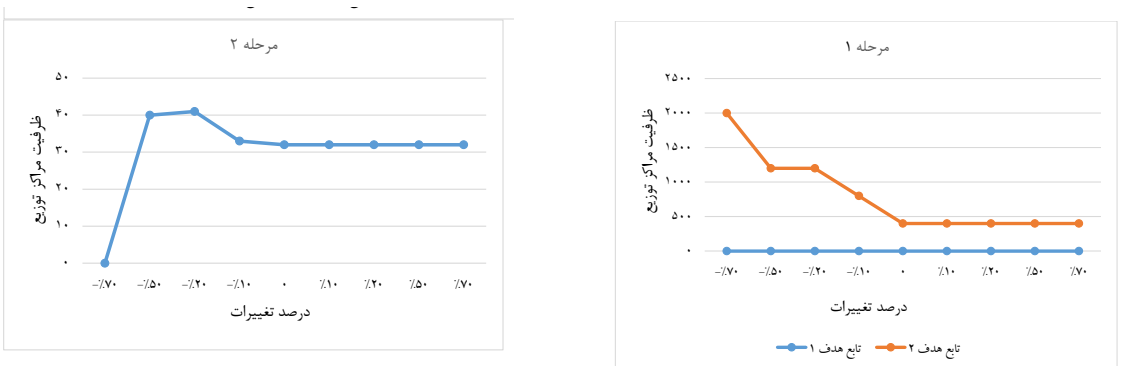
در این مقاله ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جدید برای مسئله ارائه شد که مدلی دومرحله‌ای بود. هدف مرحله اول احداث مراکز توزیع و انتخاب آن‌ها از منتخبین و مرحله دوم اطمینان صورت که مرحله اول (مکان‌یابی) با توابع هدف کمینه‌سازی هزینه احداث مراکز توزیع و کمینه‌سازی فاصله مراکز توزیع تا نقاط فاجعه بود که به شکل روش مجموع وزنیِ تک هدفه برای حل مدل انجام شد و همچنین مرحله دوم که تابع هدف (مسیریابی) کمینه کردن مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه بود.

همان‌گونه که بیان شد مکان‌ها، کالاهای امدادی موجود و ظرفیت مراکز توزیع به‌طور مستقیم مسافت و زمان حمل‌ونقل را تعیین می‌کنند. مواد امدادی از مراکز توزیع مختلف به نقاط فاجعه ارسال می‌شود که بر روی مسیر حمل‌ونقل و مسافت و زمان انجام‌شده برای رسیدن به مناطق فاجعه نیز مؤثر است.

سپس به حل مسئله مورد نظر در نرم‌افزار GAMS پرداخته شد. در مسئله‌های طراحی شده، برای هر مسئله تعداد مراکز توزیع، نقاط فاجعه و وسایل نقلیه متناسب با مسئله تغییر کرده است که از مرجع [۱۸] دریافت شدند و زمان حل آن‌ها مورد توجه قرار گرفت. سپس با تغییرات پارامترهای مسئله ازجمله مقدار تقاضای نقاط فاجعه، ظرفیت مراکز توزیع، ظرفیت وسایل نقلیه، فاصله دو گره و مدت‌زمان جابجایی گره تا نقطه فاجعه مورد بررسی قرار گرفت.

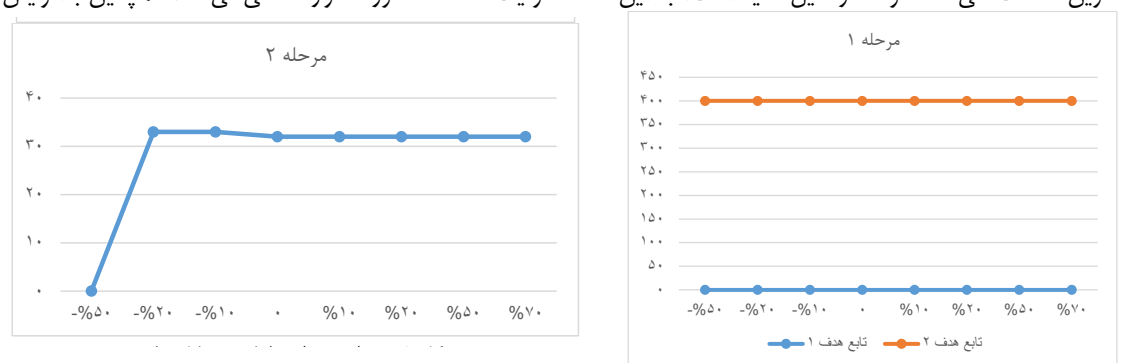
نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که زمان حل مسائل طی روش‌های حل دقیق این‌گونه مسائل در صورت بزرگ شدن ابعاد مسئله، بسیار طولانی شده و در ابعاد بزرگ‌تر مسئله نشدنی می‌شود، به صورتی که نرم‌افزار دیگر توان پاسخگویی ندارد. همچنین مشخص شد که مقادیر توابع هدف دو مرحله با افزایش اندازه مسئله به‌طورکلی افزایش می‌یابند.

با تغییرات مقدار ظرفیت‌ها در مسئله مشخص شد که میزان

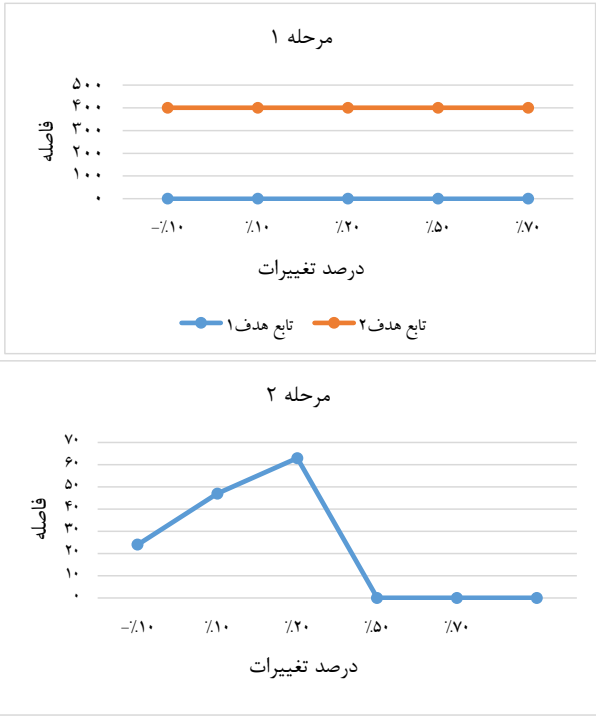


شکل ۴. نمودار تغییرات ظرفیت مراکز توزیع

از کوتاه‌ترین مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه است؛ به این ظرفیت‌ها، مسئله مورد نظر را نشدنی می‌کند. همچنین با افزایش



شکل ۵. نمودار تغییرات ظرفیت وسایل نقلیه



شکل ۶. نمودار تغییرات فاصله

تقاضا فاصله مراکز توزیع تا نقاط فاجعه و مسافت طی شده وسایل نقلیه افزایش می‌یابد که با افزایش زمان با توجه به محدودیت زمان ۷۲ ساعت مقدار توابع هدف افزایش می‌یابد و مسئله نشدنی می‌شود.

ظرفیت و شعاع پوشش در حل مسئله مورد نظر باعث نشدنی بودن مسئله می‌شوند، یعنی در صورت عدم پوشش مراکز تقاضا توسط ظرفیت و عدم رعایت محدودیت شعاع به‌وسیله‌ی تخصیص صورت گرفته، مسئله نشدنی می‌شود.

نتایج مسائل مختلف نشان داد که با افزایش تعداد نقاط فاجعه، بالطبع مقدار تقاضا افزایش می‌یابد. با توجه به محدودیت مراکز توزیع و تعداد محدود وسایل نقلیه مقدار توابع هدف سطح بالا و سطح پایین بیشتر می‌شود. درنتیجه اینکه عملیات امدادرسانی با بیشتر شدن تعداد نقاط فاجعه انجام شود، مقدار فاصله و مسافت بیشتر و در زمان طولانی‌تری عملیات امدادرسانی انجام می‌شود.

برای تحقیقات آینده، توابع هدف جدید می‌تواند با ادغام مسئله مکان‌یابی تسهیلات با سایر مسائل دیگر مانند مکان‌یابی موجودی و ... به‌صورت دومرحله‌ای توسعه یابد. همچنین می‌توان از روش‌های فرا ابتکاری برای به دست آوردن نتایج بهتری استفاده کرد.

در برخی موارد ممکن است دو فاجعه، نظیر زمین‌لرزه و سونامی هم‌زمان رخ دهد؛ بنابراین، مطالعه بیشتری لازم است که سناریوهای چندین فاجعه را مورد توجه قرار دهد. افزون بر این، مدیریت یکپارچه مرحله فاجعه نیز در فرایند تصمیم‌گیری در مسائل مربوط به مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات انسانی اضطراری اهمیت دارد.

پی‌نوشت

1. Location-allocation problem
2. Vehicle routing problem
3. Location Routing Problem
4. Sub tour elimination
5. Weighted Sum Method
6. Multi Objective Decision Making
7. Conflict
8. Mean of Ideal distance

منابع

1. Nikoo, N., Babaei, M., & Mohaymany, A.S. (2018). Emergency transportation network design problem: Identification and evaluation of disaster response routes. Internatinal journal of disaster risk reducation, 27, 7-20.
2. Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, 11 (2), 1-1-121.
3. Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 485-498.
4. Lehtveer, M., & Hedenus, F. (2015). Nuclear power as a climate mitigation strategy–technology and proliferation risk. *Journal of Risk Research*, 18 (3), 273-290.
5. Lidskog, R., & Sjödin, D. (2016). Risk governance through professional expertise. Forestry consultants' handling of uncertainties after a storm disaster. *Journal of risk research*, 19 (10), 1275-1290.

6. Xu, J., Wang, Z., Shen, F., Ouyang, C., & Tu, Y. (2016). Natural disasters and social conflict: a systematic literature review. *International journal of disaster risk reduction*, 17, 38-48.

۷. ارکات، ج.، زمانی، ش.، قدس، پ.، (۱۳۹۴). مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات اورژانسی با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی در زمان بحران، *دوفصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران*، شماره ۸، ص ۹۵-۱۰۶.

۸. ستاک، م.، عزیزی، و.، کریمی، ح.، (۱۳۹۳). مسئله مکان‌یابی مسیریابی چند دپویی ظرفیت دار با برداشت و تحویل هم‌زمان و بارهای برش یافته: مدل‌سازی و حل ابتکاری، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۲ (۴)، ص ۶۷-۸۱.

۹. حسینی، س.م، خلجی علیایی، س. (۱۳۹۴). مدل‌سازی ریاضی مسئله مکان‌یابی-مسیریابی با در نظر گرفتن ظرفیت، تنوع و محدودیت تردد وسایل حمل‌ونقل و توسعه یک مدل حل مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۵ (۳)، ص ۹۱-۱۰۵.

10. Wu, T. H., Low, C., & Bai, J. W. (2002). Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems. *Computers & Operations Research*, 29 (10), 1393-1415.

11. 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,* 8 (5), 270-285.

12. Min, H., Jayaraman, V., & Srivastava, R. (1998). Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 108 (1), 1-15.

13. Mete, H. O., & Zabinsky, Z. B. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Production Economics*, 126 (1), 76-84.

14. Rath, S., & Gutjahr, W. J. (2014). A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief. *Computers & Operations Research*, 42, 25-39.

۱۵. ۱۵. Moshref-Javadi, M., & Lee, S. (2016). The latency location-routing problem. *European Journal of Operational Research*,255 (2) 604-619.

۱۶. توکلی، ش.، ربانی، م.، بزرگی امیری، ع.، (۱۳۹۵). ارائه یک الگوی بهینه‌سازی برای مسئله پاک‌سازی آوار در فاز پاسخ به بحران، دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۲، ص ۵-۱۶.

17. Nedjati, A., Izbirak, G., & Arkat, J. (2017). Bi-objective covering tour location routing problem with replenishment at intermediate depots: Formulation and meta-heuristics. *Computers & Industrial Engineering*,110, 191-206.

18. Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, F., & Mansour, F. (2018). Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty. *International journal of disaster risk reduction*, 27, 290-306.

19. Ghatreh Samani, M., Hosseini-Motlagh, S. M., Yaghoubi, S., & Jokar, A. (2017). A Hybrid Metaheuristic Method for Two-Echelon Location-Routing Problem with Pickup and Delivery. *Advances in Industrial Engineering*, 51 (1), 101-115.

20. Tavana, M., Abtahi, A. R., Di Caprio, D., Hashemi, R., & Yousefi-Zenouz, R. (2018). An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre-and post-disaster management considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 64, 21-37.

۲۱. نیازی شش‌نرمی، م.، کریمی طاهر، ر.، ربانی، م.، (۱۳۹۷). چارچوبی برای بهینه‌سازی تدارکات امدادرسانی و تخلیه مجروحان مطالعه موردی: نقش نیروهای مسلح، دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۱، ص ۵۷-۷۲.

22. Oksuz, M. K., & Satoglu, S. I. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44,101-426.

23. Ellwein, L. B., & Gray, P. (1971). Solving fixed charge location-allocation problems with capacity and configuration constraints. *AIIE Transactions*, 3 (4), 290-298.

24. Zhou, J., & Liu, B. (2003). New stochastic models for capacitated location-allocation problem. *Computers & industrial engineering*, 45 (1), 111-125.

25. Soo, H. Y. (2004). Towards the Development of a Decision Support System for Emergency Vehicle Preemption and Transit Signal Priority Investment Planning (Doctoral dissertation, Virginia Tech).

نقش تنوع منابع درآمدی بر آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی در معرض خشک‌سالی

مطالعه موردی: شهرستان چناران

مریم قاسمی*: استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه فردوسی مشهد، Email: magh۳۰@um.ac.ir
نرگس حاجیان: دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۰۲
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۹

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان: «نقش تنوع فعالیت‌های اقتصادی (زراعی و غیر زراعی) در آسیب‌پذیری و تاب‌آوری خانوارهای کشاورز روستایی در مواجهه با خشک‌سالی (منطقه مورد مطالعه: شهرستان چناران)» در رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی به راهنمایی دکتر مریم قاسمی در دانشگاه فردوسی مشهد بوده است.

چکیده

خشک‌سالی یکی از مخاطرات طبیعی با پیامدهای گسترده است. آسیب‌پذیری کشاورزان تحت تأثیر این مخاطره به دلیل اتکای اقتصاد نواحی روستایی به بخش کشاورزی بسیار بالا است. محققان مهم‌ترین راهکار کاهش آسیب‌پذیری کشاورزان را تنوع‌بخشی منابع درآمدی می‌دانند. مطالعه حاضر به بررسی نقش تنوع منابع درآمد زراعی و غیر زراعی بر آسیب‌پذیری کشاورزان نواحی روستایی در معرض خشک‌سالی می‌پردازد. روش تحقیق ازنظر ساختار، توصیفی-تحلیلی و ماهیت، کاربردی است. متغیرهای مستقل تنوع فعالیت‌های اقتصادی زراعی، غیر زراعی و متغیرهای وابسته آسیب‌پذیری به تفکیک سه بعد اقتصادی، اجتماعی و محیطی است. ضریب آلفای کرون باخ ۰/۹۴ بیانگر پایایی مطلوب ابزار تحقیق است. در این مطالعه ۲۷۱ خانوار کشاورز روستایی در ۱۵ روستای شهرستان چناران در انجام تحقیق مشارکت نمودند. نتایج تحلیل واریانس نشان داد «تنوع غیر زراعی» باعث کاهش آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی گردیده است. به‌طوری‌که میانگین آسیب‌پذیری در خانوارهای دارای منابع درآمدی متنوع غیر زراعی ۳/۷۲، نیمه متنوع ۳/۸۸ و غیر متنوع ۴/۱۸ است. همچنین تنوع زراعی تأثیر آماری معنی‌داری بر آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی در مواجهه با خشک‌سالی نداشته است. براساس نتایج تحلیل مسیر «تنوع غیر زراعی» به میزان ۰/۲۳- باعث کاهش آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی گردیده است. ازآنجاکه کشاورزان- دارای منابع درآمدی متنوع غیر زراعی در برابر بحران‌ها و شوک‌های ناگهانی همچون خشک‌سالی کمتر در معرض آسیب قرار می‌گیرند، ضروری است برنامه‌ریزان با اتخاذ راهبردهای مناسب، تنوع فعالیت‌های اقتصادی غیر زراعی را در نواحی در معرض خشک‌سالی تقویت نمایند.

واژه‌های کلیدی: *شهرستان چناران، آسیب‌پذیری، خشک‌سالی، تنوع غیر زراعی، تنوع زراعی*

The role of diversity of income sources on the vulnerability of rural farmer households exposed to drought

Case Study: Chenaran County

Maryam Ghasemi*[1], Narges hajian[2]

Abstract

Drought is one of the natural hazards that has far-reaching consequences. Due to the dependence of the rural economy on the agricultural sector, the vulnerability of farmers to this risk is very high. Researchers say the most important way to reduce farmers' vulnerability is to diversify their sources of income. Therefore, the present study investigates the role of diversity of agricultural and non-agricultural income sources on the vulnerability of farmers in rural areas to drought. The research method is structurally descriptive-analytical and practical in nature. Independent variables are the diversity of agricultural and non-agricultural economic activities and the dependent variables are vulnerable to three economic, social and ecological dimensions. Cronbach's alpha coefficient of 0.94 indicates the optimal reliability of the research instrument. In this study, 271 rural farmer families in 15 villages of Chenaran city participated in the research. The results of analysis of variance showed that "non-agricultural diversity" has reduced the vulnerability of rural farming households. So that the average vulnerability in households with diverse non-agricultural income sources is 3.72, semi-diverse 3.88 and non-diverse 18.4. Also, crop diversity has not had a statistically significant effect on the vulnerability of rural farming households in the face of drought. According to the results of the analysis of the "non-agricultural diversity" route, the rate of vulnerability of rural farming households has decreased by -0.23. Because farmers with a variety of non-farm income sources are less vulnerable to crises and sudden shocks such as drought, it is important for planners to adopt appropriate strategies to strengthen the diversity of non-farm economic activities in drought-prone areas.

Key words: *Chenaran County, Vulnerability, Drought, Non-agricultural diversity, Crop diversity.*

1- Assistant Prof. of Geography and Rural Planning, Ferdowsi University of Mashhad (Corresponding Author, Magh30@um.ac.ir
2- Master of Science in Geography and Rural Planning, Ferdowsi University of Mashhad, nhajian.nh@yahool.com

مقدمه

خشک‌سالی در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی (زلزله، آتش‌فشان، توفان، سیل، صاعقه و سونامی)، یکی از عمده‌ترین مخاطرات از منظر شدت، مدت و خسارات جانبی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌شناسی به شمار رفته و دلیل بسیاری از تحولات اجتماعی-اقتصادی است. این پدیده یکی از محدودیت‌های خاص طبیعت است که برای هر اقلیمی تکرار شدنی و قابل پیشامد است [۱]. طی چهار دهه گذشته وسعت مناطق جغرافیایی متأثر از خشک‌سالی به‌شدت افزایش یافته و طبق گزارش سازمان ملل در آینده ۳۱ کشور جهان با کمبود آب مواجه خواهند شد. در حال حاضر کشور ایران با میانگین بارش ۲۵۰ میلی‌متر (کمتر از میانگین بارش جهانی) به‌عنوان یکی از بحرانی‌ترین کشورهای درگیر کمبود آب مطرح است.

به دلیل ارتباط تنگاتنگ روستا و کشاورزی، پیامدهای منفی خشک‌سالی بر اقتصاد روستایی بیش از سایر فضاهای جغرافیایی نمایان است. «وقوع مکرر خشک‌سالی و پیچیدگی عوامل زمینه‌ساز و درهم تنیدگی پیامدهای منفی ناشی از خشک‌سالی، این پدیده را به یکی از دغدغه‌های اصلی کشاورزان ساکن در مناطق دارای شرایط بحرانی تبدیل نموده است» [۲]. اثرات مستقیم خشک‌سالی شامل طیف وسیعی همچون: کاهش محصول، کاهش سطح آب، افزایش نرخ مرگ‌ومیر دام و حیات‌وحش و اثرات غیرمستقیم خشک‌سالی شامل: کاهش عملکرد محصول و درآمد کمتر کشاورزان، افزایش قیمت مواد غذایی، بیکاری و مهاجرت است [۳]. لذا خشک‌سالی و رکود فعالیت‌های اقتصاد سنتی در مناطق روستایی، به‌ویژه اقتصاد مبتنی بر منابع طبیعی همچون کشاورزی در چند دهه اخیر، جستجوی راهکارهای جدید برای تقویت پایه‌های اقتصادی در این مناطق را ضرورتی اساسی بخشیده است [۴]. اغلب نظریه‌پردازان توسعه، در چارچوب الگوی توسعه پایدار روستایی «رویکرد متنوع سازی» را به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری در مواجهه با بحران‌های بیرونی پیشنهاد نموده‌اند. وجود «تنوع» در فعالیت‌های اقتصادی در این نظریه وجود «تنوع» در فعالیت‌های اقتصادی یکی از ضروریات تسهیل ثبات و پایداری جوامع قلمداد می‌گردد. بر این اساس پایداری زمانی ایجاد و دوام خواهد یافت که سیستم دارای عناصر متعدد و متنوع باشد و هراندازه سیستمی متنوع‌تر باشد، از توانایی بالاتری در کاهش اختلالات خارجی و داخلی برخوردار خواهد بود و شرایطی را در راستای حفظ پایداری، پویایی و ثبات سیستم در طول زمان و مکان‌های مختلف نه‌تنها در مقابل تنش‌های درونی که در برابر تنش‌های خارجی نیز فراهم خواهد کرد [۵]. درواقع تنوع معیشتی می‌تواند عاملی برای کاهش شوک‌های ناشی از مخاطرات طبیعی به‌خصوص خشک‌سالی در مناطق روستایی باشد، زیرا فعالیت‌های اقتصادی متنوع در جامعه روستایی چنان درجه‌ای از امنیت را به وجود می‌آورد که اقتصاد روستایی می‌تواند در مقابل محدودیت‌های اصلی محیط (خشک‌سالی، وقوع یخبندان، سرمازدگی و ...) و بی‌ثباتی اقتصادی-اجتماعی (به‌خصوص نوسانات بازار و قیمت محصولات تولیدی و ...) به‌خوبی استقامت کند. وجود فعالیت‌های متنوع اقتصادی و تولیدی ریسک بهره‌برداران و فعالان روستایی را به‌ویژه در شرایط محیطی و انسانی- متغیر و غیرقابل‌پیش‌بینی کاهش داده و چنانچه یکی از فعالیت‌های تولیدی به‌خوبی عمل نکند، سود سایر تولیدات آن را جبران خواهد نمود [۶]. بر این اساس گسترش تنوع فعالیت‌های اقتصادی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در نواحی روستایی (چه در بخش کشاورزی و چه در بخش غیرکشاورزی) است.

در سال‌های اخیر خسارات ناشی از پدیده خشک‌سالی در استان خراسان رضوی، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک آن افزایش عمده‌ای یافته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بر اساس شاخص SPI در یک دوره هفت‌ساله تا پایان مردادماه ۱۳۹۶ حدود ۶۸ درصد مساحت شهرستان‌های استان خراسان رضوی تحت تأثیر خشک‌سالی شدید و بسیار شدید قرار داشته است[۱]، همچنین ۷۱/۴ درصد جمعیت استان در همین دوره در معرض خشک‌سالی شدید و بسیار شدید قرار داشته است[۲]. شهرستان چناران نیز به‌تبع استان از این قاعده مستثنا نبوده و طی همین دوره ۶۸ درصد از مساحت آن دچار خشک‌سالی متوسط و ۳۲ درصد نیز دچار خشک‌سالی شدید بوده است؛ همچنین در این دوره ۸۶/۸ درصد از جمعیت شهرستان چناران در معرض خشک‌سالی متوسط و ۱۳/۲ درصد در معرض خشک‌سالی شدید بوده‌اند [۷]. طبق آخرین آمار هواشناسی، میانگین بارندگی شهرستان چناران ۱۰۸ میلی‌متر است که نسبت به میانگین بارش استان (۲۰۸ میلی‌متر) و بارش کشور (۲۵۰ میلی‌متر) کمتر است. از سوی دیگر ۵۶ درصد آب مورد نیاز مزارع و باغات چناران از طریق ۴۲۹ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق و ۴۴ درصد از طریق قنات، چشمه، رودخانه و بندهای خاکی تأمین می‌شود.

مطابق ارزیابی‌های اقتصادی انجام شده در ایران، معیشت ساکنان جوامع روستایی در استان خراسان رضوی و به‌تبع آن شهرستان چناران، به میزان زیادی به اقتصاد کشاورزی و منابع طبیعی وابسته است. این ساختار منجر به انعطاف کمتر در مقابل نوسانات کوتاه‌مدت آب و هوایی، نوسانات قیمت محصول در زمان برداشت، محدودیت‌های بازاریابی و بازار رسانی محصول، وابستگی بهره‌برداران به محیط خارج از روستا و بازارهای خارجی، بیکاری آشکار و پنهان، کاهش بازده سرمایه، تخریب منابع پایه محیطی، آسیب‌پذیری اقتصاد روستایی و بی‌ثباتی منابع درآمدی، تضعیف اقتصاد و فرهنگ روستایی، مهاجرت روستایی، حاشیه‌نشینی و افزایش مشکلات شهری گردیده است [۵]. با توجه به وابستگی اقتصادی اغلب خانوارهای روستایی به بخش کشاورزی، به نظر می‌رسد آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز در مواجهه با بحران‌های بیرونی به‌خصوص خشک‌سالی بالا است. چنین شرایطی که به نظر می‌رسد تحت تأثیر ساختار اقتصادی غیر متنوع به وجود آمده، باعث تقلیل ثبات و افزایش آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز می‌شود. با توجه به مطالب مطرح‌شده، سؤال اصلی تحقیق به این صورت مطرح می‌گردد که: تنوع فعالیت‌های اقتصادی (کشاورزی و غیر کشاورزی) به چه میزان بر آسیب‌پذیری

خانوارهای کشاورز روستایی شهرستان چناران در زمان خشک‌سالی مؤثر بوده است؟

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که بحران خشک‌سالی و پیامدهای حاصل از آن، در سال‌های اخیر در اغلب کشورها نمود یافته و مورد توجه محققان حوزه‌های علمی مختلف قرار گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. رکن‌الدین افتخاری و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه خود نشان دادند که اتخاذ رویکرد تنوع معیشتی منجر به تاب‌آوری بیشتر خانوارها در شرایط خشک‌سالی شده است [۸]. حیدری ساربان و مجنونی توتاخانه (۱۳۹۵) در مطالعه خود نشان دادند که اتخاذ رویکرد تنوع معیشتی منجر به تاب‌آوری بیشتر خانوارها در شرایط خشک‌سالی دریاچه ارومیه شده است [۹]. پور طاهری و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که وقوع خشک‌سالی موجب ورود خسارت‌های متعدد اجتماعی و اقتصادی به کشاورزان است. با توجه به اقتصاد متکی به کشاورزی در روستا، شدت آسیب‌پذیری تحت تأثیر خشک‌سالی بیشتر می‌شود [۱۰]. فاضل نیا و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه خود نشان دادند که با کاهش ۱ میلی‌متر در میزان بارندگی، ۳ کیلوگرم کاهش عملکرد گندم در هکتار پدید آمده است، همچنین به ازای هر سانتی‌متر کاهش بارندگی، ۴ نفر به تعداد مهاجران افزوده شده است [۱۱]. اوسی[۳] و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود نشان دادند که خشک‌سالی در کاهش دام به‌خصوص گاو تأثیر محسوسی داشته و در کاهش درآمد دامداران تأثیرگذار بوده است، به‌طوری‌که با خشک‌سالی ۲۰۱۱ به کاهش حداقل یک‌سوم و در برخی موارد نزدیک به نیمی از درآمد خالص دامداران به دلیل پرهزینه بودن خوراک دام منجر شد [۱۲]. کلی[۴] و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه خود نشان می‌دهند که شدت خشک‌سالی از هر ناحیه نسبت به ناحیه دیگر متفاوت است و توسط عوامل آب و هوایی، هیدرولوژیکی، محیط‌زیست، عوامل اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی ایجاد می‌شود. لذا باید راهکارهایی برای گروه‌های آسیب‌پذیر ازجمله فقرا، اجرا شود [۱۳]. دی[۵] (۲۰۱۸) در مطالعه خود نشان داد که اشتغال غیر کشاورزی در اغلب خانوارهای روستایی فقیر، آثار عمده‌ای بر کاهش فقر دارد. بااین‌حال سرمایه انسانی یکی از قوی‌ترین عوامل در مبارزه با فقر است. لذا پیشنهاد می‌شود در کنار سیاست‌های توسعه فعالیت غیر کشاورزی، بر ارتقاء مهارت‌های انسانی به‌عنوان راه‌حلی مؤثر و دائمی برای کاهش فقر و کاهش خطرات معیشتی تأکید شود [۱۴]. ارسلان[۶] و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود نشان دادند که تغییرات اقلیمی چالش فزاینده‌ای را برای معیشت کشاورزی به وجود می‌آورد. تنوع معیشتی می‌تواند نقش مهمی در کاهش ناامنی غذایی و آسیب‌پذیری ایفا کند [۱۵]. ژانگ[۷] و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود با محاسبه شاخص آسیب‌پذیری معیشت با توجه به چارچوب آسیب‌پذیری IPCC و چارچوب معیشت پایدار SLF، نشان دادند که خشک‌سالی موجب افزایش تنوع معیشت و بالا بردن توانایی کشاورزان در استفاده انعطاف‌پذیر از انواع سرمایه‌های معیشتی شده است [۱۶]. اسراور[۸] (۲۰۱۷) در مطالعه خود نشان داد که تغییرات اقلیمی بر راهبردهای تنوع و آسیب‌پذیری خانواده‌های روستایی در شمال غنا مؤثر بوده است [۱۷].

روش تحقیق و ابزارها

روش تحقیق توصیفی-تحلیلی است. این پژوهش ازنظر کنترل شرایط پژوهش، پیمایشی است و چون در یک مقطع زمانی معین صورت گرفته است، مطالعه‌ای مقطعی تلقی می‌شود و ازآنجاکه در مورد جمعیت نمونهٔ معرف انجام می‌گیرد تا قدرت تعمیم‌پذیری داده‌ها فراهم شود، تحقیقی پهنان گر است. واحد تحلیل، خانوارهای کشاورز روستایی هستند. متغیر وابسته «آسیب‌پذیری» و متغیرهای مستقل «تنوع فعالیت‌های اقتصادی زراعی و غیرزراعی» خانوارهای کشاورز روستایی است. آسیب‌پذیری به کمک ۳۳ شاخص در ۳ مؤلفه، شامل آسیب‌پذیری اقتصادی با ۱۷ شاخص، آسیب‌پذیری اجتماعی با ۷ شاخص، آسیب‌پذیری محیطی با ۹ شاخص به شرح جدول ۱ و در طیف لیکرت (۱: بسیار کم و ۵: خیلی زیاد) کمّی شد. پایایی ابزار تحقیق به کمک ضریب آلفای کرون باخ بررسی شد. ضریب آلفای کرون باخ آسیب‌پذیری ۰/۹۴ است که بیانگر همبستگی درونی بین پرسش‌ها و پایایی مطلوب ابزار تحقیق است.

جدول ۱. عمده‌ترین مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی جهت سنجش متغیر وابسته تحقیق (آسیب‌پذیری خانوار کشاورز روستایی در شرایط خشک‌سالی)، منبع: یافته‌های تحقیق، ۶۹۳۱

مؤلفه	شاخص
آسیب‌پذیری اقتصادی	افزایش هزینه‌های خوراک دام، کاهش تعداد دام سبک و سنگین (مرگ احشام یا فروش)، کاهش درآمد ناشی از فعالیت‌های دامداری، کاهش عملکرد محصولات دیم، کاهش سطح زیر کشت اراضی آبی، کاهش عملکرد محصولات زراعی، کاهش درآمد زراعی، کاهش عملکرد محصولات باغی، کاهش سطح زیر کشت باغات، کاهش درآمد باغی، کاهش قیمت اراضی کشاورزی و باغات، کاهش سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی، ایجاد تغییرات اساسی در اقتصاد خانوار (افزایش هزینه‌های زندگی و ...)، افزایش هزینه‌های کشاورزی (خرید آب و ...)، افزایش بدهکاری به دیگران، تأخیر در بازپرداخت وام‌های دریافتی، کاهش تعداد دام سبک (مرگ احشام یا فروش)
آسیب‌پذیری اجتماعی	افت کیفیت زندگی خانوار، افزایش بیکاری فصلی به‌واسطه کاهش عملیات داشت و برداشت، کاهش میزان همکاری با سایر روستاییان، بروز نزاع و درگیری با سایرین (به‌خصوص برای دسترسی به منابع آب)، کاهش مصرف مواد غذایی، افزایش انگیزه مهاجرت در خانوار، افزایش فقر عمومی
آسیب‌پذیری زیست‌شناسی	محدودیت و کاهش کیفیت آب آشامیدنی، کاهش دبی منابع آب زیرزمینی (چاه، چشمه، قنات) و کاهش آب مورد نیاز برای فعالیت‌های کشاورزی، تخریب اراضی کشاورزی و فرسایش اراضی کشاورزی، کاهش سطح زیر کشت اراضی دیم کشاورزان، شوری اراضی، تخریب مراتع طبیعی و ضعف پوشش گیاهی مرتع برای تغذیه دام، کاهش میزان آب‌های سطحی (رودخانه‌ها و آبراهه‌ها و مسیل‌ها)، افزایش آفات و حمله آفات به اراضی کشاورزی، افزایش عمق چاه‌های زیرزمینی (کف‌زنی)

به نظر می‌رسد رعایت اصل تنوع در فعالیت‌های اقتصادی کشاورزان در کاهش آسیب‌پذیری آن‌ها مؤثر است. تنوع اقتصادی اهمیت بیشتری در مناطقی با اقتصاد متکی بر کشت واحد دارد؛ زیرا علاوه بر تقویت پایه‌های اقتصاد روستایی، مانع از مهاجرت روستاییان خواهد شد. در تحقیق حاضر متغیرهای مستقل «تنوع فعالیت‌های کشاورزی» و «تنوع فعالیت‌های غیر کشاورزی» است. تنوع در فعالیت‌های کشاورزی در بخش زراعی، باغی و دامی و تنوع در فعالیت‌های اقتصادی غیر کشاورزی بیشتر متمرکز بر فعالیت‌های خانوار در بخش صنعت و خدمات است. روش وزن دهی مورد استفاده در این بررسی روش شانون بوده است (جدول ۲).

در بخش یافته‌های استنباطی تحقیق با توجه به عدم وجود تمامی پیش‌فرض‌های رگرسیون (مانند عدم استقلال باقیمانده، پائین بودن ضریب تعیین و ...) به‌منظور بررسی اثرگذاری متغیرهای مستقل (تنوع فعالیت‌های اقتصادی زراعی و غیر زراعی) بر متغیر وابسته (آسیب‌پذیری در مواجهه با خشک‌سالی) از تحلیل واریانس یک‌طرفه (Anova) و به‌منظور بررسی شدت اثر از تحلیل مسیر استفاده گردید. آزمون F یا تحلیل واریانس یک‌طرفه برای آزمون تفاوت میانگین یک متغیر در بین بیش از دو گروه (۳ گروه و بیشتر) به کار می‌رود [۱۹]. در تحقیق حاضر با توجه به ترکیب شاخص‌های مربوط به متغیر وابسته در طیف لیکرت، مقیاس این سازه از رتبه‌ای به فاصله‌ای ارتقاء یافت [۲۰]. همچنین متغیر مستقل در مقیاس نسبی مورد سنجش قرارگرفته و به کمک تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis) به تفکیک کشاورزی و غیر کشاورزی در سه مقوله متنوع، نیمه متنوع و غیر متنوع تعریف شد. لازم به ذکر است که تحلیل خوشه‌ای یکی از متداول‌ترین روش‌های طبقه‌بندی است که هدف اصلی آن شناسایی زیرگروه‌های همگن از پاسخگویان است. در این مطالعه خانوارها برحسب تنوع فعالیت‌های اقتصادی به کمک تحلیل خوشه‌ای به سه زیرگروه همگن تقسیم شدند و میزان آسیب‌پذیری به کمک آزمون تجزیه واریانس بین این گروه‌های مورد مقایسه قرار گرفت.

منطقه مورد مطالعه شهرستان چناران استان خراسان رضوی است، این شهرستان از شمال به شهرستان درگز، از شمال شرقی و شرق به شهرستان مشهد از جنوب به شهرستان نیشابور و از غرب به شهرستان قوچان محدود می‌شود. شهرستان چناران دارای دو بخش مرکزی و گلبهار است که بخش مرکزی به مرکزیت شهرستان چناران شامل سه دهستان چناران، بقمچ و رادکان و بخش گلبهار شامل دهستان‌های بیزکی و گلمکان است. از مجموع ۱۷۴ آبادی دارای سکنه در شهرستان چناران، ۱۳۳ آبادی دارای بیش از ۲۰ خانوار بوده است [۲۱] که جامعه آماری پژوهش حاضر را تشکیل می‌دهد. ۱۵ آبادی بر اساس فرمول تعیین حجم نمونه به کمک فرمول انتخاب شدند.

$$d = 1.96\sqrt{\frac{0.5\times0.5}{15}}\times\sqrt{\frac{133-15}{133-1}} = 0.24$$

$$n = \frac{(1.96)^2\times0.25\times133}{(0.24)^2\times133-(0.24)^2+(1.96)^2\times0.25} = 15$$

حجم روستاهای مورد بررسی در هر دهستان بر اساس قاعده تسهیم به نسبت تعیین و روستاهای نمونه به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. حجم خانوارهای مورد بررسی، با استفاده از فرمول ۲۷۱ خانوار تعیین شد، لازم به ذکر است تعداد خانوار نمونه در هر روستا با استفاده از قاعده تسهیم به نسبت تعیین شد.

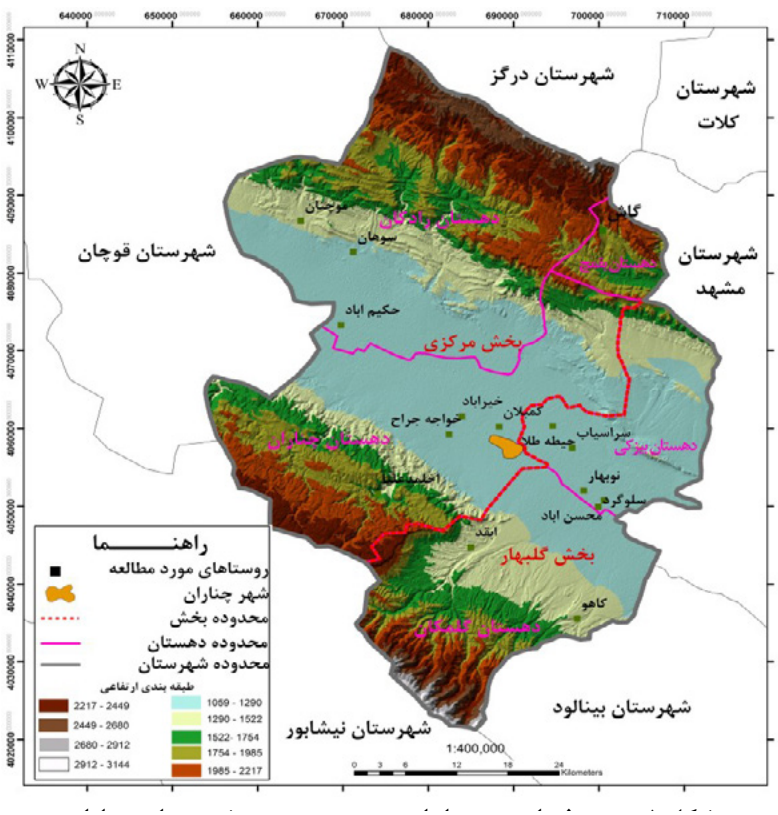
$$n = \frac{\frac{(1.96)^2\times0.5\times0.5}{(0.056)^2}}{1+\frac{1}{2902}(\frac{(1.96)^2\times0.5\times0.5}{(0.056)^2}-1)} = 271$$

جدول ۲. شاخص‌های مورد بررسی در سنجش متغیرهای مستقل تحقیق (تنوع فعالیت‌های اقتصادی زراعی و غیر زراعی)، منبع: مطالعات نگارنده در مقالات علمی و [۸۱]

بُعد	شاخص/وزن
تنوع در فعالیت‌های اقتصادی بخش کشاورزی	تنوع در منابع درآمدی کشاورزی بخش زراعی (فروش محصولات زراعی متنوع) (۰/۱۱)، تنوع در منابع درآمدی کشاورزی بخش باغی (فروش محصولات باغی متنوع) (۰/۱۱)، تنوع در منابع درآمدی کشاورزی بخش جالیز و سبزیجات (فروش محصولات جالیز و سبزیجات متنوع) (۰/۱۱)، تنوع در منابع درآمدی دامی (گاو-گوسفند-بز) (۰/۱)، تنوع در فروش محصولات فراوری‌شده کشاورزی (خشکبار، مربا، لواشک، ترشی، رشته و ...) (۰/۰۴)، تنوع در فروش منابع محصولات فرآوری شده دامی (کشک، ماست، پنیر، روغن و ...) (۰/۰۶)، تعداد ارقام کشت شده خانوار در فعالیت زراعت (۰/۰۴)، تعداد ارقام کشت شده خانوار در فعالیت باغداری (۰/۰۴)، تعداد ارقام کشت شده خانوار در فعالیت جالیز و سبزیجات (۰/۰۴)، تعداد ارقام دام سبک و سنگین (پرورش گوسفند، بز، گاو و شترداری) (۰/۰۵)، تعداد ارقام طیور (مرغ، غاز، بوقلمون، اردک و...) (۰/۰۳)، تنوع در واحدهای تولیدی کشاورزی (تعداد کندو، پرورش قارچ، گلخانه، گاوداری، شیلات، کرم ابریشم، شترمرغ و ...) (۰/۱۲)، تنوع در فروش محصولات تولیدی فعال کشاورزی (تعداد کندو، پرورش قارچ، گلخانه، گاوداری، شیلات، کرم ابریشم و ...) (۰/۱۵)
تنوع در فعالیت‌های اقتصادی بخش غیر کشاورزی	تنوع در منابع درآمدی بخش خدمات خرده‌فروشی، تهیه و فروش نهاده‌ها و محصولات کشاورزی، تهیه و فروش مصالح ساختمانی، فعالیت در ارائه خدمات غیر ساختمانی (راننده، سرایداری و خدمات وابسته)، نگهبانی تأسیسات و خانه‌های دوم، خریدوفروش اراضی و مسکن، یارانه، مستمری‌ها، اجاره اموال شخصی، راننده، کارگر کشاورز، کار در واحدهای دامداری، آبیاری اراضی مالکان خانه‌های دوم و ... (۰/۰۴)، تنوع در منابع درآمدی بخش صنعت (بنایی، سنگ‌کاری، کاشی‌کاری، برق و لوله‌کشی ساختمان، قالیبافی، جوشکاری، نجاری، جعبه سازی، منبت‌کاری، پخت نان، سنگ‌بری و ...) (۰/۰۴)، برخورداری از فعالیت‌های درآمدزای خانگی (خیاطی، گلدوزی، لحاف‌دوزی و ...) (۰/۲)

جدول ۳. حجم خانوارهای مورد بررسی در هریک از روستاهای مورد بررسی،منبع: برگرفته از شناسنامه آبادی‌ها [۱۲]

بخش	دهستان	نام روستا	موقعیت طبیعی	سابقه خشک‌سالی	تعداد جمعیت	تعداد خانوار	تعداد نمونه
مرکزی	چناران	خیرآباد	دشتی	۱۳۸۵ به بعد	۵۷۴	۱۵۴	۱۳
		کمیلان	دشتی	۱۳۸۵ به بعد	۳۶۱	۹۳	۱۰
		خواجه جراح	دشتی	۱۳۸۹ به بعد	۲۶۶	۷۸	۱۹
		اخلمدعلیا	کوهستانی	۱۳۸۵ به بعد	۳۸۷	۱۳۶	۱۱
		حیطه طلا	دشتی	۱۳۹۰ به بعد	۲۳۴	۷۹	۱۷
	بقمچ	گاش	کوهپایه‌ای	۱۳۸۶ به بعد	۲۳۹	۹۲	۱۰
	رادکان	سوهان	کوهپایه‌ای	۱۳۸۰ به بعد	۱۸۸	۶۰	۱۷
		حکیم‌آباد	دشتی	۱۳۸۶ به بعد	۸۱۵	۲۳۹	۲۰
		موچنان	کوهپایه‌ای	۱۳۷۰ به بعد	۲۰۴۰	۵۷۶	۳۸
گلبهار	بیزکی	محسن‌آباد	دشتی	۱۳۸۸ به بعد	۴۵۰	۱۱۰	۱۰
		سلوگرد	دشتی	۱۳۸۸ به بعد	۱۳۰۴	۳۶۸	۳۱
		نوبهار	دشتی	۱۳۹۱ به بعد	۱۳۴۳	۳۷۲	۳۱
		سرآسیاب	دشتی	۱۳۷۰ به بعد	۷۴۸	۲۰۳	۱۵
	گلمکان	آبقد	کوهپایه‌ای	ندارد	۴۴۵	۱۵۵	۱۳
		کاهو	کوهپایه‌ای	۱۳۸۵ به بعد	۵۶۹	۱۸۷	۱۶
۲	۵	۱۵	–	–	۹۹۶۳	۲۹۰۲	۲۷۱



شکل ۱. توزیع فضایی روستاهای مورد بررسی در شهرستان چناران

مبانی نظری

توسعه پایدار روستایی رهیافتی برای توسعه است و هدف از پایداری نیز، پایداری معیشت با حفظ امرارمعاش آینده از طریق حفظ منابع طبیعی است [۲۲]. در چارچوب تئوری، توسعه پایدار به توسعه همه‌جانبه اجتماعات روستایی در قالب بدیل‌های زیر توجه می‌شود: ۱- مدیریت پایدار و متوازن در بهره‌برداری از منابع طبیعی؛ ۲- ارتقای کیفیت زندگی و کاهش فقر؛ ۳- گسترش مشارکت مؤثر، افزایش فرصت‌های برابر و دامنه انتخاب به‌ویژه برای زنان و جوانان؛ ۴- توسعه و ارتقای سرمایه‌های انسانی در محیط‌های روستایی؛ ۵- ارتقای بهره‌وری در کشاورزی؛ ۶- استحکام رشد اقتصادی و تنوع سازی اقتصاد روستایی [۲۳]. ملاحظه می‌گردد تنوع‌بخشی فعالیت‌های اقتصادی یکی از راهبردهای اساسی تحقق توسعه پایدار روستایی محسوب می‌شود. اگرچه موضوع متنوع سازی فعالیت‌های اقتصادی در کشورهای درحال‌توسعه از دیرباز مطرح است (در انتقاد از تئوری رشد) اما می‌توان گفت که در عرصه نظریات توسعه روستایی در دهه‌های اخیر، امری نو شمرده می‌شود [۲۴].

الف- رویکرد تنوع فعالیت‌های اقتصادی: تنوع شالوده و اساس ثبات و پایداری است [۲۵] و پایداری هنگامی پدید می‌آید و باقی می‌ماند که سیستم دارای تنوع در اجزاء بوده و درنهایت تنوع کارکردی خود را در جهت ثبات، حفظ نماید [۵] افزایش تنوع، پیچیدگی ذاتی سیستم‌ها را افزایش داده و از این طریق فرآیندهای آن را تقویت می‌کند [۲۶]. شواهد در کشورهای درحال‌توسعه مؤید این مسئله است که تنوع اقتصادی در مناطق روستایی به‌طور بالقوه می‌تواند موجب افزایش رشد اقتصاد محلی و کاهش شکاف درآمد شهری-روستایی و همچنین کاهش فقر روستایی شود [۲۳]. ازآنجاکه تنوع فعالیت‌های اقتصادی به دو بخش زراعی و غیر زراعی قابل‌تفکیک است در ادامه به توضیح هر یک پرداخته می‌شود.

-تنوع‌بخشی اقتصاد زراعی[۹]: به‌طورکلی تنوع درآمد در مرحله اول بیشتر برای امرارمعاش خانواده‌ها در سطح مزرعه ایجاد می‌شود و در مراحل بعد با افزایش بهره‌وری و مازاد توسعه در بخش کشاورزی و غیر کشاورزی گسترش می‌یابد [۲۷]. منظور از تنوع زراعی، تنوع در الگوی کشت محصولات، فعالیت‌های دامداری، نظام‌های پرورش آبزیان، پرورش زنبورعسل، کشت‌های گلخانه‌ای و امثالهم است. چمبرز با معرفی «کشاورزی سوم» در برابر دو گونه دیگر کشاورزی (صنعتی و انقلاب سبز) به تشریح فعالیت‌های معیشتی کشاورزان خرده‌پا می‌پردازد. ازنظر وی کشاورزی اول یا صنعتی که در شمال و در کشتزارهای جنوب یافت می‌شود، یک کشاورزی استاندارد و ساده است. کشاورزی دوم یا انقلاب سبز که در کشورهای جنوب یافت می‌شود نیز تااندازه‌ای یک‌شکل و ساده، همراه با مجموعه‌ای از روش‌های بسیار ثمربخش است که در شرایط تحت کنترل اعمال می‌شود. کشاورزی سوم با این دو متفاوت است و پیچیده، متنوع و ریسک‌پذیر (CDR[۱۰]) است.

راهبرد کشاورزان صنعتی و انقلاب سبز به دنبال استانداردسازی، کنترل و جایگزین کردن سرمایه با کار و به حداقل رساندن مدیریت است. در مقابل کشاورزان CDR اغلب در پی کاهش ریسک و افزایش غذا و درآمد از طریق پیچیده کردن، تنوع بخشیدن و تشدید نمودن استفاده از کار در نظام‌های زراعی، افزودن بر کارها و به حداکثر رساندن مدیریت هستند. کشاورزان CDR از رویه ثابت پیروی نمی‌کنند، آنان کارهای خویش را فی‌البداهه انجام داده و با شرایط موجود وفق می‌دهند. آنچه انجام می‌دهند (چگونه، چه وقت و کجا) وابسته به چرخه حیات خانوار است. بستگی به این دارد که چه کسی سالم و چه کسی بیمار، چه کسی چه‌کاری را می‌تواند انجام دهد و چه‌کاری قبلاً انجام شده است [۲۳].

در بخش کشاورزی برخلاف سایر بخش‌های اقتصادی، متغیرهای غیر کنترلی مهمی وجود دارند که گاهی چنان تأثیرگذار می‌شوند که متغیرهای کنترلی و سیاست‌گذاری را نیز تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهند. بارندگی، آب‌وهوا و خشک‌سالی مهم‌ترین مقوله و متغیر غیر کنترلی در بخش کشاورزی است که نیروی غالب و به‌شدت تأثیرگذار بر روند، حجم و جدول زمانی و مکانی تولید بخش کشاورزی است و گاهی چنان مؤثر است که اثر سایر متغیرها و ابزارهای سیاست‌گذاری را معکوس می‌کند [۲۸]، بنابراین تنوع فعالیت‌های غیر زراعی در کنار فعالیت‌های زراعی در نواحی روستایی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

-تنوع‌بخشی اقتصاد غیرزراعی: در قسمت‌های زیادی از جهان، شمار مردم فقیر ساکن در مناطق روستایی متجاوز از توانایی بخش کشاورزی در ایجاد فرصت‌های معیشتی پایدار است. حتی با کاهش نرخ باروری و به‌تبع آن نرخ رشد جمعیت، در این وضعیت تغییر محسوسی ایجاد نشده است. مهاجرت به بیرون نیز برای همه اقشار مردم ممکن نیست. با توجه به این دلایل، اقتصاد غیر زراعی روستایی به شکل سالم و پویای آن به‌عنوان عاملی مهم در بهبود معیشت مردم روستایی نمایان می‌شود. مجموعه این شرایط موجب آشکار شدن نقش اقتصاد غیر زراعی به‌عنوان عاملی بالقوه برای کاهش فقر در مناطق روستایی می‌شود [۲۳]. فائو بخش غیر زراعی در مناطق روستایی را عبارت از همه فعالیت‌های خارج از کشاورزی در بخش دوم و سوم اقتصادی می‌داند که در مناطق روستایی صورت می‌گیرد. این بخش‌ها شامل مجموعه ناهمگنی از گروه‌های مختلف و دربرگیرنده واحدهای صنعتی پیچیده جدید تا فعالیت‌های سنتی توسط یک صنعتگر روستایی است. مطالعات بانک جهانی مزیت‌های تنوع غیر زراعی را شامل موارد ذیل می‌داند:

۱- فعالیت‌های غیر زراعی توانایی جذب حجم زیادی از نیروی انسانی مازاد روستایی را داراست.

۲- توسعه و توجه به سایر فعالیت‌های اقتصادی غیر زراعی در نواحی روستایی نه‌تنها توانایی افزایش سریع درآمد روستاییان را دارد؛ بلکه گسترش چنین فعالیت‌هایی در تغییر عقاید سنتی افراد نیز مؤثر خواهد بود.

۳- توسعه فعالیت‌های اقتصادی غیر زراعی به تخصصی شدن، تغییر و ساختار تولید و افزایش بهره‌وری اجتماعی کمک می‌کند.

۴- توسعه فعالیت‌های غیر زراعی می‌تواند به ایجاد اشتغال محلی کمک نماید و مانع از خروج سرمایه‌های مادی و انسانی از نواحی روستایی شود. از سوی دیگر این مسئله می‌تواند ضمن تأثیر بر کاهش مهاجرت‌های روستایی-شهری، بسیاری از مسائل اجتماعی ناشی از چنین حرکتی را در شهرها کاهش دهد.

۵- بخش غیر زراعی می‌تواند به گسترش بازار محصولات کشاورزی کمک کند.

۶- گسترش بخش غیر زراعی در نواحی روستایی، راهبردی بسیار مهم برای تغییر ساختار اقتصادی دوگانه و ترویج نوگرایی روستایی خواهد بود [۲۹].

ب- مفهوم آسیب‌پذیری: تعریف مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی (IPCC) از آسیب‌پذیری به این شرح است: آسیب‌پذیری به مجموعه‌ای از ویژگی‌ها اشاره دارد که در آن یک سیستم قادر به غلبه بر عوارض ناشی از تغییرات آب و هوایی و اثرات ناشی از آن نباشد [۳۰ و ۳۱]. این مجمع بین‌المللی مدلی را برای ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه داده است، این مدل آسیب‌پذیری را میزان خسارتی تعریف می‌کند که در اثر تغییرات اقلیمی به یک زیست‌بوم اجتماعی یا طبیعی وارد می‌شود. بر اساس این مدل آسیب‌پذیری نسبت به این تغییرات نتیجه عملکرد سه مؤلفه: ۱- حساسیت یک سیستم به تغییرات اقلیم، ۲- توانایی سازگاری سیستم تحت تأثیر عوامل درونی و ۳- ویژگی‌ها و خصوصیاتی است که سیستم واجد آن‌ها است. منظور از حساسیت، قابلیت و استعداد یک سیستم برای صدمه دیدن از مخاطرات است؛ بنابراین حساسیت یک سیستم با آسیب‌پذیری رابطه مستقیم دارد. این در حالی است که توانایی سازگاری با آسیب‌پذیری رابطه‌ای معکوس دارد، بدین معنی که هرچقدر توانایی سیستم برای رویارویی با مخاطرات بالا باشد، آسیب‌پذیری آن کمتر است [۳۲]. در حال حاضر وابستگی اقتصاد نواحی روستایی به بخش کشاورزی و عدم پویایی و تنوع در آن منجر به افزایش آسیب‌پذیری در برابر شوک‌های بیرونی (خشک‌سالی‌های پی‌درپی، سرمازدگی، نوسان قیمت جهانی محصولات کشاورزی و ...) گردیده است؛ اگرچه مالکیت زمین عنصر مهمی جهت ادامه کار کشاورزی شناخته شده است اما نمی‌تواند مانع آسیب‌پذیری درزمینه کشاورزی شود. بدیهی است دارایی‌هایی نظیر زمین کشاورزی ضرورتاً امنیت معاش را در نواحی که سایر منابع کمیاب است و به‌صورت نامنظم توزیع می‌شود، تأمین نمی‌کند. همان‌گونه که گزارش توسعه بانک جهانی در سال ۲۰۰۱-۲۰۰۰، فقدان درآمد و دارایی لازم جهت تأمین نیازهای اساسی، احساس بی‌صدایی، بی‌قدرتی و آسیب‌پذیری نسبت به شوک‌ها که همراه با ناتوانی آن‌ها برای مقابله را به‌عنوان دلایل عمده آسیب‌پذیری منتشر کرده است. به‌طورمعمول خشک‌سالی زیان‌های بسیاری را بر بخش کشاورزی و منابع آبی وارد می‌سازد و به دلیل اینکه محدوده وسیع‌تری را در برمی‌گیرد، پیچیده‌تر از دیگر مخاطرات طبیعی است. از طرفی این مخاطره جمعیت بیشتری را شامل می‌شود و به عبارتی پرهزینه‌ترین بلای طبیعی به لحاظ کاهش تولیدات کشاورزی به شمار می‌رود. نکته درخور توجه اینکه در آینده با توجه به افزایش تقاضا برای آب، محدودیت ذخایر و منابع و تغییرات آب و هوایی، انتظار می‌رود تعداد و شدت خشک‌سالی‌ها افزایش یابد. ازآنجاکه اقتصاد روستایی اتکای قابل‌توجهی به فعالیت‌های کشاورزی دارد، شعاع تأثیر پدیده خشک‌سالی در مناطق روستایی بسیار بالاست.

خشک‌سالی می‌تواند آثار اقتصادی-اجتماعی را در بخش کشاورزی و روستا، به‌عنوان کانون تولید به همراه داشته باشد [۲۸]. درواقع خشک‌سالی در نواحی روستایی با تأثیر بر بخش کشاورزی نه‌تنها اقتصاد خانوارهای روستایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد بلکه آثار اجتماعی همانند مهاجرت و حاشیه‌نشینی را در پی داشته و خانوارهای روستایی را با آسیب‌پذیری جدی مواجه می‌کند.

بدیهی است آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات طبیعی در حوزه‌های انسانی و محیطی به‌ویژه مناطق روستایی به‌طورمعمول به علت فقدان مدیریت مناسب است. علاوه بر آن فقر و آگاهی اندک روستاییان نیز منجر به تأثیرات و صدمات شدید مالی، محیطی و انسانی می‌شود. مشکلات و صدمات ایجادشده بستگی به ظرفیت و منابع جامعه دارد. سازمان ملل (۲۰۰۴)، چهار بعد فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و محیطی را بر آسیب‌پذیری مؤثر می‌داند [۳۰ و ۳۳]. با توجه به طیف گسترده آثار خشک‌سالی می‌توان ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مرتبط با آسیب‌پذیری را در مواجهه با خشک‌سالی صورت‌بندی نمود:

الف- آسیب‌پذیری اقتصادی: خشک‌سالی در مناطق روستایی با کمبود آب پدیدار می‌شود و فشار زیادی بر اقتصاد خانوارهای روستایی وارد می‌کند. این فشار ناشی از افزایش هزینه خوراک دام، کاهش تعداد دام سبک و سنگین، کاهش درآمد ناشی از فعالیت‌های دامداری، کاهش عملکرد محصولات دیم، کاهش سطح زیر کشت اراضی آبی، کاهش درآمد زراعی و باغی، کاهش سطح زیر کشت باغات، کاهش قیمت اراضی زراعی و باغی و ... است که زندگی خانوارهای دارای معیشت وابسته به کشاورزی را با بحران مواجه می‌سازد.

ب- آسیب‌پذیری اجتماعی: آثار اجتماعی خشک‌سالی بر خانوارهای روستایی در زمینه‌های مختلفی بروز و ظهور می‌یابد. دراین‌ارتباط می‌توان به افت کیفیت زندگی، افزایش بیکاری فصلی، کاهش مصرف مواد غذایی، افزایش انگیزه مهاجرت، افزایش فقر عمومی و در برخی موارد نزاع و درگیری به‌خصوص برای دسترسی به آب در مناطق روستایی به وجود می‌آید.

ج- آسیب‌پذیری اکولوژیکی: در اغلب موارد آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی بر شدت آسیب‌پذیری اکولوژیکی می‌افزاید. چراکه در شرایط سخت زندگی همچون کاهش درآمد، افزایش بیکاری و افزایش فقر، خانوارهای روستایی بیشترین استفاده از محیط را برای گذران زندگی به کار می‌برند که ضربه جبران‌ناپذیری را به محیط وارد می‌سازد. ازجمله این موارد می‌توان به تخریب و افزایش فرسایش اراضی کشاورزی، شوری اراضی، تخریب مراتع طبیعی، افزایش عمق چاه‌ها و تخلیه سفره‌های آب زیرزمینی اشاره کرد.

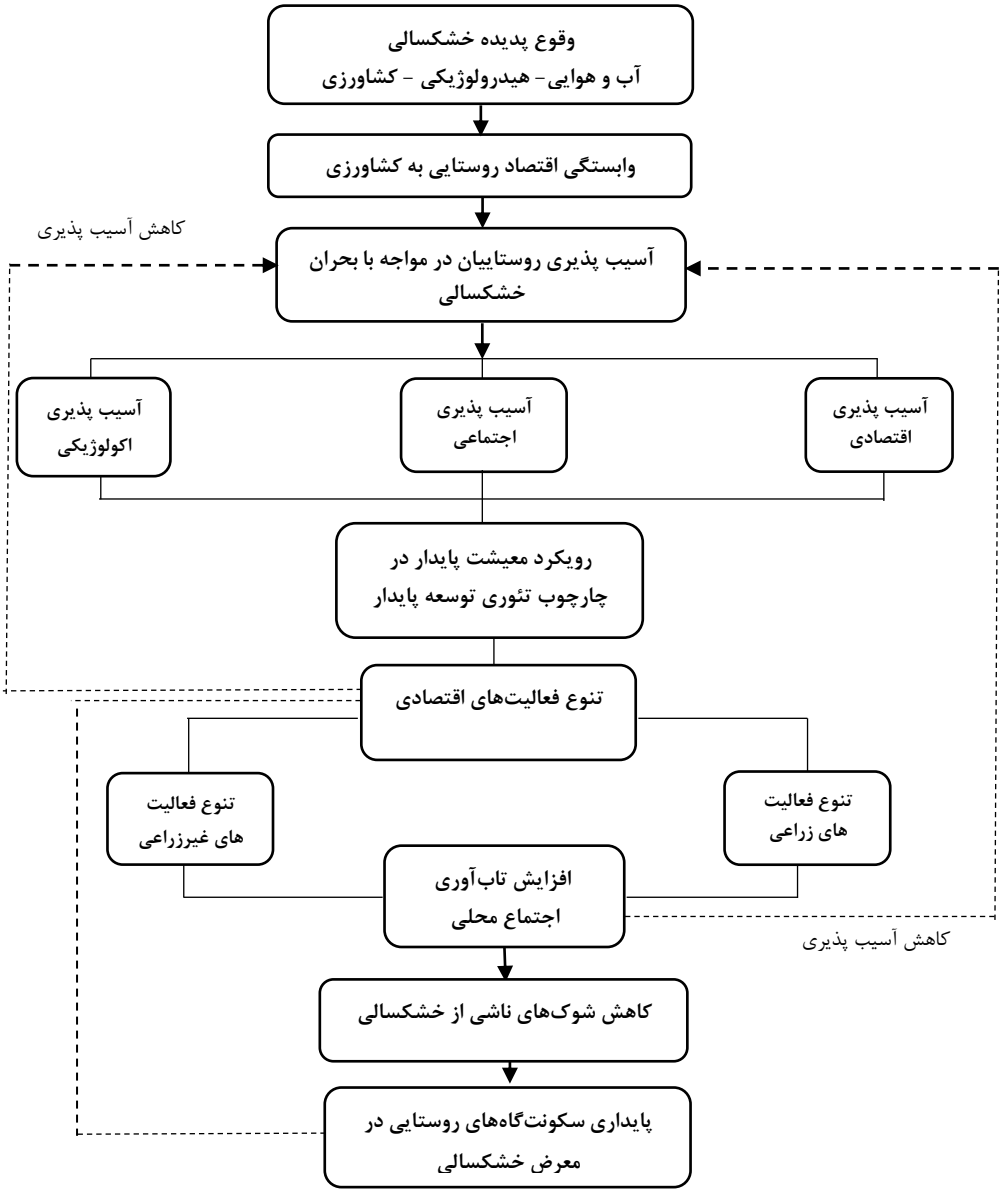
لازم به ذکر است که آسیب‌پذیری یکی از مفاهیم اساسی مربوط به معیشت پایدار است که اشاره بر پیچیدگی-ها و شرایط سخت تأثیرگذار بر زندگی مردم فقیر دارد. چارچوب مفهوم آسیب‌پذیری در معیشت، شامل فصلی بودن (نوسان قیمت‌ها، تولیدها و فرصت‌های شغلی)، شوک و تکان‌های واردشده ناگهانی (درگیری‌ها، جنگ، بیماری‌ها، سیل، طوفان، خشک‌سالی، آفت‌ها، زمین‌لرزه، آتش‌سوزی، سرقت) و روند بحران‌زای پیش‌بینی شدنی (کمبودهای فصلی، افزایش جمعیت، کاهش حاصلخیزی خاک، آلودگی هوا) است. در چنین شرایطی مردم باید خود را با راهبردهای موجود وفق دهند و یا راهبردهای جدید را به‌منظور زنده ماندن توسعه دهند [۳۴].

به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری خانوارهای روستایی (به‌ویژه کشاورزان) رهیافت «تنوع‌بخشی به فعالیت‌های اقتصادی» مورد تأکید است. اهمیت رهیافت متنوع سازی فعالیت‌های اقتصادی بدان جهت است که حتی اگر کشاورزی دچار رکود (به دلیل خشک‌سالی و نوسان‌های بازار و ...) شود، اقتصاد روستایی غیر زراعی ممکن است بعضی از خسارات را مرتفع سازد [۳۵].

یافته‌های تحقیق

یافته‌های توصیفی

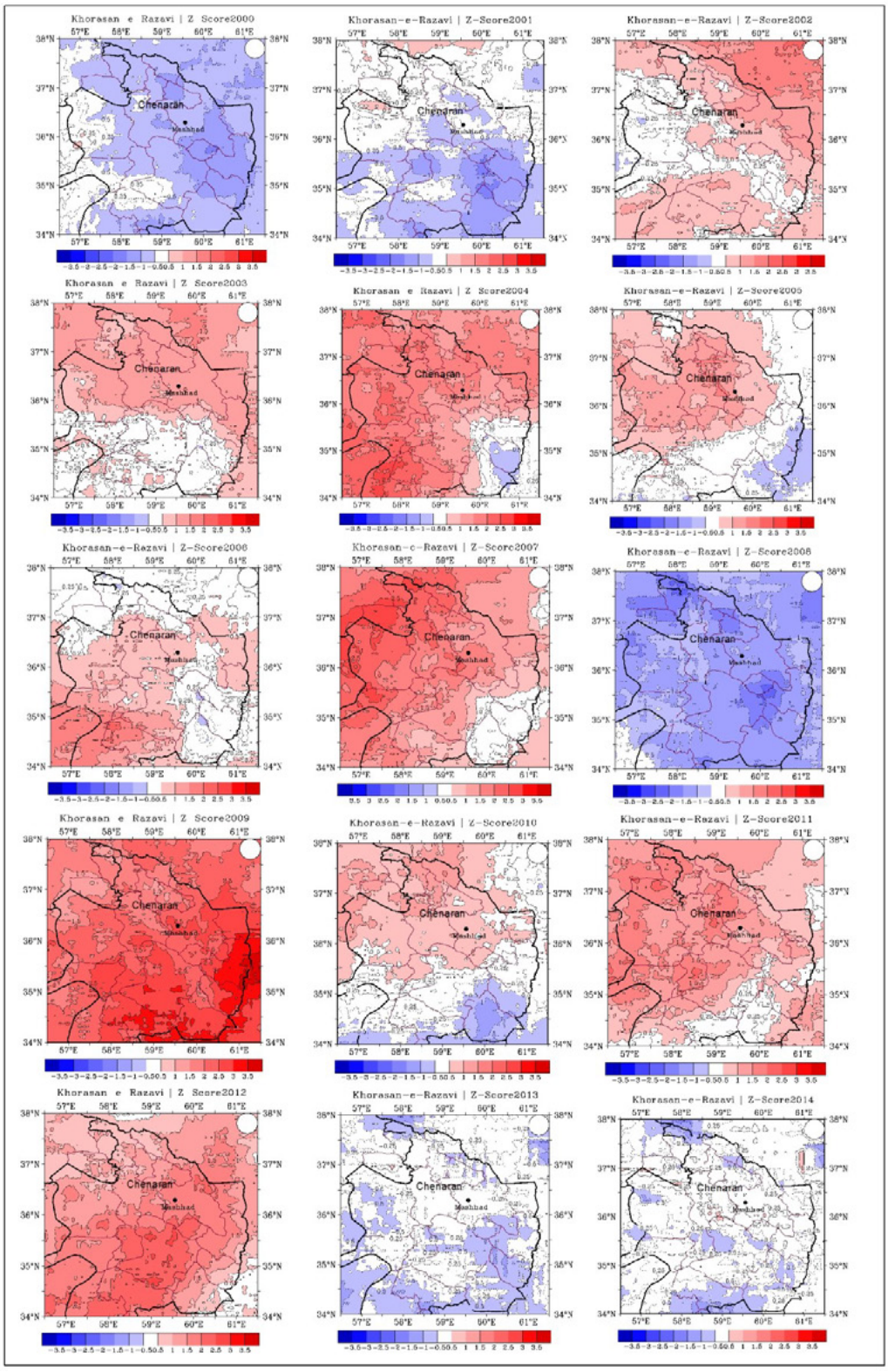
بر اساس آمار مرکز ملی خشک‌سالی و مدیریت بحران کشور طی دوره ده‌ساله تا پایان مهرماه ۱۳۹۸، ۹۱/۴ درصد مساحت استان خراسان رضوی تحت تأثیر خشک‌سالی قرار داشته است. طی این دوره ۲۷ درصد مساحت استان دچار خشک‌سالی بسیار شدید، ۳۷/۶ درصد خشک‌سالی شدید، ۲۱/۵ درصد تحت تأثیر خشک‌سالی متوسط و ۵/۳ درصد تحت تأثیر خشک‌سالی خفیف بوده است. همچنین طی این دوره ۹۵/۵ درصد مساحت شهرستان چناران تحت تأثیر خشک‌سالی قرار داشته است. به‌طوری‌که ۳/۳ درصد مساحت شهرستان دچار خشک‌سالی بسیار شدید، ۱۹/۵ درصد خشک‌سالی شدید، ۶۴/۹ درصد تحت تأثیر



شکل ۲. مدل مفهومی تحقیق

خشک‌سالی متوسط و ۷/۷ درصد تحت تأثیر خشک‌سالی خفیف بوده است [۳۶]. در شکل ۲ نقشه‌های استان خراسان رضوی طی دوره ۱۵ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵) برای مشخص شدن وضعیت استان و شهرستان ازنظر وقوع خشک‌سالی ارائه شده است. نقشه‌ها با استفاده از داده‌های بارش شبکه‌بندی شده با تفکیک افقی پنج کیلومتر موسوم به چیرپس تهیه شده‌اند.

در این مطالعه ۲۷۱ «خانوار کشاورز روستایی» در شهرستان چناران به‌عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفت. کلیه کشاورزان مرد



شکل ۳. نقشه‌های استان خراسان رضوی طی دوره ۱۵ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۰) ازنظر وقوع خشک‌سالی، تهیه و ترسیم: عباس مفیدی، ۱۳۹۶

و ازنظر وضعیت تأهل ۲۳ نفر مجرد (معادل ۸/۵ درصد) و ۲۴۸ نفر متأهل (معادل ۹۱/۵ درصد) بوده‌اند. میانگین سن پاسخگویان ۵۱ سال، حداقل ۲۴ سال و حداکثر ۸۰ سال است. ازنظر سطح سواد ۳۱/۷ درصد پاسخگویان دارای سواد ابتدایی و ۲۴/۷ درصد بی‌سواد بوده‌اند. به دلیل موضوع مورد بررسی بخش عمده پاسخگویان (۲۴۸ نفر) یا کشاورز هستند یا باغدار، سایر افراد اگرچه شغل اولشان کشاورزی نبوده است اما شغل دوم آن‌ها کشاورزی و باغداری بوده است.

افزایش مواجهه با تغییر (پذیری) اقلیم، افزایش آسیب‌پذیری را در پی دارد و جامعه‌ای با ظرفیت سازگاری کم و حساسیت اقلیمی بالا، مستعد آسیب است [۳۷]. مطابق جدول ۴ در منطقه مورد مطالعه بالاترین میانگین آسیب‌پذیری در طیف لیکرت در بعد اقتصادی مربوط به روستای حکیم‌آباد با ۴/۹۵۹ و کمترین در روستای آبقد۱۱ با ۳/۲۰۲ است. بالاترین میانگین آسیب‌پذیری اجتماعی با ۴/۳۱۶ در روستای گاش و پایین‌ترین میانگین با ۱/۹۲۴ در روستای اخلمدعلیا است. بالاترین آسیب‌پذیری محیطی با میانگین ۵ در روستای حکیم‌آباد است. این روستا و سایر روستاهای مواجه با درجه بالای آسیب‌پذیری در مقابل خشک‌سالی، گاهی با کم‌آبی شدید روبرو بوده و حتی با کمبود آب برای مصارف خانگی مواجه هستند و بیشتر باغات خشک شده است. همچنین در کلیه روستاهای مورد بررسی (به‌جز آبقد) «زمین وسیع و کم‌آبی شدید» گزارش شده است. در اغلب این روستاها به دلیل کم‌آبی، بخش زیادی از اراضی دیم رهاشده و راندمان سطح زیر کشت کاهش یافته است.

یافته‌های استنباطی

مقیاس سنجش متغیر مستقل مطابق با جدول شماره ۲ نسبی است. با در نظر گرفتن وزن هر یک از شاخص‌های این متغیر، نمره هرکدام در وزن آن ضرب و به تفکیک کشاورزی و غیر کشاورزی در جدول شماره ۴ ارائه گردید. با توجه پرسش اصلی تحقیق مبنی بر بررسی نقش تنوع منابع درآمدی زراعی و غیر زراعی بر آسیب‌پذیری خانوارهای روستایی، بدین منظور می‌توان از رگرسیون استفاده نمود؛ اما به دلیل عدم وجود مفروضات رگرسیون از آزمون تجزیه واریانس استفاده گردید. در این آزمون متغیر مستقل باید در مقیاس رتبه‌ای باشد تا بتوان اثر متغیر مستقل را بر وابسته به کمک مقایسه میانگین متغیر وابسته در چند گروه بررسی نمود. پس در ابتدا تعریف متغیر مستقل به چند گروه یا طبقه همگن: متنوع، نیمه متنوع و غیر متنوع ضروری است. بدین منظور از کارآمدترین روش‌های انجام تحلیل خوشه‌ای یعنی روش Ward استفاده شد. «در این روش عضویت خوشه با محاسبه حاصل جمع کلی مشتقات مربع از میانگین خوشه برآورد می‌شود و ملاک ترکیب این است که باید کوچک‌ترین افزایش ممکن را در مجموع مربع‌های خطاها به وجود آورد» [۳۸].

ملاحظه می‌شود که تحلیل خوشه‌ای (جدول ۵) خانوارهای روستایی را برحسب تنوع منابع درآمد کشاورزی و غیر کشاورزی به سه‌طبقه همگن تقسیم کرد. بر اساس نتایج، بیشتر خانوارها در منطقه مورد مطالعه دارای اقتصاد غیر متنوع شامل ۸۱/۵ درصد شاغل در فعالیت‌های غیر کشاورزی و ۵۴/۹۸ درصد شاغل در فعالیت‌های کشاورزی منابع درآمدی غیر متنوع دارند و تنها ۲/۹۵ درصد خانوارها دارای تنوع منابع درآمدی در بخش غیر کشاورزی،

جدول ۴. میانگین متغیرهای مستقل و وابسته در روستاهای مورد بررسی، منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

	آسیب‌پذیری (متغیر وابسته)				تنوع (متغیر مستقل)	
	اقتصادی	اجتماعی	محیطی	آسیب‌پذیری کل	تنوع زراعی	تنوع غیر زراعی
خیرآباد	۴/۵۹۳	۳/۷۰۹	۲/۴۱۰	۳/۹۲	۰/۰۱۸	۰/۱۱۵
کمیلان	۴/۴۱۱	۳/۲۵۰	۴/۰۷۷	۴/۰۹	۰/۲۰۸	۰/۰۵
خواجه جراح	۴/۴۱۱	۲/۵۰۸	۳/۷۵۴	۳/۷۷	۰/۰۱۸	۰/۱۰۵
اخلمدعلیا	۴/۳۳۶	۱/۹۲۴	۳/۸۲۸	۳/۷۴	۰/۰۷۶	۰/۱۸۲
حیطه طلا	۴/۷۸۳	۲/۵۸۸	۴/۰۰۶	۴/۱۳	۰/۱۵۱	۰/۰۵۹
گاش	۳/۷۷۰	۴/۳۱۶	۴/۳۴۴	۴/۳۷	۰/۰۸۹	۰
سوهان	۴/۸۶۴	۴/۰۵۸	۴/۷۷۷	۴/۶۷	۰/۳۹۹	۰/۱۱۸
حکیم‌آباد	۴/۹۵۲	۳/۸۵۰	۵	۴/۷۵	۰/۳۴۱	۰/۰۷۵
موچنان	۴/۸۵۹	۳/۳۹۹	۴/۱۹۸	۴/۳۸	۰/۱۷۵	۰/۱۰۵
محسن‌آباد	۴/۶۶۴	۲/۵۳۳	۴/۱۴۴	۴/۱۱	۰/۱۱۲	۰/۲۵
سلوگرد	۴/۸۵۸	۳/۶۰۵	۴/۱۴۴	۴/۳۰	۰/۱۰۵	۰/۰۹۷
نوبهار	۴/۵۷۲	۲/۹۵۰	۲/۶۲۳	۳/۹۸	۰/۰۶۸	۰/۱۷۷
سرآسیاب	۴/۴۲۳	۳/۳۴۴	۴/۳۷۷	۴/۴۲	۰/۰۶۱	۰/۰۳۳
آبقد	۳/۲۰۲	۲/۱۶۶	۲/۳۶۷	۲/۷۰	۰/۰۷۴	۰/۲۶۹
کاهو	۴/۲۸۹	۲/۳۲۲	۳/۲۸۴	۳/۵۷	۰/۱۲۹	۰

جدول ۵. گروه‌بندی خانوارهای مورد بررسی ازنظر تنوع فعالیت‌های کشاورزی و غیرکشاورزی، بر اساس تحلیل خوشه‌ای با استفاده از روش Ward،منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

گروه‌بندی بر اساس روش Ward	تنوع غیرکشاورزی / غیرزراعی		تنوع کشاورزی / زراعی	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد
متنوع	۸	۲/۹۵	۶۰	۲۲/۱۴
نیمه متنوع	۴۲	۱۵/۴۹	۶۲	۲۲/۸۷
غیرمتنوع	۲۲۱	۸۱/۵۴	۱۴۹	۵۴/۹۸
جمع	۲۷۱	۱۰۰	۲۷۱	۱۰۰

جدول ۶. آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه برای مقایسه میانگین آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی بر اساس تنوع فعالیت‌های اقتصادی زراعی، منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

ابعاد آسیب‌پذیری	تنوع فعالیت‌های اقتصادی	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
آسیب‌پذیری اجتماعی	درون‌گروهی	۱۸۱/۱۵	۲۴۹	۰/۷۲۸	۱/۰۹	۰/۳۵۹
	بین گروهی	۱۶/۶۵	۲۱	۰/۷۹۳		
آسیب‌پذیری محیطی	درون‌گروهی	۱۲۱/۵۲	۲۴۹	۰/۴۸۸	۱/۳۸۰	۰/۱۲۸
	بین گروهی	۱۴/۱۴	۲۱	۰/۶۷۳		
آسیب‌پذیری اقتصادی	درون‌گروهی	۶۵/۱۲	۲۴۹	۰/۲۶۲	۰/۸۱۸	۰/۶۹۷
	بین گروهی	۴/۴۹	۲۱	۰/۲۱۴		
آسیب‌پذیری کل	درون‌گروهی	۷۲/۳۶	۲۴۹	۰/۲۹۱	۱/۱۳۲	۰/۳۱۵
	بین گروهی	۶/۹۱	۲۱	۰/۳۲۹		

۲۲/۱۴ درصد در فعالیت‌های بخش کشاورزی هستند. لازم به ذکر است سازه آسیب‌پذیری با توجه به ضرایب چولگی و کشیدگی دارای توزیع نرمال است ($|SK| \leq \pm 1$ & $|Ku|$) با توجه به بررسی و تأیید پیش‌فرض‌های این آزمون، در ادامه به‌منظور مقایسه میانگین از آزمون تحلیل واریانس استفاده شد.

الف- بررسی اثرگذاری تنوع فعالیت‌های زراعی بر آسیب‌پذیری خانوارهای روستایی

براساس آزمون با توجه به سطح معناداری ($Sig \leq 0.05$) و آماره F، فرض صفر این آزمون مبنی بر برابری میانگین آسیب‌پذیری بین خانوارهای متنوع، نیمه متنوع و غیرمتنوع به لحاظ زراعی پذیرفته و فرض یک تحقیق مبنی بر تفاوت میانگین آسیب‌پذیری بین خانوارهای مختلف تنوع درآمدی در بخش زراعی رد می‌شود. درواقع تنوع فعالیت‌های اقتصادی زراعی بر آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی در شهرستان چناران اثر معناداری نداشته است. بررسی‌ها حاکی از عدم تنوع منابع درآمدی خانوارهای مورد بررسی در بخش کشاورزی است. به‌طوری‌که میانگین تنوع محصولات زراعی ۱/۹ است و ۷۲ درصد خانوارهای مورد بررسی فقط گندم و جو می‌کارند که محصول جو بیشتر به مصرف دام می‌رسد و تنها گندم به بازار عرضه می‌شود. میانگین تنوع محصول باغی ۱/۶ است که بیشتر شامل دو محصول آلبالو و گیلاس است و هر دو به بازار عرضه می‌شوند. میانگین محصولات جالیز ۱/۲ است که بیشتر خانوارها یک محصول جالیز (گوجه‌فرنگی) کشت و اغلب آن را به بازار عرضه می‌کنند. همچنین ۶۶ درصد خانوارهای مورد بررسی فاقد دام سبک و ۳۴ درصد فقط یک نوع دام (گوسفند) دارند. همچنین تنها ۲۶ خانوار دارای پرواربندی گوسفند بوده‌اند و مابقی (۲۴۵ خانوار) فاقد هرگونه واحد تولیدی بخش کشاورزی هستند. در فرآوری محصولات زراعی و باغی تنها ۱۲ خانوار اقدام به فرآوری آلبالو و گیلاس در قالب تهیه آلبالو خشک و لواشک آلبالو می‌کنند. در فرآوری محصولات دامی به دلیل اینکه ۶۶ درصد خانوارهای مورد بررسی فاقد دام هستند، تنها ۲۷ خانوار در این زمینه فعالیت دارند. لذا تنوع در بخش زراعی در منطقه مورد مطالعه پائین بوده و تنوع موجود تأثیری بر آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی در مواجهه با خشک‌سالی نداشته است.

ب- بررسی اثرگذاری تنوع فعالیت‌های غیرزراعی بر آسیب‌پذیری خانوارهای روستایی

با توجه به سطح معناداری و آماره F در آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه ($Sig \leq 0.05$) میانگین آسیب‌پذیری بین خانوارهای متنوع، نیمه متنوع و غیر متنوع به‌طور معنی‌داری متفاوت است. این بدان معنا است که تنوع فعالیت‌های اقتصادی غیر زراعی بر آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی در شهرستان چناران مؤثر است؛ یعنی با افزایش تنوع فعالیت‌های غیر زراعی، میزان آسیب‌پذیری خانوارهای روستایی کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که

جدول ۸. آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه برای مقایسه میانگین آسیب‌پذیری، خانوارهای کشاورز روستایی بر اساس تنوع فعالیت‌های اقتصادی غیر زراعی،منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

شاخص‌های بعد آسیب‌پذیری	تنوع فعالیت‌های اقتصادی	جمع مربع‌ها	درجه آزادی	میانگین مربع‌ها	F	Sig.
آسیب‌پذیری اجتماعی	درون‌گروهی	۱۹۲/۳	۲۶۸	۰/۷۱۸	۳/۷۹۷	۰/۰۲۴
	بین گروهی	۵/۴۵	۲	۲/۷۲۵		
آسیب‌پذیری محیطی	درون‌گروهی	۱۳۰/۲	۲۶۸	۰/۴۳۶	۵/۵۱۵	۰/۰۰۴
	بین گروهی	۵/۳۶	۲	۲/۶۸۲		
آسیب‌پذیری اقتصادی	درون‌گروهی	۶۵/۷۶	۲۶۸	۰/۲۴۵	۷/۸۴۹	۰/۰۰۰
	بین گروهی	۳/۸۵۲	۲	۱/۹۲۵		
آسیب‌پذیری کل	درون‌گروهی	۷۴/۷۳۰	۲۶۸	۰/۲۷۹	۸/۱۴۳	۰/۰۰۰
	بین گروهی	۴/۵۴۲	۲	۲/۲۷۱		

جدول ۹. میانگین آسیب‌پذیری و مؤلفه‌های آن بر اساس،گروه‌بندی خانوارها به لحاظ تنوع فعالیت‌های اقتصادی غیر زراعی

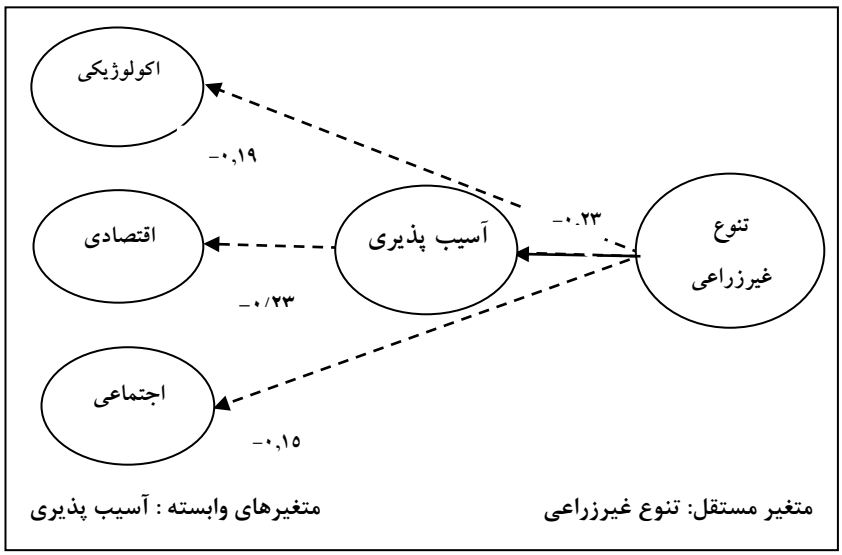
تنوع فعالیت‌های اقتصادی غیر زراعی	آسیب‌پذیری			
	اقتصادی	اجتماعی	اکولوژیکی	آسیب‌پذیری
متنوع	۴/۲۱	۲/۶۰	۳/۵۶	۳/۷۲
نیمه متنوع	۴/۳۳	۲/۸۰	۳/۷۵	۳/۸۸
غیر متنوع	۴/۶۲	۳/۱۳	۴/۰۷	۴/۱۸

جدول ۱۰. الگوی ساختاری، مسیرها و ضرایب استاندارد آن‌ها در الگوی نهایی پژوهش حاضر،منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

متغیر مستقل	مسیر	متغیر وابسته	اثرگذاری مستقیم	
			Beta	Sig.
تنوع منابع درآمدی غیر زراعی	←	آسیب‌پذیری	-۰/۲۳	۰,۰۰۰
	←	آسیب‌پذیری اکولوژیکی	-۰/۱۹	۰/۰۰۲
	←	آسیب‌پذیری اقتصادی	-۰/۲۳	۰/۰۰۰
	←	آسیب‌پذیری اجتماعی	-۰/۱۵	۰/۰۱۰

آسیب‌پذیری در خانوارهای دارای منابع درآمدی متنوع ۳/۷۲، در خانوارهای دارای منابع درآمدی نیمه متنوع ۳/۸۸ و در خانوارهای غیر متنوع ۴/۱۸ بوده است. همچنین میانگین آسیب‌پذیری اقتصادی در خانوارهای متنوع ۴/۲۱، در خانوارهای نیمه متنوع ۴/۳۳ و در خانوارهای غیر متنوع ۴/۶۲ بوده است. میانگین آسیب‌پذیری اجتماعی در خانوارهای متنوع ۲/۶۰، نیمه متنوع ۲/۸۰ و در خانوارهای غیر متنوع ۳/۱۳ بوده است. نیز میانگین در آسیب‌پذیری اکولوژیکی در خانوارهای متنوع غیر زراعی ۳/۵۶، در خانوارهای نیمه متنوع ۳/۷۵ و در خانوارهای غیر متنوع ۴/۰۷ است. ملاحظه می‌شود که با افزایش تنوع در منابع درآمدی بخش غیر زراعی خانوارهای کشاورز روستایی آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد. درواقع خانوارهای دارای منابع درآمدی غیر زراعی متنوع در برابر بحران‌ها و شوک‌های ناگهانی همچون خشک‌سالی کمتر در معرض آسیب قرار می-گیرند.

در ادامه با استفاده از تحلیل مسیر به بررسی شدت اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم تنوع غیر زراعی بر متغیر وابسته (آسیب‌پذیری) می‌پردازیم. مطابق جدول زیر متغیر تنوع منابع درآمدی غیر زراعی به‌صورت مستقیم بر سازه تاب‌آوری اثرگذار هستند (05/0Sig≤). همان‌گونه که در جدول؟؟؟ مشاهده می‌شود تنوع منابع درآمد غیر زراعی با جهت معکوس بر آسیب‌پذیری مؤثر است، به‌طوری‌که با افزایش یک انحراف استاندارد در تنوع منابع درآمد غیر زراعی خانوارهای مورد بررسی، سازه آسیب‌پذیری به میزان ۰/۲۳- انحراف معیار کاهش می‌دهد که آزمون تحلیل واریانس نیز این یافته را تأیید نموده است.



شکل ۳. الگوی ساختاری، مسیرها و ضرایب استاندارد آن‌ها

نتیجه‌گیری

وابستگی معیشتی کشاورزان به منابع طبیعی موجب نمود بیشتر آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر خشک‌سالی شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کشاورزان می‌توانند با اتخاذ راهبردهای مختلف، همواره خودشان را در برابر بحران‌هایی همچون تغییرات آب و هوایی ناگهانی، حملات آفات، تغییر سیاست‌های کشاورزی در سطوح محلی، ملی و جهانی و دیگر عوامل طبیعی تطبیق دهند و سازگار کنند. یکی از این راهبردها تنوع‌بخشی فعالیت‌های اقتصادی است، در این راهبرد هدف رسیدن به اقتصادی است که تنها متکی به بخش کشاورزی و دامداری نباشد تا آسیب‌پذیری کاهش یابد. مطالعه حاضر به بررسی نقش تنوع فعالیت‌های اقتصادی زراعی و غیر زراعی بر آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی در شهرستان چناران می‌پردازد. بدین منظور ۲۷۱ خانوار کشاورز در ۱۵ روستای شهرستان چناران در انجام تحقیق مشارکت داشته‌اند. نتیجه مطالعه نشان داد که تنوع فعالیت‌های اقتصادی غیر زراعی موجب کاهش آسیب‌پذیری خانوارهای روستایی در مخاطره خشک‌سالی گردیده است. به‌طوری‌که آسیب‌پذیری در خانوارهای دارای منابع درآمدی متنوع ۳/۷۲ در خانوارهای دارای منابع درآمدی نیمه متنوع ۳/۸۸ و در خانوارهای غیر متنوع ۴/۱۸ بوده است. همچنین نتایج نشان داد تنوع زراعی تأثیر آماری معناداری بر آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز روستایی در مواجهه با خشک‌سالی نداشته است (05/0Sig ≤). نتایج تحلیل مسیر نیز این امر را تأیید کرد به‌طوری‌که تنوع منابع درآمد غیر زراعی باعث کاهش آسیب‌پذیری خانوارهای روستایی به میزان ۰/۲۳- گردیده است. فعالیت‌های متنوع غیر زراعی قادر است چنان درجه‌ای از امنیت را برای خانوارهای روستایی به وجود آورد که بتواند در مقابل محدودیت‌های اصلی محیط (خشک‌سالی، یخبندان، سرمازدگی و ...) و بی‌ثباتی اقتصادی-اجتماعی (به‌خصوص نوسانات بازار و قیمت محصولات تولیدی و ...) به‌خوبی استقامت کند. وجود فعالیت‌های متنوع غیر زراعی ریسک خانوار را به‌ویژه در شرایط محیطی و انسانی متغیر و غیرقابل‌پیش‌بینی کاهش می‌دهد و چنانچه یکی از فعالیت‌های تولیدی به‌خوبی عمل نکند، سود سایر تولیدات آن را جبران خواهد نمود [۳۹]. نتایج این مطالعه با تحقیق رکن‌الدین افتخاری و همکاران (۱۳۹۳) ازاین‌جهت که تنوع معیشتی موجب کاهش آسیب‌پذیری موجب افزایش تاب‌آوری خانوارهای روستایی در مواجهه با خشک‌سالی است، همسویی دارد [۸]. همچنین در مطالعه قاسمی و همکاران (۱۳۹۹)، تنوع غیر زراعی مهم‌ترین راهبرد تاب‌آوری اقتصاد نواحی روستایی در معرض خشک‌سالی معرفی شده است [۴۰]. با توجه به تأکید این مطالعه بر کاهش آسیب‌پذیری خانوارهای روستایی از طریق تنوع فعالیت‌های اقتصادی در شرایط خشک‌سالی، پیشنهادهایی در بخش زراعی و غیر زراعی به شرح زیر ارائه می‌شود:

- طبق اظهارات دهیاران، آبیاری در روستاهای نمونه بیشتر غرقابی است (۳۵۹۲ هکتار غرقابی و ۷۳۰ هکتار قطره‌ای). در روستاهایی چون حکیم‌آباد، موچنان، سوهان و سرآسیاب که در معرض خشک‌سالی بسیار شدید هستند، آبیاری بیشتر اراضی به‌صورت غرقابی است. بدیهی است اگر در این روستاها تدابیری در جهت به‌کارگیری آبیاری مکانیزه فراهم شود می‌توان آب بیشتری را ذخیره نمود و سطح بیشتری از زمین را به زیر کشت برد. همچنین کنترل و مهار سیلاب‌ها با احداث بند، مشاوره به کشاورزان درزمینه انتخاب روش‌های آبیاری مناسب و تغییر الگوی کشت به سمت گیاهانی با نیاز به آب کمتری می‌تواند آسیب‌پذیری ناشی از خشک‌سالی را در بخش زراعی کاهش دهد.
- نتایج تحقیق حاضر نشان داد اقتصاد غیر زراعی آسیب‌پذیری خانوارهای روستایی را در مخاطره خشک‌سالی کاهش می‌دهد، لذا راهبردهای ذیل پیشنهاد می‌شود: ۱- تلاش در جهت توسعه و گسترش

فعالیت‌های بخش صنعت (صنایع کوچک تبدیلی و تکمیلی) با تکیه بر مواد خام کشاورزی و دامی در روستا، ۲- تسهیل مقررات و رویه‌ها در دسترسی به تسهیلات اعتباری برای روستائیان در معرض خشک‌سالی، ۳- ترغیب سرمایه‌گذاران بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری در اقتصاد غیر زراعی روستا (با در نظر گرفتن سیاست‌های مختلف تشویقی از سوی دولت)، ۴- شناسایی و استفاده از ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های دست‌نخورده نواحی روستایی (گردشگری و ...)، ۵- تلاش جهت افزایش سطح آگاهی روستائیان درزمینه راه‌اندازی کسب‌وکارهای کوچک از طریق برگزاری دوره‌های مختلف آموزشی و ۶- تقویت و حمایت مؤثر از تشکل‌های روستایی فعال در حوزه اقتصاد روستایی (با تأکید بر اقتصاد غیر زراعی).

پی‌نوشت

۱. تنها ۳,۳ درصد مساحت استان خراسان رضوی در حد نرمال ۲,۵ درصد دچار خشک‌سالی خفیف، ۲۵,۹ درصد دچار خشک‌سالی و ۴۴,۸ درصد دچار خشک‌سالی شدید و ۲۳,۱ درصد دچار خشک‌سالی خیلی شدید است.

۲. ۲,۶ درصد جمعیت استان خراسان رضوی در محدوده خشک‌سالی در حد نرمال، ۳,۴ درصد در حد خفیف، ۲۳,۵ درصد در محدوده خشک‌سالی متوسط، ۵۲,۲ درصد دچار خشک‌سالی شدید و ۱۹,۲ درصد دچار خشک‌سالی خیلی شدید هستند.

3 . Osei

4 . Keil

5 . Dey

6 . Arslan

7 . Zhang

8 . Asravor

9 . Diversification of agricultural economics

10 10. Complex, Diverse and Risk-prone

۱۱ . در بین روستاهای مورد مطالعه تنها در روستای آبقد که کوهستانی است، آب موجود کفاف بخش کشاورزی را داده و امکان افزایش سطح زیر کشت را می‌دهد. ضمن اینکه در هر باغ یک چاه (تقریباً ۷۰ حلقه چاه) در این روستا- حفر شده است و باغداران برای آبیاری باغات خود هم از آب رودخانه و هم از آب چاه استفاده می‌کنند. در بین روستاهای مورد مطالعه بیشترین برداشت آب در روستای آبقد با ۵۶۹ اینچ است.

منابع

۱. بابایی فنی، ام السلمه؛ علیجانی، بهلول؛ (۱۳۹۲). تحلیل فضایی خشک‌سالی‌های بلندمدت ایران. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۴۵ (۳)، ۱-۱۲.

۱. کشاورز، مرضیه، کرمی، عزت اله، زمانی، غلامحسین، (۱۳۸۹)، آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز از خشک‌سالی: مطالعه موردی، *علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران*، ۶ (۲)، ۱۵- ۳۲.

۲. فاطمی، مهسا؛ کرمی، عزت اله؛ (۱۳۸۹). مطالعه موردی واکاوی علل و اثرات خشک‌سالی. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۶ (۲)، ۹۷-۷۷.

۳. ریاحی، وحید و نوری، آذر، (۱۳۹۳)، تنوع‌بخشی فعالیت‌های اقتصادی و پایداری روستاها (نمونه موردی: شهرستان خرمدره)، *فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی*، ۳ (۴)، ۱۱۳-۱۲۸.

۴. علوی زاده، سید امیرمحمد و کرمانی، مهدی، (۱۳۸۹)، متنوع سازی فعالیت‌های اقتصادی رویکردی در توسعه پایدار روستایی، *همایش ملی سهم کشاورزی و منابع طبیعی در توسعه جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴*، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت. آزاد اسلامی، رشت.

۵. جوان، جعفر؛ حیدری مکرر، حمید (۱۳۹۰). نقش چاهک‌ها در متنوع سازی اقتصاد روستایی (شهرستان زهک در استان سیستان و بلوچستان)، *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، ۴۳ (۲)، ۴۹- ۶۶

6. http://ndwmc.irimo.ir

۷. رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا، موسوی، سید محمد، پور طاهری، مهدی، فرج زاده اصل، منوچهر، (۱۳۹۳)، تحلیل نقش تنوع معیشتی در تاب‌آوری خانوارهای روستایی در شرایط خشک‌سالی (مطالعه موردی: مناطق در معرض خشک‌سالی استان اصفهان)، *پژوهش‌های روستایی*، ۵(۳۵)، ۶۳۹-۶۶۲.

۸. حیدری ساربان، وکیل و مجنونی توتاخانه، علی، (۱۳۹۵). نقش تنوع معیشتی در تاب‌آوری خانوارهای روستایی پیرامون دریاچه ارومیه در برابر خشک‌سالی. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳ (۴)، ۴۹-۷۰.

۹. پور طاهری، مهدی؛ رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا؛ کاظمی، نسرین؛ (۱۳۹۲). نقش رویکرد مدیریت ریسک خشک‌سالی در کاهش آسیب‌پذیری اقتصادی-اجتماعی کشاورزان روستایی از دیدگاه مسئولان و کارشناسان (دهستان موردی: دهستان سولدوز آذربایجان غربی)، *پژوهش‌های روستایی*، ۴ (۱)، ۱-۲۲.

۱۰. فاضل نیا، غریب، رجایی، مسعود، حکیم دوست، سید یاسر، (۱۳۹۱)، خشک‌سالی اقلیمی و پیامدهای مکانی و فضایی آن در مناطق روستایی (مطالعه موردی: دهستان قره پشتلوی بالا، شهرستان زنجان). *فصلنامه روستا و توسعه*، ۱۵ (۳)، ۵۷-۷۲.

11. Osei, E., Steiner, J., & Saleh, A. (2015, July). Economic Viability of Beef Cattle Grazing Systems under Prolonged Drought. In 2015 AAEA & WAEA Joint Annual Meeting, July 26-28, San Francisco, California (No. 205850). *Agricultural and Applied Economics Association & Western Agricultural Economics Association*.

12. Keil, A., Zeller, M., Wida, A., Sanim, B., & Birner, R. (2008). What determines farmers' resilience towards ENSO-related drought? An empirical assessment in Central Sulawesi, Indonesia. *Climatic Change*, 86(3-4), 291.

13. Dey, S. (2018). The Role of Employment Diversification in Reducing Vulnerability to Poverty among Marginal and Small-holder Agricultural Households in India. Margin: *The Journal of Applied Economic Research*, 12(1), 88-112.

14. Arslan, A., Cavatassi, R., Alfani, F., Mccarthy, N., Lipper, L., & Kokwe, M. (2018). Diversification under climate variability as part of a CSA strategy in rural Zambia. *The Journal of Development Studies*, 54(3), 457-480.

15. Zhang, Q., Zhao, X., & Tang, H. (2018). Vulnerability of communities to climate change: application of the livelihood vulnerability index to an environmentally sensitive region of China. *Climate and Development*, 1-18.

16. Asravor, R. K. (2017). Livelihood Diversification Strategies to Climate Change among Smallholder Farmers in Northern Ghana. *Journal of International Development*.

۱۷. اسماعیلی، مهناز، (۱۳۹۴)، بررسی اثرات تنوع فعالیت‌های اقتصادی

بر کیفیت زندگی خانوارهای روستایی (مورد مطالعه): دهستان گلمکان شهرستان چناران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما مریم قاسمی، رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۸. حبیب پور، کرم و صفری، رضا، (۱۳۹۱)، راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی (تحلیل داده‌های کمی)، *مؤسسه راهبرد پیمایش*، تهران.

۱۹. اصغر پور ماسوله، احمدرضا، (۱۳۹۲)، *آمار مقدماتی برای علوم اجتماعی*، نشر سنبله.

۲۰. مرکز آمار ایران، (۱۳۹۰)، *شناسنامه آبادی‌های استان خراسان رضوی*.

۲۱. رهبری، مهناز، شفیعی ثابت، ناصر و رضایی، زینب، (۱۳۹۶)، تحلیل عوامل مؤثر بر تنوع‌بخشی اقتصاد غیر کشاورزی و اثرات آن بر پایداری سکونت‌گاه‌های روستایی (مطالعه موردی: بخش سرولایت شهرستان نیشابور). *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱۵ (۲۸)، ۲۵۸-۲۳۷.

۲۲. ازکیا، مصطفی و ایمانی، علی، (۱۳۸۷)، توسعه پایدار روستایی، *انتشارات اطلاعات*، تهران.

۲۳. قاسمی، مریم و جوان، جعفر (۱۳۹۳)، تبیین رابطه تنوع‌بخشی فعالیت‌های اقتصادی و توسعه پایدار روستایی (مطالعه موردی: شهرستان مشهد)، *پژوهش‌های روستایی*، ۵ (۲)، ۲۳۷-۲۶۲.

۲۴. کوچکی، عوض، (۱۳۷۷)، تنوع زیستی و سلامت جوامع، دومین گردهمایی زعفران و زراعت گیاهان داروئی، گناباد.

۲۵. کوچکی، علیرضا، نصیری محلاتی، مهدی، (۱۳۸۳)، ارزیابی تنوع نظام‌های زراعی ایران، *فصلنامه پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی*، ۱۷ (۶۳)، ۷۰-۸۳.

۲۶. پرهیزکاری، ابوذر، میرزایی، مهرنوش، رحمانی، صفت اله و علینی، محسن، (۱۳۹۴)، بررسی وضعیت توزیع و تنوع درآمد و تأثیر آن بر اقتصاد خانوارهای روستایی (مطالعه موردی: منطقه الموت)، *مجله تحقیقات اقتصادی*، ۵۰ (۱)، ۷۴-۴۹.

۲۷. جعفری، فاطمه؛ شعبانعلی قمی، حسین؛ دانشور عامری، ژیلا، (۱۳۹۱). بررسی و تحلیل ادراک کشاورزان نسبت به راهکارهای مقابله با خشک‌سالی (مطالعه موردی: شهرستان طارم علیا). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۳ (۹ و ۱۰)، ۱۸۶- ۱۷۱.

۲۸. علوی زاده، امیرمحمد و میر لطفی، محمدرضا، (۱۳۹۲)، نقش اقتصاد غیر زراعی بر ماندگار سازی روستاییان در مناطق روستایی شهرستان سمیرم. *فصلنامه برنامه ریزی منطقه‌ای*، ۳ (۱۰)، ۷۱-۸۲.

۲۹. نصر نیا، فاطمه و زیبایی، منصور (۱۳۹۶)، تعیین الگوهای آسیب‌پذیری کشاورزان نسبت به خشک‌سالی در ایران (مطالعه موردی: حوزه آبریز بختگان)، *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۹ (۲)، ۳۶-۱.

30. McCarthy, N., Lipper, L., & Branca, G. (2011). Climate-smart agriculture: smallholder adoption and implications for climate change adaptation and mitigation. *Mitigation of Climate Change in Agriculture Working Paper*, 3, 1-37.

۳۱. رمضانی، مسعود، شرفی، لیدا و زرافشانی، کیومرث (۱۳۹۶)، سنجش آسیب‌پذیری خشک‌سالی کشاورزان گندم‌کار در شهرستان اصفهان، *فصلنامه پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی*، ۱۰ (۳۷)، ۱۶-۱.

32. Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global environmental change*, 17(2), 155-167.

۳۳. عبدالله زاده، غلامحسین، صالحی، خدیجه، شریف زاده، محمدشریف، خواجه شاهکوهی، علیرضا، (۱۳۹۴)، بررسی تأثیر گردشگری بر معیشت پایدار روستایی در استان گلستان، *برنامه‌ریزی و توسعه گردشگری*، ۴ (۱۵)، ۱۶۹-۱۴۸.

1. World Bank, 2007, *Rural Non-Farm Economy*, Retrieved from: http://go.worldbank.org/19NI77.
2. https://www.razavimet.ir/fa/node/35

۳۴. حجازی زاده، زهرا، علیجانی، بهلول، سلیقه، محمد، دانایی‌فرد، حسن و احمدی، اسماعیل (۱۳۹۴)، محاسبه شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی مبتنی بر مدل ضربی نمایی استان سیستان و بلوچستان، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۵ (۳۶)، ۹۷-۷۳.

۳۵. فربد، ابراهیم و اولادی، بهنام و عباسی، نرگس (۱۳۹۳)، تحلیل داده‌های پرسشنامه‌ای به کمک نرم‌افزار SPSS ۲۲، انتشارات عابد، تهران.

۳۶. علوی زاده، سید امیرمحمد (۱۳۸۹)، *نقش متنوع سازی فعالیت‌های اقتصادی در توسعه پایدار روستایی* (مطالعه موردی: شهرستان سمیرم)، پایان‌نامه منتشرشده دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.

۳۷. قاسمی، مریم و صاحبی، شیرین و مهرگان مجد، جواد (۱۳۹۹)، شناسایی راهبردهای تاب‌آوری معیشت در برابر مخاطره خشک‌سالی از دیدگاه خانوارهای روستایی (مورد مطالعه: دهستان گلمکان، شهرستان چناران)، فصلنامه علمی پژوهشی علوم محیطی، ۱۸ (۱)، ۱۳۶-۱۱۷.

بررسی اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان

رؤیا احمدیوسفی: دانشجوی دکتری، ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
شهلا چوبچیان *: دانشیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، Shchoobchian@modares.ac.ir
محمد چیذری: استاد گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۱۴
تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۹

چکیده

بحران فرایندی است که به دلیل مجموعه‌ای از عوامل طبیعی و غیرطبیعی به وقوع پیوسته و خسارات زیادی در بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی به بار می‌آورد. کشور ایران با توجه به داشتن شرایط اقلیمی و جغرافیایی خاص، همواره در معرض تهدیدات طبیعی ازجمله خشک‌سالی است و خسارات اقتصادی و اجتماعی بسیاری به‌خصوص در بخش کشاورزی متحمل می‌شود. استان کرمان از مناطق مهم تولید محصولات کشاورزی در میان استان‌های کشور با اقتصادی متکی به کشاورزی است. این امر موجب بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی آن شده است. به‌علاوه به دلیل قرار گرفتن این استان در مناطق خشک و کویری، مستعد وقوع پدیده خشک‌سالی است؛ که از مهم‌ترین موانع برای تحقق توسعه و بهبود وضع جوامع روستایی در این استان به شمار می‌رود. امروزه با استفاده از برنامه‌های جامع مدیریت بحران و به‌کارگیری اقدامات مؤثر همراه با طرح‌های کاربردی و تا حد امکان کم‌هزینه و چندمنظوره در مرحله‌ی قبل، حین و پس از بحران، می‌توان به میزان زیادی از شدت و گستردگی خسارات و تلفات ناشی از بحران کاست. در این راستا، پژوهش حاضر به دنبال بررسی میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان بوده تا با توجه به وضعیت اجرای آن‌ها، راهکارهایی برای توسعه اجرای این برنامه‌ها در مناطق مختلف استان ارائه دهد. تحقیق از نوع کاربردی و ابزار اصلی تحقیق پرسشنامه بوده و جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS22 استفاده شد. نتیجه پژوهش نشان داد که میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی استان کرمان در وضعیتی نامطلوب قرار دارد. بنابراین برای رفع کاستی‌ها یا موانع بر سر راه این برنامه‌ها، با اعطای تسهیلات و ساماندهی بازار گیاهان مقاوم به خشکی و مکانیزه کردن سایر مزارع و همچنین آموزش و آگاهی بیشتر به کشاورزان در رابطه با برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی، اجرای آن‌ها را در اولویت قرار گیرد. با توجه به نقش مهم مشارکت جوامع محلی در اجرا و توسعه برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی، تمرکز بر روی این موضوع در طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی و قرار گرفتن مدیریت بحران جامعه‌محور در اولویت سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی ضروری است؛ علاوه بر این، ارزیابی اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی به‌منظور بررسی موفقیت‌ها و شکست‌های این برنامه‌ها به‌عنوان فرایندی مداوم مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: *پدیده خشک‌سالی، برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی، شاخص نابرابری موریس*

Investigating the Implementation of Drought Crisis Management Programs in Kerman Province

Roya Ahmadyousefi[1], Shahla Choobchian*[2], Mohammad Chizari[3]

Abstract

Crisis is a process that occurs due to a number of natural and abnormal factors, causing a great deal of damage to various sectors of the economy and society. Due to its specific climatic and geographical conditions, Iran has always been exposed to natural threats such as drought and suffers many economic and social losses, especially in agriculture. Kerman province is one of the important areas in the production of crops, Garden products and livestock in the country, which its economy is highly dependent on agriculture, which has led to excessive use of water resources in the province. Due to the location of this province in an arid and desert area, it is susceptible to drought phenomenon; this phenomenon is one of the most chronic and devastating natural disasters which will have many adverse effects on the economic, social and rural development of Kerman province. Today, using comprehensive crisis management programs and the use of effective measures, together with low-cost and multi-purpose applications, as well as low-cost and multi-functional steps before, during and after the crisis, it is possible to reduce the severity and extent of damages and losses caused by the crisis. The purpose of this study was to evaluate the implementation status of drought crisis management programs in Kerman province, in order to provide solutions for developing these programs in different parts of the province. The present study was an applied one and main tool of research was questionnaire and $SPSS_{22}$ software was used to analyze the data. The results of this study indicate that the implementation of drought crisis management programs in Kerman province was undesirable. Therefore, to eliminate the shortcomings or obstacles that stand in the way of these programs; by providing facilities and organizing the market of drought-resistant plants and mechanizing other farms, as well as training and awareness of farmers, in relation to drought crisis management programs, the implementation of these programs has been prioritized and since the participation of local communities can play an important role in the implementation and development of drought crisis management programs, it is necessary to focus more on the issue of farmers' participation in the design and implementation of drought crisis management programs and community-based crisis management should be a priority in policy-making and planning; In addition, evaluating the implementation of drought crisis management programs in order to assess the successes and failures of these programs should be considered as an ongoing process.

Key word: *Drought Phenomenon, Drought Crisis Management Programs, Morris Inequality Index.*

1- PhD Student, Agricultural Extension and Education, Tarbiat Modares University
2- Assistant Professor of Agricultural Development, Department of Agricultural Extension and Education, College of Agriculture Tarbiat Modares University, Tehran, Iran: Shchoobchian@modares.ac.ir
3- Professor of Agricultural Extension, Department of Agricultural Extension and Education, College of Agriculture Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

مقدمه

بحران می‌تواند در هر زمان و مکانی به وجود آید. هیچ کشوری را در دنیا نمی‌توان یافت که از بحران‌ها و حوادث گوناگون در امان بوده باشد. کشور ایران به دلیل شرایط اقلیمی و جغرافیایی خاص خود ازجمله کشورهای خطر خیز دنیا محسوب می‌شود که در دهه‌های اخیر خسارات و هزینه‌های عظیم اقتصادی و اجتماعی را براثر وقوع بلایای طبیعی متحمل شده است [۱]. از بین مناطق مختلف کشور ایران، استان کرمان با مساحتی بالغبر ۱۸۳۲۸۵ کیلومترمربع یکی از استان‌های پهناور کشور با شرایط جغرافیایی ویژه و اقلیم‌های متفاوت است. این استان با ۱۰/۹ درصد از کل سطح زیر کشت محصولات باغی کشور، رتبه سوم از این لحاظ [۲] و همچنین با دارا بودن حدود ۵ درصد از کل تولید محصولات زراعی کشور (جنوب استان کرمان ۳/۵ درصد و استان کرمان ۱/۵ درصد)، رتبه پنجم در تولید این محصولات در بین استان‌های کشور را به خود اختصاص داده است [۳]. این استان با دارا بودن تعداد ۲,۷۷۰,۱۷۰ رأس دام سبک، حائز رتبه چهارم در کشور است [۴]. افزایش جمعیت و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در استان کرمان موجب بهره‌برداری بیش‌ازحد منابع آب استان را فراهم نموده و این در حالی است که اقتصاد منطقه به کشاورزی وابسته است [۵]. از طرفی با توجه به اینکه استان کرمان جزو مناطق خشک و کویری ایران و مستعد وقوع پدیده خشک‌سالی است، فعالیت کشاورزی در این منطقه بیشتر در معرض پدیده ریسک و عدم اطمینان بوده، امکان دستیابی مستمر به خودکفایی در تولیدات کشاورزی را غیرممکن می‌سازد و عملکرد، کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. خشک‌سالی مکرر، طولانی و آسیب‌پذیری کشاورزی آبی در برابر آن، اقتصاد استان کرمان را به‌شدت آسیب‌پذیر نموده و در دوره‌های خشک‌سالی، خسارت‌های سنگینی به اقتصاد آن وارد می‌سازد [۶]. این پدیده نه‌تنها به کاهش تولیدات کشاورزی و تخریب منابع طبیعی می‌انجامد؛ بلکه معیشت و رفاه خانواده‌های روستایی را نیز به مخاطره می‌اندازد [۷].

استان کرمان با مساحت ۱۸۱,۷۱۴ کیلومترمربع (حدود ۱۱ درصد کل کشور) در جنوب شرقی فلات مرکزی و بین ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی واقع شده است [۸]. این استان با توجه به شرایط اقلیمی، میزان منابع آب، موقعیت جغرافیایی و روش کشت اراضی به سه منطقه کشاورزی زیر تقسیم می‌شود:

الف- خشک و کویری (رفسنجان، زرند، سیرجان و ...)؛

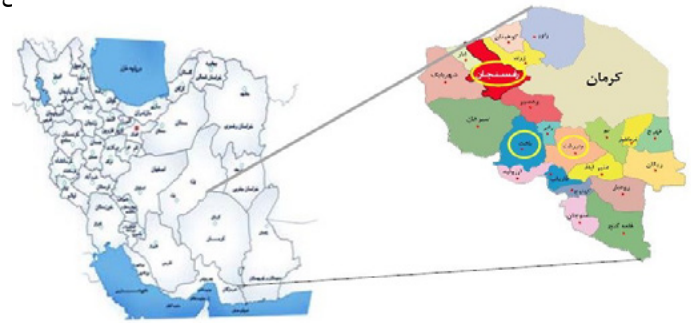
ب- معتدل و سردسیر کوهستانی (بافت، بردسیر و ...)؛

ج- گرمسیری (بم، جیرفت، کهنوج، منوجان، شهداد و ...).

در پژوهش حاضر به دلیل تشابه محصولات کشاورزی در مناطق مورد مطالعه، یک شهرستان بسیار فعال ازنظر سازمان جهاد کشاورزی منطقه درزمینه فعالیت کشاورزی از هر منطقه که شغل اغلب ساکنان آن کشاورزی است، به شرح زیر انتخاب شده است: شهرستان بافت با مساحت ۱۲,۹۸۰ کیلومترمربع از مناطق کشاورزی معتدل و سردسیر کوهستانی است. در این شهرستان ۳۲ هزار هکتار سطح زیر کشت محصولات کشاورزی اعم از زراعی و باغی وجود دارد. شهرستان بافت با سطح زیر کشت ۸,۰۰۰ هکتار گردو دومین قطب تولید این محصول در کشور است.

شهرستان جیرفت با مساحت ۸۶۰۲ کیلومترمربع از مناطق کشاورزی گرمسیری انتخاب شده است. این شهرستان در بخش مرکزی استان واقع شده و به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و طبیعی به «هند ایران» معروف است. سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی در این شهرستان ۵۲,۰۰۰ هکتار است. تولیدات آبزیان و دامی آن با روند رو به رشدی به ۳۰۴۰۴ تن رسیده است. سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای در شهرستان جیرفت بیش از ۱,۵۰۰ هکتار بوده و همچنین با سطح زیر کشت بیش از ۳۳,۵۰۰ هکتار و تولید بیش از ۵۱۰,۰۰۰ تن مرکبات، حائز مقام سوم در کشور است. سطح زیر کشت خرما در این منطقه بیش از ۱۳,۰۰۰ هکتار و تولید آن بیش از ۸۰ تن است. شهرستان جیرفت ظرفیت بالایی نیز در تولید محصولات سردسیری دارد و با سطح زیر کشت حدود ۵,۸۰۰ هکتاری گردو در مناطق سردسیری ازجمله ساردوئیه، جبالبارز، اسفندقه و دلفارد، سالانه ۱۲,۰۰۰ تن گردو در منطقه تولید می‌کند. شهرستان رفسنجان با مساحت ۱۰,۲۲۶ کیلومترمربع از مناطق کشاورزی خشک و کویری انتخاب شده است. سطح زیر کشت محصولات کشاورزی اعم از زراعی و باغی در این شهرستان ۹۲,۸۰۰ هکتار است که ۸۸,۰۰۰ هکتار از آن به باغات پسته اختصاص دارد. لازم به ذکر است رفسنجان به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده پسته در ایران و جهان، سهم بزرگی از صادرات غیرنفتی دارد [۹].

استان کرمان علی‌رغم پتانسیل فراوان با خشک‌سالی‌های مکرر و طولانی مواجه بوده است [۱۰]. به‌طورکلی بحران خشک‌سالی را می‌توان یکی از مزمن‌ترین و زیان‌بارترین بلایای طبیعی دانست. این بحران از مهم‌ترین موانع برای تحقق توسعه



شکل ۱: محدوده جغرافیایی تحقیق

و بهبود وضع جوامع روستایی بوده و اثرات بسیار نامطلوبی بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی و توسعه روستایی استان کرمان داشته است. ازآنجاکه توسعه روستایی را می‌توان عاملی در بهبود شرایط زندگی قشر کم‌درآمد ساکن روستا و خودکفایی آن‌ها در روند کلی توسعه یک کشور دانست، مقابله با پدیده خشک‌سالی در مناطق روستایی ضروری به نظر می‌رسد.

برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان به‌صورت طرح‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری شامل حفاظت از منابع آب‌های زیرزمینی و جلوگیری از برداشت‌های بی‌رویه و غیراصولی (ساماندهی و کنترل چاه‌های غیرمجاز)، توسعه روش‌های مصرف بهینه آب، افزایش راندمان آبیاری از طریق سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار و طرح‌های همیاران آب مانند خاموش کردن موتورپمپ‌ها در فصل زمستان که نیاز آبی گیاهان به حداقل می‌رسد و کشت گیاهان جایگزین با نیاز آبی کم است که طی چند سال اخیر در این استان برای مقابله با پدیده خشک‌سالی در حال اجرا است. با توجه به اهمیت بخش کشاورزی در اقتصاد استان کرمان و موضوع بحران خشک‌سالی در این منطقه، پژوهش حاضر به دنبال بررسی وضعیت اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان به شرح زیر است:

۱- بررسی وضعیت راه‌های مقابله با خشک‌سالی قبل و بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان؛

۲- بررسی میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان؛

۳- مقایسه وضعیت اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در مناطق مختلف استان کرمان.

پیشینه تحقیق

خشک‌سالی تعاریف متفاوتی دارد که یکی از جامع‌ترین و کامل‌ترین تعاریف پدیده خشک‌سالی توسط پالمر در سال ۱۹۶۶ ارائه شد. به نظر وی خشک‌سالی عبارت از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی است [۱۱]. به‌طورکلی ازنظر دانشمندان علم هواشناسی، خشک‌سالی عبارت از کاهش شدید میزان بارندگی و یا نزولات آسمانی در یک‌فاصله زمانی کمابیش زیاد است. ازنظر متخصصان آب، پدیده خشک‌سالی زمانی رخ می‌دهد که سطح آب‌های سطحی، زیرزمینی و میزان آب‌های جاری کاهش‌یافته و سطح آب چاه‌ها، قنوات، سفره‌های آب زیرزمینی و حجم آب پشت سدها نیز کاهش یابد. زارعان و کشاورزان معتقدند که پدیده خشک‌سالی باعث کاهش رطوبت در خاک و هوا، کاهش تولیدات، عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود. ازنظر اقتصاددانان این پدیده باعث قحطی، گرسنگی و سوءتغذیه، افزایش مهاجرت، کاهش رفاه و بهداشت عمومی، افزایش آسیب‌های اجتماعی، تخریب سکونتگاه‌ها، کاهش مخازن سفره‌های آب‌های زیرزمینی و آسیب صنایع نیازمند آب و نیروگاه‌های آبی است [۱۲].

امروزه با استفاده از برنامه‌های جامع مدیریت بحران می‌توان با به‌کارگیری اقدامات مؤثر همراه با طرح‌های کاربردی و در حد امکان کم‌هزینه و چندمنظوره در مرحله قبل، حین و پس از بحران، به میزان زیادی از شدت و گستردگی خسارات و تلفات ناشی از خطرات کاست. بر اساس برنامه عمران ملل متحد[1] مدیریت بحران عبارت است از سیاست‌گذاری، اخذ تصمیمات مدیریتی و انجام اقدامات اجرایی به‌منظور آمادگی، کاهش اثرات مخرب، پاسخگویی، بازسازی و ترمیم اثرات ناشی از بلایای طبیعی یا انسان‌ساخت. بر اساس این تعریف می‌توان مدیریت بحران را در چهار مرحله اصلی برشمرد:

مرحله اول: پیشگیری

پیشگیری عبارت است از ممانعت از وقوع بحران و تخفیف یا کاهش اثرات مخرب حاصل از آن. درواقع پیشگیری مجموعه اقداماتی است که با هدف کاهش پایدار خطر در مواجهه با مخاطرات و یا به‌منظور کاهش احتمال وقوع خطر و عوارض ناشی از آن انجام می‌شود [۱۳].

مرحله دوم: آمادگی

آمادگی مجموعه فعالیت‌ها و اقداماتی است که در مرحله قبل از وقوع بحران (در این تحقیق خشک‌سالی)؛ به‌منظور کسب اطمینان از پاسخگویی صحیح و مؤثر به بحران و اثرات ناشی از آن انجام می‌شود [۱۴].

مرحله سوم: پاسخگویی و مقابله

منظور از پاسخگویی، مجموعه اقدامات و مداخلاتی است که در مرحله حین و بلافاصله پس از رخداد به‌منظور مواجهه و مقابله با بحران و به حداقل رساندن خسارات مالی و جانی انجام می‌شود. این مرحله خود از زیرمراحل متعددی تشکیل شده است که مهم‌ترین آن‌ها برقراری ارتباط، ارزیابی وضع موجود، نیازسنجی و تأمین نیازهای اساسی است [۱۵].

مرحله چهارم: بازسازی

تأمین کل خدمات و زیرساخت‌های تخریب‌شده، جایگزینی کالبدی، احیا و توانمند ساختن مجاری اقتصادی و د نهایت بهبود شرایط زیست جامعه بحران‌زده است [۱۶].

در این راستا مطالعاتی انجام گرفته است که نمونه‌هایی از آن‌ها در جدول ۱ بیان شده است.

مرور منابع و مطالعات گذشته نشان می‌دهد که تعامل میان سازمانی یکی از عواملی است که می‌تواند در مدیریت بحران خشک‌سالی بسیار مؤثر باشد و مدیریت بحران‌های خشک‌سالی نیاز به برنامه‌ریزی‌های دقیق دارد؛ ولی هیچ‌یک از مطالعات قبلی به ارزیابی برنامه‌های مصوب نپرداخته‌اند و این مقاله گامی جدید در خصوص سنجش وضعیت اجرای این برنامه‌ها و ارائه راهبردهای کلیدی جهت توسعه آن‌ها در مناطق مستعد بحران است. به‌علاوه با توجه به ادبیات پژوهش مشخص گردید، استان کرمان از مناطق مهم درزمینه تولید محصولات کشاورزی در کشور است و با توجه به مواجهه این منطقه با بحران خشک‌سالی، فعالیت کشاورزی در آن بیشتر با پدیده ریسک و عدم اطمینان روبرو است که امکان دستیابی مستمر به خودکفایی در تولیدات کشاورزی را غیرممکن می‌سازد؛ که خود از مهم‌ترین موانع برای تحقق توسعه و بهبود وضع جوامع روستایی در این استان به شمار

جدول ۱. مرور منابع در خصوص مدیریت بحران

نویسندگان	سال	عنوان پژوهش	یافته‌ها
نجف‌پور [۱۷]	۱۳۸۵	نقش اقلیم در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط	یکی از راهکارهای مهم کاهش خطرات بلایای جوی و اقلیمی برنامه‌ریزی و مدیریت فعالیت‌های انسانی بر اساس ویژگی‌های زمانی-مکانی پدیده‌های اقلیمی است. مدیریت ریسک و بحران دو شیوه مهم تفاهم و مقابله با تغییرپذیری و تغییرات اقلیمی هستند. در مدیریت بحران با توجه به تغییرات مهم اقلیمی لازم است با برنامه‌ریزی مدیریت بحران از بروز فجایع زیست‌محیطی جلوگیری شود.
صبوری و همکاران [۱۸]	۱۳۸۸	برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب کشور با نگاهی به طرح جامع خشک‌سالی	اعمال مدیریت بحران در شرایط اضطراری بدون شناخت دقیق از پدیده خشک‌سالی و ابعاد واقعی آن به اتلاف سرمایه و عدم بهره‌وری صحیح از امکانات و توانایی‌های کشور منجر خواهد شد. اثر متقابل رشد جمعیت برافزایش مصرف و کاهش تولید آب و نادیده گرفتن خشک‌سالی در مطالعات و برنامه‌ریزی‌های قبلی کشور اتخاذ یک عزم ملی و برنامه‌ریزی منسجم و کوتاه‌مدت در این زمینه را الزامی می‌نماید. از طرفی هماهنگی و همکاری بین سازمان‌ها و وزارتخانه‌های مختلف برای تأمین اطلاعات و داده‌های مورد نیاز ضروری است که می‌تواند از عوامل بازدارنده و ایجادکننده تأخیر باشد.
فاطمی و کرمی [۱۹]	(۱۳۸۹)	مطالعه موردی واکاوی علل و اثرات خشک‌سالی اثرات خشک‌سالی	این اثرات عبارت‌اند از: اثرات اجتماعی (اثر سوء بر سلامتی مانند ناامیدی، افسردگی، عصبانیت، ناراحتی و دلسردی، کاهش مشارکت اجتماعی و کاهش روابط اجتماعی، ایجاد تضادهای اجتماعی مانند مشاجره و درگیری، کاهش اعتبار و مهاجرت)، اثرات زراعی (کاهش کمیت و کیفیت تولید)، اثرات اقتصادی (کاهش میزان درآمد، افزایش هزینه‌ها و بیکاری)، اثرات زیست‌محیطی (خشک شدن آب چاه‌ها، تأثیر بر کیفیت آب‌ها، بیابان‌زدایی) و اثرات آینده هراسی (تاریک پنداری آینده و هشیاری از جدی بودن بحران).
عسکری زاده و همکاران [۲۰]	۱۳۸۹	برنامه‌ریزی مدیریت بلایا و مخاطرات محیطی در راستای توسعه پایدار	توسعه پایدار و کاهش خطرات ناشی از بلایا که هرکدام پیش‌نیاز دیگری است. بلایای طبیعی پیشرفت و دستاوردهای توسعه پایدار را به‌شدت به خطر می‌اندازد و درعین‌حال ممکن است زیرساخت‌هایی که ما در حال ایجادشان هستیم، منشأ خطر در بلایای آینده باشند. از هر نقطه‌نظر مشاهده کنیم برنامه‌ریزی بلایا و مخاطرات محیطی برای همه کشورها ازجمله کمتر توسعه‌یافته و کشور ما که حادثه‌خیز است، اهمیت دارد. در مدیریت بحران جامعه‌محور، جوامع حادثه‌خیز هستند که در تمام مراحل پیشگیری، کاهش خطر، آمادگی، باز توانی و پاسخگویی شرکت می‌کنند.
حسینی و همکاران [۲۱]	۱۳۹۰	تبیین مؤلفه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در مناطق روستایی و عشایری جنوب شرق کشور	پژوهش و برنامه‌ریزی در فرایند مدیریت بحران خشک‌سالی فقط با شناخت علل و اثرات آن پایان نمی‌یابد، بلکه این مهم از طریق سازوکارهای مدیریت بحران خشک‌سالی و انسجام‌بخشی به آن‌ها در یک برنامه راهبردی-عملیاتی با غایت ظرفیت‌سازی و توانمندسازی در افق‌های زمانی بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت و ضربتی در فرایندهای مختلف مدیریت بحران خشک‌سالی در سیر پیوستار گونه و چرخه‌ای پیش‌آگاهی، آماده‌سازی، مقابله و کنترل، احیا و بهبود به انجام می‌رسد.
رسولی آزاد و همکاران [۲۲]	۱۳۹۱	بررسی تأثیرات اجتماعی مدیریت بحران بر تصمیم‌گیری مدیران	به این نتیجه رسیدند که بین شناسایی بحران، پیشگیری از وقوع بحران و کنترل بحران با تصمیم‌گیری مؤثر مدیران رابطه معنی‌داری وجود دارد.
پور طاهری و همکاران [۲۳]	۱۳۹۱	اولویت‌بندی مسائل توسعه روستایی با تأکید بر دیدگاه روستاییان	مشکل اصلی توسعه پایدار روستایی ایران را در عدم شناخت کامل برنامه ریزان از طبیعت پیچیده و وسعت واقعی واحدهای برنامه‌ریزی در مناطق روستایی و فقدان نظام مدیریتی متناسب با این مناطق می‌دانند که خشک‌سالی توانسته است بیشتر روستاهای کشور را در معرض ناپایداری قرار دهد.
وثوقی و محمدی [۲۴]	۱۳۹۱	بررسی عوامل اجتماعی و اقتصادی مؤثر در مدیریت جمعی منابع آب در روستای فریدون‌کنار	در برنامه‌های مدیریت جمعی منابع آب در نیمه دهه ۷۰، آب‌بندان‌ها مورد توجه دولت قرار گرفته و آن‌ها را وسیله‌ای برای تحقق اهداف و برنامه‌های خود در قالب تولید نقدینگی برای تأمین هزینه‌های عمومی و عمرانی داخل روستا محسوب کرده و درنتیجه بازیگران اصلی در مدیریت منابع مذکور دولت بود که تصمیم‌گیرنده اصلی محسوب شده و ورود دولت موجب شد تا روستاییان در مدیریت منابع مشترک به نحو جدی مشارکت و تعامل نداشته باشند.
کشاورز و همکاران [۲۵]	۱۳۹۲	عوامل اثرگذار بر مهاجرت روستایی ناشی از خشک‌سالی	خشک‌سالی نقشی مهم در شکل‌گیری مهاجرت‌های موقت و دائم از روستا داشته است. همچنین، بسیاری از نظریه‌ها نظیر مدل اقتصاد نوکلاسیک بر نقش عوامل اقتصادی در تبیین رفتار مهاجرت تأکید دارند؛ اما یافته‌های پژوهش نشان داد که علاوه بر عوامل اقتصادی، طبیعی، نگرشی و اجتماعی نیز در اتخاذ تصمیم به مهاجرت نقش به سزایی دارند؛ بنابراین در سیاست‌گذاری توسعه روستایی و شهری، باید به نقش سازه‌های غیراقتصادی در شکل‌گیری رفتار مهاجرت توجه کافی مبذول شود.

نویسندگان	سال	عنوان پژوهش	یافته‌ها
صادقلو و همکاران [۲۶]	۱۳۹۳	اولویت‌بندی عوامل مؤثر برافزایش تاب‌آوری کشاورزان در برابر مخاطرات طبیعی (با تأکید بر خشک‌سالی)	بحث مربوط به تاب‌آوری و تاب آور نمودن کشاورزان روستایی در برابر مخاطره خشک‌سالی بسیار مهم است. برای افزایش سطح تاب‌آوری اجتماعات انسانی در مقابله با مخاطرات خشک‌سالی، عوامل متعددی تأثیرگذار هستند که تقویت آن‌ها می‌تواند سطح تاب‌آوری و انطباق‌پذیری با شرایط خشک‌سالی را در کشاورزان افزایش دهد تا از مهاجرت و رها کردن زمین‌های کشاورزی جلوگیری شود. طبق یافته‌های این پژوهش متغیرهای اصلاح شیوه‌های آبیاری و مدیریت آب، افزایش تنوع محصولات کشت‌شده، دقت در زمان‌بندی کشت محصول، افزایش تنوع محصولات کشت‌شده و انجام شخم عمیق در فصول بارانی دارای وضعیت مناسبی به لحاظ تأثیرگذاری در افزایش تاب‌آوری کشاورزان در برابر مخاطره خشک‌سالی است.
جمشیدی و همکاران [۲۷]	۱۳۹۴	درک رفتار سازگاری کشاورزان در برابر تغییرات اقلیمی	احتمال سازگاری کشاورزان با تغییرات آب‌وهوا (به‌ویژه خشک‌سالی) زمانی افزایش می‌یابد که آن‌ها خطرات مربوط به بدین تغییرات و اثربخشی فعالیت‌های مربوط به سازگاری را درک کنند. این امر به‌ویژه زمانی رخ می‌دهد که کشاورزان به خطرات زیاد تغییرات آب‌وهوا معتقد باشند.
عسکری ماسوله و همکاران [۲۸]	۱۳۹۴	تأثیر نظام مدیریت منابع انسانی بر کیفیت عملیات مدیریت بحران	در میان منابع مختلف مدیریت بحران، منابع انسانی از مهم‌ترین منابع در فرایند مدیریت بحران است. ازاین‌رو، مدیریت منابع انسانی و درواقع وجود یک نظام اثربخش مدیریت منابع انسانی عنصری بسیار مهم درزمینه مدیریت بحران است. پس از برشمردن مؤلفه‌های مدیریت بحران و کسب نظر خبرگان در این پژوهش، مشخص شد که تمامی زیرمؤلفه‌های مدیریت منابع انسانی نقش زیادی در فرایند مدیریت بحران دارد و نقش نیروی انسانی در مرحله مهار و حل بحران نیز بسیار اساسی است.
ویلهیت[۲] و همکاران [۲۹]	۲۰۱۴	مدیریت ریسک خشک‌سالی در شرایط آب و هوایی متغیر	دهه‌های اخیر تأثیرات اقتصادی، اجتماعی و محیطی پدیده خشک‌سالی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است و بیشتر مناطق جهان نسبت به پدیده خشک‌سالی واکنش نشان داده‌اند که نمایانگر رویکرد مدیریت بحران است. نتایج تحقیق نشان داد که ساختار اداری و مشارکت فعالانه میان سه مؤلفه برنامه‌ریزی، تحقیق و مدیریت در این روند حیاتی است. از طرفی توسعه یک سیاست ملی به‌منظور مقابله با بحران خشک‌سالی و حمایت از برنامه‌های آمادگی و ارزیابی موفقیت‌ها و شکست‌های (کوتاهی) سیاست‌ها و برنامه‌های در حال اجرا باید به‌عنوان یک فرایند مداوم در نظر گرفته و در صورت لزوم تغییرات لازم انجام شود. دولت‌ها در تمام سطوح باید این کار را با مشارکت ذی‌نفعان در طول فرایند اجرا انجام دهند تا اثربخشی نتایج را به بیشینه برسانند.
دیستانت[۳] و همکاران [۳۰]	۲۰۱۷	مثلث همکاری برای مدیریت مؤثر منابع آب	به بررسی عوامل کلیدی مؤثر در مدیریت منابع آب در بخش جنوبی تایلند پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که همکاری میان سازمان‌های دولتی، دانشگاه‌ها و جوامع عامل مهمی برای مدیریت منابع آب در ارتباط با توسعه پایدار است. بااین‌حال، تلاش برای مدیریت منابع آب باید از سطح جامعه هدایت شود. سازمان‌های دولتی و دانشگاه‌ها نقش مشارکتی انتقال دانش، مشاوره، پشتیبانی در مسائل مربوط به مدیریت و هماهنگی با مقامات مدیریت آب و دیگر سازمان‌های دولتی را ایفا می‌کنند. این تعامل می‌تواند مفهوم مدیریت منابع آب در جامعه را به شیوه‌ای واقعی تبدیل کند و توسعه پایدار را برای جامعه ایجاد کند.

می‌رود. لذا به‌منظور کاهش اثرات و مقابله با این پدیده عظیم، مدیران درصدد اجرای برنامه‌هایی به‌منظور مدیریت بحران خشک‌سالی در منطقه هستند. با توجه به پیشینه پژوهش، نتایج تحقیقات در این راستا نیز نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر تأثیرات اقتصادی، اجتماعی و محیطی پدیده خشک‌سالی به‌طور قابل‌توجهی افزایش‌یافته است و بیشتر مناطق جهان نسبت به آن واکنش نشان داده‌اند که نمایانگر رویکرد مدیریت بحران است؛ اما باید توجه داشت که اعمال مدیریت بحران در شرایط اضطراری بدون شناخت دقیق از پدیده خشک‌سالی و ابعاد واقعی آن و همچنین عدم شناخت مناطق جغرافیایی مختلف به‌منظور ارائه برنامه‌ریزی مناسب به اتلاف سرمایه و عدم بهره‌وری صحیح از امکانات و توانایی‌های کشور منجر خواهد شد. پژوهش و برنامه‌ریزی در فرایند مدیریت بحران خشک‌سالی فقط با شناخت علل و اثرات خشک‌سالی پایان نمی‌یابد، بلکه این مهم از طریق سازوکارهای مدیریت بحران خشک‌سالی و انسجام‌بخشی به آن‌ها در یک برنامه راهبردی-عملیاتی به انجام می‌رسد و ارزیابی اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی به‌منظور بررسی موفقیت‌ها و شکست‌های این برنامه‌ها به‌عنوان یک فرایند مداوم ضروری است. در این راستا، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از شاخص ناموزون موریس، به دنبال بررسی میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان بوده تا با توجه به وضعیت اجرای این برنامه‌ها راهکارهایی را برای توسعه اجرای آن در مناطق مختلف استان ارائه کند.

روش پژوهش

تحقیق حاضر از نوع کاربردی و روش بررسی آن توصیفی و تحلیلی است. در این مطالعه جامعه آماری شامل بهره‌برداران کشاورزی استان کرمان که بر اساس اطلاعات حاصل از مدیریت جهاد کشاورزی استان کرمان، ۲۵۸،۶۳۳ نفر هستند [۳۱]. لازم به ذکر است، استان کرمان با توجه به شرایط اقلیمی، میزان منابع آب، موقعیت جغرافیایی و روش کشت اراضی به سه منطقه کشاورزی تقسیم می‌شود که به دلیل تشابه محصولات کشاورزی

در مناطق مورد مطالعه از هر منطقه یک شهرستان بدین شرح انتخاب شده است: مناطق کشاورزی خشک و کویری شهرستان رفسنجان، مناطق کشاورزی معتدل و سردسیر کوهستانی شهرستان بافت و مناطق کشاورزی گرمسیری شهرستان جیرفت. قابل ذکر است که شهرستان‌های انتخابی در استان کرمان ازلحاظ فعالیت کشاورزی، بسیار فعال بوده و شغل بیشتر افراد کشاورزی است. بدین ترتیب نمونه‌گیری آماری بر اساس جدول مورگان و بر طبق روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای با انتساب متناسب از بین بهره‌برداران کشاورزی این استان انجام‌گرفته و حجم نمونه ۳۸۴ نفر تعیین شد (جدول ۲).

متغیر وابسته این تحقیق وضعیت اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی بود. ابزار اصلی جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه و جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزار SPSS ۲۲ استفاده شده است و در این تحقیق جهت بررسی وضعیت اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان از شاخص موریس استفاده شد. روایی محتوایی و ظاهری ابزار تحقیق با استفاده از نظرات پانلی از اساتید گروه ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس مورد بازبینی و اصلاح قرار گرفت و جهت تعیین پایایی ابزار تحقیق، ۳۰ عدد پرسشنامه بین بهره‌برداران کشاورزی شهرستان عنبرآباد توزیع و سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه‌ی ۲۲ مقدار آلفای کرون باخ پرسشنامه ۰/۸۱ محاسبه شد (جدول ۳)؛ که نشان‌دهنده قابلیت اعتماد (پایایی) بالای پرسشنامه است.

به‌منظور سنجش میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی از مجموع ۳ گویه با مقیاس نسبی مدت‌زمان خاموشی موتورپمپ‌ها نسبت به قبل از اجرای برنامه‌ها (به ساعت) و میزان ماشینی کردن سامانه آبیاری بعد از اجرای برنامه‌ها در مقایسه با قبل از اجرای برنامه‌ها (به هکتار)، میزان کشت محصولات جایگزین (گیاهان مقاوم به خشکی) (به هکتار) و ۱۰ گویه مورد سنجش قرار گرفته بودند که با مقیاس ترتیبی (۱ = خیلی کم، ۲ = کم، ۳ = متوسط، ۴ = زیاد و ۵ = خیلی زیاد) استفاده شد (جدول ۴). جهت محاسبه شاخص ترکیبی کل از روش تقسیم‌بر میانگین گویه‌های موردنظر فاقد مقیاس شده و سپس شاخص ترکیبی کل محاسبه گردید.

جدول ۲. جامعه آماری و نمونه بهره‌برداران کشاورزی استان کرمان

ردیف	مناطق	تعداد بهره‌برداران	تعداد نمونه
۱	منطقه معتدل و سردسیر کوهستانی	۲۲۷۵۳	۹۷
۲	منطقه گرمسیری	۲۴۱۷۵	۱۰۲
۳	منطقه خشک و کویری	۴۳۳۳۴	۱۸۵
	جامعه آماری	۲۵۸۶۳۳	.
	نمونه	.	۳۸۴

جدول ۳. مقدار آلفای کرون باخ

متغیرها	تعداد گویه‌ها	ضریب آلفای کرون باخ	تفسیر
اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی	۱۳	۰/۸۱	خوب

جدول ۴. گویه‌های ترتیبی سنجش میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی

ردیف	گویه‌ها
۱	کاهش میزان استفاده از آب برای مصارف کشاورزی بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی.
۲	افزایش تعداد آب‌بندها بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی.
۳	کاهش هدر رفت آب در سطح مزرعه/باغ بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی.
۴	بهبود آب‌رسانی به مزرعه/باغ بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی.
۵	مؤثر بودن میزان تخصیص به‌موقع اعتبارات برای توسعه روش‌های آبیاری ماشینی.
۶	کاهش درخواست برای گرفتن مجوز چاه برای آبیاری مزرعه/باغ بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی.
۷	کاهش اخذ مجوز چاه برای آبیاری مزرعه/باغ بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی.
۸	کاهش میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی.
۹	استفاده از سیل بند جهت کنترل آب‌های سطحی و تغذیه سفره‌های زیرزمینی.
۱۰	تأثیر نهاده‌های تخصیصی جهت کشت محصولات مقاوم به خشکی بر افزایش کشت محصولات مقاوم به خشکی.

نمونه‌گیری آماری در پژوهش حاضر بر اساس جدول مورگان و بر طبق روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای با انتساب متناسب از بین بهره‌برداران کشاورزی استان کرمان انجام‌گرفته است.

شرح شاخص مورداستفاده در تحقیق

به‌منظور توصیف وضعیت اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان، از شاخص موریس استفاده شد. در این روش نحوه تبدیل امتیازات کسب‌شده به سه سطح بدین شرح برآورد می‌شود. ساختار کلی مدل مورداستفاده به شرح ذیل است:

$$y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

jام در واحد iام شاخص ناموزون برای متغیر Y_{ij}

jام در واحد iام در متغیر X_{ij}

iام؛ حداقل مقدار $X\min$

iام؛ حداکثر مقدار $X\max$

شاخص اصلی در این مدل عبارت است از:

$$D.I. = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_{ij}}{n}$$

که n تعداد شاخص‌ها و متغیرهای مورد مطالعه است و مقدار شاخص توسعه که شاخص اصلی ضریب توسعه بین صفر تا یک متغیر است. هر چه مقدار شاخص بیشتر باشد، نشان‌دهنده درجه مطلوب بودن وضعیت اجرای برنامه‌ها بوده و هر چه مقدار آن کمتر باشد نشان‌دهنده درجه نامطلوب بودن اجرای برنامه است [۳۲].

نامطلوب	کمتر از ۰/۵
متوسط	۰/۷۹۹-۰/۵
مطلوب	بیش از ۰/۸

یافته‌ها:

توزیع فراوانی میزان سطح زیر کشت گیاهان مقاوم به خشکی (هکتار)

نتایج حاصل از توزیع فراوانی نشان‌دهنده میانگین سطح زیر کشت گیاهان مقاوم به خشکی ۰/۱۱ هکتار با انحراف معیار ۰/۳۲ است. بیشترین و کمترین مقدار سطح زیر کشت گیاهان مقاوم به خشکی به ترتیب ۳ و ۰ هکتار است. همچنین گروه کمتر از ۰/۵ هکتار ۹۴/۸ درصد بیشترین فراوانی و گروه بیشتر از ۱ هکتار با ۱/۰ درصد کمترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند.

آزمون مقایسه میانگین ساعات خاموشی موتورپمپ‌ها

نتایج آزمون t نشان داد بین ساعات خاموشی موتورپمپ‌ها، قبل و بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی تفاوت معنی‌داری وجود دارد؛ به‌طوری‌که بعد از اجرای برنامه‌ها ساعات خاموشی موتورپمپ‌ها بیشتر شده است.

آزمون مقایسه میانگین مزارع/باغات مجهز به سامانه آبیاری ماشینی

نتایج آزمون t نشان داد بین میزان مزرعه / باغ مجهز به سیستم آبیاری مکانیزه، قبل و بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی تفاوت معنی‌داری وجود دارد؛ به‌طوری‌که

جدول ۵. میزان سطح زیر کشت گیاهان مقاوم به خشکی بعد از اجرای برنامه‌ها (هکتار)

متغیر	سطوح متغیر	فراوانی	درصد	درصد تجمعی
سطح زیر کشت گیاهان مقاوم به خشکی (هکتار)	کمتر از ۰/۵	۳۶۴	۹۴/۸	۹۴/۸
	۰/۵ تا ۱	۱۶	۴/۲	۹۹/۰
	بیشتر از ۱	۴	۱/۰	۱۰۰
	جمع	۳۸۴	۱۰۰	
میانگین: ۰/۱۱، انحراف معیار: ۰/۳۲، بیشینه: ۳، کمینه: ۰				
منبع: یافته‌های تحقیق				

جدول ۶. نتایج آزمون مقایسه میانگین t ساعات خاموشی موتورپمپ‌ها

متغیر	سطوح متغیر	میانگین	SD	t	Sig
ساعات خاموشی موتورپمپ‌ها (ساعت)	قبل از اجرای برنامه‌ها	۱،۶۸	۱،۷۶	-۱۳،۵۹	۰،۰۰۰
	بعد از اجرای برنامه‌ها	۲،۲۷	۲،۱۰		
منبع: یافته‌های تحقیق					

جدول ۷. نتایج آزمون مقایسه میانگین t مزارع/باغات مجهز به سامانه آبیاری ماشینی

متغیر	سطوح متغیر	میانگین	SD	t	Sig
میزان مزرعه/ باغ مجهز به سامانه آبیاری ماشینی (هکتار)	قبل از اجرای برنامه‌ها	۱،۰۱	۰،۰۷	-۲۲،۷۸	۰،۰۰۰
	بعد از اجرای برنامه‌ها	۱،۵۸	۰،۴۹		
منبع: یافته‌های تحقیق					

میزان مزرعه/باغ مجهز به سیستم آبیاری بعد اجرای برنامه‌ها افزایش داشته است.

میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی

پس از محاسبه شاخص مورد نظر پژوهش با استفاده از شاخص ناموزون موریس وضعیت اجرای برنامه‌های مذکور به شرح زیر مشخص شد. نتایج توصیف و تحلیل میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی با استفاده از شاخص موریس نشان داد که به‌صورت کلی میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی نامطلوب است (جدول ۸).

آزمون تحلیل واریانس مناطق کشاورزی

نتایج آزمون F نشان داد که بین مناطق کشاورزی ازنظر اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد خطا وجود دارد. با توجه به مقایسه میانگین‌ها و ترتیب آن‌ها، ازنظر اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی مناطق معتدل و سردسیر کوهستانی و خشک و کویری تفاوت چندانی باهم ندارند اما این دو منطقه با منطقه گرمسیری تفاوت محسوسی دارند؛ که بیشترین نمره به شهرستان جیرفت و کمترین به شهرستان بافت تعلق‌گرفته است.

مطابق با نتایج حاصل از آزمون Tukey در جدول شماره ۱۰، تفاوت بین مناطق خشک و کویری و معتدل و سردسیر کوهستانی ناچیز بوده؛ اما ازلحاظ اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی، منطقه گرمسیری تفاوت محسوسی با این دو منطقه دارد. به‌طوری‌که اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در منطقه گرمسیری در سطح متوسط و در سایر مناطق خشک و کویری و معتدل و سردسیر کوهستانی نامطلوب است.

بحث و نتیجه‌گیری

در راستای مقابله با بحران خشک‌سالی در مناطق مختلف استان کرمان برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی به‌صورت طرح‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری در حال اجرا است. بررسی این برنامه‌ها در مناطق یادشده نشان‌دهنده افزایش ساعات خاموشی موتورپمپ‌ها بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی است؛ به صورتی که میانگین خاموشی موتورپمپ‌ها از ۱/۶۸ به ۲/۲۷ رسیده است و تفاوت معناداری بین این دو شد. ازآنجاکه میانگین میزان مزرعه/باغ مجهز به سامانه آبیاری مکانیزه متعارف‌تر است از ۱/۰۱ به ۱/۵۸ رسیده است و تفاوت معناداری بین میزان مزارع/باغات نسبت به قبل و بعد از اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی مشاهده شد، می‌توان گفت گسترش سامانه‌های آبیاری ماشینی در استان کرمان سبب شده تا استفاده از آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی کاهش چشمگیری به‌خصوص در منطقه گرمسیری استان داشته باشد. نتایج حاصل از توزیع فراوانی نشان داد سطح زیر کشت گیاهان مقاوم به خشکی (هکتار) ۰/۱۱ و حاکی از عدم علاقه‌مندی کشاورزان منطقه نسبت

جدول ۸. سطح‌بندی میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان

متغیر	سطح	فراوانی	درصد فراوانی	درصد تجمعی	نما (مد)
اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی	نامطلوب	۱۹۶	۵۱/۰	۵۱/۰	پایین
	متوسط	۱۸۰	۴۶/۹	۹۷/۹	
	مطلوب	۸	۲/۱	۱۰۰	
مجموع		۳۸۴	۱۰۰		

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۹. نتایج آزمون تحلیل واریانس مناطق کشاورزی

متغیر مستقل	سطوح متغیر	فراوانی	میانگین	SD	F	Sig
مناطق مورد مطالعه	معتدل و سردسیر کوهستانی	۹۷	۰،۳۷	۰،۲۴۰		
	گرمسیری	۱۰۲	۰،۵۹	۰،۱۸۸	۳۲/۶۹	۰/۰۰۰
	خشک و کویری	۱۸۵	۰،۴۲	۰،۱۸۵		

تعیین اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها توسط آزمون Tukey مشخص‌شده است.
منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۱۰. تعیین اختلاف معنی‌داری بین مناطق مورد مطالعه توسط آزمون Tukey، منبع: یافته‌های تحقیق

مناطق		Mean Difference	Sig	Lower Bound	Upper Bound
معتدل و سردسیر کوهستانی	گرمسیری	-۰،۲۱۳	۰،۰۰۰	-۰،۲۸۰	-۰،۱۴۶
	خشک و کویری	-۰،۰۴۶	۰،۱۵۳	-۰،۱۰۶	۰،۰۱۲
گرمسیری	خشک و کویری	۰،۱۶۶	۰،۰۰۰	۰،۱۰۸	۰،۲۲۵
	معتدل و سردسیر کوهستانی	۰،۲۱۳	۰،۰۰۰	۰،۱۴۶	۰،۲۸۰
خشک و کویری	گرمسیری	-۰،۱۶۶	۰،۰۰۰	-۰،۲۲۵	-۰،۱۰۸
	معتدل و سردسیر کوهستانی	۰،۰۴۶	۰،۱۵۳	-۰،۰۱۲	۰،۱۰۶

به کشت گیاهان مقاوم به خشکی و عدم افزایش چشمگیر کشت محصولات جایگزین در منطقه است که یکی از دلایل آن را می‌توان آگاهی کم کشاورزان نسبت به این نوع گیاهان تلقی کرد. این امر با پژوهش دیستنانت و همکاران [۳۰] همسو است. نتایج توصیف و تحلیل میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی با استفاده از شاخص موریس نشان داد که میزان اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در استان کرمان نامطلوب است. همچنین نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس از مناطق مورد مطالعه حاکی از آن بود؛ که بین مناطق مختلف کشاورزی در استان و اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی، تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد خطا وجود دارد. نتایج حاصل از آزمون Tukey نشان داد که اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در منطقه معتدل و سردسیر کوهستانی و منطقه خشک و کویری تقریباً یکسان انجام شده و در سطح نامطلوبی قرار دارند؛ اما اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در مناطق گرمسیری استان نسبت به مناطق دیگر پیشرفت چشمگیری داشته و در سطح متوسط انجام‌شده است؛ که می‌توان علت آن را گسترش روزافزون استفاده از سامانه‌های آبیاری مکانیزه، علاقه کشاورزان به مشارکت در اجرای برنامه‌ها و ارائه تسهیلات لازم به کشاورزان برای اجرای این برنامه‌ها در این منطقه دانست. به‌طورکلی به نظر می‌رسد اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در مناطق مختلف استان کرمان موفقیت‌آمیز نبوده، نتوانسته موانع توسعه روستایی که به دلیل خشک‌سالی ایجادشده را کاهش دهد و پایداری محیط‌زیست را تأمین نماید، این یافته همسو با پژوهش‌های صبوری و همکاران؛ پور طاهری و همکاران؛ عسکری ماسوله و همکاران و ویلهت و همکاران [۱۸، ۲۳، ۲۸ و ۲۹] است. بنابراین برای رفع کاستی‌ها یا موانعی که بر سر راه این برنامه‌ها قرار دارد، با اعطای تسهیلات و ساماندهی بازار گیاهان مقاوم به خشکی، ماشینی کردن سایر مزارع و همچنین آموزش و آگاهی بیشتر به کشاورزان در رابطه با برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی، اجرای این برنامه‌ها را در استان افزایش داده و ازآنجاکه جوامع محلی می‌تواند نقش به سزایی در اجرا و توسعه برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی داشته باشد ضروری است که بر موضوع مشارکت کشاورزان در اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی تمرکز بیشتری شود و تا آنجا که امکان دارد برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی با مشارکت همه‌جانبه کشاورزان انجام گیرد، به عبارتی مدیریت بحران جامعه‌محور در اولویت سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی قرار گیرد. افزون بر آن، باید ارزیابی اجرای برنامه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی به‌منظور بررسی موفقیت‌ها و شکست‌های این برنامه‌ها به‌عنوان فرایندی مداوم مدنظر قرار گیرد.

پی‌نوشت

1 United Nation Development Plan
2 Wilhite
3 Distanont

منابع

۱. توکلی، م (۱۳۹۱). اصول و مبانی مدیریت بحران در صنایع. انتشارات سها دانش.
۲. آمارنامه کشاورزی، محصولات باغی، ۱۳۹۵، ص ۷.
۳. آمارنامه کشاورزی، محصولات زراعی، ۱۳۹۶، ص ۲۰.
۴. آمارنامه کشاورزی، آمارگیری از دامداری‌های کشور، ۱۳۹۶، ص ۲۰.
۵. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان، مطالعات مرحله دوم آمایش استان کرمان و بازنگری مطالعات مرحله اول، ۱۳۹۵.
۶. هاشمی، م؛ کریمی پاشاکی، س؛ خلیفهک، ا (۱۳۹۸) اولویت‌بندی توان توسعه گردشگری در مناطق کویری و بیابانی مطالعه موردی: استان کرمان، فصلنامه گردشگری شهری، دور ۶، شمار ۲، تابستان ۱۳۹۸، صص. ۹۸-۷.
۷. کشاورز، م؛ کرمی ع .ا؛ زمانی غ (۱۳۸۹) آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز از خشک‌سالی: مطالعه موردی، علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، (۲)، ۱۵-۳۲.
۸. هاشمی، م؛ کریمی پاشاکی، س؛ خلیفهک، ا (۱۳۹۸) اولویت‌بندی توان توسعه گردشگری در مناطق کویری و بیابانی مطالعه موردی: استان کرمان، فصلنامه گردشگری شهری، دوره ۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، صص. ۹۸-۷.
۹. نجف پور، ب (۱۳۸۶). نقش اقلیم در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط (با تأکید بر ایران). نشریه پیک نور، دوره ۵، شماره ۲، ص ۱۲۶-۱۱۶.
10. UN/ISDR (2004). Living with risk, a global review of disaster reduction initiative. Geneva.
11. Kent (1994). Disaster preparedness. UNDP Disaster management Training Program.
۱۲. جهانگیری، ک (۱۳۸۸). اصول و مبانی مدیریت بحران. انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی هلال ایران.
۱۳. آیسان، ی (۱۳۸۵). معماری و برنامه‌ریزی بازسازی. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
14. UN/ISDR (2004). Living with risk, a global review of disaster reduction initiative. Geneva.
15. Kent (1994). Disaster preparedness. UNDP Disaster management Training Program.
۱۶. نجف پور، ب (۱۳۸۶). نقش اقلیم در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط (با تأکید بر ایران). نشریه پیک نور، دوره ۵، شماره ۲، ص ۱۲۶-۱۱۶.
۱۷. صبوری، ص؛ بردبار، م؛ سلوکی، م (۱۳۸۸). برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب کشور با نگاهی به طرح جامع خشک‌سالی. همایش ملی مدیریت بحران، دانشگاه آزاد واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸.
۱۸. فاطمی، م؛ کرمی، ع (۱۳۸۹). مطالعه موردی واکاوی علل و اثرات خشک‌سالی. نشریه علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، دوره ۶، شماره ۲، ص ۹۷-۷۷.
۱۹. عسکری زاده، س.م؛ محمدنیاقرایی، س؛ ظهور، م (۱۳۸۹). برنامه‌ریزی مدیریت بلایا و مخاطرات محیطی در راستای توسعه پایدار، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
۲۰. حسینی، س.م؛ شریف‌زاده، ا؛ غلامرضایی، س؛ اکبری، م (۱۳۹۰). تبیین مؤلفه‌های مدیریت بحران خشک‌سالی در مناطق روستایی و عشایری جنوب شرق کشور. تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، دوره ۴۲-۲، شماره ۲، ص ۱۹۷-۱۸۵.
۲۱. رسولی آزاد، م.ر؛ آزادیان، غ؛ حسومی، ط (۱۳۹۱). بررسی تأثیرات اجتماعی مدیریت بحران بر تصمیم‌گیری مدیران منطقه ۸ دانشگاه آزاد اسلامی. نوآوری‌های مدیریت آموزشی، سال ۸، شماره ۱، ص ۲۴-۱۵.
۲۲. پور طاهری، م؛ نعمتی، ر (۱۳۹۱). اولویت‌بندی مسائل توسعه روستایی با

تأکید بر دیدگاه روستاییان مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان خرم‌آباد. فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی، سال اول، شماره ۲، ص ۱۲۸-۱۱۳.
۲۳. وثوقی، م؛ محمدی، ا (۱۳۹۱). بررسی عوامل اجتماعی و اقتصادی مؤثر در مدیریت جمعی منابع آب در روستاهای فریدون‌کنار. توسعه روستایی، دوره ۴، شماره ۲.
۲۴. کشاورز، م؛ کرمی، ع؛ لهسایی زاده، ع (۱۳۹۲). عوامل اثرگذار بر مهاجرت روستایی ناشی از خشک‌سالی: یک مطالعه موردی در استان فارس. روستا و توسعه، دوره ۶، شماره ۱، ص ۱۲۷-۱۱۳.
۲۵. صادقلو، ط؛ سجاسی قیداری، ح (۱۳۹۳). اولویت‌بندی عوامل مؤثر برافزایش تاب‌آوری کشاورزان در برابر مخاطرات طبیعی (با تأکید بر خشک‌سالی). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۰، ص ۱۵۳-۱۲۹.
۲۶. جمشیدی، ع؛ نوری زمان‌آبادی، س.ه؛ ابراهیمی، م.ص (۱۳۹۴). درک رفتار سازگاری کشاورزان در برابر تغییرات اقلیمی: مطالعه موردی مناطق روستایی شهرستان چرداول. روستا و توسعه، دوره ۱۸، شماره ۲، ص ۸۸-۶۵.
۲۷. عسکری ماسوله، س؛ افشار، م (۱۳۹۵). بررسی میزان تأثیر نظام مدیریت منابع انسانی بر کیفیت عملیات مدیریت بحران در شهرداری تهران، ششمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران، مشهد، دبیرخانه دائمی کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران.
28. Wilhite, D; Sivakumar, M; Pulwarty, R (2014). Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. Weather and Climate Extremes, ScienceDirect. 3, p 4-13.
29. Distanont, A; Khongmalai, O; Rassameethes, R; Distanont, S (2017). Collaborative triangle for effective community water resource management in Thailand. Kasetsart Journal of Social Sciences, P 1-7.
۳۰. سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان (۱۳۹۴).
31. Neumayer, Eric (2002). Is Good Governance Rewarded? A Cross-national Analysis of Debt Forgiveness. World Development, 30 (6), pp. 913-930.