

- ارزیابی روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای تحت اثر گرمایش جهانی در استان تهران
- پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل منطق فازی، نمونه موردی: حوضه آبخیز لواسانات
- شناسایی پیشران‌ها و پیامدهای کنشگری مؤثر رسانه‌های جریان اصلی در مدیریت بحران‌های اجتماعی‌سیاسی ایران
- ارائه الگوی همکارانه کمک‌رسانی در مدیریت بحران به‌منظور حداکثرسازی ارائه پوشش بشردوستانه به مناطق آسیب‌دیده از مخاطرات طبیعی
- مدل‌سازی و تحلیل دو سطحی مکان‌یابی - مسیریابی برای بهینه‌سازی امدادرسانی در بلایای طبیعی
- ارائه مدل ارزیابی و تحلیل ریسک دینامیک نشت گاز هیدروژن در یک واحد کلرزنی نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از تکنیک پاپیونی
- ارزیابی تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی محدوده عملیاتی ایستگاه‌های آتش‌نشانی منطقه ۲۰ شهر تهران با استفاده از سامانه GIS

- Spatiotemporal Changes in Regional Temperature Influenced by Global Warming in Tehran Province, Iran
- Flood Risk Zoning Using Fuzzy Logic Model; Case Example: Lavasanat Watershed
- Identifying the Drivers and Consequences of the Mainstream Media's Effective Activism in Managing Soci-political Crises in Iran
- A Collaborative Model of Humanitarian Assistance for Maximum Coverage of Areas Affected by Natural Disasters
- A Two-echelon Model of Location-routing Problem for Optimizing Relief Operations in Natural Disasters
- Bow-tie Risk Assessment of Hydrogen Gas Leakage From the Chlorination Unit of a Combined-cycle Power Plant
- Analyzing the Physical and Infrastructural Resilience to Fire Accidents in District 20 of Tehran, Iran, Based on the Geographic Information System



فصلنامه علمی دانش پیشگیری و مدیریت بحران

تابستان ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۲، شماره پیاپی: ۵۶

دکتر محسن غفوری آشتیانی

استاد پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران.

دکتر محمدحسین یارمحمدیان

استاد دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی اصفهان، اصفهان، ایران.

دکتر جعفر یزدی

دانشیار گروه مهندسی عمران آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

دکتر مسعود خوش سیم

دانشیار پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران.

هیأت تحریریه بین المللی

دکتر علی عسگری

استاد مدیریت پالیا و فوریت های دانشگاه یورک کاتلدا.

دکتر فریبرز محمدی تهرانی

استاد گروه مهندسی عمران و ژئوماتیک دانشگاه ایالتی کالیفرنیا

دکتر امیرهمایون صفارزاده

دانشیار مهندسی شهرسازی و محیط زیست دانشکده فنی دانشگاه کیوشوی ژاپن.

دکتر مهناز حسین زاده

دانشیار مدیریت عملیات و علوم تصمیم گیری دانشکده مدیریت دانشگاه شفیق انگلستان.

یادکها و نمایه نامه ها

گوگل اسکالر، آکادمیا، موسسه استنادی و پایش علم و فناوری جهان اسلام (ISC)، پایگاه

مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، مگیران، ایندکس کورنیکوس

دفتر نشریه

ادرس: تهران - خیابان غربی یزرگراه جلال آل احمد، نرسیده به یزرگراه آیت ا-

اشرفی اصفهانی، نیش خیابان نهج سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران

تلفن: ۰۲۱۹۶۰۲۴۲۱۷، ۰۲۱۴۴۲۴۴۰۴۰

نمایر: ۰۲۱۴۴۲۶۷۳۶۵، کدپستی: ۱۴۶۳۶۱۳۱۱۱

سایت: www.dpmk.ir

ایمیل: info@dpmk.ir, dpmktdmmo@gmail.com

صحافی و چاپ: چاپخانه همشهری



سازمان پیشگیری و
مدیریت بحران شهر تهران

صاحب امتیاز: سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران

ترتیب انتشار: فصلنامه

شاپای چاپی: ۵۹۵۵-۲۳۲۲

شاپای الکترونیک: ۱۸۱۴-۲۵۳۸

سیاست انتشار: دسترسی آزاد

فرآیند داوری: دوسوگور

مدیر مسئول

دکتر علی نصیری

رئیس سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران و استادیار و مدیر گروه سلامت در پالیا

و فوریت ها و پدافند غیرعامل دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران.

سرمدیور

دکتر مهدی زارع

استاد پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مدیریت زلزله، تهران، ایران

مدیر اجرایی

دکتر مرصیه صمدی فروشانی

پژوهشگر سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران و دکتری مدیریت تحقیق در

عملیات دانشگاه تهران، ایران.

هیأت تحریریه

دکتر مهدی زارع

استاد پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مدیریت زلزله، تهران، ایران.

دکتر علی اکبر آقا کوچک

استاد مهندسی عمران سازه دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

دکتر محمود رضا دلاور

استاد گروه مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دکتر محمدرضا قائم مقامیان

استاد پژوهشگاه زلزله شناسی و مدیریت زلزله، تهران، ایران.

دکتر ماشاله خامه چیان

استاد گروه زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

دکتر ایرج محمدقاسم

استاد دانشگاه علوم توبیخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران.

دکتر علی مرادی

دانشیار موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دکتر رضا پورحسین

دانشیار روششناسی و علوم تربیتی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دکتر سید امیرحسین گرگانی

دانشیار معماری و شهرسازی دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکزی، تهران، ایران.



فصلنامه علمی دانش پیشگیری و مدیریت بحران

تابستان ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۲، شماره پیاپی ۵۶

اسامی داوران

فاطمه فلاحتی	مهدی زارع
عضو هیات علمی گروه مخاطرات هیدرولوژیکی، پژوهشگاه سونچ طبیعی، تهران، ایران.	استاد پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله تهران، ایران.
کیوان کریم لو	علی نصیری
دکتری مهندسی محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.	استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج) تهران، ایران.
اسماعیل سلیمی	محمدحسین یارمحمدیان
گروه مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.	استاد دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی و درمانی اصفهان، ایران.
زیتب نصیری ماهیتی	محمد رضا قائم مقامیان
گروه مذاکرات اجتماعی دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.	استاد پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله تهران، ایران.
عزیزاله سلیمی طاری	علی مرادی
دکتری مدیریت محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.	دانشیار موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران.
زهره مالهحمیدی	رئوف مصطفی زاده
پسادکتری مهندسی صنایع دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.	دانشیار گروه صنایع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
مرغیبه صمدی فروشانی	علی باقری
دکتری مدیریت تحقیق در عملیات دانشگاه تهران، ایران.	دانشیار گروه مهندسی و مدیریت آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
کامران خلیفه ای	محسن کلاتری
دکتری مهندسی عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان، ایران.	دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
محمدجواد گیهان پور	مهری اکبری
دکتری مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران.	دانشیار گروه آموزشی جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
نرگس رامک	اکبر تقی پور
دکتری حقوق بین الملل دانشگاه آزاد تهران مرکزی، تهران، ایران.	استادیار گروه جغرافیا دانشکده علوم زمین دانشگاه دلفان، دلفان، ایران.
سوژا وزاقی	فرشته اصلانی
دکتری مهندسی صنایع دانشگاه ایوفکی، ایوفکی، ایران.	استادیار گروه منظر و بازسازی دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
سید صادق عبدالهی	جلال سمیعا
دکتری مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران.	استادیار سنجش از دور دانشگاه مازندران، مازندران، ایران.
اعظم کشاورزی	سید عظیم حسینی
دکتری روفشناسی تربیتی دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال، تهران، ایران.	دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی تهران جنوب، تهران، ایران.
محسن مهرجو	امیر عباس فاطمی
دکتری شهرسازی دانشگاه آزاد اسلامی شهر قدس، تهران، ایران.	استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی پردیس، تهران، ایران.
سمیه قضاوت	محبوبه پیری زاده
دکتری مدیریت صنعتی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.	استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی تهران غرب، تهران، ایران.
شهاب تقی خانی	ایوب پژوهان
دکتری مدیریت رسانه دانشگاه تهران، تهران، ایران.	استادیار گروه مدیریت دولتی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
آیدا راوریان	اسماعیل نجفی
دکتری کاردرمئی دانشگاه علوم تبلیغی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران.	استادیار ژئومورفولوژی دانشکده علوم زمین دانشگاه دلفان، دلفان، ایران.
محمدحسین مهدوق قهساره	علیرضا سعیدی
دکتری مرمت و احیاء بناها و باقتهای تاریخی، گروه مرمت دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت تهران، تهران، ایران.	گروه برنامه ریزی منطقه ای و شهرسازی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.
علی وجنتانی نوذر	حمیدرضا ضرغامی
دکتری مهندسی سوانح دانشگاه محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران.	استادیار، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران.
کیومرث ملکی	داریوش مهری
پسداکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.	استادیار، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران.
افراسیاب خیردست	صادق صیدبیگی
دکتری تخصصی مدیریت محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.	عضو هیات علمی گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
	سیده سمائه میراسماعیلی
	دکتری سلامت در بانیا و فوریت ها دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
	مهراب تشریفی سده
	دکتری سلامت در بانیا و فوریت ها دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

اهداف

ترویج و گسترش مرزهای دانش مدیریت بحران در حوزه‌های تخصصی پیشگیری و کاهش خطر، آمادگی و پاسخ، بازیابی (بازسازی و بازتوانی)؛

ترویج و گسترش مرزهای دانش پدافند غیرعامل؛

ترویج و گسترش مرزهای دانش سلامت، ایمنی و محیط زیست (HSE)؛

انتشار آخرین دستاوردهای پژوهشی و ایجاد فضای نقد و تبادل اندیشه؛

ایجاد زمینه‌های همکاری و تعامل علمی پژوهشگران در سطح ملی و بین‌المللی؛

ایجاد بستر مناسب برای شناسایی و ارائه راه‌حل‌های مرتبط با مسائل مدیریت بحران در سطوح محلی، منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی؛

انتقال تجارب، ابتکار عمل‌ها و درس آموخته‌های مدیریت بحران با تاکید بر نقش مدیریت شهری؛

کمک به ایجاد شبکه ارتباط علمی بین پژوهشگران، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان مدیریت بحران کشور؛

بسترسازی مناسب به منظور بهره‌برداری از تجربیات سایر کشورها با هدف بومی‌سازی تجربیات بین‌المللی مدیریت بحران

محورها و زیرمحورهای تخصصی

۱. ایمنی، پیشگیری و کاهش خطر

۱.۱. پیشگیری خطر

۲.۱. ایمنی و مقاوم‌سازی

۳.۱. برنامه‌ریزی کاهش خطر

۲. ارزیابی خطر

۱.۲. شناسایی خطر

۲.۲. ارزیابی خطر

۳. آمادگی و برنامه‌ریزی پاسخ

۱.۳. سیستم فرماندهی حادثه

۲.۳. طرح‌ریزی واکنش در شرایط اضطراری

۳.۳. برنامه عملیاتی در شرایط اضطراری

۴.۳. تخلیه و اسکان اضطراری

۵.۳. امداد و نجات

۴. بازسازی و بازتوانی در بحران

۱.۴. مدیریت تخریب و آوار

۲.۴. بازیابی زیرساخت‌ها، حمل و نقل، مسکن، محیط‌زیست

۳.۴. بازتوانی جسمی، روانی، اجتماعی و اقتصادی

۴.۴. افراد با نیازهای خاص در بحران (سالمندان، کودکان، زنان، افراد دارای معلولیت، بیماران خاص و ...)

۵. مخاطرات طبیعی و انسان ساخت

- ۵.۱. مخاطرات زمین (زلزله و زمین لغزش، فرونشست و فرو ریزش زمین، آتشفشان، بیابان زدایی و ...)
- ۵.۲. مخاطرات آب و هواشناختی (تغییرات اقلیمی، سیل، سیلاب، فرسایش خاک، بیابان‌زایی، آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع، خشک‌سالی، طوفان و ...)

۵.۳. مخاطرات شیمیایی (آلودگی محیطی، آتش‌سوزی صنعتی-ساختمانی، پسماندهای شیمیایی و ...)

۵.۴. مخاطرات حمل و نقل (حوادث و سوانح جاده‌ای، ریلی، هوایی، مترو، ازدحام جمعیت و ...)

۵.۵. مخاطرات زیستی (اپیدمی‌ها، تهدیدهای زیستی و ...)

۶. آینده پژوهی بحران

۶.۱. تحلیل‌های کمی و کیفی روندها

۶.۲. شناسایی ریسک‌ها و مخاطرات آتی

۶.۳. طراحی آینده مطلوب، ممکن و محتمل

۶.۴. سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی تغییرات برای آینده مطلوب

۷. مدیریت دانش بحران

۷.۱. مستندسازی

۷.۲. ثبت درس آموخته‌ها

۷.۳. تحلیل ریشه‌ای علل حوادث

۸. هوشمندسازی و فناوری‌های نوین

۸.۱. دستاوردهای دانش بنیان

۸.۲. فناوری‌های مبتنی بر تحلیل داده‌ها

۸.۳. مدیریت سیستم‌های اطلاعاتی

۹. اجتماعی و فرهنگی

۹.۱. جوامع محلی و مشارکت جامعه محور در بحران

۹.۲. مسئولیت اجتماعی (فردی، شرکتی و سازمانی) در بحران

۹.۳. سرمایه اجتماعی در بحران

۹.۴. فرهنگ بحران

۹.۵. توانمندسازی، آموزش ایمنی و مدیریت بحران

۱۰. اقتصاد بحران و بیمه

۱۱. قوانین، مقررات، استانداردها و الزامات حقوقی مدیریت بحران

۱۲. اطلاع‌رسانی و رسانه در مدیریت بحران

۱۳. پدافند غیرعامل

۱۴. سلامت، ایمنی و محیط زیست (HSE)

شیوه نامه نگارش مقاله

فصلنامه «دانش پیشگیری و مدیریت بحران» نشریه علمی با نمره ارزیابی "ب" از سوی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است که متعلق به سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران است، و مقالاتی را که در زمینه مدیریت بحران و بر اساس چهار محور کلی پیشگیری و کاهش خطرپذیری، آمادگی، مقابله، و بازسازی و بازتوانی به رشته تحریر درآمده باشد، منتشر می‌کند. هدف از انتشار فصلنامه؛ تولید، ترویج و ارتقای سطح دانش نظری و تجربی در حوزه مدیریت بحران، بسط همکاری و تعامل علمی بین کنشگران حوزه مدیریت بحران به منظور تبادل آموخته‌ها و تجربیات، تقویت فضای گفتگو و نقد اندیشه در سطح ملی و بین‌المللی، کمک به ارتقای فرهنگ عمومی جامعه از طریق طرح موضوعات کاربردی و نظری مدیریت بحران با تأکید بر شهر تهران، و از همه مهم‌تر ایجاد بستر مناسب برای توصیف، تبیین و ارائه راه‌حل برای رفع مشکلات و مسائل مبتلابه شهر تهران در حوزه مدیریت بحران و ارائه راهکارهای مناسب و کاربردی است.

فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، نشریه علمی است که به زبان فارسی با چکیده انگلیسی چاپ می‌شود. هیأت تحریریه پس از دریافت مقالات اقدام به بررسی مقاله از لحاظ ساختاری و موضوعی می‌نماید و چنانچه مقاله در بررسی اولیه مورد تأیید باشد، برای داوری ارسال می‌شود. داوری در این مجله به صورت دوسوکور (Double Blind Review) انجام می‌شود. در این روش هم نویسندگان و هم داوران گمنام هستند.

مقالات ارائه شده برای انتشار در فصلنامه «دانش مدیریت بحران» باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- مقاله ارسالی به فصلنامه، نباید قبلاً در نشریه دیگری به چاپ رسیده و یا در نوبت چاپ باشد. همچنین مقاله ارسالی نباید در همایش‌های داخلی و خارجی ارائه شده باشد یا در کتاب مجموعه مقالات مربوط به همایش‌ها منتشر شده باشد.

- مسئولیت حقوقی مقاله از جنبه صحت مطالب ارائه شده به عهده نویسنده مسئول است و نشریه، مسئولیتی در این خصوص ندارد.

- سیاست فصلنامه، درج مقالات با رویکرد علمی حاصل از پژوهش است. لذا مقالاتی در چرخه داوری قرار می‌گیرند که ساختار مقالات علمی را داشته باشند.

- پذیرش اولیه مقاله، براساس رعایت راهنمای تدوین مقاله است و پذیرش نهایی و درج آن در فصلنامه، منوط به تأیید هیأت تحریریه و داوران است. نتیجه داوری به صورت کتبی و از طریق پست الکترونیک به اطلاع نویسنده مقاله خواهد رسید. لذا لازم است نویسنده مقاله آدرس پست الکترونیک خود را همراه با مقاله در اختیار دفتر فصلنامه قرار دهد.

- مقالات می‌توانند مبتنی بر پروژه‌ها، پژوهش‌های انجام شده یا مطالعات علمی در زمینه مدیریت بحران باشند.

- فصلنامه «دانش پیشگیری و مدیریت بحران» در ویرایش مقالات آزاد است.

- مقالات ارسالی باید کلیه بخش‌های یک مقاله علمی را دارا باشد. بخش‌های اساسی یک مقاله علمی به ترتیب عبارتند از: عنوان، اسامی نویسنده (نویسندگان)، چکیده، مقدمه، پیشینه تحقیق، روش تحقیق، یافته‌ها، بحث و نتیجه‌گیری و منابع. در ذیل به توضیح مختصر هریک از آنها پرداخته شده است.

عنوان

عنوان مقاله باید متناسب با موضوع، اهداف و نتایج پژوهش باشد و بتواند موضوع پژوهش را به طور خلاصه برای خواننده ارائه کند، دارای کلمات یا عبارات اضافه نباشد و حتی المقدور از یک سطر بیشتر نباشد و تا حد امکان جامع و مانع باشد. در عنوان مقاله از کلمات انگلیسی استفاده نشود.

اسامی نویسنده (نویسندگان) زیر عنوان مقاله درج شود. عنوان دانشگاهی با رتبه علمی نویسنده به صورت زیرنویس نوشته شود.

چکیده

عصاره مقاله است که با خواندن آن اطلاعات اساسی در خصوص پژوهش، پروژه یا مطالعات انجام شده به خواننده منتقل می‌شود. معمولاً بین ۱۵۰ تا ۴۰۰ کلمه است (از نیم تا یک صفحه). در چکیده ابتدا موضوع یا هدف پژوهش یا پروژه در دو سطر توضیح داده می‌شود. آنگاه روش که شامل جامعه آماری، نمونه، روش اجرا، زمان و مکان اجرا و ابزار جمع‌آوری داده‌هاست مجموعاً در حداکثر سه تا چهار سطر توضیح داده می‌شود و سپس شرح تحلیل یا نتایج کلی پژوهش در دو تا سه سطر انجام می‌گیرد. در پایان چکیده کلیدواژه‌ها (حداکثر در ۶ کلمه) ذکر می‌شود.

نکات اصلی و کلیدی که باید در مقدمه یک مقاله علمی مورد توجه قرار بگیرد عبارتند از موضوع یا مساله پژوهش، پیشینه پژوهش و هدف از انجام پژوهش که باید به صورت ساده و روشن ارائه شوند. نویسندگان باید در مقدمه به موارد ذیل به صورت شفاف بپردازند:

۱. هدف از انجام پژوهش یا پروژه؛
۲. تعریف دقیق اصطلاحات و مفاهیم بکار رفته در پژوهش یا پروژه؛
۳. پیشینه پژوهش یا پروژه (شامل مبانی نظری و تحقیقات انجام شده قبلی در زمینه پژوهش یا پروژه) که لازم است نقاط قوت یا احیاناً ضعف آنها تحلیل شود و چگونگی ارتباط آنها با تحقیق یا مقاله حاضر مشخص گردد؛
۴. سوالات یا فرضیاتی که تحقیق در پی پاسخ گویی به آنها است.

روش

این قسمت از یک مقاله علمی شامل توضیح در مورد نوع تحقیق (هم از جهت هدف در نظر گرفته شده برای پژوهش و هم از نظر روش انجام پژوهش یا پروژه)، جامعه و نمونه و روش نمونه‌گیری، ابزار تحقیق و روشن نمودن میزان روایی و پایایی ابزار و توضیح در خصوص چگونگی مراحل انجام پژوهش یا پروژه است.

نتایج یا یافته‌های تحقیق

در این بخش نویسندگان باید موارد ذیل را به صورت دقیق و خلاصه تبیین کنند:

۱. یافته‌های حاصل از پژوهش یا پروژه؛
۲. بیان یافته‌ها به شیوه‌ای دقیق و روشن؛
۳. تحلیل این نکته که آیا نتایج بدست آمده پاسخگوی سوالات یا فرضیات تحقیق (در صورت وجود فرضیات) هست یا خیر؛
۴. مشخص نمودن یافته‌های مهم حاصل از این پژوهش یا پروژه.

بحث

در تدوین این بخش از مقاله باید به طور کلی به مباحث زیر به صورت خلاصه پرداخته شود.

- ۱- ذکر اهداف انجام پژوهش یا پروژه؛
- ۲- تبیین میزان ارتباط یافته‌های حاصل از پژوهش یا پروژه با اهداف در نظر گرفته شده از انجام آن؛
- ۳- تعمیم‌پذیری یافته‌ها؛
- ۴- مقایسه یافته‌های پژوهش یا پروژه با پژوهش‌های قبلی و ذکر دلایل احتمالی برای توافق یا عدم توافق بین نتایج؛

نتیجه‌گیری

نتیجه نهایی به‌دست‌آمده از انجام پژوهش یا پروژه.

محدودیت‌های پژوهش یا پروژه؛

پیشنهاد برای پژوهش‌ها یا پروژه‌های آینده در این خصوص؛

در هر پژوهش یا مطالعه علمی به منظور تبیین موضوع پژوهش در هریک از قسمت‌ها از جمله در مقدمه، پیشینه نظری، نوع پژوهش و ابزار پژوهش، روایی و پایایی ابزار، نظرات و یافته‌های پژوهشی سایر پژوهشگران نیز به عنوان شاهد بر مدعا آورده می‌شود. لذا لازم است نام خانوادگی نویسنده یا نویسندگان و تاریخ انتشار اثر اعم از کتاب، مقاله و یا پایان‌نامه در پرانتز و بلافاصله بعد از مطلب استفاده شده آورده شود. در واقع یکی از ملاک‌های ارزشیابی یک مقاله علمی چگونگی استفاده از منابع به‌روز است. هر چه غنای علمی منابع استفاده شده در مقاله بیشتر باشد مقاله از استحکام علمی بیشتری برخوردار است. هنگامی که نام نویسنده و تاریخ انتشار اثری در پرانتز ذکر می‌شود باید در بخش پایانی مقاله، فهرست منابع به ترتیب حروف الفبا ارائه شود. در صورتی که از یک نویسنده چندین اثر در یک مقاله مورد استفاده قرار بگیرد برای شناسایی منبع باید از شماره‌های ۱ و ۲ و... یا حروف الفبا (الف، ب، ...) استفاده شود. نحوه نگارش منبع در مقالات معمولاً مشابه است. در ذیل نحوه نگارش منابع برای مقالات، کتاب‌ها، کتاب‌های ترجمه شده، پایان‌نامه‌ها و مقالات ارائه شده در کنفرانس‌ها آورده شده است.

توجه: منابع فارسی در مقالات با ذکر کلمه Reference به لاتین هم درج شود.

نحوه نگارش مقاله‌ها در فهرست منابع

نام خانوادگی، نام و یا حرف اول نام (سال انتشار مقاله)، عنوان مقاله، نام مجله، شماره مجله، صفحه شروع و پایان مقاله

نمونه: طباطبایی، فرزانه (۱۳۸۵)، آسیب شناسی تربیت دینی دانش آموزان مدارس شهر تهران، دانشور رفتار ۲۱، صص ۴۳-۵۴

اگر مقاله بیش از یک نویسنده داشته باشد:

نمونه: رهنما، اکبر و طباطبایی، فرزانه و علیین، حمید (۱۳۸۵)، آسیب شناسی تربیت دینی دانش آموزان مدارس شهر تهران، دانشور رفتار ۲۱، صص ۴۳-۵۴

نحوه نگارش منبع کتاب

نام خانوادگی، نام یا حرف اول نام (سال انتشار کتاب)، عنوان کتاب، نام شهر محل انتشار، نام موسسه انتشاراتی.

نمونه: دلاور، علی (۱۳۸۲)، روش تحقیق در روان شناسی و علوم تربیتی (ویرایش سوم)، تهران، نشر ویرایش

اگر کتاب بیش از یک نویسنده داشته باشد به ترتیبی که در مورد مقاله نیز گفته شد عمل می‌شود

نحوه نگارش منبع کتاب ترجمه شده در فهرست منابع

نام خانوادگی (مؤلف)، نام یا حرف اول نام، (سال چاپ کتاب به زبان فارسی)، نام کتاب، نام مترجم، نام انتشاراتی، نام شهر.

نمونه: شیولسون، ریچارد (۱۳۷۱)، استدلال آماری در علوم رفتاری، ترجمه علیرضا کیامنش، جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران

نحوه نگارش منبع پایان نامه در فهرست منابع

نام خانوادگی، نام، (سال دفاع از پایان نامه)، عنوان پایان نامه، مقطع دفاع، نام دانشگاه، نام شهر

نمونه: علیین، حمید (۱۳۸۵)، تربیت سیاسی از دیدگاه امام علی علیه‌السلام، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهد، تهران.

نحوه نگارش منبع مقالات ارائه شده در کنفرانس‌ها یا کنگره‌ها

نام خانوادگی، نام (سال برگزاری کنفرانس) موضوع مقاله در اولین یا چندمین کنفرانس، شهر و کشور محل برگزاری کنفرانس

نمونه: طباطبایی، فرزانه (۱۳۸۵)، تربیت از دیدگاه امام سجاد علیه‌السلام با تاکید بر ادعیه صحیفه سجاده، دومین جشنواره صحیفه سجاده دانشگاهیان کشور، تهران، ایران.

نحوه نگارش منبع گرفته شده از شبکه اینترنت

نام خانوادگی نویسنده، نام، موضوع مقاله، تاریخ گرفتن از شبکه، آدرس سایت.

منابع قابل استناد

منابعی که در تنظیم یک مقاله پژوهشی می‌توان به آنها استناد و از آنها استفاده نمود به ترتیب اولویت به شرح ذیل هستند.

۱. کتاب‌های منتشر شده در زمینه پژوهش مورد نظر؛ هرچه کتاب‌ها به‌روزتر و منابع دانشگاهی و تحقیقاتی شناخته شده‌تر بوده و از وزن علمی بالاتری برخوردار باشند در پژوهش با اطمینان بیشتری می‌توان از آنها استفاده نمود؛

۲. مقالات علمی منتشر شده در مجلات علمی - پژوهشی و علمی - بین‌المللی؛

۳. پایان‌نامه‌های دکتری و کارشناسی ارشد دانشجویان دانشگاه‌ها؛

۴. مقالات منتشر شده در همایش‌ها و کنفرانس‌های علمی معتبر؛

۵. سایت‌های علمی شبکه اینترنت.

لازم به ذکر است که معمولاً مطالب منتشر شده در روزنامه‌ها و نشریات غیرعلمی و غیرتخصصی قابل استناد یا استفاده در یک پژوهش علمی و یا تنظیم یک مقاله پژوهشی نیستند.



فصلنامه علمی
دانش پیشگیری و مدیریت بحران
تابستان ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۲

فهرست

۱۳۷	ارزیابی روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای تحت اثر گرمایش جهانی در استان تهران نیلوفر محمدی، زهرا حجازی‌زاده، پرویز ضیائی‌ان فیروزآبادی، علیرضا کربلائی
۱۴۷	پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل منطق فازی، نمونه موردی: حوضه آبخیز لواسانات صیاد اصغری سراسکانرود، عقیل مددی، ماهرخ سردهشتی
۱۶۳	شناسایی پیشران‌ها و پیامدهای کنشگری مؤثر رسانه‌های جریان اصلی در مدیریت بحران‌های اجتماعی-سیاسی ایران میترا افضلی فاروچی، فاطمه استارمی
۱۸۵	ارائه الگوی همکارانه کم‌کمرسانی در مدیریت بحران به‌منظور حداکثرسازی ارائه پوشش بشردوستانه به مناطق آسیب‌دیده از مخاطرات طبیعی گلنوش چهارمی رجبی، راضیه کشاورز فرد
۲۰۵	مدل‌سازی و تحلیل دو سطحی مکان‌یابی - مسیریابی برای بهینه‌سازی امدادرسانی در بلایای طبیعی حسین جمالی، مهدی کبیری نائینی، زینب الهی
۲۳۳	ارائه مدل ارزیابی و تحلیل ریسک دینامیک نشت گاز هیدروژن در یک واحد کلرزنی نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از تکنیک پاپیونی ایرج محمدقائم طاهره اسکندری
۲۴۵	ارزیابی تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی محدوده عملیاتی ایستگاه‌های آتش‌نشانی منطقه ۲۰ شهر تهران با استفاده از سامانه GIS اسلام‌علی خداپندهلو، امیرهومن حمصی، اکرم‌الملوک لاهیجانیان، امیرحسام حسینی، علی محمدی

Research Paper

Spatiotemporal Changes in Regional Temperature Influenced by Global Warming in Tehran Province, Iran



Niloofar Mohammadi¹, *Zahra Hejazizadeh¹, Parviz Zeaiean Firouzabadi², AliReza Karbalaee²

1. Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

2. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.



Citation Mohammadi, N., Hejazizadeh, Z., Zeaiean Firouzabadi, P., Karbalaee, A. (2025). [Spatiotemporal Changes in Regional Temperature Influenced by Global Warming in Tehran Province, Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):124-143. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.904.1>

doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.904.1>

ABSTRACT

Background and objective Urban development has changed the characteristics of the land surface. These changes have the potential to influence weather patterns at a local scale. Consequently, with the rise in temperature, urban areas face a significant challenge known as the urban heat island (UHI) effect. This study aims to investigate the spatiotemporal changes in regional temperature and the UHI extent in Tehran Province, Iran, using both meteorological and remote sensing data.

Method Daily temperature data from synoptic stations in Tehran (Shemiran, Chitgar, Mehrabad, Abali, Firuzkuh, and Geophysics) from 1996 to 2020 were obtained from the National Meteorological Organization to examine the temperature change using the Mann-Kendall test. To measure the regional average temperature based on MODIS images, the monthly land surface temperature (LST) data during 2014-2024 were downloaded from NASA's website and calculated in ArcGIS Pro software. To prepare the UHI map, profile, and extent, Landsat 8 satellite images for 2024 were obtained from the USGS website and the thermal profile was drawn for the Tehran districts (1, 9, 18, 22) based on the highest LST. The Climate Engine application was used to prepare the maps for the normalized difference vegetation index (NDVI) and LST between 2013 and 2024.

Results All stations' temperatures showed an increasing trend except for Chitgar. The highest regional temperatures were seen in July and August. In 2015, Varamin and Rey cities experienced the highest LST in these months (52.5 °C), which increased to 52.97 °C in 2018. The study of the relationship between the trend in NDVI and LST showed a direct and inverse relationship. The examination of the UHI extent showed that the heat sources were in the south, southeast, west, southwest, and northern regions of Tehran. The air temperature and LST both showed similar and consistent change patterns in June and July.

Conclusion This study reveals that climate change, caused by global warming, summer subtropical high-pressure system, and air subsidence in Iran, as well as increased greenhouse gas emissions, land-use changes, and vegetation loss, have significantly altered the spatiotemporal patterns of temperature in urban areas of Tehran. The findings of this research can be utilized in developing long-term plans for adapting to climate change in the field of urban crisis management.

Keywords Climate Change, Greenhouse gases, Land surface temperature, Vegetation index, MODIS, Global warming

Article Info:

Received: 21 Nov 2024

Accepted: 02 Mar 2025

Available Online: 01 Jul 2025

* Corresponding Author:

Zahra Hejazizadeh, Professor.

Address: Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 88329220

E-mail: hejazizadeh@khu.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Today, with the development of urbanization, cities have influenced the local, regional, and even global climate. One of the key elements in climatology studies is microclimate, since the effects of small local climates cause global climate changes. These changes have significantly contributed to the increase in the average global temperature. Vegetation loss, changes in land use, migration from rural to urban areas (population growth), agriculture, deforestation, and most importantly, the increase in greenhouse gases and the heat dissipated by human activities have caused urban warming and intensified the heat island effect in cities. This study aims to investigate the spatiotemporal changes in regional temperature and the extent of the urban heat island (UHI) in Tehran Province, Iran.

Methods

To investigate the temperature, the Mann-Kendall statistical test and Landsat 8 satellite and MODIS images were used. In the first step, the daily temperature of Tehran synoptic stations (Shamiran, Chitgar, Mehrabad, Abali, Firouzkoh, and Geophysics) from 1996 to 2020 were obtained from the National Meteorological Organization. Then, to investigate the trend of temperature change based on a monthly time series over time, the Mann-Kendall test was used. To measure the average regional temperature based on the MODIS images (MOD11C3 product), 53 monthly time series images of land surface temperature (LST_Day_CMG) were downloaded from the NASA's website for the years 2014-2024. Then, in order to prepare the map and profile of the UHI, Landsat 8 satellite images (band 10) were obtained for a period of one year (2024). After determining the maximum land surface temperature (LST) in Tehran, the temperature profiles of four districts (no. 1, 18, 9, 22) from among 22 different districts were drawn. Finally, using the Climate Engine software, the normalized difference vegetation index (NDVI) and LST changes were investigated.

Results

Temperature time series analysis of selected stations (Shamiran, Chitgar, Mehrabad, Abali, Firouzkoh, and Geophysics) for 1996-2020 showed an increasing trend in all stations except for Chitgar station. Examining the average regional temperature of cities in Tehran Province for the years 2014-2024 based on the MODIS data

showed the highest regional temperature in July and August. In these months of 2015, Varamin and Rey cities experienced the highest LST (52.50 °C). Three years later in these months of 2018, this figure reached 52.97 °C. In 2022 and 2023, in the same months, Varamin, Mallard, Rey, Pakdasht, and Pishva cities experienced a temperature of 48 °C.

Expansion of construction, vegetation loss, and consumption of fossil fuels were the factors involved in increasing the LST. Investigating the relationship between the trend in NDVI and LST based on Landsat 8 images between 2013 and 2024 showed that they had a direct and inverse relationship with each other, such that in June, July, and August of 2017, 2019, and 2024, it was observed that with a slight increase in NDVI, the LST reached 51.21 °C. This was more evident in the western, northern, and southwestern regions. Moreover, on October 28, 2020, the NDVI was -0.0, while in December and November of 2018, 2023, and 2021, it reached -0.03, -0.03, and -0.04, respectively. Thus, the slight increase in vegetation cover has not been able to justify the increase in temperature in the summer and autumn seasons. Investigating the expansion of UHI based on Landsat 8 images in 2024 showed that the most heat sources were in the south, southeast, west, north, southwest, and northern areas of Tehran, but the LST in June 2024 reached 52 °C, which was more evident in districts 9 and 22. Although air temperature and LST showed different values in the districts of Tehran, they had similar patterns of changes in June and July.

Conclusion

This study reveals that climate change, caused by global warming, summer subtropical high-pressure system, and air subsidence in Iran, as well as increased greenhouse gas emissions, land-use changes, and vegetation loss, have significantly altered the spatiotemporal patterns of temperature in urban areas of Tehran. The findings of this research can be utilized in developing long-term plans for adapting to climate change in the field of urban crisis management.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered. Since there was no experiment on human or animal samples, the need for an ethical code was waived.



Funding

This work is based upon research funded by [Iran National Science Foundation \(INSF\)](#) under project (Grant No.:4038495).

Authors' contributions

Conceptualization, software/statistical analysis, and initial draft preparation: Niloofar Mohammadi; Supervision, review and editing: Zahra Hejazizadeh, Parviz Zeaiean Firouzabadi, and Alireza Karbalaee.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the [Iran National Science Foundation \(INSF\)](#) for the financial support.



مقاله پژوهشی

ارزیابی روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای تحت اثر گرمایش جهانی در استان تهران

نیلوفر محمدی^۱، * زهرا حجازی‌زاده^۲، پرویز ضیائی‌ان فیروزآبادی^۳، علیرضا کریم‌لائی^۴

۱. گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۲. گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Use your device to scan and read this article online



Citation: Mohammadi, N., Hejazizadeh, Z., Zeaiean Firouzabadi, P., Karbalaee, A. (2025). [Spatiotemporal Changes in Regional Temperature Influenced by Global Warming in Tehran Province, Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):124-143. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.904.1>

doi: <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.904.1>

حکیم

چکیده و هدف: شهرها با توسعه خود به‌طور قابل توجهی ویژگی‌های سطح زمین را تغییر داده‌اند. این تغییرات توانسته در مقیاس محلی بر الگوهای آب‌وهوایی اثر داشته باشد. بنابراین شهرها با افزایش دما، با یک چالش بزرگ به نام جزیره حرارتی مواجه شده‌اند. هدف این مطالعه، بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای و گسترده‌ی جزیره حرارتی در استان تهران است. یکی از رویکردهای نوآورانه در این پژوهش تلفیق دید هواشناسی و سنجش از دور است.

روش: داده‌های دمای روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک تهران (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی جهت بررسی روند دما با آزمون من کندال، اخذ شد. جهت محاسبه میانگین دمای منطقه‌ای، تصاویر سنجنده مودیس دمای ماهانه سطح زمین از سایت ناسا طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ دانلود و در محیط Arc GIS Pro محاسبه شد. جهت تهیه نقشه، پروفیل و گسترده‌ی جزیره حرارتی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در سال ۲۰۲۴، از سایت USGS دریافت شد و پروفیل حرارتی مناطقی از تهران (۲۲، ۱۸، ۹، ۱) براساس بالاترین دمای سطح زمین، ترسیم شد. جهت تهیه نقشه روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴، از برنامه Climate Engine بهره گرفته شد.

یافته‌ها: الگوی رفتاری دما در ایستگاه‌های شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک به‌جز چیتگر افزایشی بود. بررسی میانگین دمای منطقه‌ای شهرستان‌های تهران بالاترین دمای منطقه‌ای را در ماه‌های جولای و آگوست نشان داد که در سال ۲۰۱۵ شهرستان‌های ورامین و ری بالاترین دمای رویه زمین را با ۵۲/۵۰ درجه سانتی‌گراد تجربه کردند. در سال ۲۰۱۸ در همین ماه‌ها این رقم به ۵۲/۹۷ درجه سانتی‌گراد رسید. بررسی روند رابطه شاخص پوشش گیاهی و دمای رویه زمین نشان داد این دو با هم رابطه مستقیم و معکوسی دارند. بررسی گسترش جزیره حرارتی نشان داد تمرکز کانون گرما در نواحی جنوب، جنوب شرق، غرب و شمال و جنوب غرب و مناطق شمالی تهران است. شاخص اقلیمی دمای هوا و دمای رویه زمین هر دو از لحاظ الگوی تغییرات دما در ماه‌های ژوئن و جولای مشابه هم بودند و عملکرد یکسانی داشتند.

نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان می‌دهد تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی، استقرار پر فشار جنب حاره تابستانه و فرونشینی هوا در ایران، همراه با افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات کاربری اراضی، به‌ویژه از بین رفتن پوشش گیاهی، موجب شده است الگوهای دمایی در مناطق شهری تهران دستخوش تغییرات مکانی و زمانی قابل توجهی شوند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در تدوین برنامه‌های بلندمدت برای سازگاری با تغییر اقلیم از حیطة مدیریت بحران در شهرها مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، دمای سطح زمین، گازهای گلخانه‌ای، مودیس، مدل‌سازی

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر زهرا حجازی‌زاده

نشانی: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه آب و هواشناسی.

تلفن: +۹۸ (۲۱) ۸۸۳۲۹۲۲۰

پست الکترونیکی: hejazizadeh@khu.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

امروزه با گسترش شهرنشینی، شهرها بر اقلیم محلی، منطقه‌ای تا سطح جهانی اثر گذاشته‌اند و توانسته‌اند بر الگوهای آب‌وهوایی اثرات قابل‌توجهی داشته باشند (آدیری و همکاران، ۲۰۲۴؛ امانوئل و کروگر، ۲۰۱۲). تغییرات آب‌وهوایی در سطح جهانی ناشی از اثرات اقلیم‌های کوچک محلی است. این تغییرات به‌طور قابل‌توجهی به افزایش میانگین دمای جهانی کمک کرده است (دَمیس نکس و همکاران، ۲۰۲۴؛ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۱). از بین بردن پوشش گیاهی، سطوح غیرقابل نفوذ، محدود بودن فضاهای سبز و آبی، تغییرات کاربری، مهاجرت از روستا به شهر (افزایش جمعیت)، کشاورزی، جنگل‌زدایی و مهم‌تر از همه افزایش گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی موجب گرمایش شهری و تشدید جزیره حرارتی در شهرها شده است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۴؛ آلسوابکه و همکاران، ۲۰۲۴؛ حجازی‌زاده و مقیمی، ۱۳۸۱؛ حجازی‌زاده و مقیمی، ۱۳۸۶).

مناطق شهری در مقایسه با محیط روستایی، دستاوردهای حرارتی بالاتری دارند، این دینامیک به‌عنوان پدیده جزیره گرمایی شهری شناخته شده است (لیو و همکاران، ۲۰۲۴؛ حجازی‌زاده و مقیمی، ۱۳۸۱). از دیدگاه اقلیمی، ۳ مؤلفه اصلی (سامانه‌های همدید، باد و ابرناکی) بر شدت و ضعف جزیره حرارتی نقش دارند. در زمانی که آسمان بدون ابر باشد، اختلاف دما بین شهر و روستا زیاد است و در شرایطی که همراه با سرعت باد و هوا ناپایدار باشد، اختلاف حرارتی بین شهر و روستا کم می‌شود و از شدت جزیره حرارتی کاسته می‌شود. اما شدت جزیره حرارتی در زمان استقرار سامانه‌های آنتی‌سیکلونی بیشتر از شرایط سیکلونی است (اسکورو، ۱۳۷۷؛ خداجو و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین جزیره حرارتی بر عناصر اقلیمی اثرگذار است. این مشکل در آینده به دلیل تغییر اقلیم در شهرها شدیدتر خواهد شد (جی و همکاران، ۲۰۲۴؛ لو و همکاران، ۲۰۲۴). در ایران، تهران یکی از استان‌هایی است که با تمام مشکلات عنوان‌شده، بافتی متراکم با بالاترین نرخ جمعیت و شهرنشینی و صنعت دارد (سودودی و همکاران، ۲۰۱۴؛ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۱).

تهران، تاکنون ۱۷ موج گرمایی را تجربه کرده است که منجر به مرگ‌ومیر ۱۰۶۹ نفر شده است (احمدنژاد و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین انجام مطالعه‌ای جهت روند تغییرات مکانی و زمانی دما در این استان ضروری به نظر می‌رسد. پیشینه مطالعاتی نشان می‌دهد زمینه پژوهش در حیطه گرمایش جهانی از سال ۱۹۱۱ در انجمن سلطنتی هواشناسی آغاز شد و در انگلستان، ثبت دما از سال ۱۶۵۹ به‌صورت منظم شروع شده است (عزیزی، ۱۳۸۳). این داده‌ها، زمینه‌ای ارزشمند برای تحلیل روند تغییرات دمایی در طول سالیان را فراهم آورده‌اند (وایل و وایتهد، ۲۰۱۳).

لوک هاوارد، نخستین فردی است که در سال ۱۸۰۶ تفاوت دمای شهر لندن و حومه را با در نظر داشتن تراکم و توسعه شهری مورد مطالعه قرار داد (استورات، ۲۰۱۹). مرور مطالعات نشان می‌دهد، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه روند دمای منطقه‌ای و میانگین دمای جهانی انجام شده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۴) و از دیرباز تا کنون مطالعه جزیره حرارتی و تغییر اقلیم در شهرها مورد اقبال پژوهشگران داخل و بین‌المللی است. از لحاظ روش‌شناسی مطالعه جزیره حرارتی و دمای رویه زمین به ۲ دسته (فناوری سنجش از دور و مدل‌سازی) تقسیم شده است. دسته اول، روش سنجش از دور، در پژوهش‌ها به‌عنوان تکنیکی در نظر گرفته شده است که امکان پایش جزیره حرارتی در سطح شهری (یک منطقه بزرگ) در یک زمان معین را دارد و آن را پوشش می‌دهد. دسته دوم، روش مدل‌سازی، برای تحلیل و شبیه‌سازی محیط‌های حرارتی در یک بخش شهری است و شامل مدل‌های جوی، مدل‌های دینامیکی است که توزیع دمای منطقه‌ای و مبادلات تابشی و حرارتی بین بافت شهری و جو را بررسی می‌کنند (بهی و همکاران، ۲۰۲۰).

در این راستا، رنجبر سعادت و همکاران (۱۳۸۴)، به مطالعه شبیه‌سازی عددی جزیره حرارتی تهران با مدل MM5 پرداختند. نتایج نشان داده در زمان استقرار توده هوای گرم، شرایط گسترش جزیره حرارتی در شب شکل نمی‌گیرد و شدت ضعیفی دارد، اما در زمانی که توده هوای سرد استقرار دارد، شدت جزیره حرارتی بیشتر است و در نیمه شمالی تهران شکل می‌گیرد. مطالعه شکیب و همکاران (۱۳۸۸)، در رابطه با پوشش اراضی و جزیره حرارتی در تهران نشان داد ضمن اینکه جذب و ذخیره انرژی تابشی در سطوح غیرقابل نفوذ اثر گرمایشی دارد، پوشش گیاهی با ایجاد تعادل بین تبخیر و تعرق و ایجاد سایه اثر خنک‌کننده دارد. صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۱)، به مطالعه تحلیل مکانی‌زمانی جزیره حرارتی در کلان‌شهر تهران پرداختند و نتایج این پژوهش نشان داده است در مناطق غربی و جنوب غرب تهران به دلیل کاهش پوشش گیاهی و توسعه کاربری‌های کارگاهی و صنعتی جزیره حرارتی شدت داشته است.

مسعودیان و ترکی (۱۳۹۸)، به بررسی تغییرات زمانی مکانی جزیره حرارتی در اهواز پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد اهواز در روز به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد سردتر است، بنابراین با رخداد جزیره سرمایی روبه‌رو است. این در حالی است که در شب ۲/۲ درجه سانتی‌گراد از محیط اطرافش گرم‌تر بوده و دمای بالاتری دارد که با شکل‌گیری جزیره حرارتی روبه‌رو است. شیخی و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی شبیه‌سازی عددی عملکرد برنامه‌های کنترلی جزیره گرمایی تابستانه با مدل میان مقیاس WRF در تهران پرداختند. نتایج نشان داد باتوجه به توپوگرافی تهران و دمای بالا در این منطقه، سناریوی تغییر آلوده سطوح، بالاترین اثر را در سطح زمین نسبت به ۲ سناریوی کاهش تراکم ساختمانی و افزایش مناطق سبز شهری دارد. در نتیجه تهران در



مقابل استرس گرمایی آسیب‌پذیری بالایی را دارا است.

نصیری و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی تغییر اقلیم و چالش‌های ارزیابی کمی تغییر اقلیم در تهران پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داده است باتوجه به مناطق پرتراکم تهران، طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰) این کلان‌شهر افزایش دما و کاهش رطوبت را تجربه کرده است که اثرات تغییر اقلیم با شکل‌گیری جزیره حرارتی خیلی بیشتر خواهد شد. **مفتاحی و همکاران (۱۴۰۱)**، به بررسی تغییرات فضایی زمانی الگوی جزیره حرارتی در تهران پرداختند. نتایج نشان داد در مناطق شمالی تهران میزان نقاط سرد قابل توجه است. درحالی که در محدوده‌های غرب، غربی و جنوب شرق تهران شکل‌گیری نقاط داغ شدت داشته است. در نهایت، آزاده و اعتمادی‌کیا (۱۴۰۳)، در مطالعه‌ای مدل‌سازی گسترش فضایی جزایر حرارتی در رشت را مورد واکاوی قرار دادند. نتایج هم‌پوشانی شاخص‌ها نشان داد در محلات پیرسرا و ضیابری روند گسترش فضایی جزیره حرارتی بیشتر است و در ۲۶ محله کلان‌شهر رشت، احتمال شکل‌گیری جزیره حرارتی بسیار بالاست.

لی و همکاران (۲۰۰۴)، به مطالعه اثر جزیره حرارتی بر میانگین دمای سالانه طی ۵۰ سال گذشته در چین پرداختند. نتایج نشان داد اثر جزیره حرارتی بر میانگین دمای سالانه از منطقه‌ای به منطقه دیگر تفاوت داشت. در دره رودخانه یانگ تسه و جنوب چین، اثر جزیره حرارتی روند گرمایش را حدود ۰/۱۱ درجه سانتی‌گراد در هر دهه افزایش داده است. درحالی که در شمال شرق، شمال چین، و شمال غربی، جزیره حرارتی اثر جزئی بر روند گرم شدن دمای سالانه منطقه دارد. **شوال و همکاران (۲۰۰۹)**، به بررسی جزیره حرارتی و اثر دماهای حدی در جولای ۲۰۰۷ در بخارست پرداختند. نتایج نشان داده است در روز، دماهای حدی تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های جزیره حرارتی ایجاد می‌کند، به‌طوری که قادر است شدت جزیره حرارتی را در مناطقی محو و پراکنده کند یا گسترش دهد و در برخی نقاط دیگر باعث شود جزیره‌های حرارتی جابه‌جا شود.

لاووت و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی جزیره حرارتی برای ۸ مورد از شهرهای جهان با بهره‌گیری از مدل‌های URBCLIM و CMIP5 پرداختند. نتایج نشان داد طبق سناریوی RCP8.5 (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و افق آبی (۲۰۸۱-۲۱۰۰) در همه شهرهای مدنظر (آلماتا، آنتروپ، برلین، بیلباتو، لندن، نیویورک، ریودوژانیرو و اسکوپیا) هم دمای شهری و روستایی تا ۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و به‌شدت گرم‌تر خواهد شد. اما گسترش شدت جزیره حرارتی در برخی از شهرها ضعیف‌تر خواهد بود. در مطالعه‌ای گالدیس و لو (۲۰۲۰)، به بررسی اثرات جزیره حرارتی، دماهای حدی و تغییر اقلیم با بهره‌گیری از مدل MAGICC/SCENGEN و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در هنگ‌کنگ پرداختند. آن‌ها دریافتند شکل‌گیری و اثرات جزیره حرارتی در

مناطق شهری و حومه در زمان رخداد موج گرما شدت و گسترش می‌یابد این در حالی است که وجود فضاهای سبز شهری می‌تواند اثر جزیره حرارتی را به حداقل برساند.

تانویسی‌تیون و همکاران (۲۰۲۳)، به مطالعه پیش‌نمایی روند جزیره حرارتی ناشی از تغییر اقلیم و دمای رویه زمین طبق سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در تایلند پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داده است درحالی که شاخص‌های حدی سرد روند نزولی را نشان داده است، شاخص‌های گرم روند افزایشی و صعودی داشته است؛ یعنی در ماه‌های آینده تایلند دماهای بالاتری را تجربه خواهد کرد که این مسئله به تشدید جزیره حرارتی و افزایش دمای سطح زمین کمک خواهد کرد.

سیسوانتو و همکاران (۲۰۲۳)، به مطالعه ویژگی‌های مکانی و زمانی جزیره حرارتی در جاکارتا پرداختند. نتایج نشان داده است دمای روزانه و شبانه در مرکز شهر بسیار بالاتر از نواحی اطراف بوده است. به‌طوری که اختلاف دمای رویه زمین بین ۳ الی ۶ درجه سانتی‌گراد و دمای هوا بین ۱ الی ۲/۵ درجه سانتی‌گراد بین نواحی مرکزی شهر و نواحی اطراف کاملاً مشهود است. باتوجه به فعالیت‌های اقتصادی، رشد جمعیت اثرات قابل توجهی در شدت جزیره حرارتی خواهد داشت و شدت و گسترش جزیره حرارتی بیشتر در جهت شمال به جنوب و شرق به غرب جاکارتا بوده است. **بونچی و همکاران (۲۰۲۴)**، به بررسی توسعه جزیره حرارتی و گرمایش جهانی از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ در زاگرب (کرواسی) پرداختند. این پژوهش نشان داده است تغییرپذیری دما (روزانه، ماهانه و سالانه) در کلیه ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است. به‌طوری که بیشترین شدت جزیره حرارتی در ایستگاه ماکسی‌میر مشاهده شده است.

گوپتا و همکاران (۲۰۲۴)، به مطالعه ارزیابی مشخصه‌های حرارتی و دینامیک سطح زمین در هند پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داد ضمن اینکه بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ دما در فصل تابستان حدود ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است، شدت جزیره حرارتی ۲۸/۵۲ درصد نسبت به ۲ دهه اخیر در فصل زمستان افزایش یافته است. این افزایش دما و توسعه جزیره حرارتی به عواملی چون کاربری اراضی و الگوهای آب‌وهوای محلی مرتبط بود. همان‌گونه که پیشینه مطالعاتی نشان می‌دهد قسمتی از مطالعات یا به گرمایش جهانی یا به جزیره حرارتی اختصاص داشته است و مطالعاتی مشابه از گذشته تا کنون توسط پژوهشگرانی (منصوری و همکاران، ۱۴۰۰؛ صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱؛ شکبیا و همکاران، ۱۳۸۸) صورت گرفته است، اما شکاف مطالعاتی موجود، تفاوت در مقیاس‌های زمانی و مکانی، همچنین فقدان یک مطالعه جامع در دید گسترده‌تر کل مناطق تهران و پیوند آن با گرمایش جهانی است.

مطالعات بسیار اندکی در ارتباط با روند تغییرات فضایی و زمانی به‌صورت میانگین دمای منطقه‌ای از منظر گسترش جزیره



۱۳۹۱؛ علی محمدی، ۱۳۸۸؛ آمارنامه شهر تهران، ۱۳۹۶).

داده‌ها

در این پژوهش به ۲ روش هواشناسی و فناوری سنسور از دور پرداخته شده است. مطالعه حاضر، از نوع کمی، اسنادی و کتابخانه‌ای است. تمرکز این پژوهش بر بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای و گستردگی جزیره حرارتی در استان تهران است. بررسی منابع و پیشینه بر پایه مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای است و جهت بررسی دما از ترکیب روش‌های آزمون آماری من‌کندال و تصاویر ماهواره‌ای جهت تحقق هدف بهره گرفته شده است. در گام اول داده‌های پارامتر دمای روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک تهران (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. طبق توصیه سازمان هواشناسی برای بررسی تغییر اقلیم نیاز به داده‌های بالای ۳۰ سال است (شیخ و همکاران، ۱۴۰۰).

مبنای انتخاب ایستگاه‌ها براساس دوره آماری مشترک است. طبق داده‌های دریافتی از سازمان هواشناسی کشور، داده‌های پارامترهای اقلیمی، از جمله دمای استان تهران از سال ۱۹۵۱ در برخی از ایستگاه‌ها در دسترس بود، اما در ایستگاه‌های دیگر به دلیل تازه تأسیس بودن ایستگاه‌ها یا فقدان دوره آماری مشترک و نواقص آماری، نیاز به بازسازی بلندمدت داده‌ها (بیشتر از ۳ سال) داشت که در مطالعات تغییر اقلیم توصیه نمی‌شود (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۴). بنابراین از بین ۱۲ ایستگاه سینوپتیک تهران، تنها ۶ ایستگاه (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) که دارای دوره مشترک آماری بالای ۲۰ سال بودند انتخاب شدند و سپس کنترل کیفی داده‌ها انجام شد. جهت بررسی روند پارامتر دما به صورت سری زمانی ماهانه، از گذشته تاکنون (در طول زمان) از آزمون من‌کندال که یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین ابزارهاست، بر پایه آماره Z، براساس سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد از ماکرواکسل بهره گرفته شده است (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۲؛ رحیم‌زاده و عسگری، ۱۳۸۳؛ سلمی، ۲۰۰۲؛ کایر و همکاران، ۲۰۱۲).

مطالعه دمای سطح زمین در مطالعات اقلیم‌شناسی یکی از متغیرهای مهم است و از نظر پژوهشگران کاربردهای متعددی در علوم محیطی داشته است (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲)، بنابراین در گام بعدی جهت محاسبه میانگین دمای منطقه‌ای از تصاویر سنجنده مودیس (MOD11C3) استفاده شد. ۵۳ تصویر سری زمانی ماهانه پارامتر دمای سطح زمین (LST_Day_CMG) از سایت ناسا طی سال‌های ۲۰۱۴ الی ۲۰۲۴ برای دوره گرم سال با فرمت HDF دانلود شد (کربلاتی و همکاران، ۱۴۰۰).

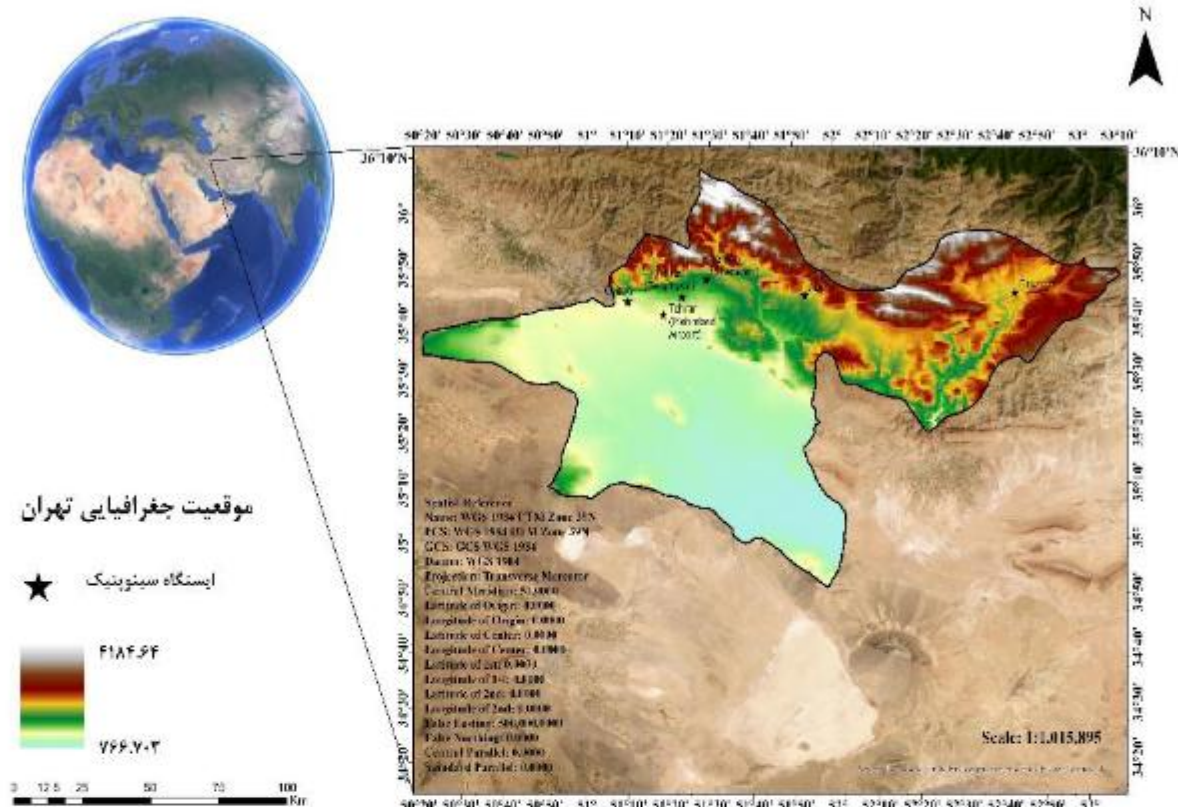
حرارتی صورت گرفته است که آن را به گرمایش جهانی نسبت می‌دهد. بنابراین در این مطالعه به صورت چشمگیر به این موضوع پرداخته شده است. به عبارتی دیگر، یکی از رویکردهای نوآورانه در این پژوهش تلفیق دید هواشناسی و سنسور از دور است که با به کارگیری داده‌های مودیس و لندست برای اولین بار میانگین دمای منطقه‌ای شهرستان‌های تهران همراه با پروفیل حرارتی از مناطق مستعد به گرمایش جهانی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف این پژوهش بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای و گستردگی جزیره حرارتی در استان تهران است. حال سؤال این است تا چه اندازه روند دمای هوا و تغییرات مکانی و زمانی در سطح زمین توانسته است در گسترش جزیره حرارتی در مناطق استان تهران تأثیرگذار باشد؟ در این پژوهش سعی شده است جهت دستیابی به پاسخ، به چند طریق دمای سطح زمین و روند تغییرات فضایی و مکانی میانگین منطقه‌ای در استان تهران با بهره‌گیری از تکنیک‌ها، برنامه جدید مبتنی بر وب - Cli-mate Engine و داده‌های جدیدتر مورد واکاوی قرار گیرد.

روش

استان تهران در موقعیت جغرافیایی بین $35^{\circ}00'$ تا $37^{\circ}00'$ عرض شمالی و $49^{\circ}00'$ تا $53^{\circ}00'$ درجه طول شرقی قرار دارد (تصویر شماره ۱). این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود می‌شود، دارای ۱۶ شهرستان و طبق سرشماری سال ۱۳۹۵، دارای ۱۳۶۳۷۲۶۷ نفر جمعیت است. پرجمعیت‌ترین شهرستان استان، شهر تهران است که پرجمعیت‌ترین شهر در غرب آسیا و دومین کلان‌شهر خاورمیانه است (مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، ۱۳۷۹؛ سودودی و همکاران، ۲۰۱۴؛ آمارنامه شهر تهران، ۱۳۹۶). آسفالتهای شهری، وجود وسایل نقلیه، حرارت ناشی از احتراق موتور، ادامه داشتن ساخت‌وسازها، رها شدن مواد سمی همچون سرب مائعی جهت داشتن شهری پایدار است و درواقع تهران از لحاظ زیست‌محیطی رو به توسعه ناپایدار شهری پیش رفته است (طباطبائی، ۱۳۹۲).

باتوجه به موقعیت خاص جغرافیایی (اختلاف ارتفاع در شمال و جنوب آن و ارتفاع زیاد از سطح دریا) این استان شرایط دارای نامتعادل تراکم و بافت شهری است. به عبارتی حدود ۳۰۰۰ متر اختلاف ارتفاع بین بلندترین نقاط مرتفع استان تا پایین‌ترین نقاط وجود دارد و تغییر در رطوبت و دما در سطح استان بارزتر است (اسکندریان، ۱۳۹۴). تهران از لحاظ جریانات جوی، تحت اثر جریانات سیبری و مدیترانه است و توزیع مکانی و زمانی دما و بارش در این استان رابطه معکوسی دارد. به طوری که از لحاظ بارشی وضعیت مناسبی ندارد. متوسط بارش سالیانه حدود ۲۶۳/۹ میلی‌متر و بیشترین بارش سالیانه ۶۰۰ میلی‌متر است و جزو اقلیم نیمه‌خشک محسوب می‌شود (فلاحی و همکاران،

1. <https://search.earthdata.nasa.gov/search>



تصویر ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (استان تهران).

زمین^۲ طی بازه زمانی در دسترس ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۴، از برنامه مبتنی بر وب (Climate Engine) و از روش آماری من‌کنندال در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، بهره گرفته است (هانتینگتون و همکاران، ۲۰۱۷). Climate Engine برنامه‌ای مبتنی بر وب و رایگان است که بسیار مورد توجه و پسند کاربران قرار گرفته است. ابزاری است که از داده و اطلاعات سامانه Google Earth Engine استفاده می‌کند، اما از این نظر منحصر به فرد است که دسترسی آسان، تجزیه و تحلیل و دانلود مجموعه داده‌های رصد زمین بدون نیاز به کدنویسی فراهم می‌کند. این ابزار کاربر را قادر می‌کند تا نقشه‌ها و خلاصه سری‌های زمانی را از مجموعه کاملی از داده‌ها (هواشناسی، هیدرولوژی و فناوری سنجش از دور) تولید و استخراج کند. از آنجایی که این برنامه جهت پردازش مجموعه‌ای جامع از متغیرها است، می‌توان جهت تهیه روند نقشه سری زمانی بلندمدت جهت هشدار اولیه اثرات آب‌وهوایی مانند خشکسالی، آتش‌سوزی جنگلی، کشاورزی را ارائه داد (هانتینگتون و همکاران، ۲۰۱۷) (تصویر شماره ۲).

روند سری زمانی شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۴ استان تهران با بهره‌گیری از تصاویر

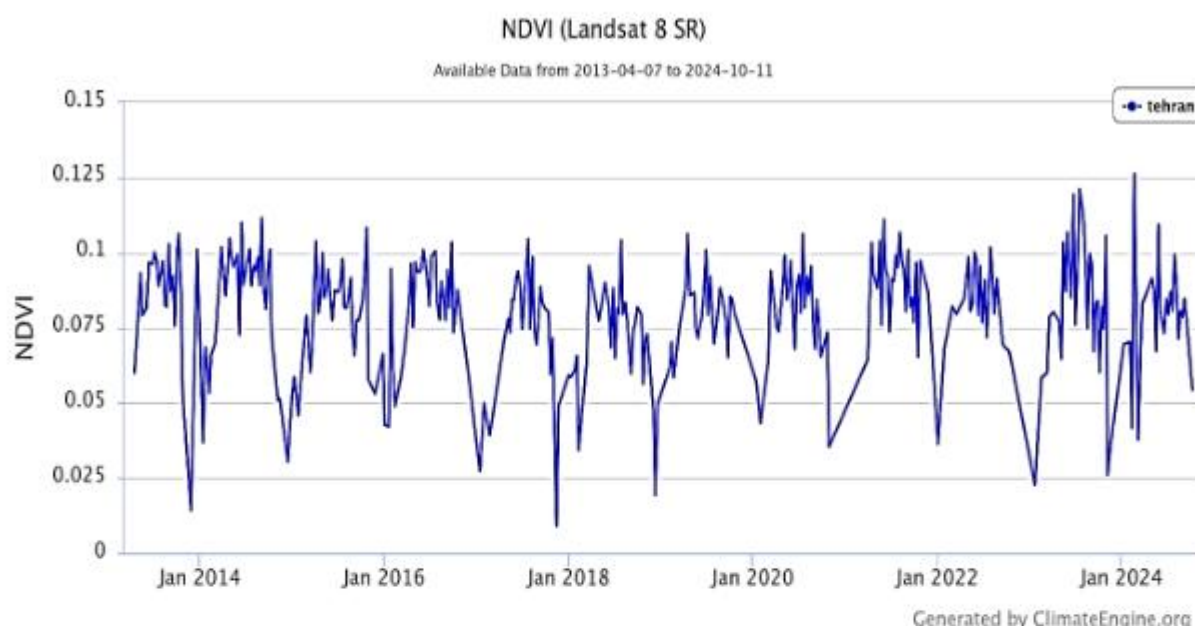
مسعودیان، ۱۳۸۹). این محصول دمای ماهانه رویه سطح زمین را در دوره روزانه و شبانه در شرایط آسمان صاف، به طول و عرض جغرافیایی ۰/۰۵ درجه ارائه می‌دهد (وان، ۲۰۰۷) و بعد از تبدیل واحد درجه از کلون به سانتی‌گراد، از تابع آمار منطقه‌ای جهت برآورد میانگین دمای منطقه‌ای در محیط Arc GIS Pro بهره گرفته شد (طیعی و همکاران، ۲۰۱۸؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). سپس جهت تهیه نقشه، پروفیل و برآورد گستردگی جزیره حرارتی در مناطق شهری تهران از باند ۱۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در بازه زمانی ۱ سال (۲۰۲۴)، با تفکیک مکانی ۳۰ متر، از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده^۳ دریافت شد و در محیط Arc MAP جزیره حرارتی محاسبه شد و پس از بررسی بالاترین بیشینه دمای رویه سطح زمین از بین مناطق ۲۲ گانه، پروفیل حرارتی مناطق از تهران (۲۲، ۹، ۱۸، ۱) به‌عنوان نمونه براساس بالاترین دمای سطح زمین، ترسیم شد.

در نهایت این مطالعه برای نخستین بار در ایران به‌طور مستقیم، جهت تهیه نقشه روند تغییرات سری زمانی میانگین ماهانه شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی^۴ و دمای سطح

2. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

3. Normalized Difference Vegetation (NDVI)

4. Land surface temperature (LST)



تصویر ۲. روند سری زمانی ماهانه NDVI استان تهران در یازده زمانی ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۴

طبق این فرمول، n تعداد مشاهدات سری، و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j و k سری است که در ادامه همان‌طور که فرمول شماره ۲ نشان داده است تابع علامت sgn محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} sgn(x_j - x_k) &= +1 & \text{for } (x_j - x_k) > 0 \\ 2. \quad sgn(x_j - x_k) &= 0 & \text{for } (x_j - x_k) = 0 \\ sgn(x_j - x_k) &= -1 & \text{for } (x_j - x_k) < 0 \end{aligned}$$

در فرمول شماره ۳ محاسبه واریانس S را نشان داده است:

$$\begin{aligned} \text{for } n > 10 \\ 3. \quad var(s) &= \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^{n-1} t(t-1)(2t+5)}{18} \\ \text{for } n < 10 \\ var(s) &= \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \end{aligned}$$

در گام بعدی n و m تعداد دنباله‌هایی را نشان می‌دهد که در آن حداقل یک داده تکراری باشد. t معرف فراوانی داده با ارزش یکسان در یک دنباله بوده که در نهایت آماره Z با یکی از روابط زیر استخراج می‌شود (فرمول شماره ۴):

$$\begin{aligned} 4. \quad z &= \frac{s-1}{\sqrt{var(s)}} & \text{for } s > 0 \\ z &= 0 & \text{for } s = 0 \\ z &= s+1\sqrt{var(s)} & \text{for } s < 0 \end{aligned}$$

۳۰ متر لندست ۸ با استفاده از این پلتفرم نشان داده شده است و در این مطالعه جهت بررسی رابطه روند پوشش گیاهی و دمای سطح زمین از این ابزار آنلاین جهت صحت و دقت بهره گرفته شده است.

آزمون من‌کنندال

این آزمون جهت واکاوی روندهای یکنواخت در سری داده‌های محیطی، داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی استفاده می‌شود و ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و توسط کنندال (۱۹۷۵) توسعه پیدا کرد. این آزمون در سال ۱۹۸۸ توسط سازمان جهانی هواشناسی جهت تحلیل روند سری‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی پیشنهاد شد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۳؛ پولرت، ۲۰۲۰؛ سلمی، ۲۰۲۰؛ کانر و همکاران، ۲۰۱۲). در این مطالعه روند سری زمانی پارامتر اقلیمی (دما) براساس آماره Z در ماکرو اکسل بررسی شد. معنی‌داری یا عدم معنی‌داری متغیرها در ایستگاه‌های سینوپتیک (مهرآباد، شمیران، ژئوفیزیک، چیتگر، فیروزکوه و آبعلی) در مقطع زمانی ۲۴ ساله (۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰) محاسبه شد (فرمول شماره ۱):

$$1. \quad S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k)$$

$$sgn(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

کلیه ایستگاه‌ها به صورت مشترک در ماه‌های ژوئن و جولای روند افزایشی دما مشاهده شده است که در برخی ایستگاه‌ها معنی دار است. از طرفی، مهم‌ترین ویژگی اقلیمی تهران تغییرات دما است که از سال‌های گذشته افزایش داشته است و شدت روند آن از ماه ژانویه در ایستگاه‌های (شمیران و آبعلی) صعودی است. بنابراین روند مثبت دمای حداکثر بیشترین تغییرات در اکثر ماه‌ها به ایستگاه‌های شمیران، مهرآباد، آبعلی و فیروزکوه تعلق داشته است که علت تغییر ناگهانی دما (جهش) می‌تواند تحت اثر گرمایش جهانی و پرفشار جنب حاره باشد. ایران در کمربند خشک عرض میانه قرار دارد و در دوره گرم سال، با استقرار پرفشار جنب حاره، فرونشینی هوا، هوای گرم، خشک و آفتابی مواجه است و این موجب خشکی بیش‌تر هوا شده است. تغییرات پرفشار جنب حاره توانسته است موجب نوسانات عناصر اقلیمی همچون دما شود (فتاحیان، ۱۴۰۰؛ مسعودیان، ۱۳۸۹).

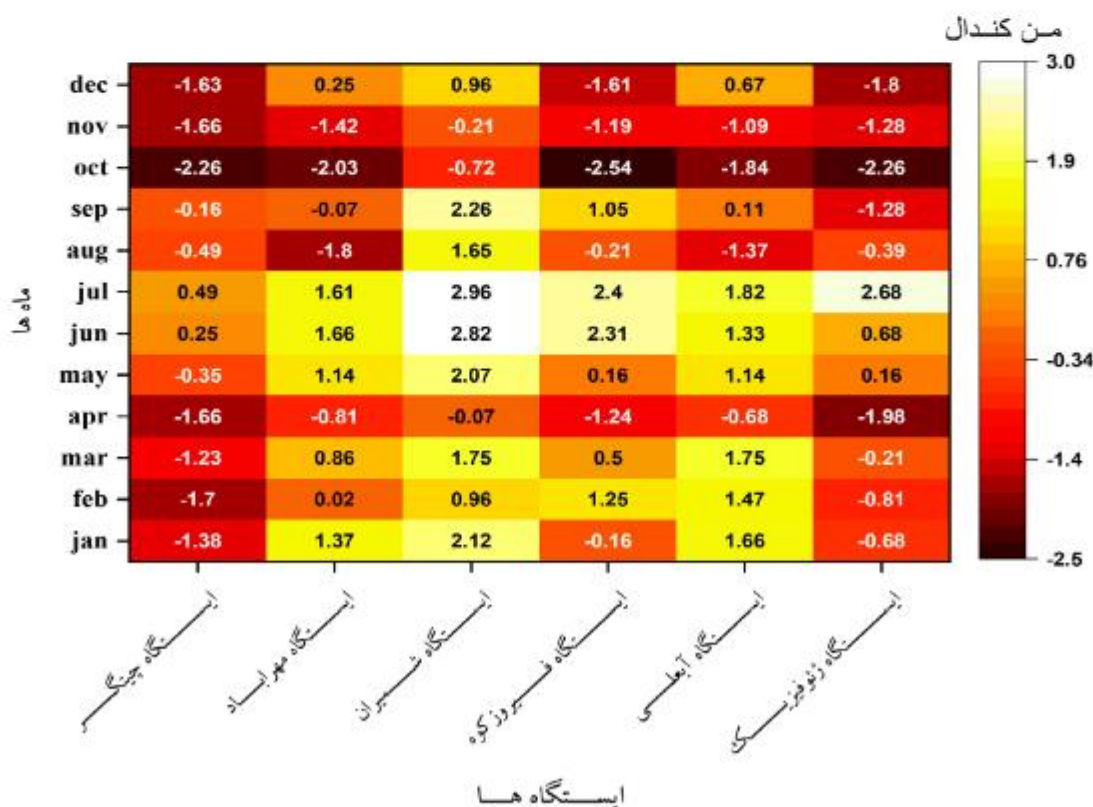
در مطالعه‌ای (حجازی‌زاده، ۱۳۷۲) نشان داده شد بیشترین ارتفاع پرفشار جنب حاره در ماه جولای تا عرض ۳۸ درجه، یعنی در شمالی‌ترین حد خود امتداد دارد، اما در مطالعه‌ای دیگر (فتاحیان، ۱۴۰۰) نشان داده شد این افزایش ارتفاع باتوجه به گرمایش جهانی بیشتر شده است و تا عرض ۴۰ درجه پیش رفته است. در پژوهشی دیگر (علیچانی و همکاران، ۱۳۹۸) نشان داده شد رفتار مکانی و زمانی پرفشار جنب حاره حدود ۱۰۰

در این پژوهش با سطوح معنی‌دار ۹۵ و ۹۹ درصد برآورد شده است. مقادیر مثبت معرف روندهای صعودی خواهد بود و اگر منفی باشد با روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. فرض صفر در این پژوهش مبنی بر وجود نداشتن روند در داده‌های بزرگ‌تر از مقادیر Z رد می‌شود. در این مطالعه اگر مقدار P از ۰/۰۵ کمتر باشد فرضیه H_0 که بر نبود وجود روند در سری زمانی است؛ دالالت دارد. اما در مقابل اگر مقدار سطح معنی‌داری از ۰/۰۵ بیشتر باشد قبول فرضیه H_1 و دال بر وجود روند است (سلی، ۲۰۰۲؛ کاتر و همکاران، ۲۰۱۲).

یافته‌ها

بررسی روند تغییرات دما براساس آزمون من کندال

در این پژوهش جهت واکاوی روند تغییرات ناگهانی پارامتر اقلیمی دما، از ۶ ایستگاه سینوپتیک (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ بهره گرفته شد. همان‌طور که تصویر شماره ۳ نشان می‌دهد، الگوی رفتاری سری زمانی دمای ماهانه، در ایستگاه‌های شمیران، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک روند افزایشی و صعودی را در سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد نشان داده است. در



تصویر ۳. بررسی روند سری زمانی دمای ماهانه، ایستگاه‌های سینوپتیک (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) در بازه زمانی (۱۹۹۶-۲۰۲۰).



بررسی سری زمانی رابطه شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۲۴ با لندست^۸

در تصویر شماره ۵، رابطه روند میانگین بین دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ نشان داده شده است. هدف از بررسی روند، نشان دادن روند یکنواخت بالا به پایین بین تغییرات شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی با دمای سطح زمین در سطح معنی داری ۹۵ درصد، در بازه زمانی تعریف شده است. در این بررسی روند تغییرات شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی، با رنگ قرمز مشخص شده است و هرچه عدد به سمت مقادیر منفی باشد، نشان دهنده عدم پوشش گیاهی و سطوحی غیر از پوشش گیاهی در تهران است. در مقابل دمای سطح زمین هرچه متمایل به طرف رنگ قرمز باشد، آن مناطق دمای سطح زمین بالاتری را نسبت به سایر نواحی تجربه کرده‌اند.

در تصویر شماره ۵ (الف)، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی در ۳۱ جولای ۲۰۱۹ به ۰/۰۴ رسیده است و دمای سطح زمین در همین تاریخ با عدد ۵۱ درجه سانتی گراد ثبت شده است. در ۳۰ ژوئن ۲۰۱۷ شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی به ۰/۰۵ و دمای سطح زمین به ۵۱/۲۱ درجه سانتی گراد رسید و در آگوست ۲۰۲۴، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی به ۰/۰۳ و دمای سطح زمین به ۴۸ درجه سانتی گراد رسیده است. در مقابل در ۲۸ اکتبر ۲۰۲۰ روند شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی ۰/۰- بوده و در ماه‌های دسامبر و نوامبر سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۱ به ترتیب به ۰/۰۳-، ۰/۰۳- و ۰/۰۴- رسیده است. آنچه مشخص است افزایش جزئی پوشش گیاهی هم نتوانسته است افزایش دمای سطح زمین را توجیه کند و دمای سطح زمین الگوی رفتاری مثبت و افزایشی نشان داده است.

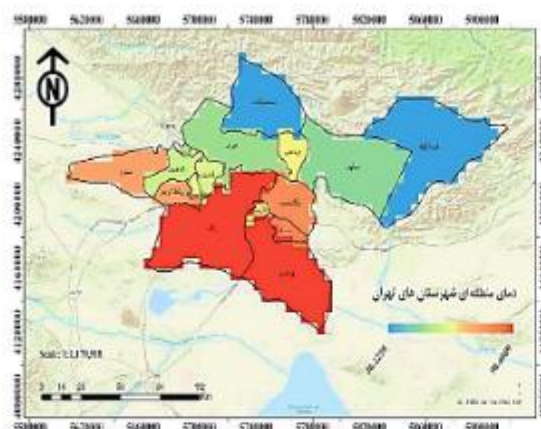
در تصویر شماره ۵ (ب)، محدوده غرب و جنوب غرب تهران از لحاظ پوشش گیاهی توزیع متراکمی نداشته است. علاوه بر مناطق ۲۲ و ۱۵ تهران، در محدوده‌های دیگر از جمله شهریار، باغستان، چیتگر، شهرک استقلال، خاورشهر، شهرک ولیعصر، پاسداران، یوسف‌آباد، سرخه حصار و اسلامشهر از لحاظ شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی فقیر بوده و روند کاهشی را نشان داده‌اند. دمای سطح زمین در مناطق غربی تهران، از جمله منطقه ۲۲ در شمال غرب تهران و جنوب شرق تهران روند افزایشی داشته است.

متر بر ارتفاع پرفشار جنب حاره افزایش یافته و فرونشینی‌ها بیشتر شده است. بنابراین افزایش روند دما در ماه‌های ژوئن و جولای در استان تهران قابل توجیه است. اثر گلخانه‌ای موجب افزایش دمای زمین می‌شود و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای باتوجه به فعالیت‌های انسانی در مکان‌های شهری نظیر تهران موجب افزایش دمای بیش‌ازحد زمین شده است. شهرها به دلیل تولید گازهای گلخانه‌ای و گسترش شهری بیش‌ازحد انتظار گرم‌تر شده‌اند و در گرم شدن جهانی نقش اساسی دارند (کمالکار و کمالا، ۲۰۲۴). بنابراین نتایج این مطالعه با توجه به گرمایش جهانی، فعالیت‌های تجاری و صنعتی در مرکز شهر تهران و موقعیت ایستگاه‌ها قابل قبول است، یافته‌های این پژوهش پاسخ‌گوی سؤال پژوهش است و با برخی مطالعات (فتاحیان، ۱۴۰۰؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۴؛ رحیمزاده و عسگری، ۱۳۸۳؛ نجفیان گرجی و همکاران، ۱۳۹۶؛ ملکی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲؛ حجازی‌زاده و پروین، ۱۳۸۸) مطابقت دارد.

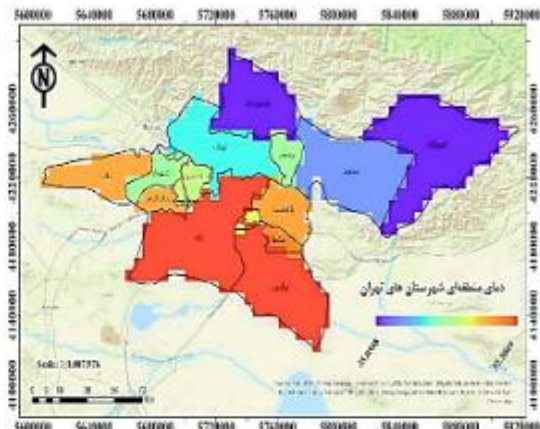
بررسی میانگین دمای منطقه‌ای شهرستان‌های استان تهران با سنجنده مودیس

تصویر شماره ۴، تصاویر میانگین دمای منطقه‌ای استان تهران با سنجنده مودیس، محصول MOD11C3 در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ را به صورت ماهانه نشان داده است (از بین ۵۳ تصویر، ۶ مورد به عنوان نمونه آورده شده است). بررسی‌های دمای روزانه سطح زمین نشان داده است طی بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ بالاترین دما در ماه‌های جولای و آگوست بوده است. از این بین شهرستان‌های ورامین و ری بالاترین دمای سطح زمین را در ژوئن ۲۰۱۵ با ۵۲/۵۰ درجه سانتی گراد و در سال ۲۰۱۸ در همین ماه با ۵۲/۹۷ درجه سانتی گراد به ثبت رسانده‌اند. در ماه‌های می و ژوئن سال ۲۰۲۱ شهرستان‌های ورامین، ری، ملارد و رباط کریم به ترتیب دمای سطح زمین ۴۳/۵۲ و ۵۱/۵۳ درجه سانتی گراد را تجربه کرده‌اند (تصویر شماره ۴، پ). در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ در ماه‌های جولای و آگوست شهرستان‌های ورامین، ملارد، پاکدشت، ری و پیشوا بالاترین دمای سطح زمین را با ۴۸ درجه سانتی گراد داشتند (تصویر شماره ۴، ت).

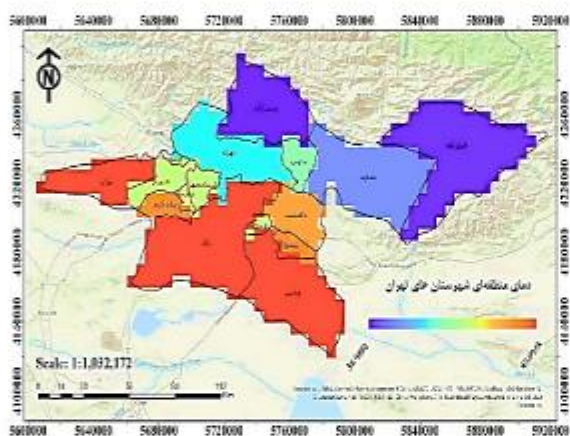
در مجموع بررسی ۵۳ تصویر میانگین منطقه‌ای شهرستان‌های تهران نشان داد ضمن اینکه دمای بیشینه در بازه زمانی ۱۰ ساله افزایش داشت، به همان میزان هم در ماه‌های جولای و آگوست دمای کمینه در مناطق فیروزکوه، شمیرانات و دماوند در سال ۲۰۱۸ به ۳۷/۷۹ درجه سانتی گراد رسیده است. این امر می‌تواند به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای و از همه مهم‌تر از بین بردن و کاهش پوشش گیاهی، تغییر کاربری، گسترش مسکن‌سازی در این مناطق موجب افزایش دمای سطح زمین در این نواحی شده باشد.



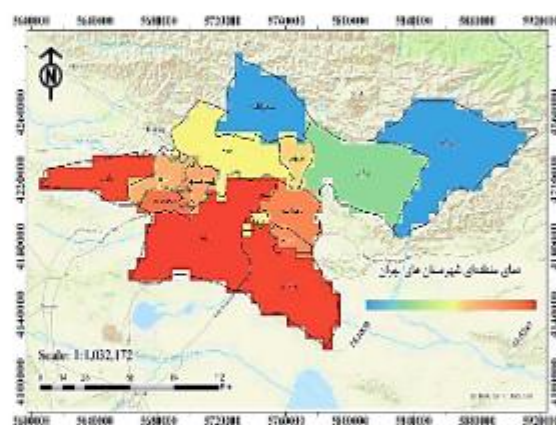
ب



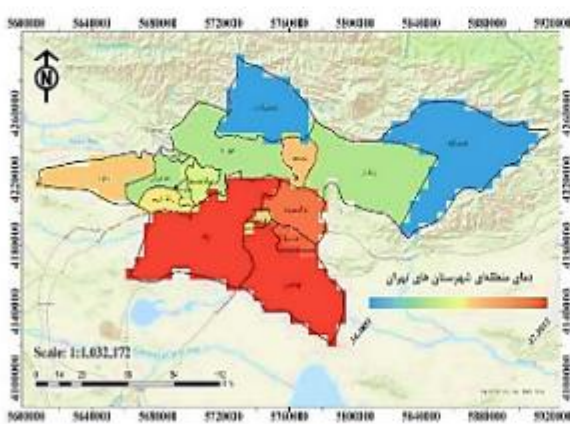
الف



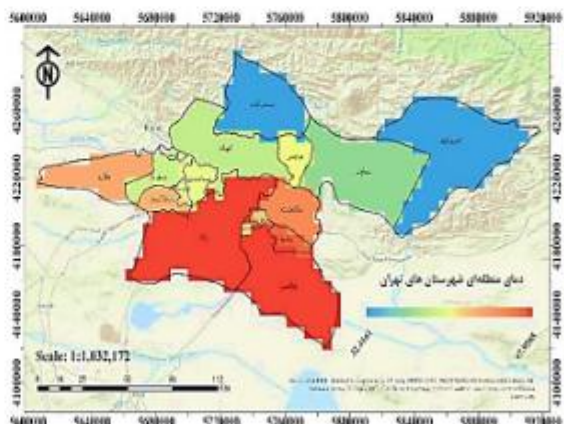
ت



پ

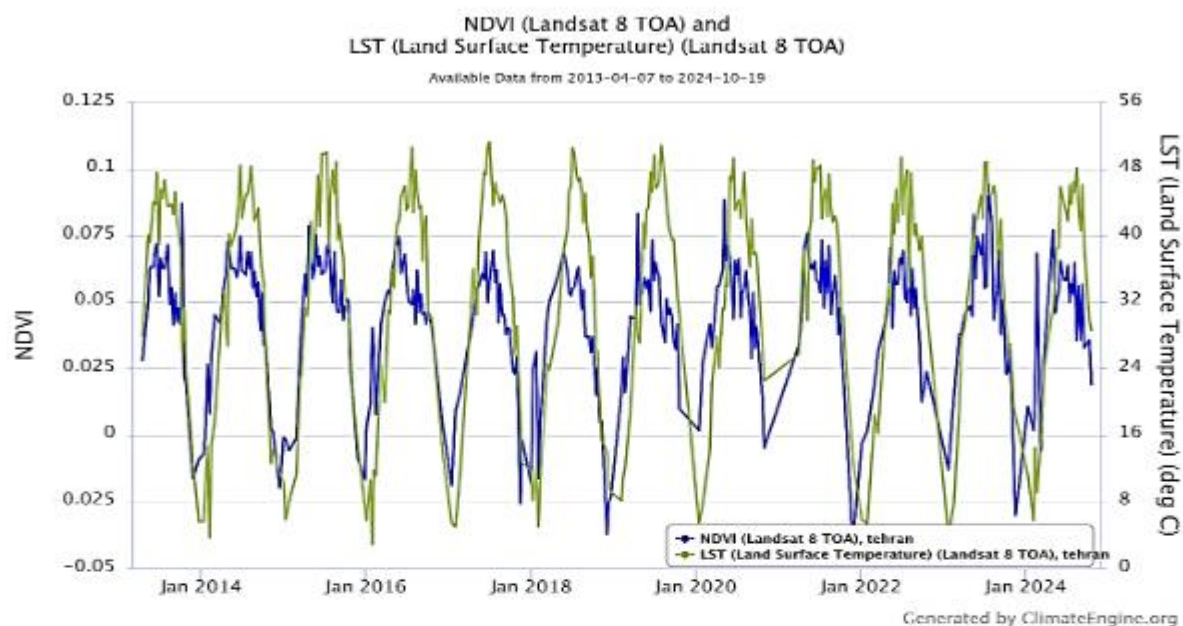


ج



ث

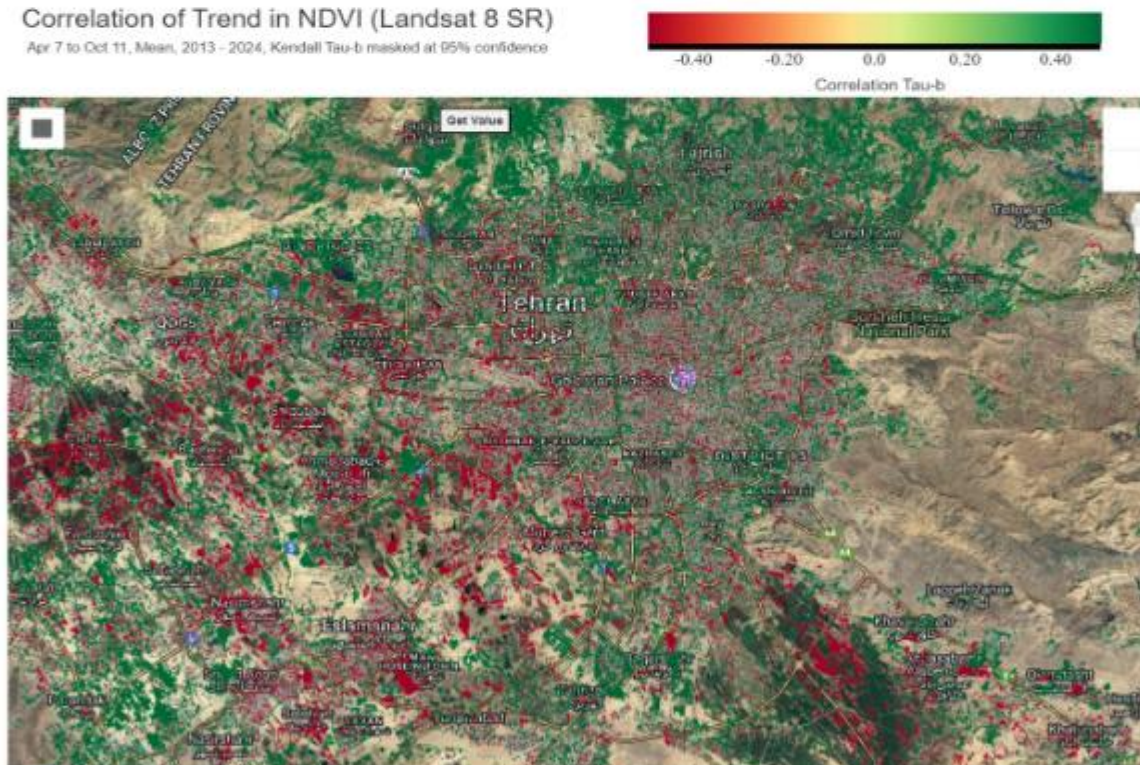
تصویر ۴. میانگین دمای مناطق شهری یا تصاویر مودیس، شهرستان‌های تهران در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴.



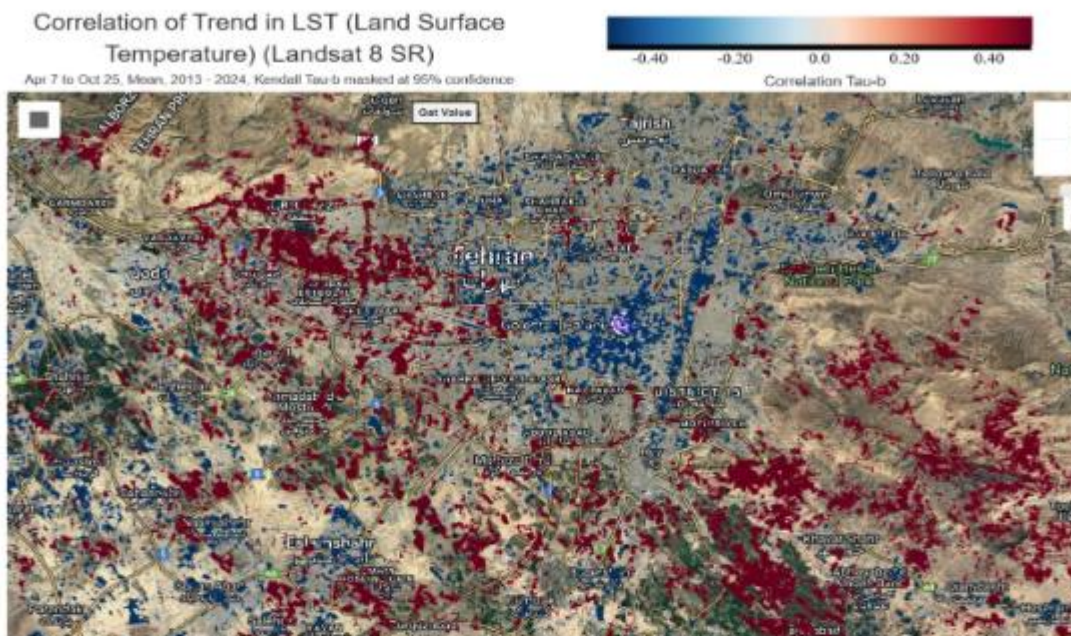
الف

Correlation of Trend in NDVI (Landsat 8 SR)

Apr 7 to Oct 11, Mean, 2013 - 2024, Kendall Tau-b masked at 95% confidence



ب



ج

تصویر ۵. روند شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۲۴ یا لندست ۸. ۳۰ متر.

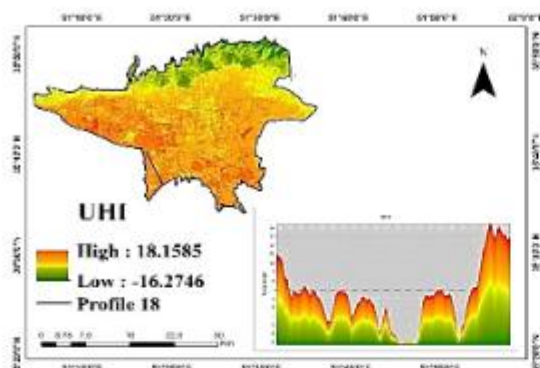
بحث

بررسی جزیره حرارتی شهر ۵ با تصاویر لندست ۸ در بازه زمانی یک سال (۲۰۲۴)

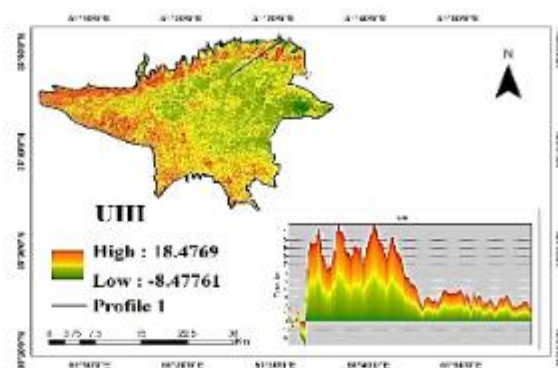
یکی از پارامترهای اصلی مطالعات شهری و اقلیمی دمای سطح زمین است. در این راستا جهت بررسی گستردگی جزیره حرارتی در مناطق ۲۲ گانه تهران و به همراه نیمرخ حرارتی در ۴ محدوده، در ۸ تصویر به عنوان نمونه نشان داده شده است. از جمله، منطقه ۱ محدوده نیاوران، تجریش، پل پارک وی، اطراف قیطریه، دارآباد و فرشته؛ منطقه ۲۲ محدوده بزرگراه خرازی، بزرگراه سردار همدانی، بلوار جدی اردبیلی، خرگوش دره و آزادراه شهید فهمیده؛ منطقه ۹ محدوده فرودگاه مهرآباد، شمشیری و میدان آزادی؛ منطقه ۱۸ محدوده یافت آباد، بزرگراه فتح، بزرگراه آزادگان و بلوار هفده شهریور در تصویر شماره ۶، نمایش داده شده است. همان طور که در تصویر قابل مشاهده است، بیشترین کانون گرما و گسترش جزیره حرارتی طی ماه های گرم، در نواحی شمال غرب، غرب، جنوب غربی، جنوب و جنوب شرقی و مناطق شمالی تهران قابل مشاهده است. بالاترین دمای ثبت شده در سال ۲۰۲۴ مربوط به مناطق ۹ و ۲۲ تهران بود که در ماه های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر با دمای بالای ۴۵ درجه سانتی گراد

در تصویر شماره ۵ (ب)، به خوبی روند تغییرات تخریب پوشش گیاهی در غرب تهران، مرکز و جنوب شرق پیداست. طبق تصویر شماره ۵ (ب و ج)، افزایش دمای سطح زمین با توزیع پوشش گیاهی ارتباط مستقیم و معکوسی با هم دارند و با کاهش روند پوشش گیاهی، دمای سطح زمین الگوی رفتاری مثبت و افزایشی را نشان داده است. این شرایط علاوه بر فصل گرم در فصل پاییز قابل مشاهده است. به عبارتی آنچه در تصویر شماره ۵ (ب و ج) مشخص است، این مناطق رو به شرایط گرما و مستعد گسترش جزیره حرارتی هستند. ضمن اینکه تغییر کاربری و گسترش کارخانجات و ساخت و ساز مسکونی به ویژه در مناطق ۴، ۵، ۲۱ و ۲۲ در امر افزایش دمای سطح زمین دخالت داشته اند.

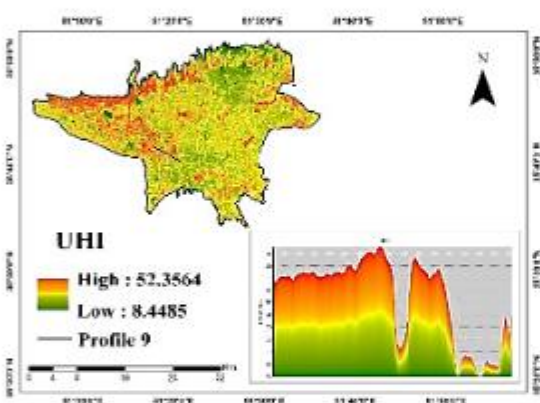
طبق مطالعات (متنصوری و زرغامی، ۱۴۰۳) سطوح نفوذناپذیر شهری به دلیل ضریب جذب بالای تابش خورشیدی، به عنوان جزایر حرارتی عمل کرده و دمای سطح زمین را در این مناطق به طور قابل توجهی افزایش می دهد. یافته های این پژوهش پاسخ گوی سؤال پژوهش است و با برخی مطالعات (نوربخش و نظری نژاد، ۱۴۰۱؛ پوردیهیمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ نجفیان گرجی و همکاران، ۱۳۹۶؛ طیبی و همکاران، ۲۰۱۸) مطابقت دارد.



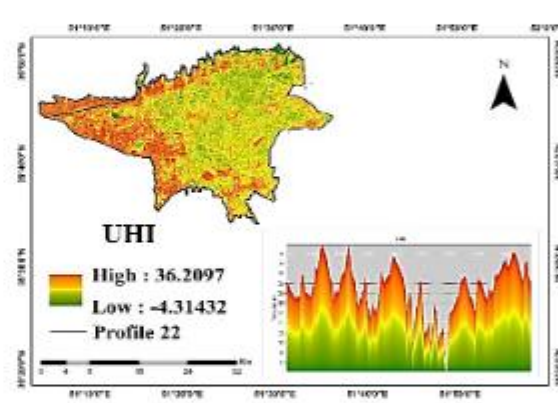
۲۰۲۳/۲/۱۸ (ب)



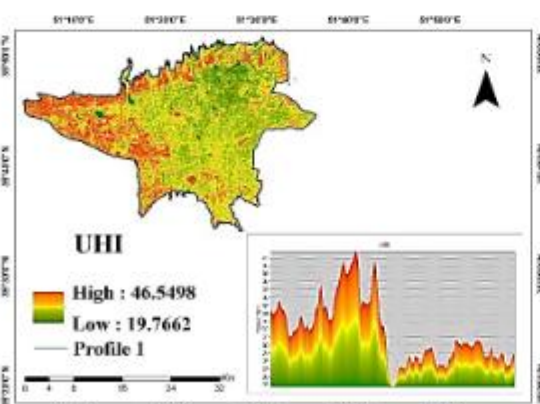
۲۰۲۳/۱/۱۲ (ا)



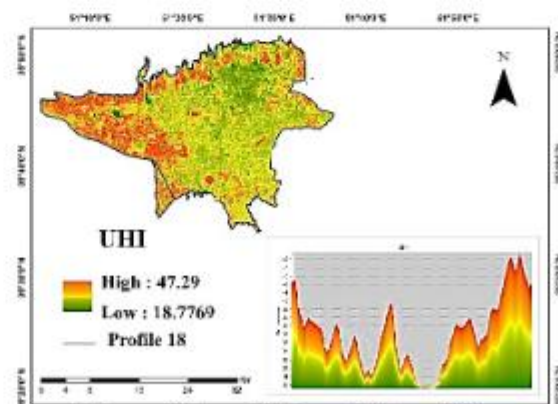
۲۰۲۳/۶/۳ (د)



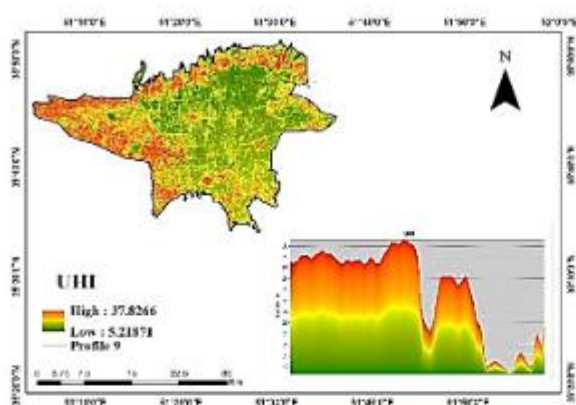
۲۰۲۳/۴/۳ (ج)



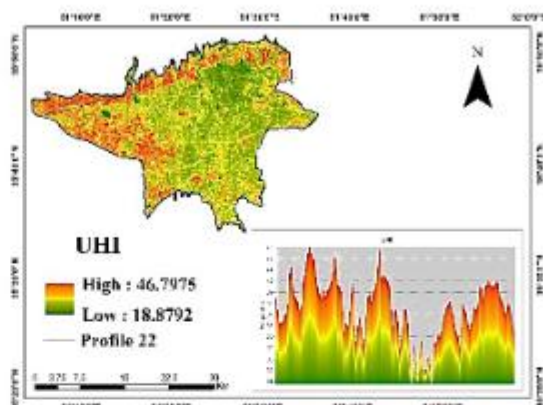
۲۰۲۳/۱/۶ (و)



۲۰۲۳/۷/۵ (ه)



۲۰۲۴/۱۰/۱۰ (ح)



۲۰۲۴/۹/۷ (ز)

تصویر ۶ بررسی جزیره حرارتی شهر با تصاویر لندست ۸ در بازه زمانی ۱ سال (۲۰۲۴).

نشان داده است. بنابراین نتایج پژوهش با مطالعاتی (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱؛ پوردیپیمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ منصوری و ضرغامی، ۱۴۰۳) مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

توسعه بی‌رویه شهرها به یکی از عوامل اصلی تشدید تغییر اقلیم در سطح منطقه‌ای و جهانی تبدیل شده است. از بین رفتن پوشش گیاهی، افزایش سطوح سخت و نفوذناپذیر در شهرها و رشد جمعیت شهری، همگی به تغییر اقلیم محلی، مانند نوسانات شدید بارش و افزایش دما دامن زده و مشکلات زیست‌محیطی جدی را به‌ویژه در شهرهای کشورهای در حال توسعه ایجاد است. این پژوهش با هدف روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای و گسترده‌گی، جزیره حرارتی استان تهران را مورد واکاوی قرار داده است. بررسی روند دما در ایستگاه‌های شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ الگوی رفتاری دما در کلیه ایستگاه‌ها در ماه‌های ژوئن و جولای افزایشی بود. باتوجه به افزایش گازهای گلخانه‌ای و موقعیت درون‌شهری ایستگاه‌ها، گرمایش جهانی و استقرار سامانه پرفشار جنب حاره در این ماه‌ها و افزایش فرونشینی هوا نتایج قابل توجهی است. بررسی میانگین دمای منطقه‌ای شهرستان‌های تهران در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ با سنجنده مودیس، بالاترین دمای منطقه‌ای را در ماه‌های جولای و آگوست نشان داد. در سال ۲۰۱۵ شهرستان‌های ورامین و ری بالاترین دمای رویه زمین را با ۵۲/۵۰ درجه سانتی‌گراد تجربه کردند و در سال ۲۰۱۸ در ماه‌های جولای و آگوست این رقم به ۵۲/۹۷ درجه سانتی‌گراد رسید. در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ در ماه‌های جولای و آگوست

مواجه بودند. مناطق ۹ و ۲۲ کلان‌شهر تهران، در ماه ژوئن بالاترین دمای سطح زمین، حدود ۵۲ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده‌اند. علت این امر می‌تواند ازدحام جمعیت و تردد وسایل نقلیه (ترافیک) در این منطقه، به‌عنوان منطقه مرکزی تهران (میدان آزادی، غرب (فرودگاه مهرآباد)، از سمت شمال (میدان تجریش)، گسترش مسکن‌سازی در مناطق شمالی تهران و غرب تهران، وجود کارگاه‌های صنعتی (منطقه ۱۸)، پوشش گیاهی کمتر باشد که باعث شده در دوره گرم سال این مناطق دمای بسیار بالایی را تجربه کنند. منصوری و ضرغامی (۱۴۰۳) در مطالعه خود نشان دادند الگوی تغییرات دمایی در مناطق مختلف تهران یکسان نیست. مناطق مرکزی شهر به‌طور حداقل نوسانات دمایی را داشتند، در حالی که مناطق شمال شرقی و شمال غربی بیشترین نوسانات را تجربه کردند. ضمن اینکه مناطق ۱، ۴، ۳، ۲۱ و ۲۲ نه تنها گرم‌ترین مناطق تهران بودند، بلکه بیشترین تغییرات دمایی را داشتند. براساس آمار سال ۱۴۰۱، مناطق ۲۲ گانه تهران طیف گسترده‌ای از کاربری‌ها از جمله مسکونی، آموزشی، صنعتی، فرهنگی و خدماتی را در خود جای داده‌اند.

درمجموع نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات دمای هوا و دمای سطح زمین در تهران در ماه‌های گرم سال، الگوی مشابهی را دنبال می‌کند. به عبارت دیگر، این دو شاخص به‌طور هم‌زمان افزایش یا کاهش پیدا می‌کنند. یافته‌های پژوهش پاسخ‌گوی سؤال پژوهش است؛ همان‌گونه که بررسی روند دما در نتایج ایستگاه‌های سینوپتیک (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) افزایش دما را در ماه‌های ژوئن و جولای صعودی نشان داد، بررسی دمای منطقه‌ای و گسترش جزیره حرارتی در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست دمای افزایشی را



حامی مالی

این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INSF) برگرفته‌شده از طرح شماره ۴۰۳۸۴۹۵ انجام شده است.

مشارکت‌نویسندگان

مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله: نیلوفر محمدی؛ راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله: زهرا حجازی‌زاده، پرویز ضیائیان فیروزآبادی و علیرضا کربلایی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از بنیاد ملی علم ایران (INSF) سپاسگزاری می‌شود.

شهرستان‌های ورامین، ملارد، ری، پاکدشت و پیشوا دمای ۴۸ درجه سانتی‌گراد را تجربه کردند. تغییر کاربری، کاهش پوشش گیاهی در افزایش دمای سطح زمین دخیل هستند که در دوره گرم سال همراه با فرونشینی هوا این عوامل موجب شدت دمای سطح زمین شده است. بررسی روند رابطه شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با لندست ۸ بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ نشان داد شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین رابطه مستقیم و معکوسی با هم دارند؛ به‌طوری‌که در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست با افزایش جزئی پوشش گیاهی، دمای سطح زمین به ۵۱/۲۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است که این امر در محدوده‌های غرب، شمال و جنوب غرب بیشتر مشهود است. در فصل پاییز، در ۲۸ اکتبر ۲۰۲۰ روند شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی ۰/۰- بود و در ماه‌های دسامبر و نوامبر سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۱ به ترتیب ۰/۰۳-، ۰/۰۳- و ۰/۰۴- رسیده است. آنچه مشخص است، افزایش جزئی پوشش گیاهی نتوانسته است افزایش دمای سطح زمین را در فصل تابستان و پاییز توجیه کند. بررسی گسترش جزیره حرارتی با لندست ۸ در بازه زمانی ۱ سال (۲۰۲۴)، نشان داد بیشترین کانون گرما در نواحی جنوب، جنوب شرق، غرب و شمال و جنوب غرب و مناطق شمالی تهران قابل‌رؤیت است، اما دمای سطح زمین در ماه ژوئن ۲۰۲۴ به ۵۲ درجه سانتی‌گراد رسید که در مناطق ۹ و ۲۲ بیشتر مشهود بود. بنابراین از لحاظ هواشناسی، استقرار جریان‌ات پر فشار جنب حاره تابستانه و افزایش فرونشینی هوا در ایران، وجود مراکز صنعتی، تغییرات کاربری، کاهش پوشش گیاهی و احداث شهرک‌های جدید موجب تغییرات مکانی و زمانی دما در مناطق شهری تهران شده است. به عبارتی این عوامل کمکی به افزایش گرمایش جهانی در سطح محلی (شهرها) کرده است. یافته‌های این پژوهش با مطالعاتی (منصوری و همکاران، ۱۴۰۰؛ طیبی و همکاران، ۲۰۱۸؛ کوتس و هریس، ۲۰۱۲) همخوانی دارد. تهران با تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی مواجه است و با توجه به اقلیم پیش‌رو (افزایش دما و کاهش بارش) روزهای گرم‌تری را سپری خواهد کرد. نتایج این مطالعه می‌تواند در امر برنامه‌ریزی‌های جامع شهری و محیط زیستی، مطالعات و برنامه‌ریزی جهت کاهش گرمایش جهانی، آینده‌نگری‌های اقلیمی در سطح کلان جهت تاب‌آوری در محیط‌های شهری و مدیریت بحران مفید واقع شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاقی پژوهش

تمام اصول اخلاقی در نظر گرفته شد. از آنجایی که هیچ آزمایشی روی نمونه‌های انسانی یا حیوانی انجام نشد، نیاز به کد اخلاقی لغو شد.



References

- Adeyeri, O. E., Folorunsho, A. H., Ayegbusi, K. I., Bobde, V., Adeliyi, T. E., Ndehedehe, C. E., & Akinsanola, A. A. (2024). Land surface dynamics and meteorological forcings modulate land surface temperature characteristics. *Sustainable Cities and Society*, 101, 105072. [DOI:10.1016/j.scs.2023.105072]
- Alijani, B., Toulabi Nejad, M., & Karbalaie Darei, A. (2019). [Investigating the effects of global warming on subtropical high pressure. (Persian)] *Physical Geography Research*, 51(1), 33-50. [DOI:10.22059/jphgr.2019.258677.1007223]
- Alimohamadi, A. (2009). [Planning of Tehran Province (Persian)]. Tehran: Deputy of Planning of Tehran Province.
- Al Shawabkeh, R., AlHaddad, M., Al-Fugara, A. K., Al-Hawwari, L., Al-Hawwari, M. I., & Omoush, A., et al. (2024). Modeling the impact of urban land cover features and changes on the land surface temperature (LST): The case of Jordan. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(2), 102359. [DOI:10.1016/j.asej.2023.102359]
- Ahmadnezhad, E., Naieni, K. H., Ardalan, A., Mahmoodi, M., Yunesian, M., & Naddafi, K., et al. (2013). Excess mortality during heat waves, Tehran Iran: an ecological time-series study. *Journal of Research in Health Sciences*, 13(1), 24-31. [Link]
- Ahmadi, M., & Ahmadi, H. (2018). [Monitoring of the night time land surface temperature in Iran based on output of the MODIS (Persian)]. *Geographical Research*, 33(1), 174-190. [Link]
- Ahmadi, M., Dadashiroudbari, A., & Esfandiani, N. (2019). [Monitoring the Urban heat islands with a Fractal Net Evolution (FNEA) Approach (Case Study: Tehran Metropolis) (Persian)]. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 11(1), 93-112. [DOI:10.52547/gisj.11.1.93]
- Azadeh, S. R., & Etemadi kia, H. (2024). [Modeling the Spatial Expansion of Urban Heat Islands in Rasht Metropolitan (Persian)]. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 14(50), 29-54. [Link]
- Azizi, Gh., Karimi, M., & Sabok Khiz, Z. (2006). [Temperature trends in Iran over the past few decades and the increase in atmospheric CO₂ (Persian)]. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 4(4), 27-47. [Link]
- Azizi, Gh. (2004). [Climate change (Persian)]. Tehran: Ghoumes. [Link]
- Bahi, H., Mastouri, H., and Radoine, H. (2020). Review of methods for retrieving urban heat islands. *Materials Today: Proceedings*, 27, 3004-3009. [DOI:10.1016/j.matpr.2020.03.272]
- Bonacci, O., Vrsalović, A., & Roje-Bonacci, T. (2024). Different development of global warming (GW) and urban heat island (UHI) in the city of Zagreb. *Acta Hydrotechnica*, 36(65), 155-176. [DOI:10.15292/acta.hydro.2023.10]
- Cheval, S., Dumitrescu, A., & Bell, A. (2009). The urban heat island of Bucharest during the extreme high temperatures of July 2007. *Theoretical and Applied Climatology*, 97, 391-401. [DOI:10.1007/s00704-008-0088-3]
- Coutts, A., & Harris, R. (2012). *A Multi-scale Assessment of Urban Heating in Melbourne During an Extreme Heat Event*. Melbourne: Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research. [Link]
- Connor, J. A., Farhat, S. K., & Vanderford, M. (2012). *GSI Mann-Kendall toolkit for constituent trend analysis, user's manual*. Houston: GSI Environmental Inc. [Link]
- Demisse Negesse, M., Hishe, S., & Getahun, K. (2024). LULC dynamics and the effects of urban green spaces in cooling and mitigating micro-climate change and urban heat island effects: a case study in Addis Ababa city, Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*, 15(7), 3033-3055. [DOI:10.2166/wcc.2024.662]
- Emmanuel, R., & Krüger, E. (2012). Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. *Building and Environment*, 53, 137-149. [DOI:10.1016/j.buildenv.2012.01.020]
- Eskandarian, E. (2015). [Climate comfort in Tehran (Persian)]. *Journal of Research in Science, Engineering and Technology*, 1, 57-67. [Link]
- Ge, S., Zhan, W., Wang, S., Du, H., Liu, Z., & Wang, C., et al. (2024). Spatiotemporal heterogeneity in global urban surface warming. *Remote Sensing of Environment*, 305, 114081. [DOI:10.1016/j.rse.2024.114081]
- Galdies, C., & Lau, H. S. (2020). Urban heat island effect, extreme temperatures and climate change: A case study of Hong Kong SAR. In W. Leal Filho, G. Nagy, M. Borge, P. Chávez Muñoz & A. Magnuszewski (Eds), *Climate Change, Hazards and Adaptation Options. Climate Change Management*. Cham: Springer. [DOI:10.1007/978-3-030-37425-9_20]
- Gupta, A., Sadab, A., & De, B. (2024). Assessment of critical thermal characteristics and land surface dynamics of an Indian metropolitan city. *Journal of Water and Climate Change*, 15(7), 3409-3430. [DOI:10.2166/wcc.2024.370]
- Hejazizade, Z., & Parvin, N. (2009). [Study of temperature and precipitation changes in Tehran over the past half century (Persian)]. *Journal of Urban Ecology Researches*, 1(0), 43-56. [Link]
- Hejazizadeh, Z., Zeyaeen, P., & Shirkhani, A. (2013). [Comparison of surface temperature estimation using thermal band data (Persian)]. *Geography*, 11(38), 33-50. [Link]
- Hejazizade, Z., & Moghimi, Sh. (2002). [Introductory Microclimatology (Persian)]. Tehran: Payam Noor University. [Link]
- Hejazizade, Z., & Moghimi, Sh. (2007). [Application of climate in urban and regional planning (Persian)]. Tehran: Payam Noor University. [Link]
- Hejazizade, Z. (1993). [Study of subtropical high pressure fluctuations in seasonal changes in Iran (Persian)] [PhD dissertation]. Tehran: Tarbiat Modares University. [Link]
- Huntington, J. L., Hegewisch, K. C., Daudert, B., Morton, C. G., Abatzoglou, J. T., & McEvoy, D. J., et al. (2017). Climate engine: Cloud computing and visualization of climate and remote sensing data for advanced natural resource monitoring and process understanding. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(11), 2397-2410. [DOI:10.1175/BAMS-D-15-00324.1]
- IPCC. (2022). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Cambridge: Cambridge University Press. [Link]
- IPCC. (2021). *Sixth report of the working group of the intergovernmental panel on climate change*. Geneva: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). [Link]
- Farjod, M. (2018). [Tehran Municipality Statistical Yearbook (Persian)]. Tehran: Tehran Municipality ICT Organization. [Link]

- Falahati, F., Alijani, B., Ghohrodi Tali, M., & Barati, M. (2012). [Site Selection of Appropriate Locations for Development of Orchards Using GIS & RS, by Emphasizing Climatic Factors (Case study: Walnut - Tehran Province) (Persian)]. *Geography and Environmental Sustainability*, 2(1), 43-54. [\[Link\]](#)
- Fatahian, M. (2018). [The impact of climate change on Iran's summer subtropical high pressure (Persian)] [PhD dissertation]. Tehra: Kharazmi University. [\[Link\]](#)
- Field, C. B., & Barros, V. R. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Cambridge: Cambridge University Press. [\[Link\]](#)
- Kamalakar, G., & Kamala, K. (2024). Urban growth, climate change, and the intensification of heat waves in India. *Urban India*, 44(2), 93-97. [\[Link\]](#)
- Karbalae, A. R., Beygam Hejazizadeh, Z., Masoodian, S. A., & Keik-hosravi kiany, M. (2021). [Trend Analysis of Land surface temperature using Remote Sensing Data in Iran (Persian)]. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(2), 93-109. [\[DOI:10.22067/geoh.2021.69462.1035\]](#)
- Khodajou, M., Motavali, S., Janbazghobadi, G., & Gandomkar, A. (2021). [Influence of synoptic atmospheric patterns on heat island intensity of Rasht city and climate Element's change (Persian)]. *Geography (Regional Planning)*, 11(44), 85-97. [\[DOI:10.22034/jgeoq.2021.128864\]](#)
- Liu, Y., Zhang, W., Liu, W., Tan, Z., Hu, S., & Ao, Z., et al. (2024). Exploring the seasonal effects of urban morphology on land surface temperature in urban functional zones. *Sustainable Cities and Society*, 103, 105268. [\[DOI:10.1016/j.scs.2024.105268\]](#)
- Lauwaet, D., Hooyberghs, H., Maiheu, B., Lefebvre, W., Driesen, G., & Van Looy, S., et al. (2015). Detailed urban heat island projections for cities worldwide: Dynamical downscaling CMIP5 global climate models. *Climate*, 3(2), 391-415. [\[DOI:10.3390/cli3020391\]](#)
- Lu, H., Gaur, A., & Lacasse, M. (2024). Climate data for building simulations with urban heat island effects and nature-based solutions. *Scientific Data*, 11(1), 731. [\[DOI:10.1038/s41597-024-03532-5\]](#) [\[PMID\]](#)
- Li, Q., Zhang, H., Liu, X., & Huang, J. (2004). Urban heat island effect on annual mean temperature during the last 50 years in China. *Theoretical and Applied Climatology*, 79, 165-174. [\[DOI:10.1007/s00704-004-0065-4\]](#)
- Malekimejad, H., Solaimame, M., Jaedaei, A., & Shater, S. (2013). [Analysis of the precipitation and drought trend variations using Mann-Kendall and Sen Tests in Tehran Province (Persian)]. *Nivar*, 37(80-81), 43-54. [\[Link\]](#)
- Management and Planning Organization of Tehran. (2021). [City of Tehran Statistical yearbook (Persian)]. Tehran: Management and Planning Organization of Tehran. [\[Link\]](#)
- Mansouri, S., Khaledi, Sh., & Asadian, F. (2021). [The role of the heat island in the temperature change process of Tehran's urban area (Persian)]. *Territory*, 18(70), 65-84. [\[Link\]](#)
- Mansouri, S., & Zarghami, E. (2023). [Dynamic Analysis of Urban Heat Islands in Tehran (2013-2023) Based on MODIS Images and Google Earth Engine (Persian)]. *Journal of Remote Sensing and Geoinformation Research*, 2(1), 45-64. [\[DOI:10.22061/jrgr.2024.10762.1057\]](#)
- Masoodian, S. A., & Torky, M. (2019). [Climatology of Surface Urban Heat Island of Ahwaz Metropolis (Persian)]. *Geography and Environmental Planning*, 30(1), 75-92. [\[DOI:10.22108/gep.2019.115913.1128\]](#)
- Masoodian, S. A. (2011). [Climate of Iran (Persian)]. Mashhad: Shariee-toos. [\[Link\]](#)
- Meftahi, M., Monavari, S. M., Kheirkhah Zarkesh, S. M. M., Vafaeinejad, A., & jozi, S. A. (2022). [Spatial-Temporal Variation of Heat Island Pattern in Tehran and Its Effective Factors (Persian)]. *Environmental Researches*, 13(25), 67-91. [\[Link\]](#)
- Mohammadi, N., Hejazizadeh, Z., Zeaiean Firoozabadi, P., & Karbalae, A. (2024). [Detection of the effect of climate change on the mechanism of heat Islands in Tehran Province (Persian)]. *Nivar*, 48(124-125), 203-224. [\[DOI:10.30467/nivar.2024.442784.1281\]](#)
- Najafian, M. R., Moghimi, E., & Mohamadi, H. (2017). [Evaluation of temperature changes, heat island pattern and vegetation cover during hot days in Tehran (Persian)]. *Journal of Physical Geography*, 10(38), 1-18. [\[Link\]](#)
- Nasiri, R., Motesaddi Zarandi, S., & Motlagh, M. E. (2022). [Climate change and the challenges of quantitative assessment of urban climate change: A case study in Tehran Metropolis (Persian)]. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*, 19(3), 293-314. [\[Link\]](#)
- Noorbakhsh, M., & Nazari Nejad, A. (2022). [Investigation of the relationship between NDVI and EVI vegetation indices and land surface temperature in Tehran (Persian)]. *Journal of Geography and Human Relations*, 5(1), 225-236. [\[Link\]](#)
- Pohlert, T. (2023). *Non-parametric trend tests and change-point detection*. California: Creative Commons. [\[Link\]](#)
- Pourdehimi, S., Tahsildoost, M., & Ameri, P. (2019). [Effect of vegetation cover on energy consumption optimization due to reduction of urban heat island intensity: Case of Tehran Metropolitan Area (Persian)]. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, 5 (3), 97-122. [\[Link\]](#)
- Rahimzade, F., Asgari, A., & Nohi, K. (2003). [An insight into the difference in the rate of increase in minimum and maximum temperatures and the decrease in the diurnal range of temperatures in the country (Persian)]. Paper presented at National-Regional Climate Change Conference, Isfahan, Iran, 20 October 2003. [\[Link\]](#)
- Rahimzade, F., & Asgari, A. (2004). [An insight into the difference in the rate of increase in minimum and maximum temperatures and the decrease in the diurnal range of temperatures in the country (Persian)]. *Geographical Research Journal*, 73(2), 155-171. [\[Link\]](#)
- Rarybar, A., Azadi, M., Bidokhti, A. A., & Sadeghi, S. A. (2005). [A case study of Tehran heat island and its numerical simulation (Persian)]. *Journal of the Earth and Space Physics*, 31(1), 63-78. [\[Link\]](#)
- Sadeghinia, A., Alijani, B., & Ziaeian, P. (2013). [Analysis of spatial - temporal structure of the urban heat island in Tehran through remote sensing and geographical information system (Persian)]. *Geography and Environmental Hazards*, 1(4), 1-2. [\[Link\]](#)
- Shakiba, A., Firoozabadi, P., Ashorlo, D., & Namdari, S. (2009). [Analysis of relationship between land use/cover and urban Heat Island, Using ETM+(Persian)]. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(1), 39-58. [\[Link\]](#)
- Stewart, I. D. (2019). Why should urban heat island researchers study history? *Urban Climate*, 30, 100484. [\[DOI:10.1016/j.uclim.2019.100484\]](#)



- Sodoudi, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U., & Che-Ani, A. I. (2014). Mitigating the urban heat island effect in megacity Tehran. *Advances in Meteorology*, 2014(1), 547974. [DOI:10.1155/2014/547974]
- Siswanto, S., Nuryanto, D. E., Ferdiansyah, M. R., Prastiwi, A. D., Dewi, O. C., & Gamal, A., et al. (2023). Spatio-temporal characteristics of urban heat Island of Jakarta metropolitan. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32, 101062. [DOI:10.1016/j.rsase.2023.101062]
- Salimi, T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the Excel template application MAKESENS. *Ilmatieteen laitos*. [Link]
- Sheikhi, V., Malakoti, H., & Ghader, S. (2021). [Numerical simulation of the performance of summer heat island control programs in Tehran metropolis by evaluating heat fluxes (Persian)]. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7(4), 105-126. [Link]
- Escourrou, G. (1998). *Climate and the city: Urban environment* [Sh. Khaledi, Persian trans.]. Tehran: Tabiat Publisher. [Link]
- Tabatabaei, S. (2014). [An investigation of urban-environmental management in Tehran during three historical periods of Qajar, Pahlavi and post Islamic revolution (Persian)]. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 22(88), 69-74. [Link]
- Thanvisithpon, N., Nakburee, A., Khamchiangta, D., & Saguansap, V. (2023). Climate change-induced urban heat Island trend projection and land surface temperature: A case study of Thailand's Bangkok metropolitan. *Urban Climate*, 49, 101484. [DOI:10.1016/j.uclim.2023.101484]
- Tayyebi, A., Shafizadeh-Moghadam, H., & Tayyebi, A. H. (2018). Analyzing long-term spatio-temporal patterns of land surface temperature in response to rapid urbanization in the mega-city of Tehran. *Land Use Policy*, 71, 459-469. [DOI:10.1016/j.landusepol.2017.11.023]
- Urban Planning and Architecture Research Center of Iran. (2000). [Tehran Urban Complex Plan Report (Persian)]. Tehran: Urban Planning and Architecture Research Center of Iran.
- While, A., & Whitehead, M. (2013). Cities, urbanisation and climate change. *Urban Studies*, 50(7), 1325-1331. [DOI:10.1177/0042098013480963]
- Wan, Z. (2007). *Collection-5 MODIS land surface temperature products users' guide*. California: ICES, University of California, Santa Barbara. [Link]

Research Paper

Flood Risk Zoning Using Fuzzy Logic Model; Case Example: Lavasanat Watershed



*Sayad Asghari Sareskanroud¹, Aqil Madadi¹, Maherukh Sardashti¹

1. Department of Natural Geography/Geomorphology Orientation, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.



Citation Asghari Sareskanroud, S., Madadi, A., & Sardashti, M. (2025). [Flood Risk Zoning Using Fuzzy Logic Model; Case Example: Lavasanat Watershed (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):144-159. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.906.1>

doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.906.1>

ABSTRACT

Background and objective Iran is prone to various natural disasters including floods. The location of zones at risks of floods is necessary for making optimal decisions for its management. This study aims to locate the zones with flood risk in the Lavasanat watershed using the fuzzy logic model.

Method In this research, the most important factors affecting floods, including precipitation, slope, land use, distance from waterways, elevation, and lithology, were considered for flood risk zoning. These data were classified and weighted based on the opinions of 30 experts in the fields of geography, natural resources, and civil engineering. A questionnaire was prepared and distributed among them, and they were asked to weigh each factor between 0 and 1. Then, based on the fuzzy logic model, flood zoning maps were prepared in the ArcGIS software. To eliminate the limitations of fuzzy multiplication and sum models, a fuzzy gamma operator of 0.9 was used for flood risk zoning. In the final prepared maps, the study area was divided into five zones in terms of flood risk: Very high risk, high risk, moderate risk, low risk, and no risk (safe).

Results The results showed that the very high-risk zone covered 11.8% of the area, the high-risk zone covered 11.3%, the moderate-risk zone covered 26.7%, the low-risk zone covered 30.2%, and the no-risk zone covered 20%.

Conclusion More than 23% of the region is in zones at high and very high risk of floods. These zones are mainly located around the main waterway. In urban and rural planning and construction in the study area, the requirements for flood prevention and risk mitigation, including the consideration of flood retention and storage areas, should be taken into account.

Keywords Flood, Risk zoning, Fuzzy logic, Watershed

Article Info:

Received: 24 Nov 2024

Accepted: 12 May 2025

Available Online: 01 Jul 2025

* Corresponding Author:

Sayad Asghari Sareskanroud, Professor.

Address: Department of Natural Geography / Geomorphology Orientation, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Tel: +98 (910) 4020251

E-mail: s.asghari@uma.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Flood is a natural disaster with severe negative impacts, especially on urban and peri-urban areas. The consequences of flood range from loss of life and property to disruption of essential services and infrastructure. Developing countries are particularly vulnerable to these disasters due to factors such as rapid population growth, inadequate infrastructure, and limited resources for disaster preparedness and disaster response. Various methods are used to mitigate the flood risks, ranging from geological and sedimentological approaches to climate change analyses. Among these methods, geomorphological techniques offer a comprehensive approach by integrating endogenous (internal processes of the Earth) and exogenous (external processes of the Earth) agents. By considering the interaction between geological features, surface processes, and climate factors, geomorphological methods provide comprehensive insights into risk zonation and facilitate the development of effective hazard mitigation measures and solutions. The purpose of this study is to locate the zones at risk of floods in the Lavasanat watershed located in Shemiranat County, Tehran Province, Iran. Due to its proximity to Tehran and having a rustic nature, Lavasanat has high economic value; thus, is always exposed to encroachments and illegal constructions. The occurrence of floods can have adverse effects on its watershed area and cause high sediment loads.

Methods

In this research, the flood risk zoning in the study area was carried out based on the fuzzy logic model. The layers of slope, precipitation, distance from the waterway, land use, elevation and lithology were used to zone the flood risk. All layers were first classified. To implement the fuzzy logic model, it is necessary to first weight the layers based on the membership function. Each layer was thus weighted and converted into raster layers, and the layers were fuzzy in the value range of zero to one. The weighting was done based on the opinions of 30 experts, who were asked to complete a designed questionnaire and score each factor from 0 to 1. The precipitation factor was weighted by considering four categories, while distance from the waterway, slope, land use, and elevation had five categories, and lithology had 10 categories. After weighting the layers, we calculated them using the fuzzy sum model which complements the algebraic multiplication model. In the output map based on this model, the pixel values tend towards 1 (higher membership value).

As a result, more pixels are placed in the “very high risk” class. Then, the layers were fuzzified using the fuzzy multiplication model. In this model, all information layers are multiplied together. This model causes the numbers in the output map to become smaller and tend towards 0 (lower membership value); as a result, fewer pixels are placed in the “very safe” class.

Results

Based on the results, the safe zone had an area of 3450 hectares, covering 20% of the area. This zone was mainly located away from waterways and was consistent with the steep and high-altitude areas. The area of the low-risk zone was 4874 hectares. Like the safe zone, this zone was located away from waterways and mainly covered the region's central areas, which have the largest area in the region. The area of the moderate-risk zone was 4276 hectares. The high-risk zone had an area of 2056 hectares, which were mainly located around waterways on low slopes and in areas with low vegetation cover. The very high risk zone had an area of 1980 hectares, which was located around waterways on low-slope areas, similar to the high-risk zone.

Conclusion

More than 23% of the region is in zones at high and very high risk of floods, which are mainly located around the main waterway. In urban and rural planning, development, and construction, the requirements for flood prevention and risk reduction, including the provision of retention and storage areas, should be considered.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This research was conducted in compliance with the ethical principles. Since there was no experiment on human or animal samples, the need for an ethical code was waived.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.



Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.



مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل منطق فازی، نمونه موردی: حوضه آبخیز لواسانات

*صیاد اصغری سراسکانرود^۱، عقیل مددی^۱، ماهرخ سردشتی^۱

۱. گروه جغرافیای طبیعی / گرایش ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.



Citation: Asghari Sareskanrou, S., Madadi, A., & Sardashti, M. (2025). [Flood Risk Zoning Using Fuzzy Logic Model; Case Example: Lavasanat Watershed (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):144-159. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.906.1>

doi: <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.906.1>

حکیده

زمینه و هدف: ایران کشوری حادثه‌خیز از نظر بلایای طبیعی از جمله سیلاب است. شناسایی نواحی در معرض خطر سیلاب برای اتخاذ تصمیمات بهینه در مدیریت این پدیده ضروری است. هدف این پژوهش، تعیین مکان نواحی دارای خطر سیلاب در حوضه آبخیز لواسانات با استفاده از مدل منطق فازی است.

روش: در این تحقیق، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب شامل بارش، شیب زمین، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه‌ها، ارتفاع و لیتولوژی برای پهنه‌بندی خطر سیلاب مورد بررسی قرار گرفت. این داده‌ها براساس نظر ۳۰ نفر از متخصصان جغرافیا، منابع طبیعی و مهندسی عمران، طبقه‌بندی و وزن‌دهی شدند. پرسش‌نامه‌ای تهیه و در اختیار آنان قرار گرفت تا هر عامل را در بازه (۰ تا ۱) وزن‌دهی کنند. سپس با بهره‌گیری از مدل منطق فازی، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. برای رفع محدودیت‌های مدل‌های ضرب و جمع فازی، از اپراتور گامای فازی با مقدار ۰/۹ استفاده شد. در نقشه‌های نهایی، منطقه مورد مطالعه از نظر خطر سیلاب به پنج پهنه شامل خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بدون خطر (ایمن) تقسیم شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد پهنه با خطر بسیار زیاد ۱۱/۸ درصد، پهنه با خطر زیاد ۱۱/۳ درصد، پهنه با خطر متوسط ۲۶/۷ درصد، پهنه با خطر کم ۳۰/۲ درصد، و پهنه بدون خطر ۲۰ درصد از مساحت منطقه را پوشش می‌دهند.

نتیجه‌گیری: بیش از ۲۳ درصد از منطقه مورد مطالعه در پهنه‌های دارای خطر زیاد و بسیار زیاد سیلاب قرار دارد. این نواحی عمدتاً در اطراف آبراهه اصلی واقع شده‌اند. در برنامه‌ریزی‌های شهری و روستایی و فعالیت‌های عمرانی منطقه، ضرورت دارد تمهیداتی برای پیشگیری و کاهش خطر سیلاب از جمله در نظر گرفتن مناطق نگهدارنده و ذخیره سیلاب لحاظ شود.

کلیدواژه‌ها: سیل، کوهستان، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، آسیب‌پذیری، حوضه آبخیز لواسانات

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳ آذر ۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴ اردیبهشت ۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴ تیر ۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر صیاد اصغری سراسکانرود

نشانی: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی / گرایش ژئومورفولوژی.

تلفن: ۴۰۲۰۲۵۱ (۹۱۰) +۹۸

پست الکترونیکی: s.asghari@uma.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

نابرابری‌های اجتماعی اقتصادی موجود و چالش‌های زیست محیطی را تشدید می‌کند (کساد-رومن و همکاران، ۲۰۲۲). روش‌های مختلفی برای مطالعه و کاهش خطرات سیلاب، از رویکردهای زمین‌شناسی و رسوب‌شناسی گرفته تا تحلیل‌های اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در میان این روش‌ها، تکنیک‌های ژئومورفولوژیکی با ادغام متغیرها و دینامیک درون‌زا (فرایندهای درونی زمین) و برون‌زا (فرایندهای زمین خارجی) رویکردی جامع ارائه می‌دهند. با در نظر گرفتن تأثیر متقابل بین ویژگی‌های زمین‌شناسی، فرایندهای سطحی و عوامل آب‌وهوایی، روش‌های ژئومورفولوژیکی بینش‌های جامعی را در مورد پهنه‌بندی خطر ارائه می‌کنند. توسعه اقدامات و راه‌حل‌های مؤثر باعث کاهش خطر می‌شوند. علاوه بر این روش‌های ژئومورفولوژیکی ارتباط جهانی را از طریق کاربردهای گسترده خود در کاهش خطر مخاطرات نشان می‌دهند (ولسکی و همکاران، ۲۰۰۶).

نقشه‌های ژئومورفولوژیکی مبنای محکمی برای پهنه‌بندی خطر ارائه می‌دهند، زیرا از تجزیه و تحلیل کامل ویژگی‌های فیزیکی زمین، از جمله شیب، زمین‌شناسی و داده‌های تاریخی زمین لغزش به دست آمده‌اند. این نقشه‌ها به عنوان یک ابزار ضروری برای شناسایی مناطق احتمالی مستعد زمین لغزش عمل می‌کنند. در حالی که عواملی مانند فعالیت لرزه‌ای، بارندگی و مداخلات انسانی می‌توانند بر وقوع زمین لغزش تأثیر بگذارند، نقشه‌برداری ژئومورفولوژیکی پایه کافی برای شناسایی خطر باقی می‌ماند. زمانی که نقشه‌های ژئومورفولوژیکی با سایر عوامل خطر، مانند داده‌های بارندگی و الگوهای کاربری اراضی انسانی ادغام می‌شوند، چارچوبی جامع برای مدیریت و برنامه‌ریزی مؤثر ریسک ارائه می‌کنند (چن و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات بسیاری در ارتباط با سیلاب در سطح ایران و جهان صورت گرفته است. سان و همکاران (۲۰۲۵) مقاله‌ای تحت عنوان «چارچوب مبتنی بر مکانی برای شبیه‌سازی سریع سیل ناشی از طوفان و ارزیابی ریسک جامع با استفاده از GWDD و FUZZY-SWARA» به نگارش درآوردند. نتایج نشان داد در مقایسه با روش‌های سنتی، این رویکرد تحلیل مکانی، مدل‌های فیزیکی را ساده می‌کند و بازده محاسباتی را ۶۷/۴۴ برابر افزایش می‌دهد و در عین حال دقت محاسباتی ۸۴/۰۸ درصد را با حداقل از دست دادن دقت حفظ می‌کند.

رینسوفسر و همکاران (۲۰۲۵) مقاله‌ای تحت عنوان پایش خطر سیل در سوئیس به نگارش درآوردند. نتایج نشان‌دهنده تغییرات سالانه خطر سیل در سوئیس و در واحدهای اداری مختلف، تنوع مکانی تکامل خطر سیل و تغییرپذیری در تکامل اجزای خطر سیل است. بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳، کل خطر سیل در سوئیس ۲۶ درصد، منطقه خطر ۳۲ درصد و قرار گرفتن در معرض، ۳۵ درصد افزایش یافته است. تفکیک عوامل خطر به درک بهتر عوامل مهمی که خطر را افزایش یا کاهش می‌دهند، منجر می‌شود. با این حال در دسترس بودن و سازگاری داده‌ها چالش‌هایی برای پایش خطر سیل است.

از آغاز تمدن بشری زندگی بشر همواره به وسیله مخاطرات طبیعی تهدید شده‌اند. سیلاب از جمله پدیده‌های طبیعی است که هر ساله سبب خسارات سنگین جانی و مالی می‌شود. تخریب منابع طبیعی چه به صورت بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها و منابع طبیعی و چه به شکل تغییر کاربری اراضی و تبدیل آن‌ها به زمین کشاورزی نامناسب و ساخت مناطق مسکونی، موجب شده سیلاب‌ها سال به سال هم از نظر تعداد وقوع و هم از نظر شدت خسارات افزایش یابند. سیلاب یکی از مخرب‌ترین فجایع طبیعی است که به شدت بر توسعه جهانی و ایمنی انسان تأثیر می‌گذارد (افشاری آزاد و پورکی، ۱۳۹۲؛ سبزواری، ۱۳۹۸). در سال‌های اخیر، فراوانی و شدت این مخاطره افزایش یافته که در درجه اول به تغییر اقلیم نسبت داده می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین این روند توسط عوامل دیگری، مانند رشد جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی که به شدت در برابر چنین مخاطراتی آسیب‌پذیر هستند، تشدید می‌شود (هاگن و همکاران، ۲۰۱۰). در نتیجه، خطر سیل به طور قابل توجهی در سطح جهان افزایش یافته است (ونگ و همکاران، ۲۰۲۱).

بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته تغییرات اقلیمی که یکی از دلایل افزایش سیلاب‌ها هستند تا سال ۲۰۳۰ بیشتر افزایش می‌یابد (هونگ و همکاران، ۲۰۱۸). بدون اقدامات کافی برای کاهش خطر سیل، رشد اقتصادی اجتماعی مداوم ممکن است منجر به افزایش ۲۰ برابری خسارات مطلق مرتبط با سیل تا سال ۲۱۰۰ شود (کلاتر و همکاران، ۲۰۲۱؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه بر این حوضه‌های آبخیز وسیع که با شرایط هیدرولوژیکی پیچیده، تمرکز جمعیت متراکم و فعالیت‌های اقتصادی پر جنب و جوش مواجه هستند، غالباً جریان‌های اوج بالا و وقوع سیلاب‌های طولانی مدت را تجربه می‌کنند. در نتیجه، منابع مادی، مالی و انسانی قابل توجهی برای کنترل مؤثر سیل و تلاش‌های امدادی این مخاطره ضروری است (تیان و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه چنین پدیده‌های بهتر است از نظریه فازی که می‌تواند متغیرهای نادقیق و مبهم را به شکل ریاضی درآورد، استفاده کرد. برای اجرای تکنیک فازی عملگرهایی نظیر اجتماع و اشتراک، ضرب جبری، جمع جبری و گاما نیاز است (عابدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ آیگون و همکاران، ۱۴۰۳).

زمین لغزش و سیل خطرات طبیعی قابل توجهی را با اثرات شدید، به ویژه در مناطق شهری و حومه شهری به وجود می‌آورند. پیامدهای این رویدادها از خسارات جانی و مالی تا اختلال در خدمات و زیرساخت‌های اساسی متنوع است. کشورهای در حال توسعه، به دلیل عواملی مانند رشد سریع جمعیت، زیرساخت‌های ناکافی و منابع محدود برای آمادگی و واکنش در برابر مخاطرات، به ویژه در برابر اثرات زمین لغزش و سیل بیشتر آسیب‌پذیر هستند. این کشورها، با نامتناسبی از این خطرات را تجربه کرده‌اند که



در این پژوهش برای از بین بردن نواقص ضرب و جمع فازی از عملگر گاما $0/9$ برای پهنه‌بندی سیلاب استفاده شده است. رابطه عملگر فازی حالت کلی روابط عملگرهای ضرب و جمع است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما پارامترهای کاهشی و افزایشی را هم‌زمان تلفیق کرد و به مقادیری در خروجی‌ها دست یافت که حاصل سازگاری قابل‌انعطاف میان گرایش‌های افزایشی و کاهشی 2 عملگر ضرب و جمع فازی هستند. معمولاً حد واسط یعنی $0/7$ را در بیشتر پژوهش‌ها برای اینکه دقت بیشتری دارد انتخاب می‌کنند، اما در این پژوهش عملگر $0/9$ انتخاب شد و برای اعتبارسنجی آن از نقاط انتخابی استفاده شد که در روش تحقیق توضیح داده شده است. در تمامی مطالعات و پژوهش‌های قبلی مناطق مورد مطالعه عمدتاً دارای یکنواختی در ناهمواری می‌باشند اما منطقه مورد مطالعه این پژوهش دارای اختلاف ارتفاع و شیب زیادی بین مناطق پایین‌دست و بالا دست است. همچنین در این مطالعه سعی شد از ترکیب عملگرهای مختلف برای کسب نتیجه بهتر استفاده شود.

هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز لواسانات بود. وضعیت خاص منطقه مورد مطالعه، از جمله نزدیکی به تهران و ییلاقی بودن آن باعث شده این منطقه به یکی از گران‌ترین مناطق تبدیل شود و به لحاظ ارزش بالای اقتصادی همواره در معرض تجاوزات و ساخت‌وسازهای غیرقانونی قرار گیرد؛ بنابراین رخ دادن سیلاب می‌تواند اثرات نامطلوبی را بر رودخانه و کناره‌ها و نیز آورد رسوبی بالا و غیره داشته باشد. باتوجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده در طی سال‌های گذشته این منطقه با وقوع سیلاب‌های مخربی مواجه بوده است. از جمله می‌توان به سیلاب رخ داده در تاریخ ۲۲ تا ۲۴ فروردین ۱۳۹۴ اشاره کرد. طی بارندگی فراوان و آب شدن برف ارتفاعات و جاری شدن سیلاب به سمت پایین‌دست در منطقه حوضه رودخانه جاجرود، سیلابی قابل‌توجه حادث شد که در تصویر شماره ۱، نمایی از این سیلاب ویرانگر نشان داده شده است. به همین دلیل توجه به سیلاب و ارائه راهکار در این خصوص بسیار ضروری است.

روش

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه جزو حوضه آبخیز سد لتیان و در شمال شرق تهران واقع شده است (تصویر شماره ۲). براساس تقسیمات زمین‌ساختی نبوی، منطقه مورد مطالعه در بخش البرز - آذربایجان و از نظر زمین‌شناسی در زون البرز مرکزی قرار گرفته است. رودخانه اصلی این منطقه جاجرود است که از ارتفاعات البرز سرچشمه می‌گیرد (ابراهیمی، ۱۳۹۹).

تلمن و همکاران (۲۰۲۳) تصویر سنجش از دور ماهواره‌ای با وضوح بالا را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ جمع‌آوری و نقشه‌های سیل مربوط به ۹۱۳ رویداد سیل اصلی را تولید کردند. آن‌ها دریافتند کل منطقه سیل‌زده به $2/23$ میلیون کیلومتر مربع رسیده است که بر تقریباً ۲۵۵ تا ۲۹۰ میلیون نفر تأثیر می‌گذارد. نتایج نشان می‌دهد بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵، جمعیت مناطق سیل‌خیز به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت و از ۵۸ میلیون نفر به ۸۶ میلیون نفر رسید. این امر منجر به افزایش تقریباً ۲۴ درصدی جمعیت جهان در معرض سیلاب شده است.

در ایران نیز کارهای بسیاری در زمینه سیلاب انجام شده که از جمله می‌توان به کارهای زیر اشاره کرد.

قنوتی (۱۳۹۲) پهنه‌بندی خطر سیلاب (سیل‌خیزی و سیل‌گیری) در محدوده شهر کرج و نواحی پیرامون آن را با استفاده از منطق فازی مورد بررسی قرار داد و باتوجه به نقشه نهایی به‌دست‌آمده اشاره کرد مدل فازی با وجود پیچیدگی‌هایی که دارد دارای مزایای بسیاری در مطالعه پدیده‌های مختلف مرتبط با سطح زمین است و باتوجه به نقشه نهایی به‌دست‌آمده از این مدل، سیل‌خیزی پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در بخش شمالی، شمال شرقی و شرقی منطقه مورد مطالعه واقع شده است.

نجفی و کریمی کردآبادی (۱۳۹۹) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY با تأکید بر امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه ۱ کلان‌شهر تهران) پرداختند. نتایج نشان می‌دهد پهنه‌های خطر خیلی کم، خطر کم و متوسط در شمال و مرکز محدوده مورد مطالعه قرار دارند و پهنه‌های خطر خیلی زیاد و زیاد، منطبق بر نقاط خروجی حوضه‌ها و در محدوده شهری منطقه قرار دارند. باتوجه به نقشه نهایی به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی سیلاب و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت‌وساز در محدوده‌های با خطر بسیار زیاد و زیاد و حریم مسیل‌ها و رودخانه‌های متعدد در منطقه ۱ تهران ممانعت شود.

آیگون و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی به بررسی آسیب‌های وارده به رودخانه تالار پرداختند و چارچوبی برای تحلیل مخاطرات مشابه در سایر رودخانه‌های کشور ارائه دادند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده ضرورت همکاری میان نهادهای دولتی، محلی و جامعه مدنی برای ایجاد راهکارهای مؤثر در مدیریت پایدار منابع آبی است که با درک عمیق از چالش‌های موجود و اتخاذ شیوه‌های جامع مدیریت، می‌توان به حفاظت از این منابع ارزشمند و بهبود کیفیت زندگی عمومی کمک کرد.



تصویر ۱. آب‌گرفتگی ساخت‌وسازهای غیرمجاز در اثر سیلاب مورخ ۲۲ تا ۴۲ فروردین ماه سال ۱۳۹۱ (عکس از نگارندگان).

در مدل فازی هر عضو هم‌زمان در مجموعه‌های مختلف، ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و ۱ و نیز خود این دو حد را می‌پذیرد. برای اجرای تکنیک فازی به عملگرهایی نظیر OR (اجتماع)، AND (اشتراک)، Prod-uct (ضرب جبری)، Sum (جمع جبری) و Gamma (گاما) نیاز است. در عملگر OR پیکسلی که فقط از نظر یک نقشه مناسب بوده و ارزش ۱ داشته باشد و از لحاظ سایر لایه‌های اطلاعاتی دارای ارزش صفر باشد، در نقشه خروجی تلفیق یافته و ارزش ۱ می‌گیرد و مناسب تشخیص داده می‌شود. در عملگر AND فقط پیکسلی که در تمامی نقشه‌های پایه ارزش ۱ دارد، در نقشه نهایی ارزش ۱ خواهد داشت و جزء مناطق مناسب قرار می‌گیرد. عملگر Product موجب می‌شود تا اعداد مجموعه‌ها کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. اما عملگر Sum برخلاف عملگر Product موجب می‌شود تا اعداد به سمت ۱ میل کنند. جهت تعدیل حساسیت خیلی خیلی بالای عملگر Product و دقت خیلی کم عملگر Sum، عملگر دیگری به نام Gamma تعریف شده است. مقدار گاما تعدیل‌کننده بین صفر و ۱ است و از طریق قضاوت کارشناسانه تعیین می‌شود. گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای ۱ معادل جمع فازی است (جیانگ و همکاران، ۲۰۲۳).

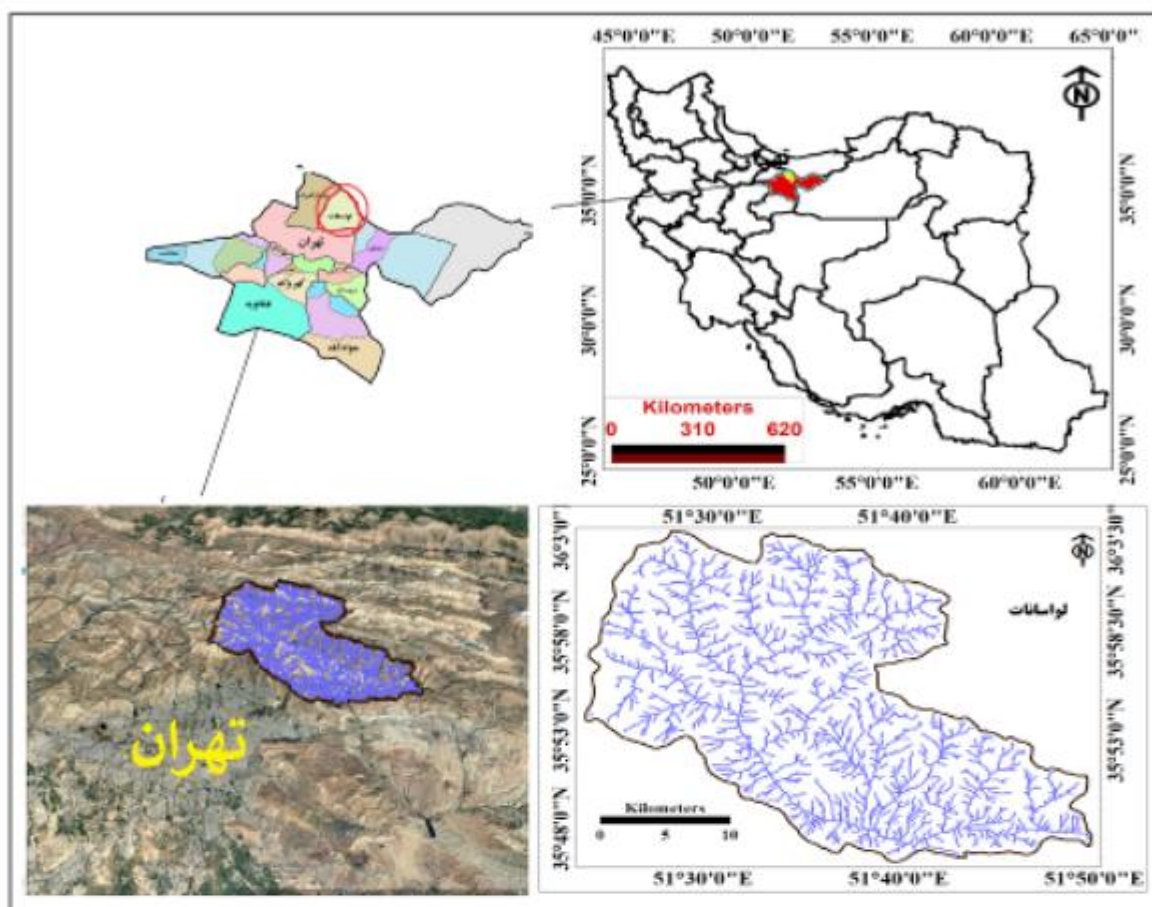
در این مطالعه از عملگرهای Product، Sum و Gamma استفاده شده است. با عنایت به مراتب فوق در این تحقیق ابتدا تمام لایه‌ها طبقه‌بندی شدند. به‌منظور اجرای مدل منطق فازی لازم است ابتدا لایه‌ها براساس تابع عضویت، وزن‌دهی شوند. هر لایه وزن‌دهی و تبدیل به لایه‌های رستری شد و لایه‌ها در بازه ارزشی صفر تا ۱ فازی شدند (فرمول‌های شماره ۳، ۲، ۱).

1. Combination = $\prod_{i=1}^n i(1 - \mu)$
2. Combination = $\prod_{i=1}^n \mu i$
3. Combination = (Fuzzy A lg. Sum)*(Fuzzy A lg. Product) μ

منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ دقیقه و ۳۰ درجه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی واقع شده است. رودخانه جاجرود از ارتفاعات خرسنگ، جانستون، سرکچال، دیزین، آهار، شکرآب، گرمابدر و غیره سرچشمه گرفته و از بهم پیوستن شاخه‌های گرمابدر، ابنیک، روته، میگون، شمشک، فشم و اوشان در منطقه رودبار قصران تشکیل شده است و به سد لتیان منتهی می‌شود. از دیگر رودخانه‌های این حوضه، رودخانه افجه و کندرود در لواسان و رودخانه لوارک است. این منطقه یکی از حوزه‌های آبخیز کوهستانی کشور با ارتفاع و شیب زیاد است. ارتفاع متوسط منطقه ۲۳۲۹ متر از سطح دریا و شیب متوسط آن ۴۱ درصد است. برهمن اساس کمترین ارتفاع منطقه ۱۵۳۵ متر است که در جنوب غرب منطقه مشاهده می‌شود و بیشترین ارتفاع منطقه ۴۲۸۰ متر است که در قسمت‌های شمالی منطقه قابل مشاهده است (ابراهیمی، ۱۳۹۹).

روش تحقیق

براساس مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته درمورد خطر سیلاب، عوامل بسیاری در آن دخیل‌اند. در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه مورد مطالعه از لایه‌های شیب، بارش، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، ارتفاع و لیتولوژی استفاده شد. باتوجه به اینکه پدیده‌هایی نظیر سیلاب تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی و صددرصدی نیستند، در این تحقیق پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب براساس مدل منطق فازی صورت پذیرفت. منطق فازی شیوه‌های مرسوم برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم را که نیازمند ریاضیات پیشرفته و نسبتاً پیچیده است با استفاده از مقادیر و شرایط زبانی و یا به عبارتی دانش فرد خبره و با هدف ساده‌سازی و کارآمدتر شدن طراحی سیستم، جایگزین و یا تا حد زیادی تکمیل می‌کند (کلانتر و همکاران، ۲۰۲۱).



تصویر ۲. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

شناسایی قرار گرفتند و سپس پرسش‌نامه‌ای تهیه و بین آن‌ها توزیع و از آن‌ها خواسته شد به هر عامل بین صفر تا ۱ وزن دهند. بدین ترتیب اگر نقش عامل در وقوع سیلاب در منطقه زیاد است وزن بیشتر و امتیازش نزدیک به ۱ و اگر نقش کمتری دارد وزن کمتر و امتیازش نزدیک به صفر بود.

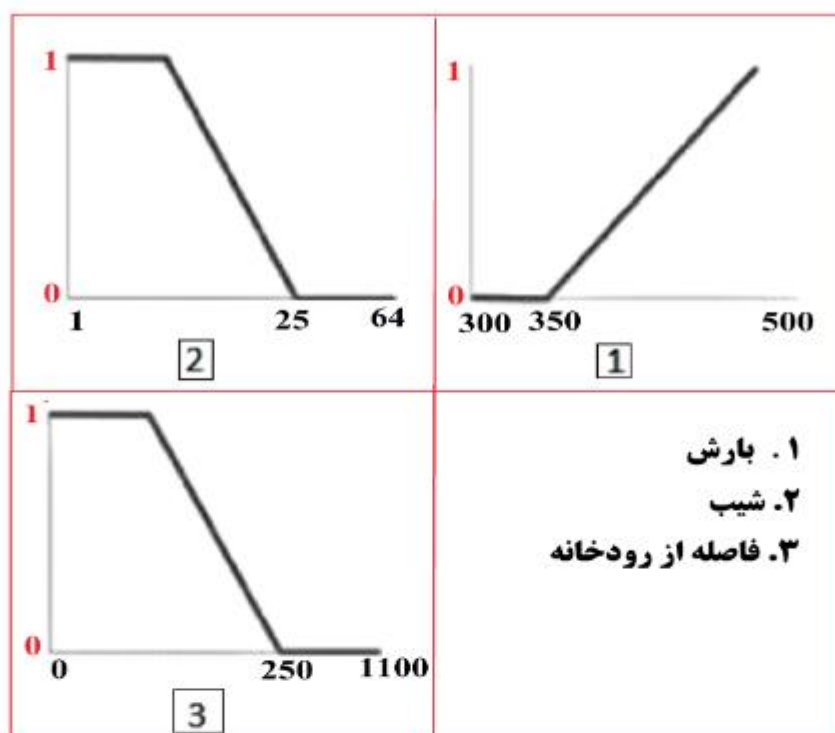
به منظور اعتبارسنجی نقشه پیش‌بینی پتانسیل سیل، مجموعه نقاط اعتبارسنجی (۳۵ نقطه، ۹۲ درصد مجموع نقاط) استفاده شدند. در این مرحله ۳۵ نقطه در محیط GIS با نقشه حساسیت سیل روی هم‌گذاری شدند، سپس با استفاده از دستور Sample هر کدام از نقاط که در طبقات نقشه پیش‌بینی قرار گرفتند، نمونه‌برداری شدند و بدین ترتیب و با استفاده از هیستوگرام فراوانی وقوع نقاط سیل گیر، صحت‌سنجی نقشه پیش‌بینی انجام شد.

تابع عضویت هر یک از لایه‌ها در مدل براساس نوع رابطه‌ای که هر پارامتر با پدیده سیل خیزی در منطقه مورد مطالعه دارد، تعیین شده است که باتوجه به میزان اهمیت و تأثیر در رخداد سیلاب، لایه‌ها طبقه‌بندی، امتیازدهی و وزن‌دهی شدند (تصویر شماره ۳). عامل بارش با پدیده سیلاب رابطه مستقیم دارد، یعنی با افزایش مقدار بارش در منطقه خطر سیلاب افزایش می‌یابد (داس، ۲۰۲۰).

در رابطه گامای فازی ۷ پارامتر انتخاب شده در محدوده صفر و ۱ است. وقتی ۷ برابر ۱ باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی ۷ صفر باشد، ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه بین صفر و ۱ مقداری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل‌انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی ۲ عملگر جمع و ضرب فازی هستند. این عملگر زمانی استفاده می‌شود که اثر برخی شواهد کاهشی و اثر برخی افزایشی باشد (فرج‌زاده، ۱۳۹۲).

از میان معیارها، شیب از مدل رقومی ارتفاع منطقه استخراج شد که مستقیماً ماهیت رستری داشته و نیازی به انجام رستری نداشته است. معیارهای کاربری اراضی چون به صورت برداری (وکتوری) هستند در جدول اعداد توصیفی فیلدی تحت عنوان وزن فازی درست شد و طبق آن رستری شدند. معیارهای فاصله از فاصله از آبراهه با استفاده از دستور Euclidean Distance به لایه رستری تبدیل شده‌اند. معیار بارش هم با استفاده از دستور درون‌یابی IDW^۱ به دست آمد که خود این لایه رستری است. وزن‌دهی لایه‌ها براساس نظرات ۳۰ کارشناس و خبره در رشته‌های جغرافیا، منابع طبیعی و عمران صورت پذیرفت. کارشناسان و خبرگان از طریق مطالعه رزومه و مقالات مورد

1. Inverse Distance Weighting



تصویر ۳. نوع تولید قازی لایه‌ها و وزن‌دهی آن‌ها

یافته‌ها

تعیین عضویت لایه‌ها در مدل سیلاب خیزی

عامل بارش

رابطه بارش با سیل‌خیزی مستقیم است (اکمچی اوغلو و همکاران، ۲۰۲۱). برای وزن‌دهی لایه بارش، براساس اینکه با افزایش میزان بارش میزان خطر سیلاب بیشتر می‌شود نوع تابع برای وزن‌دهی آن خطی افزایش یافته است. بنابراین میزان بارش در منطقه به ۴ طبقه تقسیم و براین اساس وزن‌دهی شد (جدول شماره ۱).

عامل شیب

شیب با پدیده سیلاب رابطه معکوس دارد؛ یعنی با کاهش مقدار شیب در حوضه خطر سیلاب افزایش می‌یابد (قنوتی، ۱۳۹۲). برای قازی‌سازی لایه شیب، باتوجه به اینکه با افزایش میزان شیب، میزان خطر سیلاب کاهش می‌یابد و نوع تابع برای قازی‌سازی آن خطی کاهشی است، با کاهش شیب خطر وقوع سیلاب افزایش می‌یابد (جدول شماره ۲).

عامل آبراهه

این پارامتر با سیل‌خیزی رابطه معکوس دارد. بنابراین از رابطه خطی و کاهنده در تعیین عضویت این لایه استفاده شده است. به عبارتی فاصله از آبراهه از دیگر پارامترهای مؤثر بر سیل‌خیزی است، هرچه فاصله از آبراهه در حوضه کاهش یابد خطر سیلاب نیز افزایش می‌یابد (دنگ، ۲۰۱۸). برای وزن‌دهی لایه فاصله از آبراهه، براساس اینکه با افزایش فاصله از آبراهه، میزان خطر سیلاب کمتر می‌شود، بنابراین امتیاز کمتری داده می‌شود (جدول شماره ۳).

عامل کاربری اراضی

در منطقه مورد مطالعه ۵ نوع کاربری اراضی در نظر گرفته شده است، به نحوی که به کاربری‌هایی که مرتبط با ساخت‌وساز شهری در منطقه بوده، به علت نفوذپذیری کمتر و نقش بیشتر در تولید رواناب و سیل‌خیزی، وزن بیشتری تعلق گرفته. به کاربری‌هایی که پوشش گیاهی بیشتر داشتند یا به‌صورت باغات یا زمین‌های بایر بوده‌اند به علت نفوذپذیری بیشتر، تولید رواناب کمتر و اهمیت کمتر در سیل‌خیزی وزن کمتری تعلق گرفته است (جدول شماره ۴).



جدول ۱. وزن‌دهی لایه بارش براساس مدل منطق قازی

نام طبقه	بارش	وزن
۱	۳۵۰-۳۰۰	۱
۲	۴۰۰-۳۵۰	۳
۳	۴۵۰-۴۰۰	۴
۴	۴۵۰<	۵

جدول ۲. وزن‌دهی لایه شیب براساس مدل منطق قازی

نام طبقه	شیب	وزن
۱	۸-۰	۵
۲	۱۷-۸	۴
۳	۲۵-۱۷	۳
۴	۳۳-۲۵	۲
۵	۶۴-۳۳	۱

جدول ۳. وزن‌دهی لایه فاصله از آبراهه براساس مدل منطق قازی

وزن	فاصله از آبراهه (متر)	نام طبقه
۵	۲۰۰-۰	۱
۴	۵۰۰-۲۰۰	۲
۲	۸۰۰-۵۰۰	۳
۲	۱۱۰۰-۸۰۰	۴
۱	۱۱۰۰<	۵

جدول ۴. وزن‌دهی لایه کاربری اراضی براساس مدل منطق قازی

نام طبقه	کاربری اراضی	وزن
۱	زمین بایر	۱
۲	مناطق مسکونی	۵
۳	زمین‌های کشاورزی	۲
۴	مرتع	۴
۵	چنگل	۳



جدول ۵. وزن‌دهی لایه لیتولوژی براساس مدل منطق فازی

نام طبقه	نوع سنگ	وزن
۱	توف	۵
۲	شیل	۲
۳	ماسه سنگ	۴
۴	کنگلومرا	۴
۵	شیست	۳
۶	آندزیت	۱
۷	پازالت	۲
۸	آبرفت	۵
۹	دولومیت	۱
۱۰	سنگ آهک	۱

جدول ۶. وزن‌دهی لایه ارتفاع براساس مدل منطق فازی

نام طبقه	طبقات ارتفاعی	وزن
۱	۱۵۳۵-۲۰۰۰	۱
۲	۲۵۰۰-۲۵۰۰	۲
۳	۳۵۰۰-۳۰۰۰	۳
۴	۳۵۰۰-۳۰۰۰	۴
۵	۴۲۸۰-۳۵۰۰	۵

عامل لیتولوژی

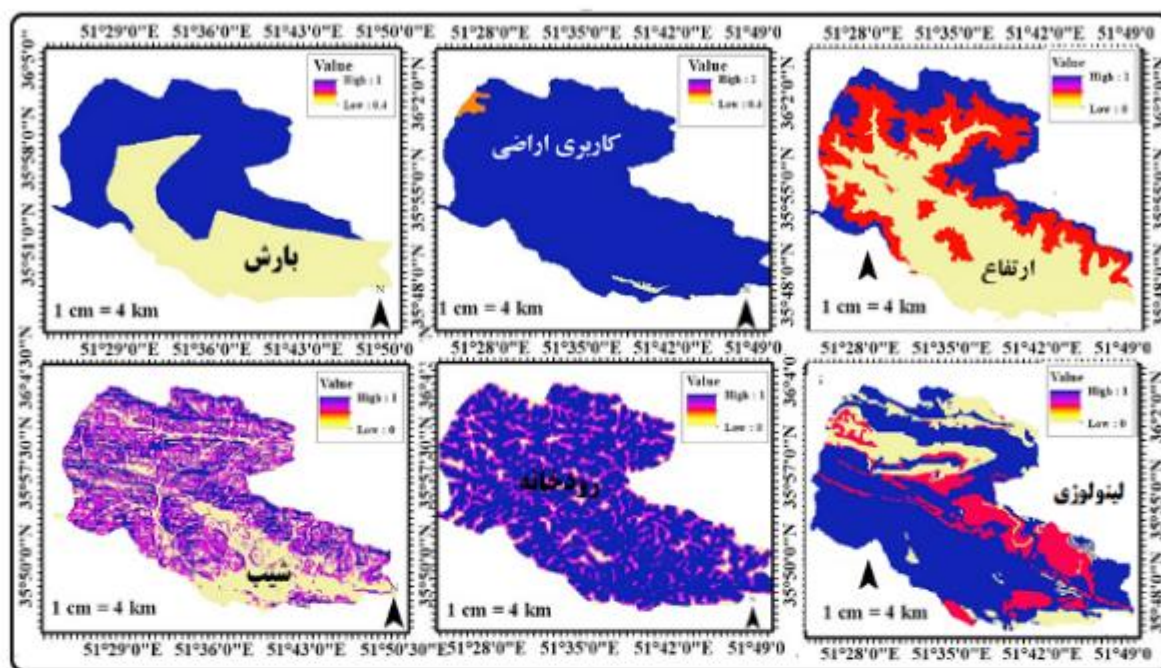
بحث

این لایه از ۱۰ طبقه تشکیل شده است. امتیازدهی به واحدهای زمین‌شناسی براساس چگونگی نفوذپذیری آن‌ها انجام شده است. به گونه‌ای که به واحدهایی که نفوذپذیری بیشتری داشته‌اند برای سیل‌خیزی وزن کمتر و به واحدهایی که نفوذپذیری کمتری دارند وزن بیشتری تعلق گرفته است (جدول شماره ۵).

عامل ارتفاع

این منطقه یکی از حوضه‌های آبخیز کوهستانی کشور با ارتفاع و شیب زیاد است. با توجه به تأثیر عامل ارتفاع در وقوع سیل منطقه مورد مطالعه به ۵ طبقه ارتفاعی تقسیم و براساس توابع منطق فازی وزن‌دهی شد (جدول شماره ۶). به گونه‌ای که هرچه ارتفاع بیشتر باشد، نقش مهم‌تری در سیل‌خیزی منطقه دارد، زیرا مناطق مرتفع دارای پتانسیل بیشتر در ارتباط با بارش و هدایت رواناب هستند. و در نهایت نقشه استاندارد سازی شده فازی لایه‌های مذکور تهیه شد (تصویر شماره ۴).

پس از استاندارد سازی لایه‌های موردنظر با استفاده از مدل جمع فازی وزن نهایی لایه‌ها محاسبه گردید. این مدل مکمل، حاصل ضرب جبری است. به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف مدل ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت ۱ میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خطرناک قرار می‌گیرد. به همین دلیل این عملگر حساسیت بالایی در مکان‌یابی دارد و از دقت زیادی برخوردار نیست. در تصویر شماره ۵ نقشه مدل جمع فازی برای محدوده مورد مطالعه آورده شده است (سلیمی، ۱۳۹۰). سپس لایه‌ها براساس مدل ضرب فازی^۲ فازی‌سازی شدند. در این مدل تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و ۱ که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی است، این مدل باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند؛ در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد (فرج زاده، ۱۳۹۲).

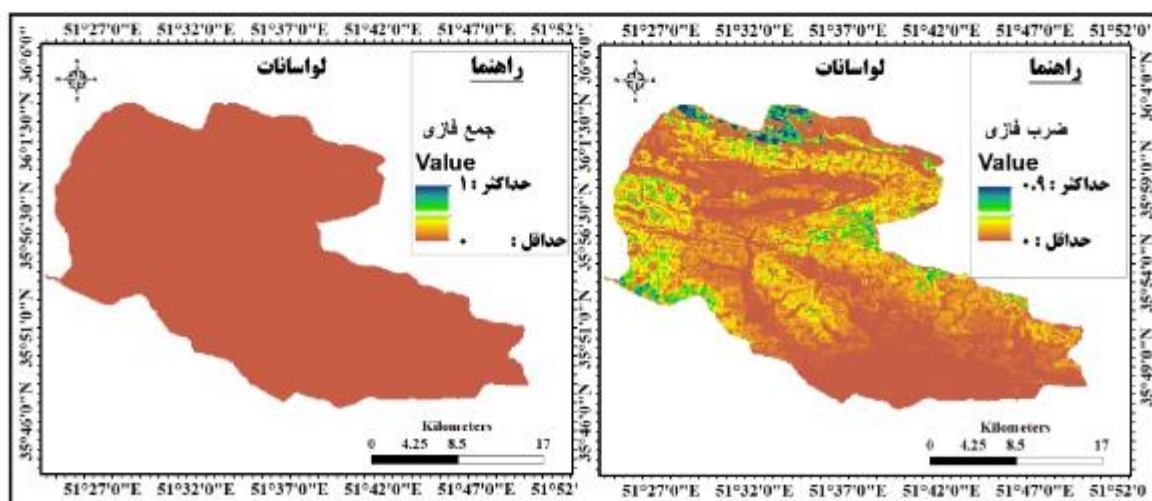


تصویر ۴. نقشه استانداردسازی شده قازی لایه های شیب، فاصله از آبراهه، بارش، کاربری اراضی، ارتفاع و هیدرولوژی

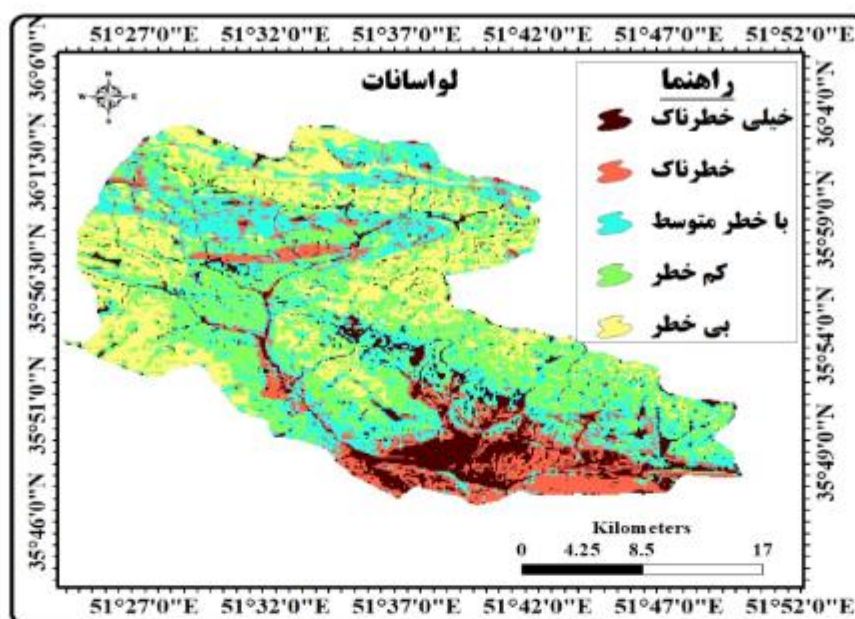
ارزیابی دقت نقشه پیش‌بینی استعداد سیل

به منظور ارزیابی دقت نقشه پیش‌بینی حساسیت سیل، از مجموع نقاط گروه اعتبارسنجی استفاده شد که نتایج آن به صورت هیستوگرام در تصویر شماره ۷ ارائه شده است. تفسیر هیستوگرام به این صورت است که در محور افقی هریک از طبقات مربوط به نقشه حساسیت قرار گرفته است و در محور عمودی درصد مساحت هریک از طبقات و همچنین درصد وقوع سیل‌های اتفاق افتاده در داخل هر طبقه از نقشه حساسیت سیل درج شده

براساس مدل ضرب قازی تقریباً ۷۵ درصد منطقه در پهنه بی‌خطر و کم‌خطر واقع شده‌اند. در حالی که براساس ضرب قازی بیش از ۹۵ درصد منطقه در پهنه خطرناک و خیلی خطرناک واقع شده است (جدول شماره ۷). برای از بین بردن نواقص ضرب و جمع قازی از عملگر گاما ۰/۹ استفاده شده است. تصویر شماره ۶ نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه براساس عملگر گامای قازی را نشان می‌دهد. براساس این نقشه، منطقه مورد مطالعه به ۵ پهنه خیلی خطرناک، خطرناک، با خطر متوسط، کم‌خطر و بی‌خطر تقسیم شده است.



تصویر ۵. قازی‌سازی لایه‌ها براساس اپراتور جمع و ضرب قازی



تصویر ۶. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب براساس عملگر گاما ۰/۹ در منطقه مورد مطالعه

با نتایج تحقیق داس (۲۰۲۰) مطابقت دارد. مساحت پهنه کم خطر ۴۸۷۴ هکتار است. این پهنه نیز به مانند پهنه بی‌خطر دور از آبراهه‌ها واقع شده است و عمدتاً مناطق مرکزی منطقه را دربر می‌گیرد و بیشترین مساحت را در منطقه داراست. مساحت پهنه خطر متوسط ۴۲۷۶ هکتار است. پهنه خطرناک دارای مساحت ۲۰۵۶ هکتار است که عمدتاً در اطراف آبراهه‌ها، در شیب‌های کم و در مناطق با پوشش گیاهی کم واقع شده‌اند. پهنه خیلی خطرناک نیز دارای ۱۹۸۰ هکتار می‌باشد که مانند پهنه خطرناک در اطراف آبراهه‌ها و مناطق کم‌شیب واقع شده‌اند. مسئله قابل توجه این است که پهنه‌های خیلی خطرناک و خطرناک عمدتاً در مجاورت آبراهه اصلی واقع شده‌اند که این یافته با نتایج تحقیق کلاتر و همکاران (۲۰۲۱)، کریمی سنگچینی و همکاران (۱۴۰۲)، انتظاری و همکاران (۱۳۹۸)، فرج‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. بیش از ۲۳ درصد منطقه جزو مناطق خیلی خطرناک و خطرناک به لحاظ خطر وقوع سیلاب است که با نتایج تحقیق نورعلی و همکاران (۱۳۹۶) مبنی بر اینکه پهنه خیلی خطرناک و خطرناک بیشترین وسعت را در منطقه دارند، مطابقت ندارد.

است. باتوجه به اینکه ۳۵ نقطه انتخاب‌شده جهت صحت‌سنجی درواقع نشان‌دهنده شرایط وقوع سیل هستند، بنابراین احتمال حضور این نقاط در طبقه‌های با حساسیت بیشتر (یعنی طبقه‌های خیلی زیاد و زیاد) و حتی در طبقه متوسط نیز دیده شوند.

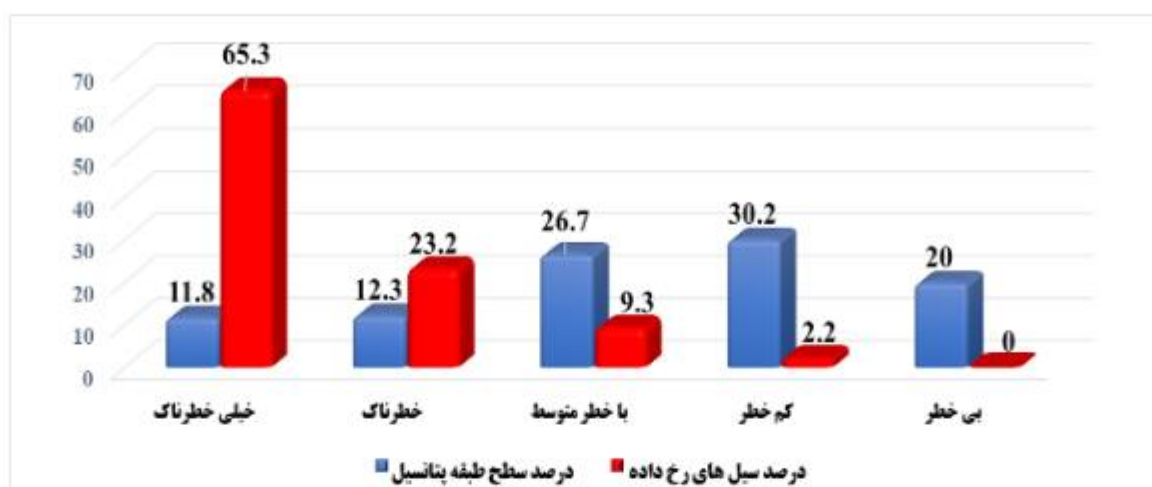
بنابراین باتوجه به تصویر شماره ۷ مشخص می‌شود احتمال حضور نقاط سیل‌گیر گروه اعتبارسنجی داده‌ها در طبقه خیلی خطرناک برابر با ۶۵/۱۴ درصد و برای طبقه بی‌خطر این عدد برابر با صفر درصد است. این در حالی است که مساحت هر کدام از این طبقه‌ها به ترتیب ۱۱/۸ و ۲۰ درصد از مساحت کل را شامل می‌شوند. بنابراین هیستوگرام مربوطه تأییدکننده روش نسبت فراوانی در تعیین نقشه حساسیت سیل در منطقه مورد پژوهش است.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده پهنه بی‌خطر ۳۴۵۰ هکتار و ۲۰ درصد منطقه را دربر می‌گیرد. این پهنه عمدتاً دورتر از آبراهه‌ها واقع شده است و با مناطق پرشیب و پرارتفاع منطبق است که

جدول ۷. مساحت مناطق خطر وقوع سیلاب براساس عملگر گاما ۰/۹ قازی

ردیف	میزان خطر	تعداد پیکسل خروجی	مساحت (هکتار)	درصد
۱	خیلی خطرناک	۶۶۰۱	۱۹۸۰	۱۱/۸
۲	خطرناک	۶۸۵۳	۲۰۵۶	۱۲/۳
۳	با خطر متوسط	۱۴۲۶۳	۴۲۷۶	۲۶/۷
۴	کم‌خطر	۱۶۲۵۸	۴۸۷۴	۳۰/۲
۵	بی‌خطر	۱۱۵۰۲	۳۴۵۰	۲۰



تصویر ۷. هیستوگرام ارزیابی صحت نقشه حساسیت سیل در حوزه آبخیز لواسانات

- استفاده از نرم افزارهای هوش مصنوعی و شبیه ساز برای سنجش میزان تاب آوری.

- باتوجه به طرح آزادسازی تصرفات و تخریب ساخت وسازها در بستر رودخانه لواسانات که مجری آن دستگاه قضا است پیشنهاد می شود این طرح با جدیت ادامه پیدا کند و مانند گذشته تفاوتی بین املاک دولتی و خصوصی دیده نشود تا شاهد آزادسازی ۱۰۰ درصد حریم رودخانه باشیم.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این تحقیق با رعایت اصول اخلاقی انجام شد. از آنجایی که هیچ آزمایشی روی نمونه های انسانی یا حیوانی انجام نشد، نیازی به رعایت اصول اخلاقی نبود.

حامی مالی

این پژوهش هیچ گونه کمک مالی از سازمانی های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش نویس مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

براساس نتایج تحقیق، متغیرهای مؤثر بر وقوع خطرات طبیعی در یک منطقه، به دلیل متفاوت بودن شرایط توپوگرافی، اقلیمی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، خاک شناسی و عوامل انسانی، ممکن است با منطقه دیگر متفاوت باشد که این با نتایج تحقیق **چزگی و پویان (۱۴۰۲)** از این لحاظ که شرایط محیطی نقش زیادی در وقوع مخاطرات محیطی دارد، مطابقت دارد.

نتایج هیستوگرام ارزیابی روش نسبت فرلوانی نشان داد احتمال حضور نقاط سیل گیر گروه اعتبارسنجی داده ها در پهنه خیلی خطرناک برابر با ۶۵/۱۴ درصد و برای طبقه بی خطر این عدد برابر با صفر درصد است که این با نتایج تحقیق **دارابی و همکاران (۱۳۹۵)** مطابقت دارد.

باتوجه به یافته ها راهکارهای ذیل پیشنهاد می شود:

- ایجاد بانک اطلاعاتی جامعه از نقاط ضعف و آسیب های موجود در مناطق مختلف به منظور شفاف سازی و افزایش آگاهی از مشکلات و موانع در این حوزه؛

- باتوجه به اینکه منطقه خطرناک و خیلی خطرناک در قسمت جنوبی منطقه و در مجاورت شهر لواسانات قرار دارد استفاده از سازوکارهای مناسب برای کنترل و ارزیابی روند توسعه شهری و سنجش میزان هماهنگی آن با ساختار تاب آوری شهری پیشنهاد می شود.

- به کارگیری و استفاده از ابزارهای هوشمند برای تصویربرداری از بالا برای مشخص شدن تراکم ساختمان ها و تخریب فضاهای سبز برای افزایش اطلاعات و آگاهی از محیط و برنامه ریزی صحیح براساس آن.

- افزایش آگاهی مردم با تبلیغات و ایجاد برنامه های آموزشی برای بالا بردن سطح مشارکت اجتماعی جامعه در زمان وقوع حادثه.



References

- Abgoun, A., Ebrahimi, K., & Heidari, M. (2024). [Investigating the Damaging Events of Talar River, Iran, in Tandem with Presenting a Proposed Framework (Persian)]. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 18 (66), 73-87. [Link]
- Abedi, M., Sadeghi, J., & Rezvani, K. (2016). [Application of fuzzy theory in flood risk modeling under uncertain and imprecise data (Persian)]. *Journal of Water Engineering Sciences*, 6(3), 26-34.
- Afshariyazad, M., & Poraki, H. (2013). [Environmental and geomorphological hazards assessment and their role on road transport (case study: Col Almass) (Persian)]. *Journal of Geography and Planning*, 16(42), 23-44. [Link]
- Arora, A., Arabameri, A., Pandey, M., Siddiqui, M. A., Shukla, U. K., & Bui, D. T., et al. (2021). Optimization of state-of-the-art fuzzy-metaheuristic ANFIS-based machine learning models for flood susceptibility prediction mapping in the Middle Ganga Plain, India. *The Science of The Total Environment*, 750, 141565. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.141565] [PMID]
- Baldassarre, G.D., Guy, S., & Paul, D.B. (2009). A technique for the calibration of hydrologic models using uncertain satellite observation of flood extent. *Journal of Hydrology*, 367(3-4), 276-282. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2009.01.020]
- Boithias, L., Acuña, V., Vergoñós, L., Ziv, G., Marcé, R., & Sabater, S. (2014). Assessment of the water supply-demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives. *The Science of The Total Environment*, 470-471, 567-577. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2013.10.003] [PMID]
- Chen, W., Li, Y., Xue, W., Shahabi, H., Li, S., & Hong, H., et al. (2020). Modeling flood susceptibility using data-driven approaches of naïve Bayes tree, alternating decision tree, and random forest methods. *The Science of The Total Environment*, 701, 134979. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.134979] [PMID]
- Chezgi, J., & Poyan, S. (2024). [Determining Flood-Prone Areas Using Machine Learning Models in the Shahrestank Watershed Area of Khosf City (Persian)]. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 17 (63), 4. [Link]
- Darabi, F., Nikroosh, M., & Hosseinzadeh, B. (2016). [Flood hazard assessment in northern regions using frequency ratio method (Persian)]. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(1), 38-49.
- Das, S. (2020). Flood susceptibility mapping of the Western Ghat Coastal Belt using multisource geospatial data and analytical hierarchy process (AHP). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20(4), 100379 [DOI:10.1016/j.rsase.2020.100379]
- Deng, X., & Xu, Y. (2018). Degrading flood regulation function of river systems in the urbanization process. *The Science of The Total Environment*, 622-623, 1379-1390. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.12.088] [PMID]
- Ebrahimi, L. (2020). [Preparation of flood hazards management map using a new random forest algorithm (Case study: Lavasanat watershed) (Case study: Lavasanat watershed) (Persian)]. *Environmental Management Hazards*, 7(2), 181-196. [DOI:10.22059/jhsci.2020.307476.584]
- Ekmeckioglu, O. Koc, K., & Ozger, M. (2021). Stakeholder perceptions in flood risk assessment: A hybrid fuzzy AHP-TOPSIS approach for Istanbul, Turkey. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60, 102327. [DOI:10.1016/j.ijdrr.2021.102327]
- Entazari, B., Kazemi, H., & Ramzani, A. (2019). [Statistical and fuzzy modeling of flood occurrence: Case study of the Shemiran watershed (Persian)]. *Iranian Journal of Water Resources Engineering*, 12(1), 101-115.
- Farajzade, M. (2012). [Flood risk assessment in sub-basins of West Azerbaijan province (Persian)]. *Quantitative Geomorphological Research*, 1, 59-68. [Link]
- Farajzadeh, M., Maleki, R., & Fattahi, N. (2018). [Evaluating flood risk in river-adjacent zones based on geomorphological parameters (Persian)]. *Iranian Hydrology Research*, 7(4), 77-89.
- Ghanavati, E. (2014). [FLOOD risk zonation for karaj city using fuzzy logic (Persian)]. *Geography and Environmental Hazards*, 2(8), 113-132. [Link]
- Hagen, E., Shroder Jr, J. F., Lu, X. X., & Teufert, J. F. (2010). Reverse engineered flood hazard mapping in Afghanistan: A parsimonious flood map model for developing countries. *Quaternary International*, 226(1-2), 82-91. [DOI:10.1016/j.quaint.2009.11.021]
- Hong, H., Tsangaratos, P., Ilia, I., Liu, J., Zhu, A. X., & Chen, W. (2018). Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China. *Science of The Total Environment*, 625, 575-588. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.12.256] [PMID]
- Hsieh, L. S., Hsu, M. H., & Li, M. H. (2006). An assessment of structural measures for floodprone lowlands with high population density along the Keelung River in Taiwan. *Natural Hazards*, 37(10), 133-152. [DOI:10.1007/s11069-005-4660-1]
- Jiang, F., Tian, J., Aihemaiti, N., & Zeng, J. (2023). Assessment of the supply-demand relationship of plain urban eco-hydrological regulation service in response to rainstorm-flood disaster: A case study of Tianjin City. *Acta Ecologica Sinica*, 43(12), 4928-4942. [DOI:10.5846/stxb202204301201]
- Kalantar, B., Ueda, N., Saeidi, V., Janizadeh, S., Shabani, F., Ahmadi, K., & Shabani, F. (2021). Deep neural network utilizing remote sensing datasets for flood hazard susceptibility mapping in Brisbane, Australia. *Remote Sensing*, 13(13), 2638. [DOI:10.3390/rs13132638]
- Karimi Sangchini, S., Dehghani, M., & Samaei, A. (2023). [Fuzzy logic application in flood risk assessment in urban areas (Persian)]. *Disaster Studies Quarterly*, 8(2), 45-60.
- Li, J., Fang, Z., Zhang, J., Huang, Q., & He, C., (2022). Mapping basin-scale supply-demand dynamics of flood regulation service- A case study in the baiyangdian Lake Basin, China. *Ecological Indicators*, 139, 108902. [DOI:10.1016/j.ecolind.2022.108902]
- Najafi, E. and Karimi Kerdabadi, M. (2020). [Flood risk evaluation and zoning using with AHP-Fuzzy Combined Model with emphasis on urban safety (case study: Region 1 of Tehran Municipality) (Persian)]. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(2), 43-60. [DOI:10.22067/geo.v9i2.86110]
- Nourali, D., Moradi, A., & Salehi, Y. (2017). [Extent of flood-prone zones in the Zayandeh-Rud basin using GIS (Persian)]. *Journal of Geological Sciences*, 10(2), 55-70.
- Quesada-Román, A., Castillo, C., & Martínez, J. (2022). Socioeconomic disparities and environmental challenges in landslide and flood risks in developing countries. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 65, 102547.



- Rindsfuser, N., Mosimann, M., Keiler, M., & Zischg, A. P. (2025). Flood risk monitoring in Switzerland: Proof of concept. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 119, 105337. [DOI:10.1016/j.ijdrr.2025.105337]
- Sabzevar, A. (2008). [Comparison of fuzzy logic model with other GIS-compatible conceptual models in locating flood-prone areas using ETM sensor satellites data (Persian)]. Proceedings of the Geomatics Conference, Tehran, Iran, 11 May 2008. [Link]
- Salimi, M. (2011). [Analysis of water quality parameters of Anzali Marsh using fuzzy mathematical method (Persian)] [MA thesis]. Tehran: Tarbiat Moallem University.
- Sirnakaudan, S. K., Ab Ghani, A., Ahmad, M. S. S., & Zakaria, N. A. (2003). Flood risk mapping for Pari River incorporating sediment transport. *Environmental Modelling & Software*, 18(2), 119-130. [DOI:10.1016/S1364-8152(02)00068-3]
- Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., & Brakenridge, G. R., et al. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596, 80-86. [Link]
- Tian, J., Zeng, S., Zeng, J., & Jiang, F. (2022). Assessment of Supply and Demand of Regional Flood Regulation Ecosystem Services and Zoning Management in Response to Flood Disasters: A Case Study of Fujian Delta. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 589. [DOI:10.3390/ijerph20010589] [PMID]
- Wang, Q. W., Zeng, J., Xin, R. H., & Liang, C. (2021). Effect of urbanization on the rainstorm and flood disaster risk: A case study of Min Delta. *Journal of Natural Disasters*, 30, 72-84. [Link]
- Wolski, P., Savenije, H. H. G., Murray-Hudson, M., & Gumbricht, T. (2006). Modelling of the flooding in the Okavango Delta, Botswana, using a hybrid reservoir-GIS model. *Journal of Hydrology*, 331(1-2), 58-72. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2006.04.040]
- Zhou, L., & Liu, L. (2024). Enhancing dynamic flood risk assessment and zoning using a coupled hydrological-hydrodynamic model and spatiotemporal information weighting method. *Journal of Environmental Management*, 366, 121831. [DOI:10.1016/j.jenvman.2024.121831] [PMID]

Research Paper

Identifying the Drivers and Consequences of the Mainstream Media's Effective Activism in Managing Soci-political Crises in Iran



*Mitra Afzali Farooji¹, Fatemeh Estarami²

1. Department of Media Management and Business Communications, Faculty of Business Management, College of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Department of Media and Cultural Management, Faculty of Culture and Communication, Soore International University, Tehran, Iran.



Citation Afzali Farooji, M., & Estarami, F. (2025). [Identifying the Drivers and Consequences of the Mainstream Media's Effective Activism in Managing Social-political Crises in Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):160-181.
<https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.922.1>

doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.922.1>

ABSTRACT

Background and objective In scientific texts on crisis management in Iran, crisis mostly refers to natural disasters and less attention has been made to man-made disasters. In this article, by emphasizing three prediction, prevention, and preparation phase of crisis management, we aim to identify the driving factors and the consequences of mainstream media's effective activism in managing socio-political crises in Iran.

Method This is a qualitative study. The participants were 15 media policymakers, experts in the field of crisis management, and politicians in the field of socio-political affairs in Iran, who were selected by purposive and snowball sampling methods and semi-structured interviews continued until reaching until reaching theoretical saturation. The data analysis method was the thematic content analysis.

Results From a total of 250 initial codes, 159 basic themes, 26 organizing themes, and 8 global themes were obtained. Based on the findings, the role of the media in socio-political crisis management before, during, and after the crisis included supporting public opinion, raising awareness, holding responsible institutions accountable, informing, and having strategic function. The factors driving effective media activism in predicting socio-political crises included infrastructure drivers, functional capability, human resources, professional standards, and social capital. The consequences of effective media activism in predicting socio-political crises were: Social, political, and media's social responsibility-related consequences. The factors driving effective media activism in preventing socio-political crises were divided into the drivers related to the public and the drivers related to the government/crisis managers. The consequences of effective media activism in preventing socio-political crises were divided into macro and micro consequences. The factors driving effective media activism in preparing for socio-political crises included process-related, content-related, and contextual drivers. The consequences of effective media activism in preparing for socio-political crises were categorized into three areas: Educational, psychological, and functional outcomes.

Conclusion The mainstream media in Iran can have effective activism in predicting, preventing, and preparing for social-political crises.

Keywords Crisis management, Media effective activism, Predictive, Preventive, Preparatory

Article Info:

Received: 13 Jan 2025

Accepted: 15 Apr 2025

Available Online: 01 Jul 2025

* Corresponding Author:

Mitra Afzali Farooji, PhD.

Address: Department of Media Management and Business Communications, Faculty of Business Management, College of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.

Tel: +98 (912) 7082410

E-mail: mitraafzali@ut.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



Extended Abstract

Introduction

In the current era, man-made disasters have increased. In Iran, the crisis management literature is mostly related to natural disasters such that, based on the national media management of crisis act (approved in 2022), the definition of crisis is limited to natural disasters. This is while, the effects of socio-political crises are more widespread than natural crises, and their extent, diversity, and complexity are beyond those of natural crises. In this article, inspired by the cyclical model of crisis management and using the three anticipatory, preventive, and preparatory approaches, we aim to identify the driving factors and the consequences of mainstream media's effective activism in managing socio-political crises in Iran.

Methods

This is a qualitative study based on an interpretive paradigm. The study population includes media managers and policymakers, professors in the field of crisis communication and media, experts in the field of crisis management and politicians with sufficient knowledge and experience in Iran. The purposive and snowball sampling methods were used. The interview method was used to collect data. We reached theoretical saturation after 15 interviews. The thematic analysis method was used to analyze the qualitative data obtained from the interviews. To determine the validity and reliability of the data, four criteria, including credibility, dependability, confirmability, and transferability, were used.

Results

After each interview, initial analysis and coding were carried out, which resulted in 159 basic themes, 26 organizing themes, and 8 global themes. Based on the findings, the global theme "the role of the media in socio-political crises" in the three phases before, during and after the crisis included the following organizing themes: Supporting public opinion, raising awareness, questioning the responsible institutions, informing, and having a strategic function.

The factors driving effective media activism in predicting socio-political crises included infrastructure drivers, functional capability, human resources, professional standards, and social capital. The consequences of effective media activism in predicting socio-political crises were: Social, political, and media's social responsibility-related consequences.

The factors driving effective media activism in preventing socio-political crises were divided into the drivers related to public and the drivers related to the government/crisis managers. The consequences of effective media activism in preventing socio-political crises were divided into macro and micro consequences.

The factors driving effective media activism in preparing for socio-political crises included process-related, content-related, and contextual drivers. The consequences of effective media activism in preparing for socio-political crises were categorized into three areas: Educational, psychological, and functional outcomes.

Conclusion

In this study, the role of media activism in socio-political crises was assessed in three phases: Prediction, prevention, and preparation. It was determined that the media in the pre-crisis phase can help break the cycle of crisis by identifying the causes and predicting crises based on accurate analyses of events. In this way, by playing an effective role before the crises, they can avoid the excessive financial and moral costs caused by the crisis. However, if a socio-political crisis occurs, the media, in addition to reporting the crisis, can monitor the performance of the government and responsible institutions, prevent the spread of rumors and the creation of false information, and develop a culture of dialogue. Thus, if the media is effective in the crisis prediction phase, it will have important socio-political consequences such as discovering the crisis, helping to reduce public harm, establishing stability and peace, encouraging humanitarian actions, early intervention of stakeholders, media campaigning, holding officials accountable and requiring their activity in crisis management, influencing the governmental decisions, as well as exposing hidden agendas, corruption, or negligence, and creating public trust in the media, which is related to the social responsibility of the media. However, since the media cannot act alone in the event of socio-political crises, it should cooperate with people and the authorities to prepare them for the crisis, equip them, and provide them with a timely and appropriate response, and also to seek public participation in solving the crises to prevent the crisis from spreading.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were observed in this article. Informed consent was obtained from all participants.



Funding

This article was extracted from the master's thesis of Fatemeh Estarami at the Department of Cultural and Media Management, [Soore University](#), Tehran, Iran. This research did not receive any financial support from government, private, or non-profit organizations.

Authors' contributions

Conceptualization, methodology, validation, analysis, investigation, and resources: Mitra Afzali Farooji and Fatemeh Estarami; Writing, editing & review: Mitra Afzali Farooji.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The researchers would like to thank all participants in the research for their cooperation.



مقاله پژوهشی

شناسایی پیشران‌ها و پیامدهای کنشگری مؤثر رسانه‌های جریان اصلی در مدیریت بحران‌های اجتماعی-سیاسی ایران

* میترا افزلی فاروجی^۱، فاطمه استارمی^۲

۱. گروه مدیریت رسانه و ارتباطات کسب و کار، دانشکده مدیریت کسب و کار، دانشکده‌گان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. گروه مدیریت فرهنگی و رسانه، دانشکده فرهنگ و ارتباطات، دانشگاه بین‌المللی سور، تهران، ایران.



Citation: Afzali Farooji, M., & Estarami, F. (2025). [Identifying the Drivers and Consequences of the Mainstream Media's Effective Activism in Managing Social-political Crises in Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):160-181. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.922.1>

doi: <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.922.1>

حکیده

زمینه و هدف: علی‌رغم آنکه بحران نزد افکار عمومی و اغلب پژوهش‌های حوزه مدیریت بحران، تداعی‌کننده بحران‌های طبیعی و مخاطرات زیست‌محیطی است ولیکن با نگاهی نوآورانه، در این مقاله رویکرد غیرزیستی بحران را بررسی می‌کنیم؛ چراکه در عصر کنونی بحران‌های انسان‌ساخت به واقعیتی اجتناب‌ناپذیر بدل شده‌اند که برهم‌زننده نظم و هنجارهای جامعه تلقی می‌شوند. در این مقاله با تأکید بر ۳ رویکرد پیش‌بینانه، پیشگیرانه و آماده‌سازی، عوامل پیشران کنشگری مؤثر رسانه‌های جریان اصلی در مدیریت بحران‌های اجتماعی-سیاسی و پیامدهای این نوع کنشگری در مدیریت بحران‌های مذکور شناسایی شدند.

روش: این مقاله از نظر ماهیت اکتشافی، از نظر سنجش روش، کیفی و از نظر هدف کاربردی است. روش انجام این پژوهش مصاحبه نیمه‌ساختاریافته بوده است. جامعه مورد بررسی، شامل سیاست‌گذاران رسانه، اساتید حوزه ارتباطات بحران، خبرگان حوزه مدیریت بحران و دولتمردان حوزه سیاسی اجتماعی بوده‌اند که با روش نمونه‌گیری گلوله برفی به آن‌ها دست یافتیم و با ۱۵ مصاحبه اشباع نظری حاصل شد. روش تجزیه و تحلیل داده‌ها تحلیل مضمون بوده است و از مجموع ۲۵۰ کد اولیه، ۱۵۹ مضمون پایه، ۲۶ مضمون سازمان‌دهنده و نهایتاً ۸ مضمون فراگیر به دست آمد.

یافته‌ها: براساس یافته‌ها، کارکرد رسانه‌ها در مدیریت بحران شامل کارکرد حمایتی از افکار عمومی، کارکرد آگاهی‌بخشی، کارکرد مطالبه‌گری از نهادهای مسئول، کارکرد اطلاع‌رسانی و کارکرد استراتژیک است که با نقش‌آفرینی رسانه‌ها در ۳ فاز پیش، حین و پس از بحران تعریف می‌شود.

نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق نشان داد عوامل زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز پیش‌بینی، بحران‌های اجتماعی-سیاسی، شامل پیشران زیرساختی، توانمندی کارکردی رسانه، پیشران نیروی انسانی، پیشران استانداردهای حرفه‌ای و سرمایه اجتماعی رسانه است. نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز پیش‌بینی بحران‌ها در ۳ حوزه پیامدهای اجتماعی کنشگری مؤثر رسانه پیش از بحران، پیامدهای سیاسی کنشگری مؤثر رسانه پیش از بحران و پیامدهای ناشی از مسئولیت اجتماعی مشخص شد. عوامل زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در پیشگیری از بحران‌های اجتماعی-سیاسی نیز در ۲ زمینه پیشران‌های مرتبط با عموم و پیشران‌های مرتبط با دولت و مدیران بحران مشخص شد. نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌ها در پیشگیری از بحران‌های اجتماعی-سیاسی به پیامدهای ماکرو و میکرو تقسیم شد. عوامل زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز آماده‌سازی در برابر بحران نیز شامل پیشران‌های فرایندی، محتوایی و بافتاری تعریف شد و در نهایت نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز آماده‌سازی در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی، در ۳ حوزه پیامدهای آموزشی، روان‌شناختی و عملکردی رسانه دسته‌بندی شد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت بحران، کنشگری مؤثر رسانه، پیش‌بینانه، پیشگیرانه، آماده‌سازی

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲ دی ۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴ فروردین ۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴ تیر ۱۰

* نویسنده مسئول:

دکتر میترا افزلی فاروجی

نشانی: تهران، دانشگاه تهران، دانشکده‌گان مدیریت، دانشکده مدیریت کسب و کار، گروه مدیریت رسانه و ارتباطات کسب و کار.

تلفن: +۹۸ (۹۱۲) ۷۰۸۲۴۱۰

پست الکترونیکی: mitraafzali@ut.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

بر کسی پوشیده نیست که رسانه‌ها تمام ابعاد و ارکان زندگی ما را احاطه کرده‌اند. از عمومی‌ترین تا شخصی‌ترین لحظات، از شادترین تا غم‌انگیزترین روزها، از افکارسنجی عمومی تا مسئولیت‌پذیرسازی مسئولان و بالاخره از پایدارترین تا بحرانی‌ترین روزهای زندگی بشر، با نقش پررنگ رسانه‌ها معنا یافته است. از طرفی بحران‌ها روز به روز ماهیت جدیدتری می‌یابند و هوشیاری رسانه‌ها در مواجهه با آن‌ها به ضرورتی غیرقابل‌انکار تبدیل می‌شود.

امروزه بحران‌های انسان‌ساخت به واقعیتی گریزناپذیر در جوامع کنونی تبدیل شده است که نظم و هنجارهای رایج ارکان‌های اصلی جامعه را برهم می‌زنند. پیچیدگی روزافزون بحران‌های اجتماعی-سیاسی، مدیریت این طیف از بحران‌ها را چندبعدی، دشوار و نامتعیین می‌کند. با عنایت به این واقعیت، نقش و کارکردهای رسانه‌ها در مدیریت بحران اهمیت ویژه‌ای می‌یابد.

کارکرد دوگانه رسانه‌ها در بحران‌زایی و بحران‌زدایی، برجسته‌سازی و کوچک‌نمایی، امیدافزایی و امیدزدایی بر کسی پوشیده نیست. ولیکن یافته‌های تحقیقات نشان می‌دهد مؤلفه‌های بسیاری به‌عنوان پیشران در این موضوع دخالت دارند که موجب می‌شوند رسانه‌ها در مراحل مختلف بحران‌ها کارکردهای متفاوتی داشته باشند (دایرز - لاوسون، ۲۰۲۳؛ ولاسکوئز و لاروس، ۲۰۱۵). هرچند به نظر می‌رسد در کشور ما، ادبیات مدیریت بحران در رسانه‌ها بیشتر معطوف به بحران‌های زیست‌محیطی است. کمالینکه در سند ملی مدیریت رسانه‌های بحران (۱۴۰۱) نیز تعریف ارائه‌شده از بحران منحصر به سوانح طبیعی است (صلواتیان و همکاران، ۱۴۰۱)؛^۱ درحالی‌که اولاً ابعاد تأثیرات بحران‌های اجتماعی-سیاسی پرحاشیه‌تر از بحران‌های طبیعی است؛ ثانیاً گستردگی، تنوع و پیچیدگی بحران‌های اجتماعی-سیاسی بیشتر از بحران‌های طبیعی است؛ چنان‌که سرعت تغییرات اجتماعی-سیاسی، منتج به ایجاد بحران‌های نوظهور می‌شود که اساساً در جوامع قبلی وجود نداشته‌اند؛ بنابراین جامعه هیچ‌گونه آگاهی و آمادگی برای رویارویی با آن‌ها ندارد؛ ثالثاً گرچه بحران‌های طبیعی غیرقابل‌پیش‌بینی‌اند، اما دسته مشخصی از بحران‌های طبیعی وجود دارد که بشر در طول زمان به علت تکرار و توالی رویارویی با آن‌ها، کسب تجربه کرده است؛ رابعاً از آنجاکه شمار بحران‌های سیاسی در ایران افزایش یافته است، توجه به این مسئله بااهمیت‌تر شده است. این موضوع، به‌ویژه با گستردگی شبکه‌های اجتماعی مجازی، انتشار اخبار کذب و شایعه، اهمیت دوچندان یافته است. از آنجاکه رسانه‌ها

نقش مؤثری در تغییرات اجتماعی-سیاسی، ازجمله بحران‌های سیاسی-لیبی، عراق، گرجستان، اوکراین و غیره داشته‌اند، در این مقاله می‌خواهیم به بررسی کنشگری مؤثر رسانه‌ها بپردازیم.

به اعتقاد اسکاتلون (۲۰۰۵)، رسانه‌ها نقش‌های بسیار مهمی در ابعاد مختلف بحران دارند و مشارکت آن‌ها در مدیریت بهینه بحران امری ضروری است. ازجمله کنشگری مؤثر رسانه‌ها در بحران، آماده‌سازی جامعه برای برخورد منطقی و غیرهیجانی در مواقع بحران است. آموزش عمومی درباره بحران، هشداردهی درخصوص خطرات، گردآوری و انتقال اطلاعات به مناطق آسیب‌دیده، خبررسانی به سازمان‌های دولتی و نهادهای امدادی، ایجاد امکان گفت‌وگو درباره نحوه صحیح آمادگی و پاسخ‌گویی در زمان وقوع بحران، همگی از نقش‌های مهم و اساسی است که رسانه‌ها در مدیریت بحران برعهده دارند.

اقدامات لازم در فرایند مدیریت بحران به ۳ مرحله پیش از بحران، حین بحران و پس از بحران تقسیم می‌شود (صلواتیان، روشندل، ۱۳۹۰). بررسی عملکرد رسانه‌ها در مدیریت بحران‌های اجتماعی-سیاسی نشان از آن دارد که رسانه‌های تراز جهانی آن‌چنان در این مقوله موفق بوده‌اند که تدابیر مدیریتی آن‌ها در زمره تئوری‌های ارتباطات و رسانه قرار گرفته است، مانند تئوری تأثیر سی‌ان‌ان^۲ که در جنگ اول خلیج فارس با بزرگ‌نمایی خطر صدام حسین، منجر به آماده‌سازی افکار عمومی برای حمله آمریکا به عراق شد. با تقویت نقش آفرینی رسانه‌ها در بحران‌های اخیر نیز شاهد توسعه ادبیات نظری در این زمینه بودیم. مصداق بارز آن در انقلاب‌های یک دهه اخیر در خاورمیانه موسوم به بیداری اسلامی و انقلاب‌های توییتری، فیسبوکی و غیره بوده است. اگر به کنشگری رسانه‌ها، به‌ویژه با فراگیری شبکه‌های اجتماعی آنلاین، توجه نشود بدون شک بحران‌های اجتماعی-سیاسی بیشتر خواهد شد، تأثیرگذاری و پیامدهای منفی بحران‌ها بیشتر می‌شوند و مخاطب در حباب اطلاعاتی گرفتار می‌شود (گالی و همکاران، ۲۰۲۲). از آنجاکه فاصله بین مردم با مردم و مردم با دولت توسط همین بمباران اطلاعاتی دستخوش تغییراتی شده است، در تفکر سیاسی مردم، تغییراتی به وجود می‌آید که زمینه‌ساز بحران‌های آتی می‌شود.

برکسی پوشیده نیست که رسانه‌های جریان اصلی در مسیر کنشگری مؤثر در پوشش بحران‌های اجتماعی-سیاسی، با چالش‌های بسیاری نظیر سرعت عمل در پوشش بحران در مقایسه با رسانه‌های آنلاین، عدم سوگیری در روایت رویدادهای بحران‌زا، مسئولیت اجتماعی در پاسخ‌گوسازی مسئولان، ارائه اطلاعات به‌موقع، به‌اندازه و دقیق از بحران، پرهیز از برخورد هیجانی در مواجهه با بحران و عوامل بحران‌زا (که در شبکه‌های اجتماعی به‌وفور شاهد آن هستیم)، پیشگیری از بروز بحران‌های مشابه در

۱. موضوعات زیست‌محیطی چنانچه با موضوعات گسترده‌تری، مانند منافع طبقاتی و عدالت پیوند بخورد، می‌تواند به بحران‌های سبزه‌جویانه اجتماعی-سیاسی تبدیل شود. به همین دلیل، مکتب کپنهاگ، امنیت زیست‌محیطی را به‌عنوان یکی از ابعاد امنیت ملی مطرح کرده است (مللی و همکاران، ۱۳۹۸).



۱. فرایند امنیتی شدن: اگر پدیده متوجه امنیت عمومی جامعه شود و ابزارهای موجود توان مدیریت پدیده را نداشته باشند، در آن صورت می‌گویند تهدید به موضوع امنیتی تبدیل شده است. ۲. فرایند غیرامنیتی شدن: طرفداران نظریه کپنهاک این موضوع را ارائه کردند. آن‌ها معتقدند باید تلاش شود مسائل اجتماعی به حوزه غیرامنیتی هدایت شوند. برای رسیدن به این موضوع، به سه عامل توجه می‌شود:

۱. توانمندی: یعنی بازیگر توان به کارگیری قدرت سخت و نرم را داشته باشد.

۲. محیط عینی: یعنی وضعیت سایر بازیگران مشخص باشد.

۳. محیط ذهنی: یعنی از نگاه منفی (حساسیت منفی) به موضوعات خودداری شود.

موضوع بحران و توسعه سیاسی یکی از دغدغه‌های اصلی جامعه است که با یکدیگر ارتباطی دوسویه دارند. نظام‌های سیاسی برای حرکت به سوی توسعه سیاسی معمولاً با مشکلاتی روبه‌رو می‌شوند که زمینه‌های داخلی یا خارجی دارد. این مشکلات در حوزه داخلی ناشی از مخالفت توده مردم یا نخبگان جامعه و در حوزه خارجی ناشی از دخالت مستقیم یا غیرمستقیم بیگانگان است. زمانی که این مشکلات عمق پیدا کنند، می‌توانند به بحران تبدیل شوند. از این‌رو گذار از بحران‌ها یکی از مهم‌ترین مسائلی است که جامعه را به سمت توسعه سیاسی سوق می‌دهد (سأوه درودی و همکاران، ۱۳۹۲).

هیچ کشوری نمی‌تواند ادعای ثبات سیاسی مطلق داشته باشد. رقابت برای کسب قدرت، کمبود منابع، اقدامات قدرت حاکم، شرایط حاکم بر کشور و غیره می‌تواند به‌عنوان موانع توسعه جوامع باشد. لوسین دلبیو پای، بحران‌های سیاسی را در ۶ دسته بحران‌های هویت، مشروعیت، ادغام، مشارکت، توزیع و نفوذ تقسیم کرده است.

مدیریت بحران

به اعتقاد مک کارتی، مدیریت بحران به دنبال یافتن راه‌حلی منطقی برای عبور از شرایط بحرانی است. به شکلی که منابع، ارزش‌های اصلی و خیر عمومی تأمین و تضمین شود. مدیریت بحران، فراگرد پیش‌بینی و پیشگیری از بحران، مواجهه و مداخله در بحران و بازیابی پس از وقوع بحران است. در مدیریت بحران سعی می‌شود تا از آسیب‌ها پیشگیری شود و در صورت وقوع، در راستای کاهش آثار و پیامدهای ناگوار و امداد رسانی و بهبود اوضاع تا حصول وضعیت عادی کوشش شود (صبور، ۱۳۹۶). مراحل سه‌گانه بحران براساس زمان وقوع است و هر مرحله ویژگی‌های خاصی دارد که در ایجاد، گستردگی و عمق آن مؤثر است.

آینده و غیره روبه‌رو هستند که جملگی این چالش‌ها در فاصله زمانی قبل، حین و پس از وقوع بحران و در تقابل با شبکه‌های اجتماعی معنای اخص می‌یابند. در نتیجه برای مدیریت بهینه چالش‌های مذکور پیش از هر چیز باید ظرفیت‌های ناشناخته رسانه‌های جریان اصلی در بحران را بشناسیم و سپس آن‌ها را به مثابه پیشران‌های مؤثر کنشگری رسانه‌ها معرفی کنیم.

ارزش این مقاله در آن است که کنشگری رسانه‌ها را در شرایط بحران از حالت غیرمترقبه به حالت قابل کنترل و تمرین شده درمی‌آورد تا رسانه‌ها از وقوع بحران‌های اجتماعی سیاسی غافلگیر نشوند و کنش بهنگام و مؤثر داشته باشند. بنابراین هدف مقاله آن است که با الهام از مدل چرخشی مدیریت بحران و به تفکیک ۳ رویکرد پیش‌بینانه، پیشگیرانه و آماده‌سازانه، به شناسایی پیشران‌ها و پیامدهای کنشگری مؤثر رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی سیاسی بپردازد.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

بحران اجتماعی دارای سطوحی است و شامل آشفتگی، بی‌سازمانی و انقلاب اجتماعی است. تغییر در ساختارها موجب گسستگی رفتار و روابط متقابل می‌شود و در ادامه فرایند جامعه‌پذیری مختل و غیرمؤثر می‌شود؛ در نتیجه بحران اجتماعی بروز می‌یابد. همچنین چنانچه سطح سازگاری جامعه کاهش یابد، جامعه دچار بحران و آشفتگی اجتماعی می‌شود. ولیکن اگر سازگاری سازمان‌های جامعه به‌شدت کاهش یابد، بی‌نظمی و بی‌سازمانی رخ می‌دهد و اگر بحران در سطح مؤسسات به انهدام ساختار نهادها منجر شود، انقلاب‌های اجتماعی گریزناپذیر می‌شود (آراسته‌خو، ۱۳۸۱).

بحران اجتماعی ناشی از ناتوانی جامعه در سازمان‌یابی و حفظ نظم اجتماعی و عدم توانایی قوای درونی برای حل مسائل مرتبط با توسعه است. چنانچه یک نیروی اجتماعی غالب و موافق دگرگونی‌ها وجود داشته باشد و از طرفی اصلاحات اجتماعی ضروری و به‌موقع باشند، چنین بحران‌های اجتماعی گسترده را می‌توان کنترل و هدایت کرد (ساروخانی، ۱۳۶۶).

بسیاری از پدیده‌های اجتماعی اگر به‌درستی طراحی و مدیریت نشوند، می‌توانند در طول زمان تبدیل به یک آسیب و سپس تهدید شده و توسعه سیاسی^۳ را تحت تأثیر قرار دهند (عبدالله‌خانی به نقل از سأوه درودی و همکاران، ۱۳۹۲). در این حالت پدیده اجتماعی وارد فاز فضای سیاسی می‌شود. در فضای جدید، پدیده اجتماعی با طی فرایندی مشخص به ۲ شکل ظاهر می‌شود:

۳. توسعه سیاسی به مفهوم نهادینه شدن سیاست است. این توسعه زمانی به دست می‌آید که برای تنوعات و پیچیدگی‌های جدیدی که در نتیجه توسعه و نوسازی به وجود آمدند، نهادهایی ساخته می‌شوند که موجب انسجام و همبستگی در درون جامعه سیاسی شوند.



کنشگری مؤثر رسانه‌ها

در مجموع رویکردها به بحران شامل ۳ رویکرد بحران‌گریزی، بحران‌ستیزی و بحران‌پذیری هستند و براین‌اساس ۴ راهبرد عملی برای رویارویی رسانه‌ها با بحران وجود دارد:

راهبرد انفعالی^۵

در این راهبرد، رسانه در زمان مواجهه با شرایط بحرانی سکوت اتخاذ می‌کند؛ یعنی نوع کنش رسانه، انکار یا بی‌توجهی به بحران است. به اعتقاد حامیان این نوع کنش، چنانچه رسانه‌ها به پوشش پدیده‌ای بپردازند، در واقع به آن اعتبار اجتماعی بخشیده‌اند؛ بنابراین در شرایط بروز بحران، کنش مطلوب برای پیشگیری از گسترش بحران، نادیده گرفتن آن است (کورتس راموس و همکاران، ۲۰۲۱).

راهبرد واکنشی

رسانه‌هایی که این راهبرد را انتخاب می‌کنند، بر ضرورت پاسخ‌گویی به شرایط بحرانی و عوامل تهدیدزای محیطی واقف‌اند؛ چراکه این راهبرد رسانه‌ها را به واکنش برای بقای خود ترغیب می‌کند. چنین رسانه‌هایی تا فشار افکار عمومی را در شرایط بحرانی حس نکنند، واکنش نشان نمی‌دهند و تنها زمانی کنشگری دارند که در بحران، ادامه حیات رسانه خود را در معرض خطر ببینند (خجسته، ۱۳۹۹).

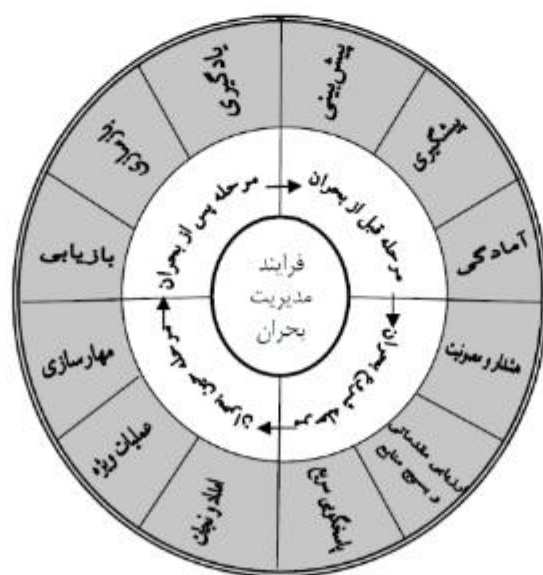
مرحله قبل از بحران: پیش‌بینی، پیشگیری، آمادگی؛ مرحله حین بحران: امداد و نجات، عملیات ویژه، مهارسازی؛ مرحله پس از بحران: بازسازی، بازسازی، یادگیری (برگرفته از سایت-shar ifstrategy.org)

مدیریت بحران‌های اجتماعی سیاسی به دلیل ماهیت پیچیده، مبهم و چندوجهی، دشوار است؛ بنابراین صاحب‌نظران مدل‌های متفاوتی در این زمینه ارائه داده‌اند. این مدل‌ها مراحل مختلفی دارند که آن‌ها را در ۳ دسته قرار می‌دهند: اقدامات پیش، حین و پس از بحران (ماتیس و کاردوسو، ۲۰۲۳). بدین ترتیب رسانه‌ها هم باید بحران‌های خارجی را مدیریت کنند و هم با عملکرد درست، به‌موقع و پاسخ‌گویی به نیازهای مخاطبان، خود به بحران مبتلا نشوند. شناخت مراحل بحران با تحلیل وضعیت رسانه‌ها از منظر بحران‌زدگی یا بحران‌زایی، می‌تواند به تبیین فرایند مدیریت بحران کمک کند. در این زمینه روش‌شناسی اربطانی و همکاران، ۱۳۸۸، مدل چرخشی را ارائه کردند که دربرگیرنده مدل‌های قبلی است.

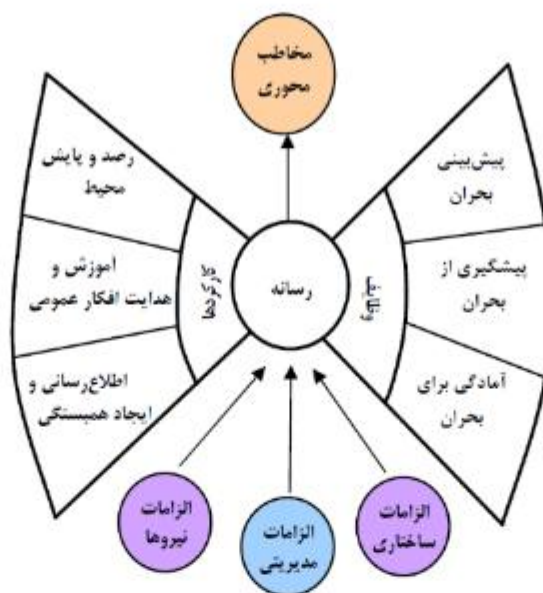
در این مدل چنان‌که در تصویر شماره ۱ نشان داده شده است اقدامات قبل از وقوع بحران شامل ۳ مرحله پیش‌بینی، پیشگیری و آمادگی است. مرحله پیش‌بینی نخستین مرحله در مدیریت بحران است. در این مرحله باید با اتخاذ رویکرد بحران‌پذیری و راهبرد فوق‌فعال^۴، به پیش‌بینی بحران‌های مختلف پرداخته شود. در مرحله پیشگیری، می‌توان از وقوع بسیاری از بحران‌ها پیشگیری کرد یا از شدت آن‌ها کاست (منتظر قائم و محمدی نوسودی، ۱۴۰۰)، ولیکن در صورت بروز بحران، باید آمادگی مقابله با بحران‌های مختلف نیز به دست آید.

5. Inactive

4. Proactive



تصویر ۱. مدل چرخشی مدیریت بحران (متیج: جعفری مطلق، ۱۴۰۰).



تصویر ۲. مدل پروتئای نقش رسانه‌ها در مدیریت پیش از بحران (منبع: صلواتیان و روشندل، ۱۳۹۰).

راهبرد فعال^۶

حالت کلی می‌توانند دارای سه رویکرد باشند.

رویکرد پیش‌بینانه رسانه

یکی از رویکردهایی که برای تحلیل و پیش‌بینی نقش پیشران کنشگری در جامعه مورد استفاده قرار می‌گیرد، رویکرد پیش‌بینانه رسانه است. این رویکرد بر این فرض تمرکز دارد که رسانه‌ها به‌عنوان یکی از عوامل مهم در شکل‌دهی به نگرش‌ها و رفتارهای افراد، می‌توانند نقش مهمی در پیدایش و ترویج پیشران کنشگری داشته باشند. در فاز پیش‌بینی رسانه‌ها با انتخاب راهبرد فوق‌فعال، مسئولیت بسیار خطیری را ایفا می‌کنند. آن‌ها با حفظ استقلال و روحیه انتقادی ضمن رصد مستمر محیط، مانند دیده‌بانان، اولین علائم بروز بحران را مشاهده و به‌موقع وقوع آن را پیش‌بینی می‌کنند (صلواتیان و روشندل، ۱۳۹۰).

رویکرد پیشگیرانه رسانه

این رویکرد بر این فرض تمرکز دارد که رسانه‌ها می‌توانند با پیشگیری از پیدایش پیشران کنشگری، نقش مهمی در حفظ استقرار و ثبات جامعه ایفا کنند. در این مرحله رسانه با کارکرد آموزشی و فرهنگ‌سازی می‌تواند به آموزش عمومی بپردازد. درخصوص بحران‌های سیاسی اجتماعی نیز نقش رسانه پررنگ‌تر است؛ چراکه از طریق تبلیغات سیاسی و کارکرد اقناعی، توانایی هدایت و تغییر نگرش افکار عمومی و در نتیجه پیشگیری از وقوع بحران را دارد (صلواتیان و روشندل، ۱۳۹۰).

کنشگری رسانه‌هایی که این راهبرد را برمی‌گزینند، بلافاصله پس از بروز بحران شروع می‌شود و فعالانه مانع از گسترش بحران می‌شوند. چنین رسانه‌هایی به‌طور گسترده بحران‌ها را تحلیل می‌کنند و در ارائه اطلاعات به‌صورت انتخابی و قطره‌چکانی عمل نمی‌کنند. چنین رسانه‌هایی در زمان بحران از همه پتانسیل خود برای توسعه ظرفیت مشارکت عمومی و همدلی و وابستگی اجتماعی استفاده می‌کنند (هدی و همکاران، ۲۰۲۰).

راهبرد فوق‌فعال^۷

رسانه‌هایی که راهبرد فوق‌فعال در مواجهه با بحران دارند، نه تنها در برخورد با بحران‌ها فعالانه عمل می‌کنند، بلکه در مقابله با بحران پیش‌بینی‌های لازم را نیز انجام می‌دهند. رسانه‌هایی که چنین راهبردهایی دارند، ویژگی‌های ساختاری ویژه‌ای مانند خلاقیت، انعطاف و عدم تمرکز دارند. این دست از رسانه‌ها بی‌آنکه پیرو شرایط بحرانی باشند و خود را با آن سازگار کنند، به دنبال همسوسازی شرایط با اهداف خود هستند و با رویکرد پیشروی در عملیات رسانه‌ای فعالیت می‌کنند (جعفری مطلق، ۱۴۰۰).

رویکردهای رسانه‌ها

رسانه‌ها نقش مهمی در مورد آنچه به آن فکر می‌کنیم، چگونه به آن فکر می‌کنیم و اینکه چه چیزی، چگونه و چرا بر احساسات ما تأثیر می‌گذارد، ایفا می‌کنند (پستمن، ۲۰۰۸). رسانه‌ها در

6. Active

7. Proactive



رویکرد آماده‌سازانه رسانه

است که پژوهشگر از طریق توضیح، انطباق و گروه‌بندی داده‌ها و پروراندن مقوله‌های الگویی درون‌داده‌ای و برون‌داده‌ای، تم‌های اصلی و درنهایت تم هسته‌ای را شناسایی می‌کند و به تحلیل مسئله تحقیق می‌پردازد. درحقیقت تحلیل مضمون از طریق کدگذاری داده‌ها و تحلیل آن‌ها سعی می‌کند مشخص کند داده‌ها به ما چه می‌گویند. این تحلیل به دنبال الگویی در داده‌هاست. به عبارتی، تم‌ها نشئت گرفته از داده‌ها هستند (محمدپور، ۲۰۱۲ به نقل از رضایی، ۱۴۰۰).

براون و کلارک (۲۰۰۶) یک رویکرد سیستماتیک و پیشرفته از تحلیل مضمون ارائه کردند که شامل مراحل شش‌گانه تحلیل مضمون است که در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

نتایج حاصل از هر تحقیقی باید تا حد امکان، قابل اعتماد باشد. براین اساس روایی و پایایی، ۲ جزء بنیادین و اساسی مرتبط با یک ابزار سنجش محسوب می‌شوند. به‌منظور اطمینان از صحت یافته‌های پژوهش ۴ معیار پیشنهادی اسپزیال و همکاران (۲۰۱۱) مورد استفاده قرار گرفت. ۴ معیار شامل مقبولیت، اطمینان‌پذیری، تأییدپذیری و قابلیت انتقال است. به‌منظور تأمین مقبولیت، پژوهشگر مقوله‌های فرعی و مضامین اصلی را در اختیار مصاحبه‌شوندگان قرار داد تا نظرات خود را نسبت به مضامین استخراج‌شده بازگو کنند. بازخوردهای مشارکت‌کنندگان نشان داد کدهای براساخته‌شده به دیدگاه و تجارب ذهنی آن‌ها نزدیک است که این نشانی از مقبولیت بود. به‌منظور اطمینان‌پذیری از روش بازبینی هم‌تراز استفاده شد که چند نفر از تیم تحقیق که مسلط به پژوهش کیفی بودند اطمینان‌پذیری را تأیید کردند. اطمینان‌پذیری بیشتر با ثبت کامل و مداوم فعالیت‌های محققان درباره چگونگی جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها تأمین شد. محققان در تمامی مراحل ثبت و ضبط مصاحبه‌ها، کدگذاری و استخراج مقوله‌ها فعالیت‌ها و اقدامات خود را به دقت یادداشت کردند. همچنین برای کسب قابلیت انتقال، مؤلفه‌های اصلی استخراج‌شده در اختیار یک استاد دانشگاه و ۲ متخصص با تجربه مشابه، قرار گرفت. جهت تقویت تأییدپذیری، کدها و مؤلفه‌های استخراج‌شده در اختیار اساتید مسلط به روش کیفی که در تحقیق شرکت نداشتند، گذاشته شد و توافق مناسبی درباره معانی به دست آمد. باتوجه‌به آنچه بیان شد اعتبار و قابلیت اطمینان‌پذیری در تحقیق بررسی و تأیید شد.

یافته‌ها

پس از پیاده‌سازی مصاحبه‌ها، تحلیل و کدگذاری اولیه صورت گرفت که منتج به ۱۵۹ مضمون پایه و ۲۶ مضمون سازمان‌دهنده و ۸ مضمون فراگیر شد.

این رویکرد بر این فرض تمرکز دارد که رسانه‌ها باید باتوجه‌به پیشرفت فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی، خود را به‌روزرسانی کنند و آمادگی لازم را برای مواجهه با تحولات جدید داشته باشند. رسانه‌ها با استفاده از کارکرد اطلاع‌رسانی توانایی مطلع‌سازی افکار عمومی و مسئولان را دارند. همچنین می‌توانند با همراه‌سازی و بسیج عمومی از طریق کمپین‌های مردمی در راستای توسعه همبستگی اجتماعی در شرایط بحران و آمادگی در برابر بحران اقدام کنند (صلواتیان، ۱۳۹۰). مدل پروانه‌ای نقش رسانه در بحران در تصویر شماره ۲ نشان داده شده است.

مدل مذکور ضمن توصیف کارکردهای رسانه در شرایط بحران، الزامات رسانه‌ای شامل مدیریتی، ساختاری، نیروی انسانی و مخاطب‌محوری رسانه را در مدیریت بحران به شیوه کارآمد مطرح می‌کند (صلواتیان، ۱۳۸۹).

در ادامه پیشینه تحقیقات داخلی و خارجی مرتبط در جدول شماره ۱ آمده است.

روش

این پژوهش از نظر ماهیت اکتشافی، از نظر سنجش روش، کیفی و از نظر هدف کاربردی است. پژوهش حاضر از نظر ماهیت داده‌ها کیفی و مبتنی بر پارادایم تفسیری است که در آن در پی استخراج پیشران‌ها و پیامدهای کنشگری مؤثر رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی سیاسی بوده‌ایم.

جامعه پژوهش، شامل مدیران و سیاست‌گذاران رسانه، اساتید حوزه ارتباطات بحران و رسانه، خبرگان حوزه مدیریت بحران و دولتمردان سیاسی دارای دانش و تجربه کافی بوده‌اند. در این تحقیق از روش نمونه‌گیری هدفمند گلوله برفی استفاده شده است. هرگاه افراد شرکت‌کننده در مطالعه شناخته‌شده نباشند از روش نمونه‌گیری گلوله برفی استفاده می‌شود. به‌طوری‌که از خبرگان شناسایی‌شده، خواسته می‌شود اگر متخصص واجد شرایط دیگری در این زمینه می‌شناسد، معرفی کند (رحمانی همکاران، ۱۳۹۹). در این تحقیق از روش مصاحبه برای گردآوری داده‌ها استفاده شد و محققان پس از ۱۵ مصاحبه به اشباع نظری رسیدند (جدول شماره ۲).

در این پژوهش از روش تحلیل مضمون به‌عنوان روشی برای شناخت، تحلیل و گزارش نتایج موجود در داده‌های کیفی به‌دست‌آمده از مطالعه تطبیقی و مصاحبه‌ها استفاده شد. در میان شیوه‌های تحلیل داده‌های کیفی، تحلیل مضمون از نظر طبقه‌بندی، شاخص‌بندی و سنخ‌بندی داده‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. تحلیل مضمون مبتنی بر روش استقرای تحلیلی

جدول ۱. پیشینه تحقیقات مرتبط داخلی و خارجی

پیشینه تحقیقات		
عنوان	نام محقق	چکیده
مطالعه تأثیر رسانه‌های اجتماعی مجازی در شکل‌گیری بحران اجتماعی با استفاده از تحلیل سلسله‌مرامی	منزلی، ۱۴۰۱	این مقاله برای پاسخ به سؤال کارکرد رسانه‌های اجتماعی چه نقش و تأثیری در شکل‌گیری بحران‌های اجتماعی دارد؟ تدوین شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد در ویژگی رسانه‌های اجتماعی، محتوای محور بودن بیشترین تأثیر در جذب مخاطب و در کارکرد اطلاع‌رسانی بیشترین تأثیر را در هدایت و تحریک مخاطبان در بحران اجتماعی دارد. بنابراین برای پیشگیری، همکاری مسئولان فضای مجازی و سایبری، ارگان‌های نظامی و امنیتی و رسانه‌های کشور ضروری است.
بررسی کاربرد تلفن‌های همراه هوشمند و رسانه‌های اجتماعی در شرایط بحران براساس تجارب جهانی و درس‌هایی برای ایران	منتظر قائم و موسوی، ۱۴۰۰	در این مقاله به الگوهای شهروندمحور ارتباطات بحران و استفاده از رسانه‌های اجتماعی و تلفن‌های همراه هوشمند قبل، حین و پس از بحران براساس تجارب اخیر جهانی پرداخته شد. سپس به مرور وضعیت معاصر ارتباطات بحران در ایران پرداخته شد و در تطبیق با تجربه‌های جهانی، راه‌حل‌هایی برای استفاده از فناوری‌های نوین در ارتباطات بحران ایران ارائه شد. نتایج تحقیق نشان داد سیستم مدیریت بحران ایران از الگوهای یک‌طرفه ارتباط یا شهروندان درگیر بحران استفاده می‌کند و اصلی‌ترین رسانه‌ها برای کنشگری در شرایط بحرانی رسانه‌های جمعی هستند. راه‌حل‌هایی که سیستم مدیریت بحران باید استفاده کند، شامل سیاست‌گذاری در استفاده از فناوری‌های نوین، ایجاد حساب کاربری در شبکه‌های اجتماعی، گفت‌وگوی آنلاین با مردم، استفاده از برنامه‌های کاربردی تلفن همراه، ادغام رسانه‌های اجتماعی و رسانه‌های سنتی و تقویت زیرساخت‌های اینترنت و تلفن همراه در کشور هستند.
بررسی نقش کمپین چهارشنبه‌های سفید بر کنشگری زنان در رسانه‌های اجتماعی	شاهی، ۱۳۹۷	در این پژوهش، با استفاده از شیوه مردم‌نگاری مجازی، مشاهده مشارکتی و تنویراتی، با بهره‌گیری از روش تحلیل محتوای کیفی، نمونه‌ای هدفمند از عکس‌ها و ویدئوهای ارسالی از طرف کاربران ایرانی از آغاز کمپین چهارشنبه‌های سفید (خرداد ۱۳۹۶ تا خرداد ۱۳۹۷) مورد تحلیل قرار گرفته است.
بررسی رسانه‌های اجتماعی و مدیریت بحران؛ نقش تلفن‌های همراه هوشمند در کنشگری اجتماعی	بصریان جهرمی و همکاران، ۱۳۹۵	در این مقاله به منظور ارائه تحلیل مفهومی از ماهیت کنشگری در روابط اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و فرهنگی، به شرح آثار رسانه‌های اجتماعی همگرا شده در تلفن‌های همراه هوشمند در مدیریت بحران پرداخته شده است. نتایج تحقیق نشان داد مصادیق مختلف مدیریت بحران (آتش‌بست، پروژ، فروکش و بهبود)، تأثیر معناداری بر کنشگری در فضای واقعی داشته است.
مدیریت رسانه‌های بحران؛ رویکردی پیشگیرانه و بررسی نقش رسانه‌های جمعی در مرحله پیش از وقوع بحران	سلوایان و روشندل، ۱۳۹۰	یافته‌ها حاکی از آن است که پیش‌بینی به موقع بحران، جلوگیری از بروز یا کاهش پیامدهای منفی آن و آمادگی برای رویارویی با بحران از وظایف اصلی رسانه‌های جمعی است. صدوسیما با انتخاب راهبرد پیشگیرانه و با کمک الگوی پروانه‌ای می‌تواند با نظارت و پایش محیطی، آموزش و هدایت افکار عمومی، اطلاع‌رسانی و ایجاد همبستگی ملی، به مقابله پیشگیرانه با بحران بپردازد.
طراحی مدل واحد از کنشگری در محیط‌های ارتباطی چندپلتفرمی از تئوری سنتی روابط عمومی	دایرز و لایسون، ۲۰۲۳	داده‌های این مطالعه براساس مصاحبه‌های عمیق با ۲۶ مدافع استقلال اسکاتلند جمع‌آوری شده و با استفاده از روش تئوری داده‌بنیاد با رویکرد استراوس و کوربین طی ۳ مرحله کدگذاری باز، محوری و انتخابی تحلیل شده‌اند. این مطالعه با یافتن اینکه بحران‌ها محرک‌های حیاتی برای کنشگری هستند، بسط واضحی از مدل کنشگری چون و پارک ارائه کرده است. نتایج تحقیق بینش‌هایی جهت گسترش روابط عمومی سنتی و نظریه ارتباطات در محیط‌های چندپلتفرمی و چندکنشگری ارائه کرده است. نتایج مشخص کرد رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی موجب تشدید بحران از طریق تشکیل حباب اطلاعاتی می‌شوند و باید چارچوب مشخصی در این زمینه برای کنشگری مؤثر رسانه‌ها ارائه شود.
بررسی تأثیر رسانه‌های اجتماعی آنلاین بر کنشگری مهاجران	چکروود، ۲۰۲۲	اگرچه مهاجران به‌طور معمول در این پلتفرم‌ها در گفت‌وگوهای سیاسی شرکت می‌کنند، مانند شرایط بحرانی اکتبر ۲۰۲۰، اولین موج کووید - ۱۹ و درگیری مرزی قرقیزستان و تاجیکستان در ۲۰۲۱، موجی از فعالیت‌های سیاسی در رسانه‌های اجتماعی آغاز شد که به شکل جمع‌آوری کمک‌های مالی و بسیج اعتراضی به دنیای واقعی منتقل شد. بنابراین نتایج تحقیق تأثیر معنادار رسانه‌های اجتماعی آنلاین بر کنشگری مهاجران را نشان داده است.



پیشینه تحقیقات		
عنوان	نام محقق	چکیده
تجزیه و تحلیل تجربه مشارکت آنلاین جوانان در جنبش‌های کنشگری اجتماعی	کورتس - راموس و همکاران، ۲۰۲۱	این پژوهش در قالب یک پارادایم کیفی تفسیری توصیفی انجام شده است. نتایج تحقیق نشان داد پیشران‌های کنشگری اجتماعی عبارت‌اند از: ابزارهای فناورانه و ترجیحات رسانه‌های اجتماعی، مشارکت در جنبش‌های اجتماعی و کنشگری مثبت، درک میزان مشارکت، علاقه، انگیزه مشارکت، استفاده از زبان در رسانه‌های اجتماعی و باورهای فردی افراد
تحلیل روان‌شناسی کنشگری رسانه‌های آنلاین و جنبش‌های اجتماعی و روابط بین کنش جمعی آنلاین و آنلاین	هدی و همکاران، ۲۰۲۰	نتایج تحقیق نشان داد یکی از آثار منفی کنشگری رسانه در جنبش‌های اجتماعی، ایجاد یا تشدید بحران و ایجاد حباب اطلاعاتی است که پیامد منفی کنشگری رسانه‌ها بوده است.
رسانه‌های اجتماعی در مدیریت بحران: ارزیابی و تجزیه و تحلیل پژوهش‌های اطلاعاتی بحران	رویتز و همکاران، ۲۰۱۸	از زمان حملات تروریستی ۱۱ سپتامبر، استفاده از رسانه‌های اجتماعی در بحران بسیار زیاد شده است و بسیاری از مطالعات بر روی استفاده از فناوری و رسانه‌های اجتماعی (قبل، حین، یا بعد از بحران) متمرکز شده است. حوزه تحقیقاتی که این مطالعات در آن قرار می‌گیرند، انفورماتیک بحران نامیده می‌شود. این مقاله، تحقیقات انفورماتیک بحران را با نگاهی به مطالعات موردی استفاده از رسانه‌های اجتماعی ارزیابی کرده است.

جدول ۲. مشخصات مصاحبه‌شوندگان

شماره	تخصصیات	سمت / تخصص
۱	کارشناسی ارشد فلسفه	مدیرکل اخبار چندرسانه‌ای خبرگزاری، سردبیر سابق خبرگزاری
۲	دکتری علوم سیاسی (مسائل ایران)	مشاور شهردار تهران و مدیرمسئول سابق چند روزنامه
۳	دکترای علوم سیاسی	رئیس اندیشکده مرکزی سیاست‌پژوهی و راهبردنکاري دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی استان گلستان، مدرس دانشگاه
۴	دکتری علوم سیاسی (آینده‌پژوهی)	مدیر مرکز سناریو و تولید محتوای سازمان سراج
۵	دکتری مدیریت فرهنگی گرایش تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری	معاونت سیاسی و اجتماعی فرمانداری تهران، مدرس دانشگاه
۶	دانشجوی دکتری جامعه‌شناسی سیاسی	نماینده مردم تهران در مجلس شورای اسلامی، سردبیر و مدیرمسئول روزنامه
۷	کارشناسی علوم ارتباطات	خبرنگار یحاران، نویسنده کتاب در حوزه خبرنگاری
۸	کارشناسی ارشد مدیریت رسانه	پژوهشگر و فعال رسانه‌ای
۹	دانشجوی دکتری اندیشه سیاسی	معاونت امور اجتماعی و فرهنگی شهرداری تهران، قائم‌مقام اسبق شبکه تلویزیونی
۱۰	دکتری علوم ارتباطات	مدیر گروه در مرکز تحقیقات صلوسیما
۱۱	تخصص: تنظیم‌گری رسانه	کارشناس ارزیابی محتوای صلوسیما
۱۲	دانشجوی دکتری مدیریت رسانه	هیئت علمی دانشگاه پیام نور واحد تهران غرب
۱۳	دکتری مدیریت استراتژیک	استاد دانشگاه
۱۴	دکتری علوم ارتباطات تخصص: سیاست‌گذاری عمومی	مدیرکل سابق دفتر آسیب‌های اجتماعی وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، مشاور سابق وزیر، مدیرمسئول و صاحب‌امتیاز ماهنامه
۱۵	کارشناسی ارشد روزنامه‌نگاری	پژوهشگر و فعال رسانه‌ای



جدول ۳. مراحل روش تحلیل مضمون یراون و کلارک (۲۰۰۶) (منبع: جریبی، ۱۴۰۲)

مرحله	توصیفی از فرایند
۱. آشنا شدن با داده‌ها	رونویسی داده‌ها (در صورت لزوم)، خواندن و دیواره خواندن داده‌ها، با اشاره به ایده‌های اولیه.
۲. ایجاد مضامین اولیه	کدگذاری ویژگی‌های جالب از داده‌ها در یک روش منظم در کل مجموعه داده، تلفیق داده‌های مربوطه.
۳. جست‌وجو برای مضامین	تلفیق کدها به مضمون‌های بالقوه، جمع‌آوری تمام اطلاعات مربوط به هر مضمون بالقوه.
۴. بازبینی مضامین	چک کردن اینکه اگر مضمون‌ها در رابطه با خلاصه کدگذاری عمل می‌کنند (سطح ۱) وارد کردن مجموعه داده (سطح ۲)، یک نقشه موضوعی برای تجزیه و تحلیل ایجاد کنیم.
۵. تعریف و نام‌گذاری مضامین	تجزیه و تحلیل مداوم برای اصلاح ویژگی‌های هر مضمون و داستان کلی گفته‌های تجزیه و تحلیل، تولید تعاریف و نام‌های روشن برای هر تم.
۶. نوشتن گزارش	فرست نهایی برای تجزیه و تحلیل. انتخاب واضح (روشن)، ایجاد کردن مثال‌های خلاصه، تجزیه و تحلیل نهایی از خلاصه انتخاب‌شده، ارتباط دادن تجزیه و تحلیل به سوالات تحقیق و ادبیات، تولید گزارش‌های علمی از تجزیه و تحلیل.

سؤال پنجم: چه عواملی زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در پیشگیری از بحران‌های اجتماعی-سیاسی است؟ (جدول شماره ۸).

سؤال ششم: کنشگری مؤثر رسانه‌ها در پیشگیری از بحران‌های اجتماعی-سیاسی چه نتایجی دربر دارد؟ (جدول شماره ۹).

سؤال هفتم: چه عواملی زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در آماده‌سازی در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی است؟ (جدول شماره ۱۰).

سؤال هشتم: نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌ها در آماده‌سازی در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی چیست؟ (جدول شماره ۱۱).

بحث

براساس نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق مشخص شد رسانه‌ها و به‌ویژه رسانه‌های نوین، کنشگری مؤثر و هدمندی بر بحران‌ها دارند. آن‌چنان‌که طیف تأثیرگذاری آن‌ها بر بحران از بحران‌زدایی تا بحران‌زایی را شامل می‌شود. پدیده شکل‌گیری حباب اطلاعاتی توسط رسانه‌ها در زمان بحران‌ها خود حاکی از نقش مهم رسانه‌هاست. این یافته در نتایج تحقیق دایرز و لاوسون (۲۰۲۳) هم به اثبات رسید که رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی موجب تشدید بحران از طریق تشکیل حباب اطلاعاتی می‌شوند و باید چارچوب مشخصی در این زمینه برای کنشگری مؤثر رسانه‌ها ارائه شود. مشابه این یافته در مطالعه هدی و همکاران (۲۰۲۰) نیز به تأیید رسید که یکی از آثار منفی کنشگری رسانه در جنبش‌های اجتماعی، ایجاد یا تشدید بحران و ایجاد حباب اطلاعاتی است که پیامد منفی کنشگری رسانه‌ها بوده است.

امروزه در بروز بحران‌ها، روایتگر اول بودن و انحصار تولید خبر اول از رویداد، بازنمایی صحیح بحران، پاسخ‌گو کردن مسئولین بحران، ارائه تحلیل‌های دقیق و عمیق از مسائل پیچیده، تنظیم‌گری فضای رسانه‌ای و جلوگیری از بروز و رشد شایعه

سوالات ذیل براساس چارچوب مفهومی این مقاله که پیش‌تر در بخش مبانی نظری به‌عنوان مدل پروانه‌ای مدیریت رسانه‌ای بحران معرفی شد، از مشارکت‌کنندگان پرسیده شد. این سوالات علاوه بر احصای وظیفه و کارکردهای رسانه در مدیریت بحران، با التفات به الزامات چهارگانه رسانه‌ها (مدیریتی، ساختاری، نیروی انسانی و مخاطب‌محوری) برای مدیریت اثربخش بحران، در ۳ فاز پیش‌بینی، پیشگیری و آماده‌سازی به بررسی عوامل زمینه‌ساز و نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌های جریان اصلی در مواجهه با بحران‌های اجتماعی-سیاسی پرداخته است. در ادامه به تفصیل به شرح یافته‌ها پرداخته خواهد شد:

سؤال اول: در بحران‌های اجتماعی-سیاسی، رسانه‌ها چه کارکردهایی پیدا می‌کنند (جدول شماره ۴)؟

طبق نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل مضمون پاسخ‌های مربوط به این سؤال، مضامین پایه‌ای مستخرج در ۵ مضمون سازمان‌دهنده دسته‌بندی شدند. پس چنانچه رسانه خواستار مدیریت بحران‌های اجتماعی-سیاسی است، ابتدا باید کارکردهای خود در این بحران‌ها را شناسایی کند و در هر کارکرد در حوزه‌های متفاوت اقدامات مربوطه را بتواند انجام دهد.

سؤال دوم: اگر بخواهیم نقش آفرینی رسانه‌ها را در حوزه بحران به ۳ فاز پیش از بحران، حین بحران و پس از بحران دسته‌بندی کنیم، رسانه در کدام فاز نقش کلیدی‌تری دارد؟ چرا؟

طبق نظر غالب مصاحبه‌شوندگان نقش رسانه، پیش از بحران به دلایل مذکور (در جدول شماره ۵) کلیدی‌تر است.

سؤال سوم: چه عواملی زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز پیش‌بینی بحران‌های اجتماعی-سیاسی است؟ (جدول شماره ۶).

سؤال چهارم: کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز پیش‌بینی بحران‌های اجتماعی-سیاسی چه نتایجی دربر دارد؟ (جدول شماره ۷).



جدول ۴. کارکرد رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی-سیاسی

مضمون فراگیر	مضامین سازمان‌دهنده	مضامین پایه‌ای
کارکرد رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی-سیاسی	کارکرد حمایتی رسانه از افکار عمومی	تلاش برای ایجاد امنیت اجتماعی، امنیت احساسی و امنیت ادراکی مردم به رسمیت شناختن نقش مردم همدردی با مردم جامعه توجه به گروه‌های اقلیت و محروم و توانمندسازی آن‌ها ارائه تحلیل‌های عمیق و دقیق برای درک مسائل پیچیده توسط جامعه افشای تخلف، سهل‌انگاری‌های افراد و سازمان‌ها در شرایط بحران
	کارکرد آگاهی‌بخشی رسانه در شرایط بحران	افزایش آگاهی عمومی تحلیل و بررسی بحران‌های اجتماعی-سیاسی بازنمایی صحیح واقعیت اجتماعی پیگیری بحران‌ها و رفع مشکلات
	کارکرد مطالبه‌گری از دولت و نهادهای مسئول در شرایط بحران	اهتمام رسانه به مسئول‌سازی و پاسخ‌گو کردن دولت در شرایط بحران نقش‌آفرینی رسانه به مثابه میدان گفت‌وگوی طرفین کارکرد اطلاع‌رسانی به‌موقع و روایتگر اول ارائه اطلاعات به‌موقع و به‌اندازه به مخاطبان کارکرد اطلاع‌رسانی براساس شناخت کامل از شرایط جامعه بازنمود نقش‌آفرینی مردم بازنمایی تکثرگرایی و چندصدایی نیازسنجی مخاطبان و تنظیم سطح مطالبه‌گری مخاطبان ابهام‌زدایی، ارتقای شفافیت و قانون‌پذیری در نظام سیاسی بازوی تصمیم‌ساز برای مدیران در شرایط بحران
کارکرد استراتژیک		حل مسئله و تجزیه و تحلیل اخبار کارکرد میانجی میان دولت و ملت شناخت از افکار عمومی جامعه جهت بسیج افکار عمومی اثبات مقبولیت رسانه نزد مردم اتخاذ رویکرد و روش صحیح در پیشگیری از بحران

تأثیر معناداری بر کنشگری در فضای واقعی داشته است.

مطابق یافته‌های مندرج در **جدول شماره ۶**، یکی از پیشران‌های کنشگری مؤثر رسانه‌ها در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی، پیشران‌های زیرساختی است که پیش‌تر در تحقیق **منتظر قائم و موسوی (۱۴۰۰)** نیز بر ضرورت آن تأکید شده بود؛ به‌طوری‌که استفاده از فناوری‌های نوین در ارتباطات بحران ایران اولویت

در هنگام بحران، تولید چندصدایی از بستر رسانه‌های نوین، جریان‌سازی و مرجعیت رسانه‌های همگی از رهگذر کنش مؤثر رسانه‌ها در شرایط بحران معنا می‌یابند؛ به‌طوری‌که در نتایج مطالعه **بصیران جهرمی و همکاران (۱۳۹۵)** نیز به ماهیت کنشگری رسانه‌های اجتماعی در مدیریت بحران پرداخته شد. نتایج آن تحقیق نیز در تأیید نتایج تحقیق حاضر نشان داد مصادیق مختلف مدیریت بحران (انباشت، بروز، فروکش و بهبود)،



جدول ۵. نقش آفرینی رسانه پیش از بحران، حین بحران و پس از بحران

مضمون فراگیر	مضامین سازمان دهنده	مضامین پایه‌ای
		ارائه تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌های دقیق برای جلوگیری از بحران اطلاع‌رسانی و آگاهی‌بخشی برای جلوگیری از گسترش بحران شناسایی علل بروز بحران رسانه بحران‌زا تأثیرگذاری بیشتر توانایی پیش‌بینی بحران‌ها براساس تحلیل‌های وقایع آگاه‌سازی از بحران آینده‌نگری بحران قطع چرخه بحران کاهش آثار جانی و مالی ناشی از بحران مسئولیت‌سازی برای دولت در راستای جلوگیری از بحران گسترش آرامش عمومی ترویج حس همبستگی و مشارکت عمومی در مدیریت پیش از بحران کم‌هزینه‌تر بودن اقدامات قبل بحران داشتن مخاطب انتشار نظرات خبرگان حوزه بحران گسترش آرامش عمومی ثبت گزارشات میدانی از بحران اطلاع‌رسانی به‌موقع و بی‌وقفه آموزش دستورالعمل‌های ایمنی آموزش راهکارهای مقابله‌ای آگاه‌سازی از ماهیت و درگیری بحران پل ارتباطی میان نهادهای مسئول و آسیب‌دیدگان بحران نظارت بر عملکرد دولت در حین بحران اشکارسازی شکاف‌های اطلاعاتی پیشگیری از شیوع شایعه ترویج گفت‌وگو و تفاهم اقدامات پیشگیرانه در جهت کاهش آثار تخریبی بحران پیگیری حل مشکلات امیدآفرینی برای عموم جلوگیری از بحران‌های دیگر
	نقش آفرینی رسانه‌ها در فاز پیش از بحران	
اهمیت نقش آفرینی رسانه‌ها در فاز پیش از بحران، حین بحران و پس از بحران		
	نقش آفرینی رسانه‌ها در حین بحران	
	نقش آفرینی رسانه‌ها در فاز پس از بحران	



جدول ۶ عوامل زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز پیش‌بینی بحران‌های اجتماعی-سیاسی

مضمون فراگیر	مضامین سازمان‌دهنده	مضامین پایه‌ای
پیش‌ران زیرساختی	پیش‌ران زیرساختی	دسترسی به اطلاعات و داده‌های جامع و دقیق درباره شرایط اجتماعی و سیاسی
		دسترسی کامل به اطلاعات و منابع اطلاعاتی درست
		دسترسی به آخرین فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی
		وجود فضای رسانه‌ای آزاد و مستقل
		حمایت‌گری از رسانه و مصون‌سازی آن
توانمندی کارکردی رسانه	توانمندی کارکردی رسانه	نگاه کلان به رسانه و کنشگران رسانه
		حضور به‌موقع در محل بحران
		واکاوی رسانه‌ای برای شناسایی عوامل بالقوه بحران
		توانایی تشخیص الگوها و روندهای اجتماعی و سیاسی و پیش‌بینی رفتارهای آینده جامعه
		همکاری و مشارکت با سایر ذی‌نفعان، مانند سایر رسانه‌ها، دانشگاه‌ها NGOها
عوامل زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز پیش‌بینی بحران‌های اجتماعی-سیاسی	عوامل زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز پیش‌بینی بحران‌های اجتماعی-سیاسی	مشارکت‌جویی از عموم از طریق رسانه‌های اجتماعی
		توانایی ترویج فرهنگ اطلاع‌رسانی و مشارکت اجتماعی در جامعه
		آگاهی از عوامل سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی
		توانایی جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات، مصاحبه به‌موقع با منابع
		درک فوریت بحران و توانایی واکنش سریع به بحران
پیش‌ران نیروی انسانی	پیش‌ران نیروی انسانی	پهناشتراک‌گذاری منابع، تخصص و دیدگاه‌ها با هدف هم‌فکری با سایر سازمان‌ها
		آموزش و توانمندسازی رسانه‌ها و کارکنان آن‌ها
		برخورنداری رسانه از نیروی خبری متخصص و حرفه‌ای
		توانایی تحلیل و بررسی اطلاعات و داده‌ها به‌صورت حرفه‌ای و مستند
		پوشش بحران توسط رسانه‌های تخصصی
پیش‌ران استانداردهای حرفه‌ای	پیش‌ران استانداردهای حرفه‌ای	توانایی تفسیر صحیح و منصفانه اخبار برای پیش‌بینی بحران‌های اجتماعی-سیاسی
		توانایی ارائه اطلاعات به‌صورت شفاف و قابل فهم برای جامعه
		رعایت استانداردهای اخلاقی و حرفه‌ای (مانند حفاظت از منابع، عدم مداخله احساسات)
		توانایی ارتباط با خبرگان و متخصصان در زمینه‌های مختلف
		حفظ بی‌طرفی، شفافیت و عینیت در گزارش توسط خبرنگاران
سرمایه اجتماعی رسانه	سرمایه اجتماعی رسانه	مشروعیت و مقبولیت عمومی رسانه نزد افکار عمومی و دولت
		ایجاد اعتماد عمومی از طریق گزارش‌دهی منام و با کیفیت بالا در طول زمان

شبکه‌های اجتماعی، گفت‌وگوی آنلاین با مردم، استفاده از برنامه‌های کاربردی تلفن همراه، ادغام رسانه‌های اجتماعی و رسانه‌های سنتی و تقویت زیرساخت‌های اینترنت و تلفن همراه در کشور معرفی شد. همان‌طور که در نتایج تحقیق راموس و

شناخته شد. نتایج تحقیق مذکور نشان می‌داد سیستم مدیریت بحران ایران از الگوهای یک‌سویه ارتباط با شهروندان درگیر بحران استفاده می‌کند و راه‌حل برون‌رفت از این چالش، سیاست‌گذاری در استفاده از فناوری‌های نوین، ایجاد حساب کاربری در



جدول ۷. نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز پیش‌بینی بحران‌های اجتماعی-سیاسی

مضمون فراگیر	مضامین سازمان‌دهنده	مضامین پایه‌ای
		کشف مسئله بحران‌زا
		جلوگیری از آسیب به افراد و جوامع شامل جلوگیری از خشونت، کاهش آسیب‌های اقتصادی و حمایت از حقوق بشر
		استقرار صلح، ثبات و عدالت در جامعه
		افزایش آگاهی عمومی از بحران
	پیامدهای اجتماعی کنشگری مؤثر رسانه پیش از بحران	کمک به افراد برای اقدام احتیاطی یا پیشگیری از بحران
		کمپین‌سازی رسانه‌ای برای ارتقای آگاهی عمومی
		پس‌بج افکار عمومی و تشویق به اقدام جمعی و جلوگیری از بحران‌های پیش‌بینی‌شده
		مداخله زودهنگام ذی‌نفعان مربوطه، مانند سازمان‌های بشردوستانه یا نهادهای بین‌المللی
		رفع نابرابری‌های سیستمی یا توانمندسازی گروه‌های به حاشیه‌رانده‌شده
نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز پیش‌بینی از بحران‌های اجتماعی-سیاسی		پاسخ‌گو کردن مسئولان در مدیریت بحران
		ایجاد فشار بر مقامات برای جلوگیری از بحران‌های پیش‌بینی‌شده
	پیامدهای سیاسی کنشگری مؤثر رسانه پیش از بحران	تأثیر بر تصمیمات دولت، تغییر سیاست، افزایش اقدامات آمادگی یا مداخلات دولتی برای جلوگیری از بحران‌های پیش‌بینی‌شده
		تخصیص درست منابع و مداخلات پیشگیرانه برای کاهش بحران
		پهلوئد تصمیم‌گیری از طریق جلب تمایل تصمیم‌گیرندگان یا در نظر گرفتن نظرات کارشناسی یا دیدگاه‌های جایگزین ارائه‌شده توسط رسانه‌ها
		ترغیب مسئولان حوزه بحران به عمل‌گرایی و پرهیز از بی‌عملی
		پیشگیری از وقوع و توسعه بحران‌های سیاسی-اجتماعی با کنشگری رسانه‌ای
	پیامدهای ناشی از مسولیت اجتماعی رسانه	افزایش شفافیت از طریق افشای برنامه‌های پنهان، فساد یا سهل‌انگاری
		ایجاد اعتماد عمومی به رسانه‌ها بین مردم و نهادها
		ترویج فرهنگ گفت‌وگو و مناظره جهت دستیابی به راه‌حل‌های جلوگیری از بحران‌ها

پیامدهای اجتماعی کنشگری مؤثر رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی-سیاسی شناخته شد. این گزاره در یافته‌های **شاهی (۱۳۹۷)** و **چکیرووا (۲۰۲۲)** نیز به اثبات رسیده بود.

در این تحقیق، کنشگری رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی-سیاسی در ۳ فاز پیش‌بینی، پیشگیری و آماده‌سازی تشریح شد و نقش رسانه در ۳ فاز مذکور به ترتیب تبیینی، لجستیکی و روان‌شناختی تشریح شد و پیامدهای هر یک از انواع نقش‌آفرینی‌ها تصریح شد. این نتایج هم‌گرا با نتایج تحقیق **صلواتیان و روشندل (۱۳۹۰)** بود که نشان می‌داد سازمان صداوسیما با اتخاذ رویکردی پیشگیرانه و با استفاده از مدل پروانه‌ای نقش رسانه‌ها در مدیریت بحران، می‌تواند از طریق رصد و پایش محیط، آموزش و هدایت افکار عمومی، اطلاع‌رسانی و ایجاد همبستگی ملی، به مقابله پیشگیرانه با بحران بپردازد.

همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داده شد پیش‌ران‌های کنشگری اجتماعی عبارت‌اند از ابزارهای فناورانه و ترجیحات رسانه‌های اجتماعی، مشارکت در جنبش‌های اجتماعی و کنشگری مثبت، درک میزان مشارکت، علاقه، انگیزه مشارکت، استفاده از زبان در رسانه‌های اجتماعی و باورهای فردی افراد. ناگفته نماند که به ادعای **رویتر و همکاران (۲۰۱۸)** تأثیر رسانه‌ها و زیرساخت‌های ارتباطی در عصر ارتباطات نوین تا به آنجاست که از زمان حملات تروریستی ۱۱ سپتامبر، بسیاری از مطالعات بر روی استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات و رسانه‌های اجتماعی (قبل، حین، یا بعد از بحران) متمرکز شده است و حوزه تحقیقاتی انفورماتیک بحران پدید آمده است.

براساس یکی از یافته‌های مندرج در **جدول شماره ۷**، کمپین‌سازی رسانه‌ای برای ارتقای آگاهی عمومی، از جمله



جدول ۸. عوامل زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در پیشگیری از بحران‌های اجتماعی-سیاسی

مضمون فراگیر	مضامین سازمان‌دهنده	مضامین پایه‌ای
عوامل زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در پیشگیری از بحران‌های اجتماعی-سیاسی	پیش‌رکن‌های پیشگیرانه رسانه در ارتباط با عموم	تعامل مستقیم و مستمر با مردم شناسایی نیازهای عموم در جهت رفع نارضایتی در شرایط بحران تشکیل پلتفرم‌های پیشگیری از بحران برای انتشار خبرها و اطلاعات درباره وضعیت‌های بحرانی تحلیل درست رویدادها و اخبار برای تصمیم‌گیری بهینه افراد اهتمام به پایداری سیاسی کشور به منظور پیشگیری از وقوع بحران‌های جدید دسترسی به منابع اطلاعاتی برای حل مشکلات یا تعارضات احتمالی قبل از تبدیل شدن به بحران همکاری رسانه با سایر ذی‌نفعان و نهادهای مانند سازمان‌های جامعه مدنی و سازمان‌های دولتی برای پیشگیری و کاهش مؤثر بحران‌ها کنشگری به موقع رسانه‌ها قدرت برجسته‌سازی برخی مشکلات یا رویدادهای نادیده گرفته شده کمک به ادراک بهتر عموم از بحران‌های اجتماعی جلب اعتماد مردم به تحلیل‌های ارائه شده در زمینه پیشگیری از بحران‌ها مستقل بودن رسانه‌ها از فشارهای سیاسی، اقتصادی و اجتماعی برای ارائه گزارش عینی و دقیق اخبار و تحلیل آن توانایی شکل‌دهی به افکار و گفت‌وگو عمومی و تأثیرگذاری بر مسئولین کشور

مطابق جدول شماره ۴، نتایج برآمده از تحقیق حاکی از آن است که کارکرد رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی-سیاسی، فارغ از کارکرد اطلاع‌رسانی به موقع و روایتگر اول بودن در شرایط بحران و نیز کارکرد آگاهی‌بخشی در راستای ارائه تحلیل‌های عمیق و دقیق و بازنمایی صحیح واقعیت‌های اجتماعی، دارای کارکردهای مؤثر دیگری نیز هست که در صدر همه آن‌ها کارکرد استراتژیک رسانه‌ها با محوریت حل مسئله بحران، میانجیگری میان دولت و ملت، ارتقای شفافیت و قانون‌پذیری، اثبات مقبولیت رسانه‌های نزد افکار عمومی و بازوی تصمیم‌ساز برای مدیران در شرایط بحران است. در این میان، رسانه می‌بایست در عین پذیرش چندصدایی و توجه به گروه‌های اقلیت، رسانه را به مثابه میدان گفت‌وگوی طرفین قرار دهد و به حل بحران اجتماعی-سیاسی کمک کند و از طرف دیگر در راستای مطالبه‌گری، نهادهای مسئول را در برابر بحران پاسخ‌گو کند.

جدول ۹. نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌ها در پیشگیری از بحران‌های اجتماعی-سیاسی

مضمون فراگیر	مضمون سازمان‌دهنده	مضامین پایه‌ای
نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌ها در پیشگیری از بحران‌های اجتماعی-سیاسی	پیامدهای ماکرو (کلان)	پیشگیری از بحران‌های اجتماعی-سیاسی یا دست‌کم تلاش برای کاهش آثار منفی این بحران‌ها اصلاح سیاست‌گذاری‌ها و اقدامات مسئولین در قبال مدیریت بحران‌ها اثر بخشی تصمیم‌گیری در قبال بحران‌ها حمایت از واکاوی علل واقعی بروز بحران پاسخ‌گو نگه داشتن دولتمردان در قبال اقدامات خود در شرایط بحران افزایش آگاهی مردم در مورد مسائل مهم اجتماعی و سیاسی و نحوه مواجهه با بحران‌های احتمالی آنی موفقیت در بسیج افکار عمومی و تشویق برای اقدام دسته‌جمعی در رفع بحران‌های آنی افزایش شفافیت عملکرد دولتمردان از طریق افشای حقایق پنهانی و ضمنی
	پیامدهای میکرو (خرد)	



جدول ۱۰. عوامل زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در آماده‌سازی در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی

مضمون فراگیر	مضمون سازمان‌دهنده	مضامین پایه‌ای
عوامل زمینه‌ساز کنشگری مؤثر رسانه‌ها در آماده‌سازی در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی	پیشران‌های محتوایی	دسترس به تکنولوژی‌های نوین برای پوشش دادن به بحران‌های اجتماعی-سیاسی
		توسعه پلتفرم‌های ارتباطی برای برقراری ارتباط با مردم در زمان بحران
		انتخاب تدابیر امنیتی در مقابل حملات سایبری در زمان بحران
		همکاری رسانه‌ها با نهادهای مرتبط برای آماده‌سازی در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی
پیشران‌های بافتاری	پیشران‌های بافتاری	پایداری و مقاومت در برخورد با تهدیدهای صاحبان قدرت
		آموزش به مردم درمورد خطرات احتمالی و نحوه آماده‌سازی جهت کاهش صدمات بحران‌ها
		تسهیل گفت‌وگو و تفاهم میان گروه‌های مختلف مردمی و نهادهای دولتی
		جلوگیری از انتشار اطلاعات نادرست و شایعات
پیشران‌های بافتاری	پیشران‌های بافتاری	حفظ و ارتقای آمادگی کارکنان و آموزش به آن‌ها برای مواجهه با بحران‌ها
		داشتن سواد رسانه‌ای برای تجزیه و تحلیل انتقادی و تحلیل دقیق اطلاعات
		نظارت بر اقدامات دولت و گزارش شفاف آن‌ها
		پاسخ‌گو نگه داشتن مسئولین در قبال آماده‌سازی
پیشران‌های بافتاری	پیشران‌های بافتاری	تحقیق و تحلیل در خصوص بحران‌های احتمالی آتی
		درک بافتار فرهنگی اعتقادی نسبت به دیدگاه‌ها و تجربیات گوناگون
پیشران‌های بافتاری	پیشران‌های بافتاری	عملکرد بی‌طرفانه رسانه برای تبری از هرگونه پرچسب‌زنی

همچنین مشخص شد رسانه‌ها در فاز پیش از بحران، با شناسایی علل بروز بحران می‌توانند به قطع چرخه بحران‌آفرینی کمک کنند و براساس تحلیل‌های دقیق از وقایع می‌توانند به پیش‌بینی بحران‌ها بپردازند. بدین ترتیب براساس یافته‌های مندرج در جدول شماره ۹، با نقش‌آفرینی مؤثر پیش از وقوع بحران، به هزینه‌های گزاف مالی و معنوی ناشی از بروز بحران پایان می‌بخشند. اما چنانچه بحران روی دهد، رسانه‌ها علاوه بر ثبت گزارشات میدانی از بحران، می‌توانند در نقش ناظر بر عملکرد دولت و نهادهای مسئول نظارت کنند و بیش از هرچیز از شیوع شایعه و ایجاد شکاف‌های اطلاعاتی جلوگیری کنند و به توسعه فرهنگ گفت‌وگو و تفاهم در شرایط بحران‌های اجتماعی-سیاسی بپردازند و نهایتاً پس از بحران، رسانه‌ها پیگیری مسائل و مشکلات ناشی از بحران، امیدآفرینی در جامعه و جلوگیری از پیدایش بحران‌های دیگر را در اولویت برنامه خود قرار دهند.

نتیجه‌گیری

خلاصه‌ای از نتایج برآمده از یافته‌ها به تفکیک ۳ رویکرد مذکور ارائه می‌شود:

با رویکرد پیش‌بینانه، پیشران‌هایی که رسانه‌ها را در جهت کنشگری مؤثر در شرایط بحران به پیش می‌برد عبارت‌اند از: پیشران‌های زیرساختی که زمینه دسترسی به اطلاعات دقیق و جامع و داده‌های کلان را میسر می‌کند. بدیهی است فراهم‌آوری پیشران زیرساختی، بدون داشتن کارکنان رسانه‌ای خبره و توانمند، عبث است؛ بنابراین پیشران نیروی انسانی از ضروریات کنشگری مؤثر رسانه‌ها در شرایط بحران است. از طرفی این نیروی انسانی خبره و توانمند باید مسلح به استانداردهای اخلاقی حرفه‌ای رسانه در شرایط بحران (نظیر حفاظت از منابع، عدم مداخله احساسات، رعایت بی‌طرفی، شفافیت، عینیت و غیره) باشد تا ضمن درک درجه فوریت بحران، قادر به واکنش سریع در برابر آن باشد. درنهایت تحقق همه پیشران‌های بیان‌شده در گرو تحقق مشروعیت و مقبولیت رسانه نزد افکار عمومی و دولت است. بدین ترتیب در صورت کنشگری مؤثر رسانه‌ها در مرحله پیش‌بینی بحران، شاهد پیامدهای مهم اجتماعی-سیاسی، مانند کشف مسئله بحران، کمک به کاهش آسیب‌های عمومی، استقرار ثبات و صلح، تشویق به اقدام جمعی خیرخواهانه، مداخله زودهنگام ذی‌نفعان، کمپین‌سازی رسانه‌ای، پاسخ‌گو کردن مسئولان و الزام به عمل‌گرایی ایشان در مدیریت بحران، تأثیر



جدول ۱۱. نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌ها در آماده‌سازی در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی

مضمون فراگیر	مضامین سازمان‌دهنده	مضامین پایه‌ای
نتایج کنشگری مؤثر رسانه‌ها در آماده‌سازی در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی	پیامدهای آموزشی رسانه	آگاهی عمومی از مواجهه با بحران و تصمیم‌گیری به‌هنگام جلوگیری از به وجود آمدن بحران‌های بعدی یا کاهش آسیب‌های ناشی از آن
	پیامدهای روان‌شناختی رسانه	آموزش چگونگی کمک به آسیب‌دیدگان یا زیان‌دیدگان احتمالی ارتقای سطح سلامت روانی جامعه افزایش خودکنترلی در شرایط بحران
	پیامدهای عملکردی رسانه	مدیریت اثربخش بحران‌های سیاسی-اجتماعی با همکاری مثلث رسانه، مردم و مسئولین ارتقای آرامش و امنیت عمومی و بهبود کیفیت زندگی مردم جلوگیری از گسترش بحران جلوگیری از غافلگیری مسئولین برای آماده‌سازی آن‌ها در مقابل بحران‌ها بسیج مردم برای مشارکت عمومی در حل بحران‌ها ایجاد آمادگی در بخش‌های مختلف سازمان‌های مسئول مواجهه با بحران

اجتماعی به وجود می‌آیند. رسانه‌ها با ساختن تصویر و ذهنیت خاصی از دولت، منجر به نزدیک یا دور شدن شهروندان از دولت می‌شوند. از این‌رو اگر رسانه در انتقال و ارائه نیازهای جامعه، مسئولان را از خواسته‌های مردم، آگاه و از واقعیت و رویدادهای جامعه، باخبر کند، درباره وظایف و مسئولیت‌هایش در قبال مردم آگاهی‌بخشی کند و نیز تصویری واقعی و آگاهانه از دولت و عملکرد آن در جهت رفع نیازهای مردمی ارائه بدهد، در تعدیل شکاف‌ها و پیشگیری از به وجود آمدن بحران‌ها مؤثر خواهد بود.

با رویکرد آماده‌سازانه (جدول شماره ۱۰)، پیشران‌هایی که منجر به کنشگری مؤثر رسانه‌ها در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی می‌شود عبارت‌اند از: پیشران‌های فرایندی (توسعه پلتفرم‌های ارتباطی، اتخاذ تدابیر لازم در برابر حملات سایبری و همکاری‌های بین‌نهادی)، پیشران‌های محتوایی (جلوگیری از شیوع و انتشار اطلاعات نادرست و شایعه، ایجاد تفاهم میان طرفین درگیر بحران، ارتقای سواد رسانه‌ای برای تحلیل انتقادی موضوع) و پیشران‌های بافتاری (درک بافتار فرهنگی جامعه، نظارت بر اقدامات دولت و گزارش شفاف آن‌ها و اتخاذ مشی بی‌طرفانه رسانه). نتایج (جدول شماره ۱۱) نشان می‌دهد پیامدهای کنشگری مؤثر رسانه‌ها در فاز آماده‌سازی در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی شامل شقوق سه‌گانه‌ای است: پیامدهای آموزشی رسانه ناظر به آموزش چگونگی مواجهه با بحران و چگونگی کمک به زیان‌دیدگان احتمالی بحران است. اما علاوه بر مسئولیت آموزشی رسانه، انتظار می‌رود رسانه به لحاظ روان‌شناختی نیز عهده‌دار ارتقای سلامت روانی جامعه و توسعه ابعاد خودکنترلی در شرایط بحران باشد. اما از آنجاکه رسانه به تنهایی نمی‌تواند به خلق شگفتی در برابر بحران‌های اجتماعی-سیاسی دست بزند، می‌بایست با همکاری

رسانه بر تصمیمات دولتی و نهایتاً پیامدهایی همچون افزایش برنامه‌های پنهان، فساد یا سهل‌انگاری و ایجاد اعتماد عمومی به رسانه‌ها بین مردم و نهادها خواهیم بود که ناشی از مسئولیت اجتماعی رسانه‌ها است.

در فاز پیشگیرانه، کنشگری مؤثر رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی-سیاسی، در ۲ جبهه افکار عمومی و دولت‌ها معنا می‌یابد زیرا رسانه از یکسو می‌بایست تعامل بی‌واسطه‌ای با عموم داشته باشد تا بتواند ضمن کشف نارضایتی‌های عمومی، در گاهی برای انتشار آن‌ها بیاید تا از وقوع بحران‌های عظیم پیشگیری کند تا بدین ترتیب تعارضات احتمالی قبل از تبدیل شدن به بحران، حل و فصل شوند و پایداری سیاسی کشور تضمین شود و از سوی دیگر این رسانه‌ها می‌بایست ضمن حفظ استقلال رأی خود و عدم پذیرش فشارهای سیاسی، توانایی شکل‌دهی به افکار عمومی و گفت‌وگو سازی و تأثیرگذاری بر مسئولین کشور را داشته باشند. چنانچه رسانه‌ها به شرح مذکور عمل کنند، در فاز پیشگیری می‌توانند علاوه بر پیشگیری از وقوع بحران‌های اجتماعی-سیاسی جدید و کاهش آثار منفی بحران‌ها، در فرایند اصلاح سیاست‌ها و اقدامات مسئولین بحران نیز مؤثر باشند و همچنین به آگاه‌سازی عموم از ریشه و علل مسائل اجتماعی-سیاسی روز و نحوه مواجهه با بحران‌های احتمالی بپردازند. از آنجاکه رسانه‌ها، رابط میان مردم و دولت هستند و نیازها و خواسته‌های مردم را به دولتمردان انتقال می‌دهند، اگر نیازهای مردم را غیرواقعی و دستکاری‌شده ارائه دهند، دولت نیز تصویر غیرواقعی از خواسته‌های آن‌ها خواهد داشت. در نتیجه عملکرد و پاسخ‌گویی آن‌ها براساس خواسته‌های مردمی نخواهد بود. در این صورت، رسانه‌ها عامل ایجاد شکاف و فاصله میان دولت و مردم خواهند شد و بحران‌های سیاسی و



۱۴. کاهش فاصله نهادهای امنیتی و نظامی با رسانه‌ها و زیست رسانه‌ای.

۱۵. ایجاد کارگروه تخصصی مدیریت پیش از بحران (بحران‌های طبیعی و انسان‌ساخت) در همه سازمان‌ها.

۱۶. تدوین سند رسانه‌ای مدیریت بحران در سازمان‌ها و نهادها/

پیشنهادهای پژوهشی

در خصوص انجام تحقیقات پژوهشی آینده نیز پیشنهاد می‌شود مضامین شناسایی شده در تحقیق با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در فضای فازی یا غیرفازی مانند روش AHP، ANP، VIKOR و غیره اولویت‌بندی شوند. همچنین پیشنهاد می‌شود راهکارهای پیشنهادی در تحقیق برای رسانه‌های مختلف (اعم از رسانه‌های جریان اصلی و شبکه‌های اجتماعی) مورد ارزیابی قرار گیرد و نتایج پیاده‌سازی آن‌ها ارائه شود.

طراحی الگوی کنشگری مؤثر رسانه‌ها در بحران‌های اجتماعی-سیاسی و سند رسانه‌ای مدیریت بحران‌های اجتماعی-سیاسی برای سازمان‌ها نیز از جمله پژوهش‌هایی است که پیشنهاد می‌شود.

محدودیت‌های پژوهش

در نگارش این مقاله با محدودیت‌هایی نیز روبه‌رو بوده‌ایم:

- عدم دسترسی کامل به منابع اطلاعاتی رسانه‌ها و اسناد مربوط به دستورالعمل‌های کاری سازمان‌ها در زمان بروز بحران‌های اجتماعی-سیاسی.

- محدودیت مربوط به روش میدانی مصاحبه؛ یعنی ممکن است برخی از مصاحبه‌شوندگان در پاسخ‌گویی دچار محافظه‌کاری شده باشند.

- محدودیت دسترسی به تعدادی از مصاحبه‌شونده‌ها، به‌ویژه مسئولان حوزه رسانه و بحران که به دلایل مختلف حاضر به مصاحبه نشدند و یا هماهنگی‌های لازم برای انجام مصاحبه به طول می‌انجامید و همین موضوع موجب صرف زمان زیاد در انجام پژوهش شد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همه اصول اخلاقی در این مقاله رعایت شده است. رضایت آگاهانه از تمام شرکت‌کنندگان اخذ شده است.

مثلث رسانه، مردم و مسئولین از یکسو از غافلگیری مسئولین در برابر بحران پیشگیری کند و آن‌ها را مجهز و آماده برای واکنش به‌موقع و به‌اندازه کند و از سوی دیگر مشارکت عمومی را در حل بحران‌ها به یاری طلبد تا از گسترش بحران جلوگیری شود.

پیشنهادهای اجرایی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق پیشنهادها و راهکارهای اجرایی به قرار زیر است:

۱. ایجاد سامانه رصد مسائل اجتماعی، به‌طوری‌که شاخص‌های آن مدام در حال بررسی باشد تا مشخص شود چقدر از بحران دور و یا به آن نزدیک شدیم.

۲. پرهیز از اقدامات حساسیت‌زا که موجب مقاومت و لجابت مردم و ایجاد شکاف اجتماعی می‌شود.

۳. گذر از نظارت خط قرمز (سلبی) به نظارت خط سبزی (ایجابی) در مدیریت رسانه‌های بحران‌های اجتماعی-سیاسی.

۴. فراهم آوردن بستر توجه به صدای اقلیت‌های حاشیه‌نشین جامعه و توانمندسازی آن‌ها برای حضور در عرصه عمومی.

۵. افشای تخلف یا سهل‌انگاری‌ها برای تضمین شفافیت و ترویج عدالت.

۶. دسترسی به آخرین فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی برای تضمین سرعت عملیات رسانه‌های بحران.

۷. پرهیز رسانه از بحران‌زایی و تولید بحران در بحران.

۸. همکاری بین سازمان‌های مختلف رسانه‌ای و مشارکت با سایر ذی‌نفعان مانند مؤسسات دانشگاهی یا سازمان‌های غیردولتی (NGO) در راستای منافع ملی کشور.

۹. ایجاد اعتماد عمومی از طریق گزارش‌دهی مداوم و با کیفیت بالا در حین و پس از بحران.

۱۰. ارتقای سطح مطالبه‌گری رسانه‌های جریان اصلی از مسئولان به نیابت از افکار عمومی و عدم مصونیت افراد و سازمان‌های خاص از پاسخ‌گویی.

۱۱. تقویت احساسات هویت ملی، تاریخی و جغرافیایی مشترک شهروندان در راستای تحقق خیر جمعی از طریق پررنگ کردن نقش رسانه با هنر و ورزش جهت انسجام‌بخشی و ایفای نقش مؤثر مردم.

۱۲. مدیریت صحیح سرمایه‌های اجتماعی، مانند سلبریتی‌ها و بازنمایی چندصدایی در کشور

۱۳. ضرورت زیست رسانه‌ای مسئولان کشور جهت شناخت فضای روانی جامعه و به‌روز بودن آن‌ها.



حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد فاطمه استارمی در گروه مدیریت فرهنگی و رسانه دانشگاه سوره است و هیچ گونه کمک مالی از سازمان های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

مفهوم سازی، روش شناسی، اعتبارسنجی، تحلیل، تحقیق و بررسی منابع: میترا افضلی فاروجی و فاطمه استارمی؛ نگارش پیش نویس، ویراستاری و نهایی سازی: میترا افضلی فاروجی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

محققان از تمامی مشارکت کنندگان در انجام پژوهش، قدردانی و تشکر می کنند.

References

- Ameli, S., Bicharanlou, A., Bahar, M., & Gholami, F. (2019). [The conceptual model of water communication; the potentialities of communication to manage water crisis in Iran (Persian)]. *Interdisciplinary Studies in the Humanities*, 11(3), 171-199. [DOI:10.22035/isih.2020.3515.3719]
- Arasteh Khou, M. (2002). [Criticism and Perspectives on the Culture of Socio-Scientific Terms (Persian)]. Tehran: Chapakhsh. [Link]
- Basirian, H., Abdolhosseini, M., & Bordbar, M. (2016). [Assessment of Goals and Motives of Social Media and Crisis Management Students: The Role of Smart Phones in Social Activism Hossein Basirian jahromi, Mohammad Abdolhosseini, Melika Bordbar (Persian)]. *Rasaneh*, 27(1), 57-83. [Link]
- Birou, A. (1987). *Vocabulaire pratique des sciences sociales* [B. Sarokhani, Persian trans.]. Tehran: Kayhan. [Link]
- Chekirova, A. (2022). Social media and cross-border political participation: A case study of Kyrgyz Migrants' Online Activism. *Social Sciences*, 1(8), 370. [DOI:10.3390/socsci11080370]
- Cortés-Ramos, A., Torrecilla García, J. A., Landa-Blanco, M., Poleo Gutiérrez, F. J., & Castilla Mesa, M. T. (2021). Activism and social media: Youth participation and communication. *Sustainability*, 13(18), 10485. [DOI:10.3390/su131810485]
- Diers-Lawson, A. (2023). iScotland: Building a unified model of activism in multi-platform communication environments from traditional PR theory. *Corporate Communications: An International Journal*, 28(4), 599-617. [DOI:10.1108/CCIJ-12-2022-0153]
- Einav, G., Allen, O., Gur, T., Maaravi, Y., & Ravner, D. (2022). Bursting filter bubbles in a digital age: Opening minds and reducing opinion polarization through digital platforms. *Technology in Society*, 71, 102136. [DOI:10.1016/j.techsoc.2022.102136]
- Einav, G., Allen, O., Gur, T., Maaravi, Y., & Ravner, D. (2022). Bursting filter bubbles in a digital age: Opening minds and reducing opinion polarization through digital platforms. *Technology in Society*, 71, 102136. [DOI:10.1016/j.techsoc.2022.102136]
- Grijdanus, H., de Matos Fernandes, C. A., Turner-Zwinkels, F., Honari, A., Roos, C. A., & Rosenbusch, H., et al. (2020). The psychology of online activism and social movements: Relations between online and offline collective action. *Current Opinion in Psychology*, 35, 49-54. [DOI:10.1016/j.copsyc.2020.03.003] [PMID]
- Hedy, G., de Matos Fernandes, C. A., Turner-Zwinkels, F., Honari, A., Roos, C. A., & Rosenbusch, H., et al. (2020). The psychology of online activism and social movements: Relations between online and offline collective action. *Current Opinion in Psychology*, 35, 49-54. [DOI:10.1016/j.copsyc.2020.03.003]
- Jafari Motlagh, A. (2021). [Content Policy Making of Personality Activism in Media Productions Based on the Life of Imam Ali (Persian)] [MA thesis]. Tehran: IRIB University.
- Jarihi, Sh., Zarei Matin, H., & Mohammadian, B. (2024). [Providing a framework for a resilient university: Lesson Learned from non-profit universities (Persian)]. *Journal of Iranian Public Administration Studies*, 6(4), 111-148. [Link]
- Khojasteh Bagherzadeh, H. (2020). [The main media policies during crisis of resulted natural disaster (Persian)]. *Interdisciplinary Studies in Media and Culture*, 10(1), 43-78. [DOI:10.30465/ismc.2020.5236]
- Matias, A., & Cardoso, L. (2023). Crisis communication: Theoretical perspectives and dynamics of a complex concept. *VISUAL REVIEW. International Visual Culture Review / Revista Internacional De Cultura Visual*, 14(1), 1-15. [DOI:10.37467/revvisual.v10.4597]
- Mohamadpoor, A. (2021). [Method within Method on the Construction of Knowledge in the Humanities (Persian)]. Tehran: Sociologists Publications. [Link]
- Montazerghaem, M., & Mohammadi Nosodi, S. (2022). [The application of smartphones and social media in crisis conditions: Global experiences and some lessons for Iran (Persian)]. *Sociological Review*, 28(2), 185-209. [DOI:10.22059/jsr.2022.88945]
- Monzeli, A. (2022). [The study impact of virtual social media on shaping social crisis and vice versa using analytical hierarchy process (Persian)]. *National Security*, 12(44), 237-266. [Link]
- Palen, L., & Anderson, K. M. (2016). Social Media Research. Crisis informatics--New data for extraordinary times. *Science (New York, N.Y.)*, 353(6296), 224-225. [DOI:10.1126/science.aag2579] [PMID]
- Postman, N. (2008). *Die in the joy of living in luxury* [S. Tabatayi, Persian trans.]. Tehran: Etelaat Publication. [Link]
- Rahmani, A., Vaziri Nezhad, R., Ahmadi Nia, H., & Rezaeian, M. (2020). [Methodological Principles and Applications of the Delphi Method: A narrative review (Persian)]. *Journal of Rafsanjani University of Medical Sciences*, 19 (5), 515-538. [DOI:10.29252/jrums.19.5.515]
- Reuter, C., Hughes, A. L., & Kaufhold, M. A. (2018). Social media in crisis management: An evaluation and analysis of crisis informatics research. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 34(4), 280-294. [DOI:10.1080/10447318.2018.1427832]
- Sabori, M. (2017). [Crisis and crisis management (Persian)]. Tehran: Farhangesabz. [Link]
- Salavatian, S., & Roshandel, T. (2011). [Crisis media management: A proactive approach (Persian)]. *Communication Research*, 18(2), 149-176. [Link]
- Salavatian, S., Khajehian, D., Ghanbari, S., Soltani, T., Falahati, F., & Jafari, M., et al. (2022). [National crisis media management document (Persian)]. Tehran: Natural Disasters Research Institute (NDRI). [Link]
- Save Dorodi, M., Khalili, E., & Maleki, A. (2013). [Political crises and political development in Iran (Persian)]. *Journal of Security Research*, 43, 35-59. [Link]
- Shahi, S. (2018). [Examining the role of the White Wednesdays campaign on women's activism on social media (Persian)] [MA thesis]. Tehran: Soore University.
- Velasquez, A., & LaRose, R. (2015). Social media for social change: Social media political efficacy and activism in student activist groups. *Journal of Broadcasting & Electronic Media*, 59(3), 456-474. [DOI:10.1080/08838151.2015.1054998]

Research Paper

A Collaborative Model of Humanitarian Assistance for Maximum Coverage of Areas Affected by Natural Disasters



Golnush Jahromi Rajabi¹ , *Razieh KeshavarzFard¹ 

1. Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.



Citation Jahromi Rajabi, G., & KeshavarzFard, R. (2025). [A Collaborative Model of Humanitarian Assistance for Maximum Coverage of Areas Affected by Natural Disasters (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):182-201. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.895.1>

doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.895.1>

ABSTRACT

Background and objective Natural and human-made disasters have long-term, negative, and sometimes irreparable impacts and consequences. Proper response to these disasters requires effective management of relief services. Influential parties in such operations include humanitarian organizations, donors, and the government. One of the solutions to increase performance in emergency and humanitarian supply chains is to utilize the capacities of non-governmental organizations (NGOs). This study aims to present a collaborative model based on game theory that examines the cooperation between donors, humanitarian organizations, the government, and NGOs.

Method The collaborative model is designed based on the problem of maximum coverage of damaged areas caused by a natural disaster. By considering the number and diversity of players, it takes into account the extent of the disaster and the number of affected areas in relief assistance. It also considers the quality of relief services and the competence of NGOs. This can allow for a default order to prioritize qualified NGOs with the required capacities in the event of a disaster. The developed model was solved using a hypothetical numerical example and GAMS software, and underwent a sensitivity analysis.

Results The results obtained from the model provide valuable insights into the optimal actions of each player in the humanitarian supply chain during a disaster. This model takes into account the capacities and capabilities of each player, as well as the quality of services provided by the private sector, allowing for more efficient allocation of resources and ensuring maximum coverage of affected areas. The model also considers qualitative assessments conducted in the pre-disaster period and allows for prioritization of qualified NGOs during a disaster. This can significantly improve the effectiveness of disaster management efforts.

Conclusion The collaborative model is designed based on the problem of maximum coverage of damaged areas caused by a natural disaster. By considering the number and diversity of players, it takes into account the extent of the disaster and the number of affected areas in relief assistance. This can significantly improve the effectiveness of disaster management efforts. It also considers the quality of relief services and the competence of NGOs.

Keywords Umanitarian supply chain, Game theory, Humanitarian organizations, Crisis, Natural disasters

Article Info:

Received: 28 Sep 2024

Accepted: 05 Apr 2025

Available Online: 01 Jul 2025

* Corresponding Author:

Razieh KeshavarzFard, Assistant Professor.

Address: Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (912) 5075303

E-mail: r.keshavarzFard@iau-tnb.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



Extended Abstract

Introduction

Natural and human-made disasters have long-term, negative, and sometimes irreparable impacts and consequences. Proper response to these disasters requires effective management of relief services. One way to achieve this goal is to ensure an optimal humanitarian supply chain. One of the determining factors in the quality and optimal performance of a humanitarian supply chain is the effective and timely cooperation and action of the parties involved in this chain. Influential parties in such operations include humanitarian organizations, donors, and the government. Governments help disaster victims either by providing goods directly, or by entrusting various types of aid, both in goods and financial, to humanitarian organizations. On the other hand, humanitarian organizations, due to their scope of activity, are the recipients of donors' assistance and should earn and maintain the trust of these supporters by proper and effective performance. In order to build and maintain this trust, efforts to prepare and plan for potential disasters become increasingly important. One of the solutions to increase performance in emergency and humanitarian supply chains is to utilize the capacities of non-governmental organizations (NGOs). One of the fundamental research gaps is the existence of a model that considers the simultaneous cooperation of donors, humanitarian organizations, the government, and the private sector. Therefore, this study aims to present a collaborative model based on game theory that examines the cooperation between donors, humanitarian organizations, the government, and NGOs.

Methods

The collaborative model is designed based on the problem of maximum coverage of damaged areas caused by a natural disaster. By considering the number and diversity of players, it takes into account the extent of the disaster and the number of affected areas in relief assistance. It also considers the quality of relief services and the competence of NGOs. This can allow for a default order to prioritize qualified NGOs with the required capacities in the event of a disaster. The developed model was solved using a hypothetical numerical example and GAMS software, version 24.1.2 and underwent a sensitivity analysis.

Results

The results obtained from the model provide valuable insights into the optimal actions of each player in the humanitarian supply chain during a disaster. This model

takes into account the capacities and capabilities of each player, as well as the quality of services provided by the private sector, allowing for more efficient allocation of resources and ensuring maximum coverage of affected areas. The model also considers qualitative assessments conducted in the pre-disaster period and allows for prioritization of qualified NGOs during a disaster. This can significantly improve the effectiveness of disaster management efforts.

Conclusion

The results of this research show that the collaboration of parties involved in humanitarian supply chain can speed up and facilitate coverage of damaged areas during disasters. Involving players with different capacities leads to the utilization of existing capacities and facilitating assistance from the private sector. This research can be used as a basis for improving disaster management processes and increasing the efficiency of relief efforts in critical situations. To increase preparedness to deal with a disaster, it is recommended that an advertisement inviting interested NGOs be published to declare their readiness to assist in the event of a disaster in exchange for benefits such as tax exemptions from the government. International aid organizations, due to having the required capacities, can conduct a technical assessment of the volunteer NGOs and prepare a list of them. It is important to note that international organizations have a list of service/product vendors that they have worked with over time. Therefore, if private companies are on this list, they can be added to the list of candidates based on their previous performance evaluations. Companies that have a transportation and storage unit and are willing to provide assistance in the event of a disaster can also announce their readiness and participate in technical assessments. Then, their status and capacity should be updated periodically, for example annually, to take into account issues such as unit growth or the end of the company's activities. Despite the difficulties and time-consuming nature of this process, based on the results of this research, it is worth the investment of time and money.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this study. Since there was no experiment on human or animal samples, the need for an ethical code was waived.



Funding

This paper was extracted from the master's thesis of Golnush Jahromi Rajabi at Islamic Azad University, North Tehran Branch. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

Validation, formal analysis, investigation, resources, data collection: Golnush Jahromi Rajabi; conceptualization and methodology: Razieh Keshavarzfar and Golnush Jahromi Rajabi; writing the original draft, review & editing, and supervision: Razieh Keshavarzfar.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.



مقاله پژوهشی

ارائه الگوی همکاری همکارانه کمک‌رسانی در مدیریت بحران به منظور حداکثر سازی ارائه پوشش
بشر دوستانه به مناطق آسیب‌دیده از مخاطرات طبیعیگلنوش جهرمی رجبی^{۱*}، راضیه کشاورز فرد^۱

۱. گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.



Citation: Jahromi Rajabi, G., & KeshavarzFard, R. (2025). [A Collaborative Model of Humanitarian Assistance for Maximum Coverage of Areas Affected by Natural Disasters (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):182-201. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.895.1>

doi: <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.895.1>

چکیده

زمینه و هدف: مخاطرات طبیعی و انسانی، در صورت وقوع، تأثیرات و پیامدهای بلندمدت و منفی و گاهی غیرقابل جبران، به همراه دارند. در سطح جهانی و به‌ویژه در ایران، پاسخ به چنین مخاطراتی نیازمند مدیریت مؤثر و کارآمد در ارائه کمک‌رسانی مناسب است. از بازیکنان تأثیرگذار در چنین عملیات‌هایی سازمان‌های بشردوستانه و کمک‌رسان، اهداکنندگان آنان و دولت هستند. دولت‌ها یا با ارائه کالا به‌صورت مستقیم و یا از طریق سپردن انواع مختلف کمک اعم از کالا و مالی به سازمان‌های بشردوستانه، به آسیب‌دیدگان فاجعه کمک می‌کنند. یکی از راهکارهای بالا بردن عملکرد و سرعت و بهبود مدیریت در زنجیره تأمین‌های اضطراری و بشردوستانه، بهره‌گیری از ظرفیت‌های سازمان‌های مربوط به بخش خصوصی است.

روش: یکی از خلأهای اساسی در فضای تحقیقاتی، وجود مدلی است که همکاری همزمان اهداکنندگان، سازمان‌های بشردوستانه و دولت را در کنار بخش خصوصی در نظر گرفته باشد. در همین راستا و با هدف اطمینان حاصل کردن از ارائه پوشش حداکثری به نقاط آسیب‌دیده، مدلی ارائه می‌شود که باتوجه به تعداد و تنوع بازیکنان، کمک‌رسانی بر ابعاد فاجعه و تعداد نقاط آسیب‌دیده را در نظر می‌گیرد. همچنین باتوجه به اینکه سازمان‌های بخش خصوصی هر کدام دارای ظرفیت‌ها (برای مثال فضای انبار و تعداد کالای کمک)، سرعت عمل و کیفیت عملکردی متفاوتی هستند، در صورت تمایل به استفاده از کمک آنان در زمان فاجعه، می‌توان با انجام بررسی‌های کیفیتی در دوران پیش‌فاجعه، سازمان‌های خصوصی واجد شرایط را در یک فهرست اضطراری لیست و براساس ظرفیت‌های لجستیکی طبقه‌بندی کرد. مدل موجود در این تحقیق، کیفیت خدمات و شایستگی سازمان‌های خصوصی را مد نظر قرار می‌دهد. این بخش این امکان را خواهد داد که در هنگام وقوع فاجعه، ترتیب پیش‌فرضی برای اولویت دادن به سازمان‌های خصوصی واجد شرایط دارای ظرفیت‌های مورد نیاز وجود داشته باشد.

یافته‌ها: در پژوهش حاضر، مدلی همکارانه ارائه می‌شود که براساس مسئله پوشش حداکثری نقاط آسیب‌دیده ناشی از یک فاجعه طبیعی طراحی شده است. بازیکنان اصلی این مدل شامل دولت، بخش خصوصی، سازمان‌های بشردوستانه بین‌المللی و سازمان‌های مردم‌نهاد داخلی هستند. هر یک از این بازیکنان دارای ظرفیت‌های متنوعی، شامل مراکز توزیع متعدد و کالاهای مختلف هستند. مدل تدوین شده با استفاده از یک نمونه عددی فرضی و نرم‌افزار گمز حل شده و آنالیز حساسیت انجام شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد همکاری بین بازیکنان مختلف، موجب پوشش مؤثر نقاط آسیب‌دیده شده است.

نتیجه‌گیری: این پژوهش با در نظر گرفتن هزینه‌های تأمین کالاهای کمک و جابه‌جایی آنها بین نقاط مختلف، امکان پیش‌بینی بودجه بهینه برای کل عملیات کمک‌رسانی فراهم آمده است. این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای بهبود فرایندهای مدیریت پلایا و افزایش کارایی کمک‌رسانی در شرایط بحرانی مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین بشردوستانه، نظریه بازی، سازمان‌های کمک‌رسانی، بحران، مخاطرات طبیعی

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۷ مهر ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۶ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۱۰ تیر ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

راضیه کشاورز فرد

نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی صنایع.

تلفن: +۹۸ (۹۱۲) ۵۰۷۵۳۰۳

پست الکترونیکی: r.keshavarzfar@iau-tnb.ac.ir

Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



پیشینه پژوهش

مقدمه

برای بررسی ارتباط و انگیزه بازیکنان مذکور، در طول سال‌های گذشته پژوهش‌های متعددی با تکیه بر مدل‌های نظریه بازی ارائه شده‌اند (ماگی و همکاران، ۲۰۱۴؛ آلداسو، ۲۰۱۰). یک مدل رقابتی که بر جمع‌آوری کمک مالی بین سازمان‌های غیردولتی^۱ تمرکز دارد ارائه شد. سازمان‌های غیردولتی عموماً زمان خود را به کار روی پروژه‌ها و همچنین جمع‌آوری کمک‌های مالی اختصاص می‌دهند که کمک‌های مالی خصوصی را جذب می‌کند. براساس این مدل، اگر انداز به بازار ثابت باشد، سطوح جذب سرمایه با تعداد سازمان‌های غیردولتی افزایش می‌یابد و بسته به کارایی فناوری جمع‌آوری سرمایه، عدد تعادل ورود آزاد سازمان‌های غیردولتی می‌تواند بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از تعداد بهینه از نظر اجتماعی باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از نظریه بازی، به بررسی اثر افشای اطلاعات به جلب سرمایه از اهداکنندگان پرداختند. در این تحقیق، یک مدل براساس نظریه بازی جهت تحلیل تعاملات افشا^۲ - اهدا^۳ ارائه شد.

کُز و ژوانگ (۲۰۱۱) تصمیم‌گیری و همکاری در طی عملیات‌های کمک‌رسانی را با استفاده از مفاهیم نظریه بازی بررسی کردند. با استفاده از تئوری بازی، یک رویکرد اولیه برای توسعه یک چارچوب پشتیبانی تصمیم برای مدیران اضطراری که وارد یک محیط فاجعه می‌شوند، ارائه شد و رویکردی برای حمایت و راهنمایی تصمیم‌گیرندگان در محیط‌های اضطراری درمورد چگونگی انتخاب و توسعه روابط برای بهبود استفاده از منابع و نتایج پروژه در پی یک فاجعه پیشنهاد شد.

دی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اهمیت و ویژگی‌های زنجیره تأمین کمک‌رسانی و امور بشردوستانه پرداختند. در این تحقیق فعالیت‌هایی مانند تعیین تقاضا، هماهنگی زنجیره تأمین، تشخیص زمان حرکت در طول چرخه حیات و بازسازی پس از فاجعه را توصیف شد که چالش‌های زنجیره تأمین را از چالش‌های لجستیک متمایز می‌کنند.

شولتز و بلکن (۲۰۱۰) استفاده از ظرفیت‌های بخش خصوص در زمان بحران و پس از وقوع فاجعه را مورد توجه قرار دادند. همکاری بخش اضطراری^۴، حاکی از همکاری کوتاه‌مدت بین بخش خصوصی و دولتی است و تنها برای رسیدگی به عواقب فاجعه اتفاق می‌افتد. درحالی‌که همکاری بخش دولتی و خصوصی^۵، یک همکاری بلندمدت و در طول زمان است.

هدف از انجام این پژوهش، ارائه مدلی براساس نظریه بازی است که همکاری اهداکنندگان، سازمان‌های بشردوستانه، دولت و سازمان‌های بخش خصوصی را بررسی کند. این مدل به منظور اطمینان حاصل کردن از ارائه پوشش حداکثری به نقاط آسیب‌دیده طراحی شده است و به تنوع بازیکنان و ابعاد فاجعه توجه دارد.

در این پژوهش، اصطلاحات کلیدی، شامل «زنجیره تأمین بشردوستانه»، «نظریه بازی»، «همکاری» و «مدیریت بحران» به کار رفته است. زنجیره تأمین بشردوستانه به شبکه‌ای از سازمان‌ها اشاره دارد که در زمان وقوع فجایع برای ارائه کمک‌های انسانی همکاری می‌کنند. نظریه بازی به تحلیل تعاملات استراتژیک بین این سازمان‌ها کمک می‌کند.

فجایع و مخاطرات طبیعی و انسانی در صورت وقوع، اثرات و تبعات بلندمدت و منفی و گاه جبران‌ناپذیری دارند. در سراسر دنیا و همچنین در ایران، پاسخ به چنین اتفاقاتی نیازمند داشتن مدیریت مؤثر در فراهم کردن کمک‌رسانی درست است. پس از وقوع فجایع با ابعاد بسیار گسترده در دنیا، مانند طوفان کاترینا در ۲۰۰۵ و زلزله هائیتی در سال ۲۰۱۰ توجه بسیاری از محققان به توسعه مدل‌های نظریه بازی جهت بررسی مدیریت هرچه بهتر چنین عملیات‌هایی جلب شد و نیاز به توسعه مفهوم زنجیره تأمین بشردوستانه اجتناب‌ناپذیر شد. از عوامل تعیین‌کننده در کیفیت و عملکرد بهینه زنجیره تأمین بشردوستانه، همکاری و اقدام مؤثر و به‌موقع طرفین درگیر در این زنجیره است. از بازیکنان تأثیرگذار در چنین عملیات‌هایی، سازمان‌های بشردوستانه و کمک‌رسان، اهداکنندگان آنان و دولت هستند. دولت‌ها یا با ارائه کالا به‌صورت مستقیم و یا از طریق سپردن انواع مختلف کمک اعم از کالا و مالی به سازمان‌های بشردوستانه، به آسیب‌دیدگان فاجعه کمک می‌کنند (فتحعلیخانی و همکاران، ۲۰۱۸).

از طرف دیگر، سازمان‌های بشردوستانه بنا برحیطه فعالیت خود، محل دریافت کمک‌های اهداکنندگان هستند و بایستی با عملکرد درست و مؤثر، اعتماد این حامیان را جلب کرده و نگه دارند. در جهت تلاش برای این اعتمادسازی و نگهداری آن، تلاش برای آمادگی و برنامه‌ریزی برای زمان وقوع فجایع احتمالی بیشتر حائز اهمیت می‌شود. یکی از راهکارهای بالا بردن عملکرد و سرعت و بهبود مدیریت در زنجیره تأمین‌های اضطراری و بشردوستانه، بهره‌گیری از ظرفیت‌های سازمان‌های مربوط به بخش خصوصی است (چن و همکاران، ۲۰۱۳). با در نظر گرفتن تعدد ذی‌نفعان معرفی شده و انگیزه‌های گوناگون و اهداف آنان، دور از ذهن نیست که مسئله بررسی ارتباطات و انگیزه‌های همه طرفین در کنار هم مطرح شود تا از وجود امکان و آمادگی لازم برای همکاری تمامی ذی‌نفعان برای نیل به هدف مشترک که کمک‌رسانی و فراهم کردن حداکثری کمک به آسیب‌دیدگان هر فاجعه است اطمینان حاصل شود.

1. Non-Governmental Organizations (NGOs)

2. Disclosure

3. Donation

4. Public Private Emergency Collaboration (PPEC)

5. Public Private Partnership (PPP)



زنجیره تأمین بشردوستانه پرداختند و مدلی براساس نظریه بازی در این مورد ارائه دادند.

ونکمور و رینر (۲۰۲۰)، تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر را با تمرکز بر هماهنگی^۶، همکاری^۷ و همکاری کوتاه‌مدت^۸ در زمینه مدیریت زنجیره تأمین امدادرسانی به‌منظور ارائه تعاریف منحصربه‌فرد از مفاهیم با در نظر گرفتن شرایط فاجعه بررسی کردند. در این تحقیق، مروری بر ۲۰۲ مقاله دانشگاهی منتشر شده از سال ۱۹۹۶ به بعد در مجلات برتر مرتبط با هماهنگی، همکاری و همراهی زنجیره تأمین تدارکات و امداد تجاری انجام شد. باتوجه به رشد بلایا و اثرات مخرب آن‌ها در طول تاریخ، ضرورت مدیریت شایسته در زنجیره تأمین بشردوستانه پیش‌ازپیش احساس می‌شود. همکاری بخش‌های دولتی و خصوصی در موفقیت کمک‌رسانی نقش مهمی دارد. دولت با استفاده از سناریوهای مختلف می‌تواند بر روی مزایای عضویت در این شرکت‌ها تأثیر بگذارد. درمورد زنجیره تأمین محصول، دولت می‌تواند با مداخله مناسب، به دستیابی به اهداف اجتماعی، مالی و زیست‌محیطی کمک کند (فتحعلیخانی و همکاران، ۲۰۲۰).

حسینی مطلق و همکاران (۲۰۲۲) به‌طور خاص، یک مدل مبتنی بر نظریه بازی تکاملی، تحت عنوان «مکانیسم توزیع مازاد سود برای هماهنگی زنجیره تأمین»^۹ را پیشنهاد کردند تا بررسی کنند چگونه رفتارهای بلندمدت اعضای زنجیره تأمین بر تصمیم‌گیری اعضا برای هماهنگی و سهم آن‌ها از مازاد سود هماهنگی، تأثیر می‌گذارد.

ارگون و همکاران (۲۰۲۳) یک مدل نظریه بازی برای برنامه‌ریزی لجستیک اضطراری ارائه دادند. برای انجام این کار، یک مدل بازی مشارکتی براساس یک مسئله که پس از زلزله در استانبول رخ داده است، ساخته شد و راه‌حل‌ها برای بهینه‌سازی تعداد کالاهای کمک‌رسانی ارائه شده است. **اریکان و همکاران (۲۰۲۳)** مدلی ۲ مرحله‌ای براساس اطلاعات فروشنده را در چارچوب یک بازی رهبر - پیرو بین یک سازمان بشردوستانه به‌عنوان رهبر و اهداکنندگان (پیرو) برای توصیف تعاملات آن‌ها ارائه دادند. در این مدل، سازمان بشردوستانه درمورد سطح پیش‌فرض برای آمادگی در برابر بلایا تصمیم‌گیری می‌کند. عدم قطعیت نیز در حین جمع‌آوری کمک‌های مالی در مرحله واکنش به بلایا تعیین می‌شود.

لی و همکاران (۲۰۲۴) یک مدل بهینه‌سازی ۲ سطحی برای تخصیص منابع در واکنش به بلایا، با تمرکز بر رابطه بین پرسنل و مواد ارائه کردند. این مدل از یک سطح بالایی تشکیل

دیلان و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از نظریه بازی به‌طور رسمی اثرات و وابستگی‌های تصمیم‌گیرندگان استراتژیک را توصیف کردند. این نظریه می‌تواند در تحلیل همکاری‌های بخش اضطراری به کار گرفته شود. همکاری‌های بخش اضطراری، دارای پتانسیل‌ها و محدودیت‌های خود هستند. به‌عنوان مثال، **ناگورنی و همکاران (۲۰۱۶)** در بررسی رقابت میان سازمان‌های بشردوستانه، از مدل تئوری بازی استفاده کردند. این مدل نشان می‌دهد سازمان‌های بشردوستانه در حال رقابت هستند و هم‌زمان برای به‌اشتراک‌گذاری منابع و کاهش هزینه همکاری می‌کنند.

هولگین وراس و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند اصول اقتصادی رفاه باید در مدل‌های لجستیک بشردوستانه پس از فاجعه گنجانده شود تا به حصول استراتژی‌های تحویل‌بیشترین منفعت برای بیشترین تعداد مردم منجر شود. تحلیل‌های مقاله استفاده از هزینه‌های اجتماعی (مجموع هزینه‌های لجستیک و محرومیت) را به‌عنوان تابع هدف ترجیحی برای مدل‌های لجستیک بشردوستانه پس از فاجعه پیشنهاد می‌کند.

عبیدی و همکاران (۲۰۱۴) به خلأهای موجود در ارزیابی عملکرد در زنجیره تأمین بشردوستانه در مقابل تجربه‌های برگرفته از زنجیره تأمین تجاری پرداختند. در این مطالعه، دستورالعمل و راهنمایی برای چگونگی ارزیابی عملکرد در این فضا ارائه شده است که شامل معیارهای مربوط به ورودی و خروجی‌ها بود. طراحی زنجیره تأمین کمک‌رسانی و اهمیت و چگونگی بررسی عملکرد آن توسط **هنگ و همکاران (۲۰۱۵)** مورد بررسی قرار گرفت که در آن چارچوبی برای طراحی این زنجیره با در نظر گرفتن هزینه کلی لجستیک، سطح ریسک و میزان تقاضا پیشنهاد شده و رابطه بین این سه معیار عملکرد بررسی شد. **حبیب و همکاران (۲۰۱۶)** چالش عدم قطعیت در زمان، مکان و شدت فاجعه و شرایط بد زیرساخت‌های موجود را در مدیریت زنجیره تأمین بشردوستانه مورد مطالعه قرار دادند. در این مقاله، به جمع‌بندی و مرور مدل‌های ریاضی که در طی دهه پیش از زمان انتشار پژوهش ارائه شده بود پرداخته شد و ظرفیت‌های تحقیقاتی برای آینده شناسایی و توضیح داده شد.

وین و همکاران (۲۰۱۸) نقش و ظرفیت‌های همکاری اضطراری بین بخش عمومی و خصوصی در هنگام وقوع مخاطرات طبیعی را بررسی کردند. براساس این مدل ارائه‌شده، شانس بهبود عملیات مدیریت بحران با به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات و تخصیص هماهنگ منابع و ظرفیت‌ها برای هر دو مرحله تشدید و کاهش تشدید یک فاجعه مشخص می‌شود. **لی و همکاران (۲۰۱۸)** به بررسی و مطالعه ساختار کلی در لجستیک زنجیره امداد بشردوستانه پرداختند و یک مدل پوشش همکاری بهینه با ملاحظات بودجه برای به حداکثر رساندن منافع برای جمعیت آسیب‌دیده در مناطق فاجعه‌بار ارائه دادند. **فتحعلیخانی و همکاران (۲۰۲۰)** به بررسی تأثیر دخالت دولت در رویکردهای همکاری و رقابت در

6. Coordination

7. Cooperation

8. Collaboration

9. Profit surplus distribution (PSD) mechanism for supply chain coordination



فضای تحقیقاتی، وجود مدلی است که همکاری همزمان دولت، سازمان‌های بشردوستانه بین‌المللی و داخلی را در کنار بخش خصوصی در نظر گرفته باشد. در نتیجه هدف از انجام این پژوهش، ارائه مدلی براساس نظریه بازی است که همکاری اهداکنندگان، سازمان‌های بشردوستانه، دولت و سازمان‌های بخش خصوصی را بررسی کند. در همین راستا و با هدف اطمینان حاصل کردن از ارائه پوشش حداکثری به نقاط آسیب‌دیده، مدلی ارائه می‌شود که باتوجه به تعداد و تنوع بازیکنان، کمکرسانی باتوجه به ابعاد فاجعه و تعداد نقاط آسیب‌زده را بهینه می‌کند. همچنین باتوجه به اینکه سازمان‌های بخش خصوصی هرکدام دارای ظرفیت‌ها (برای مثال فضای انبار و تعداد کالای کمکی)، سرعت عمل و کیفیت عملکردی متفاوتی هستند، در صورت تمایل به استفاده از کمک آنان در زمان فاجعه، می‌توان با انجام بررسی‌های کیفیتی در دوران پیش‌فاجعه، سازمان‌های خصوصی واجد شرایط را در یک فهرست اضطراری لیست و براساس ظرفیت‌های لجستیکی طبقه‌بندی کرد. مدل موجود در این تحقیق، کیفیت خدمات و شایستگی سازمان‌های خصوصی را مد نظر قرار می‌دهد. این بخش این امکان را خواهد داد که در هنگام وقوع فاجعه، ترتیب پیش‌فرضی برای اولویت دادن به سازمان‌های خصوصی واجد شرایط دارای ظرفیت‌های مورد نیاز وجود داشته باشد.

روش

در این قسمت یک مدل همکارانه زنجیره تأمین بشردوستانه ارائه می‌شود که به دنبال حداکثرسازی پوشش به نقاط آسیب‌دیده از طریق توزیع متناسب کالاهای ۴ بازیکن اصلی و استفاده از ظرفیت کلی هر کدام است. زنجیره‌های تأمین بشردوستانه نوعی از زنجیره‌های تأمین هستند که هدف آن‌ها حداکثر کردن خدمت‌رسانی است؛ یعنی به مثابه زنجیره‌های تأمین کلاسیک هدف، زنجیره‌های تأمین بشردوستانه صرفاً صرفه جویی اقتصادی و حداکثرسازی سود نیستند. در این نوع زنجیره‌های تأمین، افراد آسیب‌دیده‌ای از مخاطرات طبیعی یا هر بحران دیگر وجود دارند که می‌بایست به‌موقع به آن‌ها خدمت‌رسانی شود. عدم خدمت‌رسانی به‌موقع به آن‌ها می‌تواند منجر به آسیب‌دیدگی‌های جدی‌تر یا حتی فوت آن‌ها شود. بنابراین یک زنجیره تأمین بشردوستانه باید به‌گونه‌ای طراحی شود که حتی اگر به دنبال حداقل کردن هزینه است اهداف دیگری، همچون اطمینان از تحویل کالاهای امدادی به حداکثر آسیب‌دیدگان به‌عنوان هدف دیگر در نظر گرفته شود. عموماً خدمت‌رسانی در شرایط بحران صرفاً از عهده یک نهاد خارج است و در کنار نهادهای دولتی که وظیفه اصلی و طبیعی مدیریت بحران و خدمت‌رسانی را برعهده دارند سازمان‌های بشردوستانه نیز وجود دارند که امکان خدمت‌رسانی دارند. سازمان‌های خیریه مردم‌نهاد که در نقاط مختلف و با حمایت مردم فعالیت دارند، دارای ظرفیت برای همکاری در کمک‌رسانی هستند.

شده است که زمان نجات را از طریق برنامه‌ریزی حمل‌ونقل از شهرهای کمک‌کننده به مناطق آسیب‌دیده به حداقل می‌رساند و یک سطح پایین‌تر که هزینه‌های تخصیص منابع اضطراری از شهرهای کمک‌کننده به مراکز توزیع را به حداقل می‌رساند. هدف این مدل افزایش بازیابی پس از فاجعه، بهبود پایداری زنجیره تأمین و کاهش اثرات زیست‌محیطی است.

کاتسالیایی و همکاران (۲۰۲۴) تحقیقی شامل، مرور ادبیات سیستماتیک از ۱۵۶ مقاله منتشرشده از سال ۱۹۹۷ الی ۲۰۲۲ در زنجیره تأمین رقابتی - همکاری^{۱۰} انجام دادند، که در آن تئوری رقابت و روابط سازمانی را درون بنگاه‌ها و بین آن‌ها بررسی کردند. زنجیره‌های تأمین متمرکز بر همکاری بین تولیدکنندگان رقیب برای استفاده از قابلیت‌ها و عملکردهای زنجیره تأمین است. این تحقیق براساس مفهوم هم‌افزایی و نقش مدل مرجع عملیات زنجیره تأمین^{۱۱} تدوین شده است.

کسکن و همکاران (۲۰۲۴) از مدل‌های کمی مبتنی بر اطلاعات فروش برای بهینه‌سازی تصمیمات موجودی^{۱۲} پیش از فاجعه تحت مکانیسم‌های همکاری متمرکز و غیرمتمرکز استفاده کردند. این مطالعه سطوح موجودی بهینه و تعادل نش را در هر دو سیستم شناسایی می‌کند و یک برنامه تصادفی ۲ مرحله‌ای را با در نظر گرفتن عوامل قابلیت اطمینان تصادفی فرموله می‌کند. این مقاله با بینش‌های مدیریتی به پایان می‌رسد و تأکید می‌کند همکاری متمرکز زمانی ارجحیت دارد که تقاضا زیاد باشد.

راموس و همکاران (۲۰۲۴) یک مدل تئوری بازی برای طراحی مبادلات منابع در پارک‌های اکو صنعتی ارائه دادند که براساس آن هریک از مقامات یک پارک صنعتی را به‌عنوان یک بازیکن مستقل در نظر گرفت و بنابراین یک مدل بازی چند رهبر - چند پیرو^{۱۳} ایجاد شد. شبکه‌های آب و انرژی به‌طور همزمان در مدل از طریق یک مطالعه موردی شناخته‌شده ایجاد می‌شوند. مدل ۲ سطحی نیز با در نظر گرفتن مدیران آب و انرژی به‌عنوان رهبر و کارخانه‌ها به‌عنوان پیرو طراحی شده است. **ادسانور و همکاران (۲۰۲۳)** تحلیلی از رویکردهای تحقیقات عملیاتی^{۱۴} ارائه دادند که براساس تصمیم‌گیری براساس C3^{۱۵} بهبودیافته در زنجیره‌های امداد بشردوستانه بوده و خلأ تحقیقاتی آینده را شناسایی می‌کند. برای دستیابی به این هدف، ابتدا دیدگاهی جامع از مباحث موجود در ادبیات موردنظر بیان شد و یک چارچوب مفهومی براساس مکانیسم C3 در عملیات‌های بشردوستانه استخراج شده است.

پس از بررسی جامع مرور ادبیات یکی از خلأهای اساسی در

10. Supply Chain Coopetition

11. SCOR

12. Newsvendor-based quantitative models

13. Multi-leader multi-follower game

14. Operations Research

15. 3Cs: coordination, cooperation, and collaboration



یک لیست اضطراری^{۱۷} براساس ساختارهای لجستیکی وجود دارد که نشان‌دهنده اولویت بازیکنان بخش خصوصی است و ضرایب صلاحیت هر بازیکن مشخص است.

هر بازیکن از نظر منابع، ظرفیت‌های متفاوتی دارد و منابع انواع کمک‌ها، مانند پتو، بسته‌های بهداشتی، چادر و غیره را شامل می‌شود.

سازمان‌های کمک‌رسانی بین‌المللی تنها در صورتی در عملیات کمک‌رسانی وارد می‌شوند که دولت به‌صورت واضح از آنان درخواست کند. در این مسئله شدت و ابعاد فاجعه به حدی است که دولت، کمک سازمان‌های بین‌المللی را درخواست کرده باشد که این شرط قانونی برای اقدام این سازمان‌هاست.

فاجعه اتفاق افتاده از نوع زلزله است و برخلاف فجایعی، از جمله سیل و یا طوفان، امکان پیش‌بینی مسیر آن و انجام تخلیه شهروندان وجود نداشته است.

کمک‌های تمامی حمایت‌کنندگان مالی اعم از غیرنقدی و منابع نقدی، به سازمان‌های کمک‌رسانی بین‌المللی اعطا می‌شود.

اطلاعات مسئله در بازه زمانی بلندمدت، ثابت است و نوع این مسئله ایستا است.

همه تصمیم‌گیرندگان (بازیکنان) از اهداف، محدودیت‌ها و اقدامات یکدیگر آگاهی کامل دارند.

بازیکنان منطقی عمل می‌کنند تا میزان پوشش نقاط آسیب‌دیده را به حداکثر برسانند.

ثبات تضمین می‌کند هیچ بازیکنی انگیزه‌ای برای جدا شدن نداشته باشد.

محدودیت‌های بودجه برای دولت تخصیص منابع را محدود می‌کند.

محدودیت‌های ظرفیت برای هر بازیکن (i) امکان‌پذیری^{۱۸} همکاری را تضمین می‌کند.

هدف کلی ارائه حداکثر پوشش به مناطق آسیب‌دیده است.

همکاری مستلزم تخصیص کارآمد منابع است.

تقاضای هر نقطه آسیب‌دیده بلافاصله پس از فاجعه مشخص است و همه بازیکنان از آن مطلع هستند.

اندیس‌های مدل

EI: نشان‌دهنده منطقه آسیب‌دیده^{۱۹}

از طرف دیگر، سازمان‌های کمک‌رسانی بین‌المللی متعددی در کشور حضور دارند که دارای بودجه و ظرفیت‌های کمک بلاعوض به کشور بوده و عمدتاً از دانش تخصصی لازم برای همکاری مؤثر و متقابل برخوردار هستند. از طرف دیگر این سازمان‌ها پل ارتباطی با حامیان مالی بین‌المللی بوده و امکان اخذ اقدام اضطراری برای به‌کارگیری بودجه موجود خود و یا افزایش آن جهت شرکت در عملیات کمک‌رسانی را دارند. بازیکن دیگری که ظرفیت‌های فراوانی داشته، اما کمتر در شرایط اضطراری به نظر می‌آید، بخش خصوصی است که با توجه به کالاهای در دسترس و مراکز توزیع متعدد در سراسر کشور می‌تواند نقش تسهیل‌کننده و تسریع‌کننده قابل توجهی در کمک‌رسانی داشته باشند. گرچه این ظرفیت‌ها توسط این بازیکنان همواره موجود بوده است، نحوه ایجاد همکاری بین این نهادها به‌صورت هماهنگ به اندازه کافی بررسی نشده است که متأسفانه منجر به جلوگیری از چند باره شدن کمک‌رسانی به یک نقطه و از طرف دیگر بی‌نصیب ماندن نقطه‌ای دیگر در عملیات کمک‌رسانی می‌شود.

از سوی دیگر فاصله بین نهادهای دولتی و مناطق آسیب‌دیده می‌تواند به حدی باشد که خدمت‌رسانی را به تعویق اندازد در حالی که سازمان‌های بشردوستانه به دلیل ازدیاد و همچنین همجواری بیشتر با مناطق آسیب‌دیده قادر به خدمت‌رسانی سریع‌تری هستند. بنابراین در تحقیق حاضر یک مدل همکاری بین دولت و نهادهای کمک‌رسانی مردم‌نهاد، سازمان‌های بشردوستانه بین‌المللی و همچنین بخش خصوصی در مدیریت بحران شکل می‌گیرد. به این ترتیب همکاری بین نهادها به وجود می‌آید. براین اساس که کدام نهاد قادر به خدمت‌رسانی سریع‌تر ضمن بهره‌گیری بهینه از کالاهای موجود خواهد بود. در مدل حاضر، ۴ بازیکن شامل دولت، سازمان‌های بشردوستانه بین‌المللی، سازمان‌های مردم‌نهاد و بخش خصوصی بوده و با هدف بهینه‌سازی خدمات‌رسانی به نقاط آسیب‌دیده با یکدیگر همکاری می‌کنند. مدل ارائه‌شده در تحقیق حاضر با الهام از شکاف تحقیقاتی مرور ادبیات و مدل لی و همکاران، (۲۰۱۸) تدوین شده است. در تصویر شماره ۱ شمای کلی زنجیره تأمین موردنظر ارائه شده است.

مفروضات مدل

مفروضات مدل پیش‌رو به شرح ذیل است:

۴ بازیکن در زنجیره تأمین وجود دارد: دولت، بخش خصوصی، سازمان‌های کمک‌رسانی بین‌المللی و سازمان‌های خیریه مردم‌نهاد.

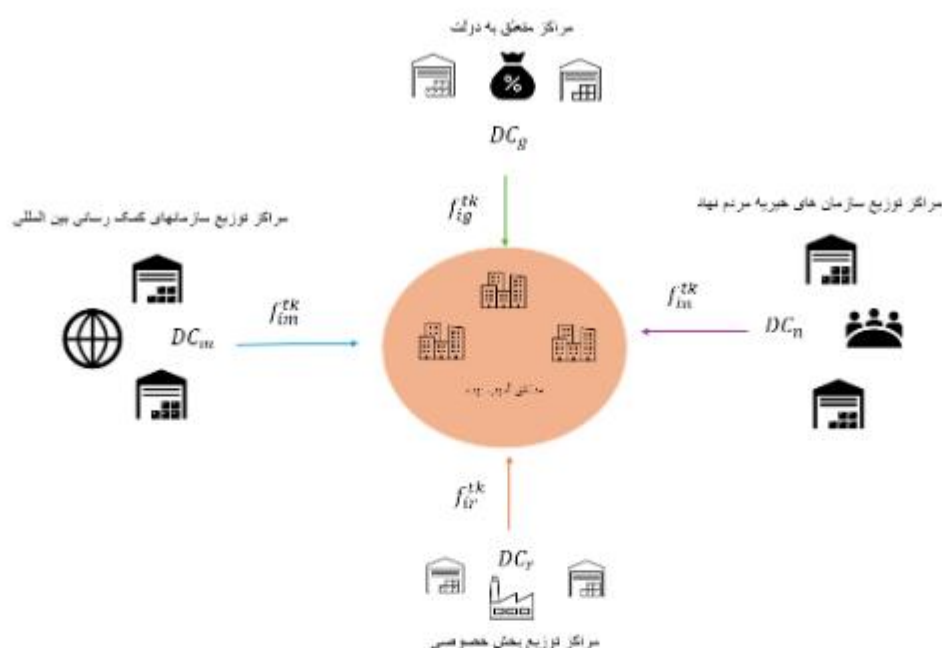
هریک از بازیکنان بخش خصوصی بررسی‌های کیفیت قبل از فاجعه^{۱۶} را پشت سر گذاشته‌اند.

17. Emergency Roster

18. Feasibility

19. Disastrous Region

16. Pre-Disaster Quality Checks



تصویر ۱. شماتیک تحقیق حاضر

$N = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_N\}$ مجموعه مراکز توزیع متعلق به مراکز خیریه مردم نهاد

$T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_T\}$ مجموعه سناریوها

پارامترهای مدل

d_{io} : فاصله بین مرکز توزیع o و منطقه آسیب دیده $o \in GU$ (RUMUN)

τ : حد پوشش^{۲۲}

F_o : هزینه مکان یابی و ایجاد مرکز توزیع DC_o برای دولت و یا به کارگیری مرکز توزیع متعلق به بازیکنان پیرو

c_{io}^k : هزینه واحد جابه جایی کالای نوع k از مرکز توزیع DC_o (o) $\in GU$ RUMUN به منطقه آسیب دیده

h_o^k : هزینه دریافت و ذخیره کالا در مراکز توزیع به ازای حجم

v_o^k : حجم واحد کالای نوع k

D_i^k : تقاضای مورد انتظار کالای نوع k در منطقه آسیب دیده i در سناریوی t

CAP_o : ظرفیت مرکز توزیع DC_o ($o \in GU$ RUMUN)

P^t : احتمال تحقق سناریوی t

$g \in G$: نشان دهنده مرکز توزیع متعلق به دولت

$f \in R$: نشان دهنده مرکز توزیع متعلق به بخش خصوصی

$m \in M$: نشان دهنده مرکز توزیع متعلق به سازمان کمک رسانی بین المللی

$n \in N$: نشان دهنده مرکز توزیع متعلق به مراکز خیریه مردم نهاد

$k \in K$: نشان دهنده نوع کالای کمکی^{۲۰}

$t \in T$: نشان دهنده سناریوی احتمالی^{۲۱}

مجموعه های مدل

$I = \{i_1, i_2, i_3, \dots, i_I\}$ مجموعه نقاط آسیب دیده

$G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_G\}$ مجموعه مراکز توزیع متعلق به دولت

$R = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_R\}$ مجموعه مراکز توزیع متعلق به بازیکنان بخش خصوصی

$M = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_M\}$ مجموعه مراکز توزیع متعلق به سازمان کمک رسانی بین المللی

$K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_K\}$ مجموعه اقلام، هر یک نشان دهنده یک کالای متفاوت

20. Relief Item Type

21. Probability Scenario

22. Threshold for coverage

p^k : ضریب اهمیت $0 \leq p^k \leq 1$

B: بودجه پیش فرض

γ_r : ضریب صلاحیت / اثربخشی برای هر مرکز توزیع متعلق به بخش خصوصی که براساس ارزیابی پیشافاجعه تعیین می شود، با شرط $0.2 \leq \gamma_r \leq 1$

چنانچه برای یک مرکز توزیع بخش خصوصی $\gamma_r < 0.2$ باشد، آن بنگاه بخش خصوصی در بررسی کیفی پیشافاجعه رد شده است و در عملیات کمکرسانی شرکت نخواهد داشت.

Q_o^k : تعداد کلای نوع k که در انبار ($o \in GURUMUN$) انبار می شوند.

متغیرهای مدل

f_{io}^{tk} : تقاضای اقلام نوع k در منطقه فاجعه زده i که توسط DC_o ($o \in GURUMUN$) در سناریوی t برآورده می شود.

z_r : برابر با ۱ اگر از DC_r متعلق به بخش خصوصی استفاده شود. در غیر این صورت $z_r = 0$

z_m : برابر با ۱ اگر از DC_m متعلق به سازمان کمکرسانی بین المللی استفاده شود. در غیر این صورت $z_m = 0$

z_n : برابر با ۱ اگر از DC_n متعلق به سازمان خیریه مردم نهاد استفاده شود. در غیر این صورت $z_n = 0$

x_g : رابر با ۱ اگر از DC_g متعلق به دولت استفاده شود. در غیر این صورت $z_g = 0$

γ_i : برابر با ۱ اگر منطقه فاجعه زده i در سناریوی t پوشش داده شود، در غیر این صورت $\gamma_i = 0$.

ساختار ریاضی مدل

تابع هدف و محدودیت های مدل حاضر به شرح زیر است. (فرمول شماره ۱):

1.

$$\max Z = \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{o \in GURUMUN} p_t^k \frac{f_{io}^{tk} \rho^k}{D_i^{tk}}$$

محدودیت های عرضه به شرح ذیل بوده و تضمین می کند

23. Vitality Factor

موجودی در مراکز توزیع ایجاد شده یا به کارگیری شده می تواند مقدار تقاضای مناطق آسیب دیده را برآورده کند (فرمول های شماره ۲، ۳، ۴، ۵):

2.

$$\sum_{i \in I} f_{ig}^{tk} \leq Q_g^k x_g \quad \forall g \in G, k \in K, t \in T$$

3.

$$\sum_{i \in I} f_{ir}^{tk} \leq Q_r^k z_r \quad \forall r \in R, k \in K, t \in T$$

4.

$$\sum_{i \in I} f_{im}^{tk} \leq Q_m^k z_m \quad \forall m \in M, k \in K, t \in T$$

5.

$$\sum_{i \in I} f_{in}^{tk} \leq Q_n^k z_n \quad \forall n \in N, k \in K, t \in T$$

براساس محدودیت بودجه ذیل، هزینه ایجاد و استفاده از مراکز و هزینه ذخیره و ارسال اقلام امدادی از مراکز توزیع مستقر به مناطق فاجعه بار برای هر سناریو از بودجه پیش فرض بیشتر نخواهد شد (فرمول شماره ۶).

6.

$$\sum_{g \in G} x_g F_g + \sum_{r \in R} z_r F_r + \sum_{n \in N} z_n F_n + \sum_{m \in M} z_m F_m + \sum_{o \in GURUMUN} \sum_{k \in K} Q_o^k h_o^k + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{o \in GURUMUN} c_{io}^k f_{io}^{tk} \leq B \quad \forall t \in T$$

محدودیت ذیل یک آستانه پوشش را تعیین می کند که براساس آن هر مرکز توزیع تنها در صورتی نقطه آسیب زده را پوشش می دهد که مجموع سیگنال ساطع شده از مراکز توزیع بازیکنان مختلف از یک آستانه معین τ برای مناطق آسیب دیده فراتر رود. همچنین ضریب صلاحیت γ_r اطمینان حاصل می کند که امتیاز صلاحیت مراکز بخش خصوصی مدنظر قرار می گیرد و در ارزیابی، قدرت سیگنال آن در نظر گرفته می شود (فرمول شماره ۷).

7.

$$\sum_{g \in G} \frac{x_g}{d_{ig}} + \sum_{r \in R} \frac{\gamma_r z_r}{d_{ir}} + \sum_{m \in M} \frac{z_m}{d_{im}} + \sum_{n \in N} \frac{z_n}{d_{in}} \geq \tau y_i \quad \forall i \in I$$



یافته‌ها

در این قسمت ابتدا یک مثال عددی با الهام از مسائل دنیای واقعی برای نشان دادن کاربرد مدل ارائه می‌شود. سپس مسئله موردنظر با استفاده از نرم‌افزار گمز، فرموله شده و محدودیت‌ها و اهداف پیاده‌سازی می‌شوند. در نهایت آنالیز حساسیت روی چند پارامتر از مدل انجام خواهد شد. در جدول‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ تمام مقادیر مورد استفاده برای پارامترهای مورد نیاز اعم از هزینه و ... آورده شده است.

مثال عددی

برای شبیه‌سازی مدل، مقادیر عددی به پارامترهای تعریف شده به شرح ذیل اطلاق می‌شود:

بودجه پیش فرض: ۵۰۰۰۰۰۰۰ واحد پولی

حد پوشش یا τ برابر $0/3$ در نظر گرفته می‌شود.

۳ سناریوی (تقاضای کم) t_1 ، t_2 (تقاضای متوسط) و t_3 (تقاضای زیاد) در نظر گرفته شده است.

در جدول شماره ۸، هزینه دریافت و ذخیره کالا برای مرکز متعلق به سازمان کمک‌رسانی بین‌المللی برابر صفر در نظر گرفته شده است، چراکه این سازمان‌ها به دلیل در اختیار داشتن بودجه، این بخش از هزینه را در قالب کمک پوشش می‌دهند؛ بنابراین بودجه کمک‌رسانی مصرف نمی‌شود.

در جدول شماره ۱۰، مشاهده می‌شود در سناریوهای مختلف، مقدار تقاضا کم، متوسط و زیاد در نظر گرفته شده است. میزان تقاضا نیز باتوجه به عدد جمعیت هر منطقه آسیب‌دیده متفاوت بوده و با افزایش جمعیت بیشتر می‌شود.

مدل‌سازی مسئله در نرم‌افزار گمز نشان می‌دهد تقاضای مورد نیاز هر نقطه آسیب‌دیده توسط انبارهای دارای کالای موردنظر فراهم شده است. تمامی انبارها نیز به کار گرفته شده و به نظر می‌رسد مقدار پارامتر حد پوشش بر شعاع توزیع کمک تأثیر مستقیم دارد. درصد پوشش در سناریو با کمترین تقاضا، بیشترین و درصد پوشش در سناریو با بیشترین پوشش، کمترین بوده است. براساس داده‌های جدول‌های شماره ۱۰ و ۱۸ جمع موجودی قابل عرضه توسط کلیه انبارها در هر سه سناریوی یکی بوده و صرفاً مقدار تقاضا در هر سناریو افزایش می‌یابد. در سناریوی اول جمع تقاضای نقاط از جمع موجودی‌ها حدود ۸۸ درصد کمتر بوده است و میزان تخصیص منابع تحت تأثیر حد پوشش و فاصله نقاط تا انبار میزان پوشش تعیین می‌شود. در سناریوی دوم جمع تقاضا بیشتر از سناریوی اول بوده و موجودی انبارها ۱۶ درصد بیشتر از تقاضا است. در سناریوی سوم جمع تقاضا به میزان ۳۰ درصد بیشتر از موجودی کلیه انبارها بوده است.

براساس ۲ محدودیت تقاضا به شکل ذیل، مقادیر غیرمنفی اقلام امدادی ارسال شده برای برآورده کردن تقاضا در یک منطقه آسیب‌دیده نباید از تقاضای واقعی تجاوز کند و تنها در صورتی می‌توان آن‌ها را ارسال کرد که نیاز منطقه آسیب‌دیده را پوشش دهد (فرمول شماره ۸ و ۹).

8.

$$\sum_{o \in GURUM \cup N} f_{io}^{tk} \leq D_i^{tk} y_i \quad \forall i \in I, k \in K, t \in T$$

9.

$$f_{io}^{tk} \geq 0 \quad \forall i \in I, o \in GURUM \cup N, k \in K, t \in T$$

محدودیت‌های ذیل تضمین می‌کند اقلام صرفاً در مراکز توزیع مکان‌یابی شده و یا به کار گرفته شده و براساس ظرفیت حداکثری انبار مورد نظر ذخیره شوند (فرمول‌های شماره ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴).

10.

$$\sum_{k \in K} v^k Q_g^k \leq CAP_g x_g \quad \forall g \in G$$

11.

$$\sum_{k \in K} v^k Q_r^k \leq CAP_r z_r \quad \forall r \in R$$

12.

$$\sum_{k \in K} v^k Q_m^k \leq CAP_m z_m \quad \forall m \in M$$

13.

$$\sum_{k \in K} v^k Q_n^k \leq CAP_n z_n \quad \forall n \in N$$

14.

$$x_g, y_i, z_r, z_m, z_n \in \{0,1\} \quad \forall g \in G, i \in I, r \in R, m \in M, n \in N$$



جدول ۱. مقادیر عددی مجموعه‌ها

۲۰ نقطه آسیب‌دیده	$=\{i1, i2, i3, ..., i20\}$
دولت قابلیت تاسیس ۱۰ مرکز توزیع را دارد	$=\{g1, g2, g3, ..., g10\}$
۳ مرکز توزیع متعلق به بازیکنان بخش خصوصی	$R=\{r1, r2, r3\}$
۲ مرکز توزیع متعلق به سازمان کمک‌رسانی بین‌المللی	$=\{m1, m2\}$
۲ مرکز توزیع متعلق به مراکز خیریه مردم نهاد	$N=\{n1, n2\}$
سه قلم کالای متفاوت	$K=\{k1, k2, k3\}$
سه سناریو احتمالی یا ضریب مختلف وجود دارد	$T=\{t1, t2, t3\}$

جدول ۲. مقادیر عددی d_i فاصله بین مرکز توزیع O و منطقه آسیب‌دیده

$r3$	$r2$	$r1$	$m2$	$m1$	$n2$	$n1$	$g10$	$g9$	$g8$	$g7$	$g6$	$g5$	$g4$	$g3$	$g2$	$g1$	d_i
۶	۱۲	۱۱	۸	۱۰	۹	۱۲	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	i1
۱۲	۱۱	۱۰	۱۰	۱۲	۱۰	۱۱	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	i2
۱۱	۱۰	۹	۹	۱۱	۹	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	i3
۱۰	۹	۸	۸	۱۰	۱۰	۱۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	i4
۹	۸	۷	۱۰	۱۲	۹	۱۲	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	i5
۸	۷	۶	۹	۱۱	۱۰	۱۱	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	i6
۷	۶	۱۲	۸	۱۰	۹	۱۲	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	i7
۶	۱۲	۱۱	۱۰	۱۲	۱۰	۱۲	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	i8
۱۲	۱۱	۱۰	۹	۱۱	۹	۱۲	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	i9
۱۱	۱۰	۹	۸	۱۰	۱۰	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	i10
۱۰	۹	۸	۱۰	۱۲	۹	۱۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	i11
۹	۸	۷	۹	۱۱	۱۰	۱۲	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	i12
۸	۷	۶	۸	۱۰	۹	۱۱	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	i13
۷	۶	۱۲	۱۰	۱۲	۱۰	۱۳	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	i14
۶	۱۲	۱۱	۹	۱۱	۹	۱۲	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	i15
۱۲	۱۱	۱۰	۸	۱۰	۱۰	۱۱	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	i16
۱۱	۱۰	۹	۱۱	۱۳	۹	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	i17
۱۰	۹	۸	۱۰	۱۲	۱۰	۱۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	i18
۹	۸	۷	۹	۱۱	۱۰	۱۲	۹	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	i19
۸	۷	۶	۸	۱۰	۹	۱۱	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	i20

جدول ۳. مقادیر عددی هزینه مکان‌یابی و ایجاد مرکز توزیع DC_g متعلق به دولت

F_{g1}	F_{g2}	F_{g3}	F_{g4}	F_{g5}	F_{g6}	F_{g7}	F_{g8}	F_{g9}	F_{g10}
۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰

جدول ۴. مقادیر عددی هزینه به‌کارگیری مرکز توزیع DC_r متعلق به بخش خصوصی

F_{r1}	F_{r2}	F_{r3}
۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰

جدول ۵. مقادیر عددی هزینه به‌کارگیری مرکز توزیع DC_m متعلق به سازمان کمک‌رسانی بین‌المللی

F_{m1}	F_{m2}
۵۰۰	۵۰۰

جدول ۶. مقادیر عددی هزینه به‌کارگیری مرکز توزیع DC_n متعلق به سازمان خیریه مردم‌نهاد

F_{n1}	F_{n2}
۵۰۰	۵۰۰

جدول ۷. مقادیر عددی هزینه جابه‌جایی کالا از مرکز توزیع به منطقه آسیب‌دیده به ازای هر ساعت مسیر

C_{in}^k	C_{im}^k	C_{in}^k	C_{ig}^k
۲	۲	۲	۱

جدول ۸. مقادیر عددی هزینه دریافت و ذخیره کالا در مراکز توزیع به ازای حجم

h_g^k	h_r^k	h_m^k	h_n^k
۱	۱	۰	۱

جدول ۹. مقادیر عددی حجم واحد هر قلم کالا

V^{k1}	V^{k1}	V^{k1}
۱	۲	۱

آنالیز حساسیت

موجود در مراکز توزیع دولت، بخش خصوصی، سازمان‌های بشردوستانه و سازمان‌های خیریه مردم‌نهاد است. ستون‌های جدول موجود در تصویر شماره ۳، نشان‌دهنده ۴ حالت عدددهی به پارامتر است. به‌ترتیب، ستون ۱ نشان‌دهنده مقدار تابع هدف بهینه در صورت کاهش میزان کل موجودی مراکز توزیع هر بازیکن، به یک‌سوم مقدار مثال عددی، ستون ۲ معادل مقادیر عددی مذکور، ستون سوم معادل ۲ برابر مقادیر مثال عددی و ستون چهارم معادل ۳ برابر مقادیر مثال عددی

برای آنالیز حساسیت مدل، ۵ پارامتر بررسی شده‌اند که شامل پارامتر بودجه کل عملیات و ۴ پارامتر موجودی انبارهای هر بازیکن است. تصویر شماره ۲ رابطه بودجه با مقدار تابع هدف را نشان می‌دهد که حاکی از رابطه‌ای نسبتاً خطی است.

تصویر شماره ۳ نشان‌دهنده آنالیز حساسیت ۴ پارامتر Q_n^k ، Q_r^k ، Q_m^k ، Q_g^k است که به ترتیب معادل میزان کالاهای



جدول ۱۰. مقادیر عددی تقاضای هر نوع کالا، در هر سناریو

منطقه آسیب‌دیده	جمعیت	K=3 T=3	K=2 T=3	K=1 T=3	K=3 T=2	K=2 T=2	K=1 T=2	K=3 T=1	K=2 T=1	K=1 T=1
i1	۱۵۰۰۰	۲۳۶۰	۲۷۲۰	۲۵۱۰	۱۴۳۰	۱۶۰۰	۱۵۰۰	۸۵۰	۱۱۰۰	۱۰۰۰
i2	۱۵۰۰۰	۲۵۲۰	۲۳۵۰	۲۷۲۰	۱۵۲۰	۱۴۲۰	۱۶۰۰	۱۰۰۰	۸۰۰	۱۱۵۰
i3	۱۵۰۰۰	۲۷۵۰	۲۵۳۰	۲۴۰۰	۱۶۰۰	۱۵۴۰	۱۴۰۰	۱۱۰۰	۱۰۵۰	۹۰۰
i4	۱۵۰۰۰	۲۳۱۰	۲۷۵۰	۲۵۳۰	۱۴۰۰	۱۶۲۱	۱۵۰۰	۹۰۰	۱۱۰۰	۱۰۰۰
i5	۱۵۰۰۰	۲۵۶۰	۲۳۵۰	۲۷۲۰	۱۵۲۱۰	۱۴۲۰	۱۶۰۰	۱۰۲۵	۸۰۰	۱۱۰۰
i6	۱۵۰۰۰	۲۷۲۰	۲۵۴۰	۲۳۵۰	۱۶۵۰	۱۵۱۰	۱۴۴۰	۱۱۲۰	۱۰۱۰	۹۰۰
i7	۱۵۰۰۰	۲۳۵۰	۲۳۵۰	۲۵۴۰	۱۴۲۰	۱۶۲۰	۱۵۴۰	۹۵۰	۱۱۰۰	۱۰۰۰
i8	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰	۲۳۰۰	۲۷۳۰	۱۵۰۰	۱۴۳۰	۱۶۸۰	۱۱۵۰	۹۲۰	۱۱۰۰
i9	۳۰۰۰۰	۴۸۰۰	۵۲۰۰	۵۱۲۰	۲۹۱۰	۳۱۶۰	۳۰۵۰	۱۹۵۰	۲۱۵۰	۲۰۰۰
i10	۳۰۰۰۰	۵۱۰۰	۴۸۰۰	۵۱۱۰	۳۲۰۰	۲۹۲۰	۳۱۰۰	۲۲۰۰	۱۹۲۰	۲۱۰۰
i11	۳۰۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۴۸۲۰	۳۱۶۰	۳۲۰۰	۲۹۰۰	۲۱۵۰	۲۱۰۰	۱۹۰۰
i12	۳۰۰۰۰	۴۸۳۰	۵۲۱۰	۵۰۶۰	۲۹۶۰	۳۱۰۰	۳۰۴۰	۱۹۶۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰
i13	۳۰۰۰۰	۵۰۳۰	۴۸۳۰	۵۰۷۰	۳۰۰۰	۲۹۶۰	۳۱۶۰	۲۰۷۰	۱۹۶۵	۲۱۰۰
i14	۳۰۰۰۰	۵۲۰۰	۵۰۰۰	۴۸۳۰	۳۱۰۰	۳۰۵۰	۲۹۲۰	۲۰۸۰	۲۳۰۰	۱۹۰۰
i15	۳۰۰۰۰	۴۸۱۰	۵۲۱۰	۵۰۲۰	۲۹۴۰	۳۰۲۰	۳۰۶۰	۱۸۲۰	۲۱۰۰	۲۰۰۰
i16	۵۰۰۰۰	۸۳۰۰	۸۴۲۰	۸۲۷۰	۴۹۰۵	۵۱۰۰	۵۰۷۰	۳۳۱۰	۳۴۵۰	۳۳۰۰
i17	۵۰۰۰۰	۸۳۰۰	۸۳۰۰	۸۳۱۰	۵۱۰۰	۴۹۲۰	۵۰۸۰	۳۳۵۰	۳۳۵۰	۳۴۰۰
i18	۵۰۰۰۰	۸۴۰۰	۸۳۰۰	۸۳۰۰	۵۲۰۰	۵۱۰۰	۴۹۲۰	۳۳۳۰	۳۳۲۰	۳۳۰۰
i19	۵۰۰۰۰	۸۳۰۰	۸۴۱۰	۸۳۲۰	۴۹۱۰	۵۱۵۰	۵۰۰۰	۳۳۰۰	۳۳۳۰	۳۳۶۰
i20	۵۰۰۰۰	۸۳۵۰	۸۳۰۰	۸۱۰۰	۵۰۵۰	۴۸۰۰	۵۱۵۰	۳۲۰۰	۳۳۰۰	۳۴۰۰

بحث

در این پژوهش، مدلی همکارانه ارائه شد که به منظور پوشش حداکثری نقاط آسیب‌دیده ناشی از فاجعه‌های طبیعی طراحی شده است. بازیگران اصلی این مدل شامل دولت، بخش خصوصی، سازمان‌های بشردوستانه بین‌المللی و سازمان‌های غیردولتی داخلی بودند. این مدل نوآورانه که مشابه آن در مطالعات دردسترس وجود نداشته، می‌تواند به عنوان یک چارچوب جدید برای ارتقای هم‌افزایی و هماهنگی میان این ۴ بازیکن عمل کند و

بوده است. براساس نتیجه این تحلیل، نمودار مربوط به دولت دارای کمترین شیب و نمودار مربوط به بخش خصوصی دارای بیشترین شیب است. این موضوع حاکی از این است که در صورت نیاز به افزایش موجودی بازیکنان برای افزایش پوشش و تقاضا، بهترین راه حل تخصیص کالای بیشتر به بازیکنان بخش خصوصی است. بعد از بخش خصوصی، به ترتیب سازمان‌های بشردوستانه بین‌المللی و پس از آن سازمان‌های مردم‌نهاد داخلی و در آخر دولت گزینه‌های بهینه برای افزایش مقدار بهینه تابع هدف و در نتیجه پیشینه‌سازی پوشش نقاط هستند.

جدول ۱۱. مقادیر عددی ظرفیت مرکز توزیع DC_x متعلق به دولت

CAP_{x1}	CAP_{x2}	CAP_{x3}	CAP_{x4}	CAP_{x5}	CAP_{x6}	CAP_{x7}	CAP_{x8}	CAP_{x9}	CAP_{x10}
۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰

جدول ۱۲. مقادیر عددی ظرفیت مرکز توزیع CD متعلق به بخش خصوصی

CAP_{c1}	CAP_{c2}	CAP_{c3}
۱۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۵۰۰۰

جدول ۱۳. مقادیر عددی ظرفیت مرکز توزیع DC_m متعلق به سازمان کمک‌رسانی بین‌المللی

CAP_{m1}	CAP_{m2}
۱۷۰۰۰	۱۷۰۰۰

جدول ۱۴. مقادیر عددی ظرفیت مرکز توزیع DC_n متعلق به سازمان خیریه مردم‌نهاد

CAP_{n1}	CAP_{n2}
۱۳۰۰۰	۱۴۰۰۰

جدول ۱۵. مقادیر عددی ضریب احتمال وقوع هر سناریو

$t1$	$t2$	$t3$
۰/۲	۰/۳	۰/۵

جدول ۱۶. مقادیر عددی ضریب اهمیت هر نوع کالا

$k1$	$k2$	$k3$
۰/۲	۰/۳	۰/۵

جدول ۱۷. مقادیر عددی ضریب صلاحیت بازیکنان بخش خصوصی

$r1$	$r2$	$r3$
۰/۶	۰/۴	۰/۸

آسیب‌دیده را تضمین می‌کند. این مدل همچنین بررسی‌های کیفی انجام‌شده در دوران پیش از فاجعه را در نظر می‌گیرد و می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی اثربخشی تلاش‌های مدیریت بلایا را بهبود بخشد. نظر به اینکه پژوهش حاضر براساس داده‌های فرضی انجام شده است، پیشنهاد می‌شود در آینده مدل پیشنهادی در قالب یک مطالعه موردی بررسی شود.

به بهبود پاسخگویی به چالش‌های اجتماعی و انسانی کمک کند. هریک از این بازیگران دارای ظرفیت‌های متنوعی، از جمله مراکز توزیع متعدد و انواع مختلف کالاها هستند. مدل طراحی‌شده با استفاده از یک نمونه عددی فرضی و نرم‌افزار گمز حل شده و تحلیل حساسیت نیز انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده از مدل، بینش‌های ارزشمندی را در مورد اقدامات بهینه هریک از بازیکنان در زنجیره تأمین در طول یک فاجعه ارائه می‌کند. این مدل ظرفیت‌ها و قابلیت‌های هر بازیکن و همچنین کیفیت خدمات ارائه‌شده توسط بخش خصوصی را در نظر می‌گیرد و امکان تخصیص کارآمدتر منابع را فراهم می‌کند و حداکثر پوشش نقاط



جدول ۱۸. مقادیر عددی موجودی اقلام در هر انبار

متغیر	k1	k2	k3
g1	۴۵۰۰	۳۰۰۰	۵۶۰۰
g2	۶۵۰۰	۲۵۰۰	۴۲۰۰
g3	۲۵۰۰	۲۶۰۰	۶۲۰۰
g4	۵۰۰۰	۴۴۰۰	۳۲۰۰
g5	۴۰۰۰	۵۷۰۰	۳۲۰۰
g6	۵۵۰۰	۶۲۰۰	۳۵۰۰
g7	۶۰۰۰	۴۴۰۰	۶۳۰۰
g8	۴۰۰۰	۶۳۰۰	۳۷۰۰
g9	۴۵۰۰	۲۲۰۰	۲۸۰۰
g10	۵۰۰۰	۵۴۰۰	۴۲۰۰
r1	۲۵۰۰	۴۴۰۰	۲۶۰۰
r2	۵۰۰۰	۳۲۰۰	۴۳۰۰
r3	۲۵۰۰	۵۱۰۰	۳۶۰۰
m1	۴۰۰۰	۳۴۰۰	۵۰۰۰
m2	۵۵۰۰	۲۶۰۰	۴۳۰۰
n1	۳۰۰۰	۵۲۰۰	۴۸۰۰
n2	۴۰۰۰	۵۳۰۰	۳۶۰۰

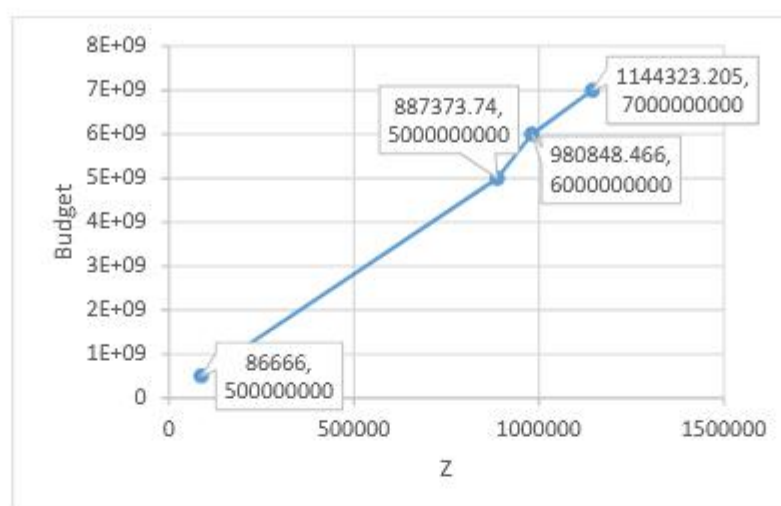
جدول ۱۹. نتایج حاصل از حل مدل در گمز

تعداد نقاط آسیب‌دیده پوشش داده‌شده	تعداد انبارهای به کار گرفته‌شده	درصد برآورده شدن جمع تقاضای تمامی نقاط	سناریوهای مختلف
۲۰	۱۷	۹۲/۶۳	تقاضا کم
۱۶	۱۴	۶۵/۵۶	تقاضا متوسط
۱۲	۱۳	۴۱/۵۳	تقاضا زیاد

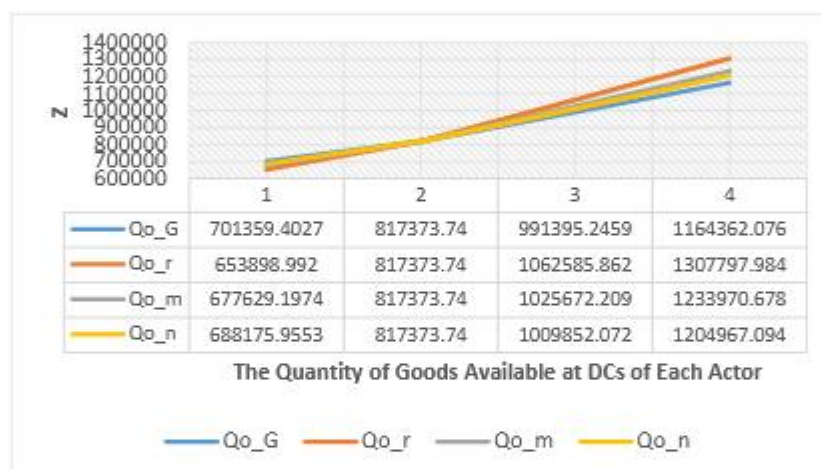
نتیجه‌گیری

با وجود اینکه مسئولیت اجتماعی اهمیت زیادی یافته است و در سال‌های اخیر این موضوع منتج به همکاری بدون چشمداشت شرکت‌های خصوصی در فجایع طبیعی و انسانی شده است، جهت افزایش آمادگی برای رسیدگی به عواقب یک فاجعه، پیشنهاد می‌شود طی یک آگهی دعوت به همکاری، از شرکت‌های خصوصی علاقه‌مند دعوت شود تا در ازای برخورداری از مزایایی از جمله بخشودگی مالیاتی از سمت دولت، آمادگی خود را جهت کمک در صورت وقوع فاجعه اعلام کنند. سازمان‌های کمک‌رسانی

بین‌المللی به دلیل داشتن ظرفیت‌های مورد نیاز و با هدف کمک به دولت، می‌توانند ارزیابی فنی شرکت‌های داوطلب را انجام داده و فهرستی از شرکت‌های داوطلب و اولویت کیفی هریک را بررسی و آماده کنند. سازمان‌های بین‌المللی دارای فهرستی از فروشندگان سرویس و کالا هستند که در طول زمان با آن‌ها کار کرده‌اند. بنابراین چنانچه شرکت‌های خصوصی داوطلب در این لیست باشند، می‌توانند براساس ارزیابی‌های عملکردی پیشین خود که در آرشیو سازمان‌های بین‌المللی کمک‌رسانی قرار دارد به لیست داوطلبین اضافه شوند. جهت بررسی بهتر صلاحیت بنگاه‌های خصوصی، پیشنهاد می‌شود یک مدل برای محاسبه



تصویر ۲. آنالیز پارامتر بودجه

تصویر ۳. آنالیز پارامتر Q_o^k

- توانایی دولت برای هماهنگ کردن تلاش‌های همه بازیکنان در زنجیره تأمین.
- توانایی دولت برای واکنش سریع به شرایط در حال تغییر.
- هنجارهای فرهنگی و اجتماعی منطقه آسیب‌دیده.
- در دسترس بودن منابع محلی، مانند نیروی کار، حمل‌ونقل و امکانات ذخیره‌سازی.
- تأثیر شرایط محیطی، مانند کیفیت جاده‌ها و آسیب وارده به آن‌ها بر اثر فاجعه، آب‌وهوا و فصول.

مطلوبیت و اولویت‌بندی شرکت‌های بخش خصوصی ارائه شود که در آن عوامل مختلف از جمله شماره ابعاد یگان حمل، دامنه پوشش، تعداد انبارهای عادی و یخچالی موجود در سطح کشور وزن‌دهی شوند. این مدل می‌تواند جهت ارزیابی‌های دوره ای شرکت‌های داوطلب مورد بررسی قرار گیرد. عامل دیگری نیز وجود دارد که می‌تواند در یک مدل تئوری بازی مشارکتی برای زنجیره تأمین بشردوستانه گنجانده شود. برخی از این عوامل عبارت‌اند از:

- کیفیت و قابلیت اطمینان وسایل نقلیه ارائه‌شده توسط بخش خصوصی.

- کیفیت و قابلیت اطمینان کالاهای کمکی ارائه‌شده توسط سازمان‌های کمک‌رسان بین‌المللی و سازمان‌های غیردولتی و سازمان‌های کمک‌رسان ملی.



ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله نمونه های انسانی و حیوانی نداشته است. برای این اساس نیاز به کد اخلاق نبوده و تمام قوانین اخلاق در پژوهش رعایت شده است.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از رساله کارشناسی ارشد گلنوش جهرمی رجبی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال می باشد و هیچگونه کمک مالی از سازمان های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

اعتبارسنجی، تحلیل رسمی، تحقیق، منابع، جمع آوری داده ها: گلنوش جهرمی رجبی؛ مفهوم سازی و روش شناسی: راضیه کشاورزفرد و گلنوش جهرمی رجبی؛ نگارش پیش نویس اولیه، بررسی و ویرایش و نظارت: راضیه کشاورزفرد.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.



References

- Abidi, H., De Leeuw, S., & Klumpp, M. (2014). Humanitarian supply chain performance management: A systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(5/6), 592-608. [Link]
- Adsanver, B., Balci, B., Bélanger, V., & Rancourt, M. E. (2023). *Operations research approaches for improving coordination, cooperation, and collaboration in humanitarian relief chains: A framework and literature review*. Quebec: CIRRELT. [Link]
- Aldashev, G., & Verdier, T. (2010). Goodwill bazaar: NGO competition and giving to development. *Journal of Development Economics*, 91(1), 48-63. [DOI:10.1016/j.jdeveco.2008.11.010]
- Arikan, E., Silberman, L., & Toyasaki, F. (2023). Interplay between humanitarian procurement operations and fundraising. *Computers & Industrial Engineering*, 184, 109559. [DOI:10.1016/j.cie.2023.109559]
- Chen, J., Chen, T. H. Y., Vertinsky, I., Yumagulova, L., & Park, C. (2013). Public-private partnerships for the development of disaster resilient communities. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 21(3), 130-143. [Link]
- Coles, J., & Zhuang, J. (2011). Decisions in disaster recovery operations: A game theoretic perspective on organization cooperation. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 8(1), 1-16. [Link]
- Coskun, A., Salman, F. S., & Pashapour, A. (2024). Relief item inventory planning under centralized and decentralized bilateral cooperation and uncertain transshipment quantities. *Socio-Economic Planning Sciences*, 95, 101991. [DOI:10.1016/j.seps.2024.101991]
- Day, J. M., Melnyk, S. A., Larson, P. D., Davis, E. W., & Whybark, D. C. (2012). Humanitarian and disaster relief supply chains: A matter of life and death. *Journal of Supply Chain Management*, 48(2), 21-36. [Link]
- Diehlmann, F., Lüttenberg, M., Verdonck, L., Wiens, M., Zienau, A., & Schultmann, F. (2021). Public-private collaborations in emergency logistics: A framework based on logistical and game-theoretical concepts. *Safety Science*, 141, 105301. [DOI:10.1016/j.ssci.2021.105301]
- Ergün, S., Usta, P., Alparslan Gök, S. Z., & Weber, G. W. (2023). A game theoretical approach to emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of Operations Research*, 324(1), 855-868. [Link]
- Fathalikhani, S., Hafezalkotob, A., & Soltani, R. (2018). Cooperation and competition among humanitarian organizations: A game theory approach. *Kybernetes*, 47(8), 1642-1663. [DOI:10.1108/K-10-2017-0369]
- Fathalikhani, S., Hafezalkotob, A., & Soltani, R. (2020). Government intervention on cooperation, competition, and competition of humanitarian supply chains. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, 100715. [DOI:10.1016/j.seps.2019.05.006]
- Habib, M. S., Lee, Y. H., & Memon, M. S. (2016). Mathematical models in humanitarian supply chain management: A systematic literature review. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016(1), 3212095. [DOI:10.1155/2016/3212095]
- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31(5), 262-280. [DOI:10.1016/j.jom.2013.06.002]
- Hong, J. D., Jeong, K. Y., & Feng, K. (2015). Emergency relief supply chain design and trade-off analysis. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(2), 162-187. [DOI:10.1108/JHLSCM-05-2014-0019]
- Hosseini-Motlagh, S. M., Choi, T. M., Johari, M., & Nouri-Harzi, M. (2022). A profit surplus distribution mechanism for supply chain coordination: An evolutionary game-theoretic analysis. *European Journal of Operational Research*, 301(2), 561-575. [DOI:10.1016/j.ejor.2021.10.059]
- Katsaliaki, K., Kumar, S., & Loulos, V. (2024). Supply chain cooperation: A review of structures, mechanisms and dynamics. *International Journal of Production Economics*, 267, 109057. [DOI:10.1016/j.ijpe.2023.109057]
- Li, J., Zhang, X., & Yao, Y. (2024). A bi-level robust optimization model for the coupling allocation of post-disaster personnel and materials assistance. *Journal of Cleaner Production*, 469, 143099. [DOI:10.1016/j.jclepro.2024.143099]
- Li, X., Ramshani, M., & Huang, Y. (2018). Cooperative maximal covering models for humanitarian relief chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 119, 301-308. [DOI:10.1016/j.cie.2018.04.004]
- Muggy, L., & Heier Stamm, J. L. (2014). Game theory applications in humanitarian operations: A review. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 4(1), 4-23. [DOI:10.1108/JHLSCM-07-2013-0026]
- Nagurney, A., Flores, E. A., & Soylu, C. (2016). A Generalized Nash Equilibrium network model for post-disaster humanitarian relief. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 95, 1-18. [DOI:10.1016/j.tre.2016.08.005]
- Ramos, M. A., Boix, M., Aussel, D., & Montastruc, L. (2024). Development of a multi-leader multi-follower game to design industrial symbioses. *Computers & Chemical Engineering*, 183, 108598. [DOI:10.1016/j.compchemeng.2024.108598]
- Schulz, S. F., & Blecken, A. (2010). Horizontal cooperation in disaster relief logistics: benefits and impediments. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(8/9), 636-656. [DOI:10.1108/09600031011079300]
- Wankmüller, C., & Reinert, G. (2020). Coordination, cooperation and collaboration in relief supply chain management. *Journal of Business Economics*, 90, 239-276. [Link]
- Wiens, M., Schätter, F., Zobel, C. W., Schultmann, F. (2018). Collaborative emergency supply chains for essential goods and services. In A. Fekete & F. Fiedrich (Eds), *Urban Disaster Resilience and Security. The Urban Book Series*. Cham: Springer. [Link]
- Zhuang, J., Saxton, G. D., & Wu, H. (2014). Publicity vs. impact in nonprofit disclosures and donor preferences: A sequential game with one nonprofit organization and N donors. *Annals of Operations Research*, 221(1), 469-491. [Link]

This Page Intentionally Left Blank

Research Paper

A Two-echelon Model of Location-routing Problem for Optimizing Relief Operations in Natural Disasters



Hossein Jamali¹, *Mehdi Kabiri Naeini², Zeynab Elahi²

1. Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran.

2. Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.



Citation Jamali, H., Kabiri Naeini, M., & Elahi, Z. (2025). [A Two-echelon Model of Location-routing Problem for Optimizing Relief Operations in Natural Disasters (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):202-229. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.909.1>

doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.909.1>

ABSTRACT

Background and objective The location-routing problem (LRP) during disasters is a fundamental challenge in managing relief efforts to the affected areas. One of the most significant limitations in this context is the effective coverage of relief bases and the ability to provide timely aid to the affected area. In this study, a two-echelon model for LRP is developed, where each relief base can only provide services within a designed coverage radius. The goal is to determine the optimal locations for relief bases and routing relief teams to minimize relief time and cost at both levels.

Method We combined the covering tour problem (CTP) with the two-echelon LRP to propose a model named "two-echelon relief covering tour location routing problem" (2E-RCTLRP). To solve the LRP in a large scale, a metaheuristic genetic algorithm (GA) was developed and utilized. To validate the proposed model, five small-scale problems were solved, and the solutions obtained from the proposed GA were compared with the exact solutions obtained from GAMS software. Also, a sensitivity analysis of the CTP was conducted to determine the necessary conditions for using the CTP and two-echelon methods for relief problems.

Results The developed GA was efficient and converged to the optimal solution. The sensitivity analysis results showed that two-echelon methods provide significantly better results than single-echelon methods. Additionally, the comparison of the solution for the non-synchronization of tours at two levels and the proposed model demonstrated the necessity of using the proposed model.

Conclusion The proposed model is an effective method to improve relief operations and strengthen crisis management during natural disasters.

Keywords Two-echelon location-routing problem (2E-RCTLRP), Covering tour problem (CTP), Natural disaster relief, Crisis management, Genetic algorithm (GA)

Article Info:

Received: 16 Dec 2024

Accepted: 05 May 2025

Available Online: 01 Jul 2025

* Corresponding Author:

Mehdi Kabiri Naeini, Professor.

Address: Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (912) 5141636

E-mail: kabiri@pnu.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

During natural disasters such as earthquakes, floods, and storms, or man-made disasters such as explosions and fires, rapid and efficient response from relief forces is necessary to save human lives and minimize the damage caused by the disaster. One of the most important limitations crisis managers face is the need to effectively cover relief bases and ensure timely and efficient aid to affected areas. To enhance the efficiency of search and rescue operations and optimize resource management, determining the appropriate location for relief bases and the correct and optimal routing of relief teams is particularly important. The location-routing problem (LRP) during disasters is thus a fundamental and highly significant challenge for relief management in the affected areas. Furthermore, risk analysis and the assessment of potential threats in different areas have been considered as an important part of the decision-making process for locating. Addressing this issue can play a crucial role in improving crisis management and increasing the efficiency of relief systems in emergencies.

To respond to the complexities of the LRP and the possibility of solving it on a large scale, the use of mathematical algorithms is not enough, and there is a need to utilize metaheuristic methods. In this study, an innovative two-echelon model for the LRP is developed, which specifically considers the spatial coverage constraint; i.e. each relief base is allowed to provide services within a designated service radius only. The main goal of this study is to determine the optimal locations for relief bases and simultaneously design suitable routes for relief teams so that it can significantly reduce the total time of relief operations and the related costs. The proposed model also considered the risk analysis and the assessment of potential threats in different areas. In this research, an advanced genetic algorithm (GA) is developed to provide appropriate and efficient solutions for the two-echelon LRP. Inspired by natural evolution and natural selection processes, this algorithm gradually finds optimal or near-optimal solutions by utilizing operations such as selection, crossover, and mutation.

Methods

We combined the covering tour problem (CTP) with the two-echelon LRP to propose a model named "two-echelon relief covering tour location routing problem" (2E-RCTLRP). To evaluate the accuracy and efficiency

of the proposed model and the developed algorithm, five small-scale sample problems were initially designed, and the optimal solutions to them were obtained using GAMS software, version 24.1.3 which has the capability to solve exact optimization problems. The results obtained from the GA were then compared with the exact GAMS results to evaluate the algorithm's efficiency, accuracy, and convergence rate. The proposed algorithm is designed to allow control over various parameters such as population size, mutation rate, and crossover rate, thereby providing the necessary flexibility to adapt to the different characteristics of the problem. Sensitivity analysis was also performed on various model variables, which were examined in terms of the CTP. The risk analysis was also conducted to identify the locations with higher levels of threat.

Results

The results obtained from the implementation of the developed GA demonstrated the very high efficiency of this method in achieving near-optimal solutions, even similar to the exact solutions obtained from GAMS. These findings indicated the rapid convergence of this algorithm and its ability to manage large problem dimensions. The results of the sensitivity analysis showed that in many cases, the use of two-echelon models led to significantly better results compared to single-level models. In two-echelon models, it is possible to model the decision-making structure more accurately, consider real operational constraints, and better account for spatial and temporal complexities, which is of great importance in emergencies. Furthermore, comparing the solution for the non-synchronization of tours at two levels with the proposed model showed that the proposed approach not only improved the performance but also led to optimal resource management and cost reduction. Based on the risk analysis, the locations with higher threat levels were identified, based on which appropriate planning for resource allocation and base deployment was carried out. Thus, the proposed model comprehensively considers all critical aspects of relief operations in a crisis and provides effective operational solutions.

Conclusion

The proposed two-echelon model and the developed GA can efficiently optimize the locating and routing of relief teams during disasters. The proposed model can provide better decisions for the deployment of relief bases by considering the real constraints of search and rescue operations and incorporating risk and threat analyses, thereby accelerating and improving the relief process. Using metaheuristic methods in large problem dimensions



enables the solution of more realistic and operational problems, which can help strengthen crisis management infrastructure in the face of natural disasters. The results of this research can serve as a basis for the development of decision support systems in the field of crisis management. By improving the speed, accuracy, and efficiency of decision-making, the proposed model can significantly contribute to saving lives and property in critical situations. Paying attention to two-level approaches in modeling relief problems, especially in combination with intelligent optimization techniques, is a forward-looking and effective solution for managing crises. The application of these approaches can not only be effective in optimizing relief operations but also improve urban planning, enhance the resilience of areas to crises, and increase the preparedness of relief organizations. Combining meta-heuristic algorithms with machine learning methods can enhance the LRP model's capacity to respond to multidimensional crises and complex scenarios.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this study. Since there was no experiment on human or animal samples, the need for an ethical code was waived.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.



مقاله پژوهشی

مدل سازی و تحلیل دو سطحی مکان‌یابی - مسیریابی برای بهینه‌سازی امدادرسانی در
بلایای طبیعیحسین جمالی^۱، مهدی کبیری نائینی^۲، زینب الهی^۳

۱. گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲. گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.



Citation: Jamali, H., Kabiri Naeini, M., & Elahi, Z. (2025). [A Two-echelon Model of Location-routing Problem for Optimizing Relief Operations in Natural Disasters (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):202-229. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.909.1>

doi: <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.909.1>

چکیده

مقدمه و هدف: مسئله مکان‌یابی-مسیریابی در شرایط بحران، از جمله چالش‌های اساسی در مدیریت امدادرسانی به مناطق حادثه دیده است. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌ها در این زمینه، پوشش‌دهی مؤثر پایگاه‌های امدادی و توانایی امدادرسانی به موقع به مناطق آسیب‌دیده است. در این مقاله، یک مدل دو سطحی برای مسئله مکان‌یابی-مسیریابی توسعه داده شده است که در آن هر پایگاه امدادی تنها می‌تواند خدمات را در شعاع پوشش‌دهی مشخصی ارائه دهد. هدف، تعیین مکان‌های بهینه برای پایگاه‌های امدادی و مسیریابی تیم‌های امدادی برای به حداقل رساندن زمان و هزینه امداد در هر دو سطح به‌طور همزمان است.

روش: در این تحقیق مسئله تور پوششی با مسئله مکان‌یابی-مسیریابی دو سطحی ترکیب شد تا مدلی به نام «مسئله مکان‌یابی-مسیریابی تور پوشش‌دهنده امداد دو سطحی» پیشنهاد گردد. برای حل این مسئله مکان‌یابی-مسیریابی در مقیاس بزرگ، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک توسعه داده شده و مورد استفاده قرار گرفت. برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، پنج مسئله در مقیاس کوچک به‌طور دقیق توسط نرم افزار GAMS حل شد و راه‌حل‌های به‌دست‌آمده از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک پیشنهادی با راه‌حل‌های دقیق به‌دست‌آمده از نرم افزار GAMS مقایسه شد. همچنین، یک تحلیل حساسیت از مسئله تور پوششی برای تعیین شرایط لازم برای استفاده از تور پوششی و روش‌های دو سطحی برای مسائل امدادی انجام شد.

نتایج: نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی کارا و همگرا به جواب بهینه است. همچنین این مقاله به تحلیل حساسیت مسئله تور پوششی می‌پردازد که نتایج بررسی، شرایط الزام استفاده از مدل تور پوششی و روش‌های دو سطحی برای مسائل امدادرسانی را معین می‌کند و مشخص می‌شود که روش‌های دو سطحی به مراتب نتایج بهتری نسبت به روش‌های تک‌سطحی ارائه می‌دهند. همچنین، مقایسه حل غیرهمزمانی تورها در دو سطح با مدل پیشنهادی نشان‌دهنده ضرورت استفاده از مدل پیشنهادی است.

نتیجه‌گیری: این تحقیق می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای بهبود فرآیندهای امدادرسانی و تقویت زیرساخت‌های مدیریت بحران در برابر بلایای طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: مسئله مسیریابی-مکان‌یابی ۲ سطحی، تور پوششی، امدادرسانی در بلایای طبیعی، مدیریت بحران، الگوریتم ژنتیک

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۱۰ تیر ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر مهدی کبیری نائینی

نشانی: تهران، دانشگاه پیام نور، گروه مهندسی صنایع.

تلفن: ۵۱۴۱۶۳۶ (۹۱۲) +۹۸

پست الکترونیکی: kabiri@pnu.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

همچنین ایجاد همکاری‌های بین‌نهادی و تبادل اطلاعات در زمان وقوع بحران‌ها، یکی دیگر از گسترش‌دهنده‌های مؤثر در بهبود فرایندهای امدادرسانی است (دلال و همکاران، ۲۰۱۹؛ جبور و همکاران، ۲۰۲۲).

در این پژوهش، مسئله مکان‌یابی - مسیریابی ۲ سطحی با محدودیت پوشش‌دهی بررسی می‌شود که در آن پایگاه‌های امداد تنها مجاز به ارائه خدمات در شعاع پوششی خود هستند. تصمیم‌گیری در دو سطح انجام می‌شود: در سطح اول، مکان‌یابی پایگاه‌های امداد در شهرها با در نظر گرفتن میزان آسیب‌دیدگی و امکانات موجود انجام می‌شود و در سطح دوم، تیم‌های امدادی مستقر در این پایگاه‌ها به‌صورت بهینه مسیرهایی را طی می‌کنند تا به روستاهای حادثه‌دیده در محدوده پوششی خود امدادرسانی کنند. مدل‌های پیشین معمولاً یا مکان‌یابی پایگاه‌های امداد را بدون در نظر گرفتن محدودیت پوششی بررسی کرده‌اند یا در مسیریابی تیم‌های امدادی، تأثیر سطح آسیب‌پذیری مناطق را نادیده گرفته‌اند. در این پژوهش، با ترکیب هم‌زمان این دو عامل و در نظر گرفتن یک مدل ۲ سطحی، سعی شده است تا کارایی امدادرسانی در شرایط بحران بهبود یابد و با حداقل‌سازی هزینه‌ها و زمان پاسخ‌گویی، یک راهکار کارآمدتر برای مدیریت بحران ارائه شود که در آن تحلیل ریسک، ارزیابی تهدیدات و استراتژی‌های پیشگیرانه نیز لحاظ شده است.

در نتیجه این مقاله به ارائه یک مدل‌سازی و تحلیل مسیریابی ۲ سطحی به‌صورت هم‌زمان می‌پردازد که با هدف بهینه‌سازی امدادرسانی در شرایط بحرانی و کاهش زمان واکنش به این بحران‌ها ارائه می‌شود. مقاله حاضر به‌صورت زیر سازماندهی شده است:

در بخش دوم مقاله، مطالعات پیشین بررسی شده و خلأ تحقیقاتی مرتبط استخراج شده است. در بخش سوم، مسئله مسیریابی - مکان‌یابی تور پوششی ۲ سطحی در شرایط امدادرسانی بیان شده و مدل ریاضی آن مطرح می‌شود. در بخش چهارم، روش حل مسئله توضیح داده شده است. بخش پنجم، شامل ساختار الگوریتم ژنتیک پیشنهادی جهت حل مسئله با پارامترهای تنظیم‌شده است. بخش ششم و هفتم مثال‌های عددی حل‌شده و تحلیل حساسیت انجام‌شده را دربر دارند. نهایتاً در بخش هشتم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

بررسی مطالعات پیشین

مدیریت بحران به ۴ مرحله پیشگیری، آمادگی، پاسخ و بازسازی تقسیم‌بندی می‌شود. از میان این ۴ مرحله، مرحله پاسخ، به دلیل امکان کاهش بیشتر تلفات و خسارات جانی و مالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کانه‌ای و همکاران، ۲۰۱۲). مکان‌یابی مراکز امدادرسانی و مسیریابی وسایل نقلیه امدادی جهت ارسال کالا و خدمات به آسیب‌دیدگان یکی از فعالیت‌های مرحله پاسخ

در عصر حاضر، وقوع بلایای طبیعی نظیر زلزله، سیل و طوفان به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها برای جوامع بشری محسوب می‌شود. با افزایش تعداد و شدت این بلایای طبیعی، بهبود و بهینه‌سازی فرایندهای امدادرسانی از اهمیت بیشتری برخوردار شده است (باتانی و همکاران، ۲۰۲۱؛ ژو و همکاران، ۲۰۲۰). از این‌رو مسئله امدادرسانی در شرایط بحران، یکی از چالش‌های مهم در حوزه مدیریت بحران است. با توجه به پیچیدگی‌های موجود در این نوع مسائل، طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های امدادرسانی کارآمد، نیازمند رویکردهای علمی و مدل‌سازی دقیق است. تحقیقات اخیر نشان می‌دهند وجود یک مدل مسیریابی مناسب در شرایط بحرانی می‌تواند منجر به کاهش زمان واکنش و افزایش کارایی در توزیع منابع شود (مالکوف و همکاران، ۲۰۲۲؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲). به علاوه، استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته، مانند الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری در ترکیب با مدل‌های ۲ سطحی، نویدبخش بهبودهای چشمگیری در حل مسائل پیچیده این حوزه است (پنگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ لیائو و همکاران، ۲۰۲۰).

مسیریابی به‌عنوان یکی از مسائل کلیدی در مدیریت بحران، به دنبال یافتن بهترین مسیر برای رسیدن به مناطق آسیب‌دیده و توزیع منابع امدادی است. در سال‌های اخیر، پژوهشگران بسیاری به این موضوع پرداخته و مدل‌های مختلفی را برای حل مسئله مسیریابی در شرایط اضطراری ارائه داده‌اند. با این حال اکثر این مدل‌ها به‌صورت تک‌مرحله‌ای و با تمرکز بر یک سطح از تصمیم‌گیری طراحی شده‌اند. در حالی که در واقعیت، فرایند امدادرسانی شامل تصمیم‌گیری در سطوح مختلفی، از جمله تخصیص منابع، تعیین مسیرهای بهینه و برنامه‌ریزی عملیات است. یکی از رویکردهای مؤثر در این زمینه، استفاده از مدل‌های مسیریابی ۲ سطحی است که می‌توانند به بهینه‌سازی زمان و منابع در شرایط بحرانی کمک کنند (محمد و همکاران، ۲۰۲۳؛ تاراهان و همکاران، ۲۰۲۳). مدل‌سازی مسیریابی دو سطحی معمولاً شامل دو سطح عمده است: سطح اولیه که به شناسایی و تخصیص منابع به نقاط بحرانی می‌پردازد و سطح ثانویه که به طراحی مسیرهای بهینه برای انتقال منابع به این نقاط مربوط می‌شود (کای و همکاران، ۲۰۲۳).

این رویکرد قابلیت‌های بالایی در تطبیق با تغییرات غیرمنتظره وضعیت بحران‌ها فراهم می‌کند و می‌تواند بهبود قابل توجهی در کارایی و سرعت امدادرسانی به همراه داشته باشد. بهبود تجربه‌های گذشته و استفاده از فناوری‌های نوین نظیر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و داده‌های بزرگ می‌تواند به طراحی و اجرای مدل‌های بهینه‌تر برای مسیریابی در واکنش به بلایای طبیعی کمک کند (خانا و همکاران، ۲۰۲۱؛ چوئی و همکاران، ۲۰۲۲).



مرتبط (آرکین و هاسین، ۱۹۹۴؛ گلدن و همکاران، ۲۰۰۸؛ گلدن و همکاران، ۲۰۱۲) مراجعه کند.

ژندریو و همکاران (ژاندر و همکاران، ۱۹۹۷) برای اولین بار با ترکیب مسائل پوشش مجموعه^۲ و فروشنده دوره گرد^۳ مسئله تور پوششی را تعریف کردند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه دادند و سپس مسئله را با استفاده از یک روش دقیق و یک روش ابتکاری حل کردند. **هاچیچا و همکاران (۲۰۰۰)** نوعی چندوسيله‌ای از مسئله تور پوششی^۴ با کاربردهای گوناگون، شامل طراحی مسیرهایی برای تیم‌های ارائه‌دهنده خدمات مراقبت پزشکی سیار را گسترش دادند. در این مسئله هدف، طراحی چند تور همپلتونی بر روی یک زیرمجموعه از رئوس بود. نویسندگان یک فرموله‌سازی ریاضی و ۳ الگوریتم ابتکاری را برای این مسئله ارائه کردند.

کاربرد دیگری از پوشش برای مراقبت‌های بهداشتی در برخی مقالات (**هاجسون و همکاران، ۱۹۹۸؛ دورنر، فوکه و گوتجهر، ۲۰۰۷**) ارائه شد. **نولز و همکاران (۲۰۱۰)** یک مسئله تور پوششی چندهدفه را پیشنهاد دادند که در آن یک ایستگاه مرکزی و مجموعه‌ای از وسایل نقلیه یکسان فرض شده بود. در این تحقیق امداد رسانی از طریق توزیع کمک‌های حیاتی مانند غذا، دارو و غیره به افراد حادثه‌دیده در یک سطح و به‌صورت غیرمستقیم صورت می‌گیرد. برای حل مسائل این مقاله از هر دو روش دقیق و فراابتکاری استفاده شده است. روش دقیق استفاده‌شده روش اسپیلون-محدودیت^۵ است. همچنین از روش فراابتکاری جست‌وجوی همسایگی و الگوریتم NSGA-II استفاده شده است. **ناجی عظیمی و همکاران (۲۰۱۲)** تعمیمی از مسئله تور پوششی را برای مکان‌یابی مراکز توزیع ارائه دادند. این مسئله به بررسی مکان‌یابی مراکز توزیع در جهت کمک به ارائه خدمات بشردوستانه برای همه افرادی که در یک ناحیه حادثه‌دیده قرار گرفته‌اند، می‌پردازد. در این مدل، نویسندگان وسایل حمل‌ونقل مختلف و با ظرفیت محدود را به کار گرفتند. برای حل این مسئله از روش ابتکاری الگوریتم شروع چندگانه (multi-start) استفاده شده است.

نتایج محاسباتی بر روی داده‌هایی که به‌طور تصادفی تولید شده‌اند نشان می‌دهند که تنها مثال‌های کوچک با استفاده از مدل ریاضی به‌صورت کارا حل می‌شوند و روش ابتکاری پیشنهادی، مثال‌های در اندازه واقعی را با کیفیت بالا و در یک زمان منطقی حل می‌کند. **الهیاری و همکاران (۲۰۱۴)** ترکیبی

است که از لحظات اولیه وقوع بحران شروع می‌شود و عملکرد مطلوب در مرحله پاسخ، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش تلفات و خسارات ایفا می‌کند. توجه هم‌زمان به ۲ مقوله مکان‌یابی مراکز امداد و مسیریابی می‌تواند تأثیر مناسبی بر عملکرد سیستم ایفا کند. عدم توجه به مسیریابی در هنگام مکان‌یابی مراکز امدادی می‌تواند باعث افزایش زمان رسیدن اقلام امدادی به مراکز امداد شود و این امر باعث کاهش اثربخشی امداد رسانی شود (**جانگ و همکاران، ۲۰۰۹**).

استفاده از تور پوششی، رویکردی است که برخی محققین در زمینه امداد رسانی در زمان بحران به کار گرفته‌اند. در کنار مسیریابی به روش تور پوششی، مکان‌یابی مراکز امداد رسانی و توزیع کالاهای مورد نیاز انجام می‌شود. در برخی تحقیقات ایجاد این مراکز به‌صورت سرپایی مطرح است تا در کمترین زمان ممکن احداث و راه‌اندازی آن صورت گیرد. یی و ازدامار در سال ۲۰۰۷ به ارائه مدل مکان‌یابی و توزیع به‌منظور تخلیه مناطق آسیب‌دیده و ارائه کالاهای اساسی در شرایط بحران پرداخته‌اند. آن‌ها بسته-بندی مناسب کالاهای ضروری (دارو و غذا و آب آشامیدنی و غیره) به‌منظور سرعت و سهولت در توزیع را مد نظر قرار دادند و برای بسته‌های کالایی وزن‌هایی مشخص شده است که در بین آن‌ها بسته‌های دارویی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در مدل ارائه‌شده برای مکان‌یابی مراکز امداد آن‌ها به‌صورت موقت و سرپایی در نظر گرفته شده و هزینه برپایی آن ناچیز فرض شده است. این مدل، رویکرد پوششی دارد و هدف آن کمینه کردن درصد تقاضای برآورده‌نشده است.

برای ادبیات این تحقیق تعدادی از مطالعات مرتبط در این زمینه بررسی و نکات کلیدی آن‌ها ذکر می‌شود. مقالاتی که در آن‌ها به مسیریابی، مکان‌یابی، تور پوششی و امداد رسانی پرداخته شده است از آن جمله هستند. مفهوم پوشش کاربردهای فراوانی در دنیای واقعی دارد. به‌عنوان مثال می‌توان ترکیب مفاهیم پوشش و مسیریابی را در مسائل مرتبط با حالات اورژانسی نظیر سیل، زلزله، سونامی و غیره در مقالات (آلتای و گرین، ۲۰۰۶؛ دلاتوره و همکاران، ۲۰۱۲؛ کانه‌ای و همکاران، ۲۰۱۲؛ جمالی و همکاران، ۲۰۱۵؛ جمالی و بشیری، ۲۰۲۰) پیدا کرد. کارنت و اسپچیلینگ یکی از اولین مسائل مسیریابی به نام مسئله فروشنده پوششی^۱ را بیان کردند که در آن ویزیت همه متقاضیان بر روی تور در نظر گرفته نشده است. آن‌ها در این مقاله به مسیریابی تیم‌های خدمات بهداشتی در کشورهای در حال توسعه پرداختند و برای حل مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح خود، از یک روش ابتکاری ۲ مرحله‌ای استفاده کردند.

روش‌های حل گوناگونی برای مسئله فروشنده پوششی و انواع آن ارائه شده است که خواننده علاقه‌مند می‌تواند به مقالات

2. Set Covering Problem (SCP)

3. Traveling Salesman Problem (TSP)

4. Covering Tour Problem (CTP)

5. e-constraint

1. Covering Salesman Problem



جاکوبسن و مدسن ارائه شد. جاکوبسن و مدسن در این مقاله یک کاربرد واقعی این مسئله را در ارتباط با توزیع و پخش روزنامه در بخش غربی دانمارک به کار بردند. هدف این مسئله مکان‌یابی مراکز توزیع، یافتن مسیرهای بهینه برای سطوح اول و دوم با حداقل هزینه است. نویسندگان این مقاله ۳ الگوریتم ابتکاری مختلف را برای حل این مسئله ارائه کردند (جاکوبسن و مدسن، ۱۹۸۰). مدسن (۱۹۸۳) با انجام اصلاحاتی بر روی ۲ الگوریتم از ۳ الگوریتم ابتکاری بیان شده در قبل، کارایی آن‌ها را افزایش داد و برای همان مسئله از آن‌ها استفاده کرد. بوسیا و همکاران (۲۰۱۱) یک روش حل فرآیندکاری جستجوی ممنوع (TS) را برای مسئله مسیریابی - مکان‌یابی ۲ سطحی با ظرفیت محدود ارائه کردند. این روش در اصل برای مسائل LRP طراحی شده بود و قبلاً توسط ناگی و صالحی (۱۹۹۶) و توزان و بورکه (۱۹۹۹) پیشنهاد شده بود. ایده اصلی این الگوریتم، اولاً تجزیه مسئله اصلی به ۲ مسئله LRP و ثانیاً تجزیه هر LRP به یک مسئله مکان‌یابی تسهیلات دارای ظرفیت^۱ و یک مسئله مسیریابی وسایل حمل‌ونقل چندایستگاهی بود. بنابراین الگوریتم TS ارائه شده شامل ۲ مرحله اصلی است: مرحله اول مکان‌یابی است که در آن تعداد و مکان تسهیلات مشخص می‌شوند و مرحله دوم مسیریابی است. یک رویکرد از پایین به بالا در این مقاله استفاده شده است، به این صورت که در ابتدا یک راه‌حل برای سطح دوم ساخته می‌شود و سپس باتوجه به آن راه‌حل، راه‌حل سطح اول ساخته می‌شود. در تحقیقی مشابه، کرانیک و همکاران (الف ۲۰۱۱) نیز از همین ایده برای حل مسئله خود استفاده کردند.

ذگردی و نیکبخش (۲۰۱۰) ۱ مدل ریاضی ۴ اندیشه، ۱ روش ابتکاری سریع و کارا و ۱ کران پایین را برای مسئله 2E-LRP با محدودیت‌های پنجره‌های زمانی نرم^{۱۱} ارائه دادند.

روش ابتکاری پیشنهادشده تلاش می‌کند مسئله را با استفاده از ایجاد یک راه‌حل اولیه، سپس بهبود دادن آن از طریق جستجوی ۶ همسایه از راه‌حل اولیه و استفاده از روش ابتکاری Or-opt حل کند. در پایان، نتایج محاسباتی نشان از کارایی روش ابتکاری پیشنهادشده و استفاده از کران پایین ارائه شده دارد.

کرانیک و همکاران (۲۰۱۱ ب) ۳ مدل‌سازی بر پایه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط^{۱۱} برای مسئله مسیریابی - مکان‌یابی ۲ سطحی با ظرفیت محدود معرفی کردند. هدف این مقاله معرفی مسئله 2E-LRP و به دست آوردن این بینش است که این مسئله باتوجه به مدل‌های ارائه شده، برای مثال‌های گوناگون چگونه عمل می‌کند.

محاسباتی برای مثال‌های با اندازه متوسط و کوچک برای

از مسئله CSP و MDVRP^۶ را با نام MDCTVRP^۷ ارائه کردند. در این مقاله فرض ویزیت شدن تمامی متقاضیان وجود ندارد. تقاضای هر فرد می‌تواند به صورت مستقیم با ویزیت شدن در تور و یا به صورت غیرمستقیم با پوشش یافتن توسط تور برآورده شود. نویسندگان ۲ فرمول‌بندی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط^۸ (MIP) و ۱ الگوریتم فرآیندکاری هیبریدی که ترکیبی از GRASP^۹ و SA و جستجوی محلی تکراری است را برای این مسئله گسترش دادند.

مطالعه جمالی و بشیری (۱۳۹۹) که به طراحی مدلی جدید در حوزه مدیریت بحران اختصاص یافته است، در آن مسئله پوشش دهی مناطق بحرانی در قالب یک تور بهینه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مدل در شرایطی توسعه یافته که محدودیت منابع و امکانات مانع از حضور مستقیم تیم‌های امدادی در تمامی نقاط آسیب‌دیده است و به همین دلیل تمرکز بر ایجاد مسیری بین برخی شهرهاست که از طریق آن بتوان نیاز روستاهای مجاور را نیز پوشش داد. در این چارچوب، هدف، یافتن کوتاه‌ترین مسیر همیلتونی ممکن بین مجموعه‌ای از شهرها به گونه‌ای است که کلیه روستاهای آسیب‌دیده نیز به طور غیرمستقیم تحت پوشش قرار گیرند. برای حل مدل در مقیاس‌های بزرگ، یک الگوریتم ژنتیک طراحی و پیاده‌سازی شده است. به منظور ارزیابی عملکرد مدل و روش پیشنهادی، چند نمونه کوچک‌مقیاس با استفاده از این الگوریتم حل شده و نتایج با خروجی‌های دقیق نرم‌افزار GAMS مقایسه شده است. بررسی‌ها نشان داده‌اند الگوریتم مذکور از نظر کیفیت جواب و هم‌گرایی بهینه، عملکرد مطلوبی دارد. همچنین این پژوهش به تحلیل حساسیت مدل نیز پرداخته و نشان داده است استفاده از ساختار تور پوششی در مسائل امدادرسانی می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های مؤثرتر در شرایط بحرانی شود. تمامی مقالات ارائه شده در زمینه تور پوششی، در یک سطح به مسائل می‌پردازند و این فرض وجود دارد که افراد باید خود را به تیم‌های مستقر در تور سطح اول برسانند. با این شرایط اگر افرادی دچار حادثه یا مصدوم شده باشند و نتوانند خود را به تیم‌های امداد برسانند، ممکن است جان آن‌ها در خطر باشد.

در ادامه تعدادی از مقالات بررسی می‌شود که در حوزه حمل‌ونقل دو سطحی هستند. تمامی این مقالات در دو سطح بدون در نظر گرفتن مفهوم پوشش به حل مثال‌ها می‌پردازند و این فرض که ممکن است به علت آسیب ناشی از فاجعه رخ داده در هر شهر نتوان پایگاه امدادی با ظرفیت دلخواه برپا کرد، در نظر گرفته نشده است. یکی از اولین و مهم‌ترین مقالات در زمینه مسئله مسیریابی - مکان‌یابی دو سطحی (2E-LRP) توسط

9. Capacitated Facility Location Problem (CFLP)

10. Soft Time Windows

11. Mixed Integer Linear Programming (MILP)

6. Multi Depot Vehicle Routing Problem

7. Multi Depot Covering Tour Vehicle Routing Problem

8. Mixed-Integer Programming (MIP)



مرکز توزیع و ۲۰۰ متقاضی بودند. نتایج محاسباتی نشان دادند الگوریتم GRASP ترکیبی مذکور کارا تر از دیگر روش های ابتکاری بیان شده در این مقاله هستند (نگوین و همکاران، ۲۰۱۲ ب). یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط جدید و یک الگوریتم جست و جوی محلی تکراری^{۱۷} چند شروعی را برای 2E-CLRPD پیشنهاد دادند که دارای چند ویژگی خاص است. این ویژگی ها شامل موارد زیر هستند:

اولین ویژگی یک معیار پذیرش برای راه حل ها است. به طوری که این راه حل ها تنها در صورتی می توانند پذیرفته شوند که اختلافشان از بهترین راه حل شناخته شده از یک مقدار معین تجاوز نکند. دومین ویژگی شامل ۲ روش بهبود یافته بر پایه جست و جوی ۲ همسایه با پیچیدگی متفاوت است و سومین ویژگی شامل یک لیست است که راه حل های بازدید شده اخیر توسط یک الگوریتم TS را ذخیره می کند. در ادامه نتایج الگوریتم ILS چند شروعی با روش path relinking تقویت شد. این الگوریتم همراه با تعدادی روش ابتکاری ساده تر و با کارایی کمتر بر روی تعدادی از مثال های پایه که در مقاله (نگوین و همکاران، ۲۰۱۲ الف) تولید شده بودند، مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین در این مقاله، نویسندگان تنها بهترین مقادیر به دست آمده از تعدادی اجرا را گزارش داده اند. در حالی که هیچ اطلاعاتی در مورد میانگین عملکرد اجراها داده نشده است. مقایسه دو مقاله (نگوین و همکاران، ۲۰۱۲ الف؛ نگوین و همکاران، ۲۰۱۲ ب) نشان می دهد که ILS چند شروعی ترکیب شده با path relinking در مقاله (نگوین و همکاران، ۲۰۱۲ ب) کمی بهتر از الگوریتم GRASP ترکیب شده با learning process و path relinking بیان شده در مقاله (نگوین و همکاران، ۲۰۱۲ الف) است. اسچونگر و همکاران (۲۰۱۲) روش ابتکاری جست و جوی همسایگی متغیر را برای 2E-CLRPD گسترش دادند که این الگوریتم قبلاً توسط پیرکویسر و رایدل (۲۰۱۰) برای مسئله LRP طراحی شده بود.

محاسبات بر روی ۳ مجموعه از مثال های به کار رفته توسط کونتاردو و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله انجام گرفت؛ کارایی الگوریتم VNS در مقایسه با کارایی الگوریتم آزمون شده در مقالات (کانتاردو و همکاران، ۲۰۱۳؛ نگوین و همکاران، ۲۰۱۲ الف؛ نگوین و همکاران، ۲۰۱۲ ب) مورد تأیید قرار گرفت. نتایج محاسباتی نشان دادند الگوریتم VNS پیشنهاد شده بهتر از روش های فرا ابتکاری پیشنهاد شده در (نگوین و همکاران، ۲۰۱۲ الف؛ نگوین و همکاران، ۲۰۱۲ ب) هستند، اما به طور متوسط الگوریتم ALNS ارائه شده در (کانتاردو و همکاران، ۲۰۱۳) عملکرد بهتری داشته است. گویندان و همکاران یک مدل بهینه سازی چند هدفه را برای یک شبکه زنجیره تأمین مواد غذایی فاسد شدنی پیشنهاد دادند. این مدل یک مسئله مسیریابی - مکان یابی ۲ سطحی با پنجره های زمانی برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین و بهینه سازی اهداف

مدل های ۲ شاخصه و ۳ شاخصه انجام گرفت. این مثال ها با استفاده از حل کننده Xpress حل شدند و سپس از نظر زمان محاسباتی، کران ها و کیفیت راه حل ها با هم مقایسه شدند. نتایج محاسباتی نشان دادند مدل ۳ شاخصه کران های پایین بهتری به دست می دهد و کارا تر از مدل ۲ شاخصه برای حل مثال های با اندازه متوسط است.

کونتاردو و همکاران (۲۰۱۲) الگوریتم شاخه و برش^{۱۲} را که یک روش دقیق است برای حل مسئله 2E-LRP پیشنهاد دادند. در این مقاله نویسندگان یک مدل سازی جریان مبنا را پیشنهاد دادند که بر اساس الگوریتم شاخه و برش طراحی شده و قادر است مثال های در اندازه کوچک و متوسط را به صورت بهینه در یک زمان محاسباتی منطقی حل کند. این فرموله بندی ریاضی یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط است که توسط چندین نامساوی معتبر که از مقالات بلنگور و همکاران (۲۰۱۱) و کونتاردو و همکاران (۲۰۱۳) گرفته شده، تقویت شده است. همچنین نویسندگان یک الگوریتم^{۱۳} ALNS را برای حل این مسئله پیشنهاد دادند. هر دو الگوریتم دقیق و فرا ابتکاری ارائه شده بر اساس تجزیه مسئله 2E-CLRP به ۲ مسئله LRP در هر سطح طراحی شده اند. این کار نویسندگان را قادر می کند الگوریتم های پیشنهاد شده را برای مسئله CLRP در هر سطح به کار گیرند و سپس راه حل های جزئی به دست آمده را برای به دست آوردن یک راه حل کلی ترکیب کنند. نتایج محاسباتی که بر روی یک مجموعه بزرگ از مثال ها انجام گرفت حاکی از آن است که الگوریتم ALNS کارا تر از روش های ابتکاری موجود است. علاوه بر این روش شاخه و برش ارائه شده، کران های پایین دقیقی را فراهم می آورد.

نگوین و همکاران (۲۰۱۲ الف) نوعی از مسئله مسیریابی - مکان یابی ۲ سطحی با ظرفیت محدود و دارای یک ایستگاه^{۱۴} که در آن تنها یک ایستگاه با مکان مشخص وجود دارد را بررسی کردند. آن ها این مسئله را با یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح و با استفاده از متغیرهای تصمیم ۲ شاخصه مدل سازی کردند. همچنین آن ها ۴ روش ابتکاری سازنده، یک روش فرا ابتکاری ترکیبی^{۱۵} GRASP که با استفاده از learning process و path relinking تقویت شده است را برای حل این مسئله ارائه کردند. الگوریتم GRASP از ۳ روش ابتکاری تصادفی حریصانه برای تولید راه حل های آزمایشی و ۲ روش VND^{۱۶} برای بهبود آن ها استفاده می کند. نویسندگان این مقاله ۲ مجموعه مثال را برای این مسئله تعریف کردند که شامل حداکثر ۱۰

12. Branch-and-Cut (B&C)

13. Adaptive Large Neighborhood Search

14. Two-Echelon Capacitated Location Routing Problem with a Single Depot (2E-CLRPD)

15. Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

16. Variable Neighborhood Descent

17. Iterated Local Search (ILS)



مسیریابی - مکان‌یابی ۱ سطحی هم‌گرا می‌شود و نهایتاً با برپایی پایگاه‌های امداد با ظرفیت بیشتر و استفاده از وسایل حمل‌ونقل متناظر با آن‌ها، امدادرسانی با هزینه کمتر و سرعت بیشتری انجام خواهد گرفت.

اولیواری و همکاران (۲۰۲۵) مسئله تور پوشش چند وسیله نقلیه را تعریف می‌کنند. هدف تعیین مجموعه‌ای از مسیرها با حداقل هزینه است که محدودیت‌های زیر را برطرف می‌کند:

هر مسیر در انبار شروع و به پایان می‌رسد. هر تسهیلات اجباری دقیقاً ۱ بار در یک مسیر واحد بازدید می‌شود. هر مسیر از امکانات P بیشتر بازدید نمی‌کند و حداکثر هزینه آن q است. برای هر مشتری، حداقل یک تسهیلات اختیاری از مجموعه پوشش آن باید توسط یکی از مسیرها بازدید شود. در این مقاله، یک الگوریتم دقیق شاخه - برش و قیمت. خانواده جدیدی از برش‌های ظرفیت مانند و مجموعه جدیدی از نمونه‌های معیار وجود دارد. نتایج نشان داد الگوریتم پیشنهادی از بهترین روش دقیق از ادبیات عملکرد بهتری دارد و برش‌های پیشنهادی عملکرد آن را با یک مرتبه قدر بهبود می‌بخشد.

در ادامه چند مقاله در زمینه امدادرسانی بحران که مرتبط با این تحقیق هستند بررسی و ویژگی‌های آن‌ها به‌طور خلاصه ذکر می‌شوند.

راس و گوتچر (۲۰۱۴) یک مدل بهینه‌سازی ۳ هدفه را برای یک مسئله مسیریابی - مکان‌یابی انبار جهت امدادرسانی بعد از وقوع حادثه پیشنهاد دادند. در این مسئله چند ایستگاه وجود دارد که باید در ابتدا مکان‌یابی شوند. سپس باید متقاضیان به این ایستگاه‌ها تخصیص یابند و در ادامه مسیریابی به این متقاضیان توسط یک ناوگان از وسایل حمل‌ونقل با ظرفیت یکسان انجام گیرد. تعداد، اندازه و مکان انبارها، تخصیص متقاضیان به انبارها و مسیریابی حمل کالاهای باید به‌گونه‌ای انجام گیرد که حداقل هزینه را دربر داشته باشد. نویسندگان برای حل این مسئله از روش دقیق اپسیلون-محدودیت و الگوریتم VNS^{۲۲} استفاده کرده‌اند. وانگ و همکاران یک مدل مسیریابی - مکان‌یابی عدد صحیح غیرخطی را برای مسئله توزیع امداد ۱ سطحی با در نظر گرفتن مدت‌زمان پیموده‌شده، کل هزینه و قابلیت اطمینان تعریف کردند. به‌طوری‌که در این مدل شکست تقاضا مجاز است. به این معنی که وسایل حمل‌ونقل می‌توانند در آخرین نقطه توقفشان تا فرارسیدن مأموریت بعدی منتظر بمانند بدون اینکه به ایستگاه برگردند. توزیع امداد شامل مکان‌یابی مراکز توزیع، مسیریابی وسایل نقلیه و زمان‌بندی پس از وقوع زلزله است. در این مسئله از یک ناوگان وسایل حمل‌ونقل ناهمگون که دارای ظرفیت و سرعت‌های متفاوت هستند استفاده شده است. هدف این مسئله مشخص کردن یک زیرمجموعه از مراکز توزیع جهت

محیطی و اقتصادی در یک شبکه زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی را تعریف می‌کند. هدف این مدل، شناسایی تعداد و مکان تسهیلات، بهینه‌سازی مقدار مواد حمل‌شده به سطوح پایین و مسیریابی در هر سطح است. همچنین هدف دیگر این مقاله کاهش هزینه‌های مرتبط با کربن ناشی از تماس لاستیک‌های وسایل نقلیه با سطح جاده و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل شبکه است. روش پیشنهادشده شامل یک رویکرد هیبریدی چندهدفه جدید به نام فراابتکاری هیبریدی مبتنی بر جمعیت برای چندهدفه (MHPV)، ترکیبی از ۲ الگوریتم چندهدفه شناخته‌شده به نام الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات چندهدفه^{۱۸} و الگوریتم جست‌وجوی همسایگی متغیر چندهدفه تعدیل‌شده^{۱۹} است. نتایج نشان می‌دهند این رویکرد هیبریدی راه‌حل‌های بهتری در مقایسه با روش‌های دیگر ارائه می‌دهد.

جمالی و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله‌ای به بررسی و حل مسئله امدادرسانی ۲ سطحی نقاط آسیب‌دیده از بحران پرداختند. این مقاله به بررسی مسئله مسیریابی - مکان‌یابی ۲ سطحی ظرفیت‌دار با پنجره‌های زمانی سخت^{۲۰} در شرایط امدادرسانی^{۲۱} برای افرادی که در یک ناحیه بحران‌زده قرار گرفته‌اند، می‌پردازد. در این شرایط افراد باید در اسرع وقت توسط تیم‌های امدادرسان مورد حمایت قرار گیرند و لازمه این امر، یافتن مسیرهای بهینه جهت حمل‌ونقل سریع این تیم‌ها و ارائه کالاهای ضروری موردنیاز به افراد حادثه‌دیده است. هدف این مقاله تعیین مجموعه‌ای بهینه از پایگاه‌های امداد جهت استقرار تیم‌های امدادرسان، مسیریابی بهینه این تیم‌ها از پایگاه اصلی به پایگاه‌های امداد برپاشده و سپس از این پایگاه‌ها به نقاط حادثه‌دیده است. به‌طوری‌که کل تقاضا برآورده شود و هزینه کل که شامل مجموع هزینه برپا شدن پایگاه‌های امداد و هزینه‌های حمل‌ونقل هستند، حداقل شود. نتایج حاصل از حل مسئله نشان می‌دهند الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، الگوریتمی کارا و کاربردی است. این مسئله با مسائل مسیریابی - مکان‌یابی ۱ سطحی و تور پوششی در شرایط امدادرسانی طی چندین مثال و در شرایط یکسان مقایسه و نتیجه‌گیری شد این مسئله به مراتب دارای هزینه کمتری بوده و بنابراین کارتر است. در ادامه به تحلیل حساسیت مسئله از نظر ظرفیت وسایل حمل‌ونقل، ظرفیت پایگاه‌های امداد و تعداد این پایگاه‌ها پرداخته و نتیجه‌گیری شد با کاهش ظرفیت وسایل حمل‌ونقل سطح دوم، مسئله امدادرسانی ۲ سطحی به مسئله تور پوششی هم‌گرا می‌شود، همچنین با افزایش ظرفیت پایگاه‌های امداد و استفاده از وسایل حمل‌ونقل بزرگ‌تر، این مسئله به مسئله

18. Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO)

19. Adapted Multi-Objective Variable Neighborhood Search (AMOVNS)

20. Two-Echelon Capacitated Location Routing Problem with Hard Time Windows (2E-CLRPHTW)

21. Relief

22. Variable Neighborhood Search (VNS)

[illegible]



قرار نگرفته‌اند.

بیان مسئله و مدل‌سازی ریاضی آن

فرض کنید مجموعه معینی از رؤوس وجود دارند که باید در تور قرار گیرند. همچنین رؤوسی موجودند که می‌توانند جهت بازدید در تور قرار گیرند. مجموعه سومی از رؤوس نیز موجودند که باید حداقل به وسیله یک شهر ویزیت شده، پوشش یابند. منظور از پوشش این است که این رؤوس باید در یک فاصله از پیش تعیین شده نسبت به شهر ویزیت شده‌ای در تور قرار گیرند. حال اگر در یک منطقه جغرافیایی، حادثه‌ای طبیعی نظیر سیل، زلزله و غیره رخ داده باشد و هدف امدادرسانی به افراد حادثه‌دیده با استفاده از مسئله تور پوششی کلاسیک باشد، افراد حادثه‌دیده باید خود را به نقاط ویزیت شده جهت دریافت خدمات برسانند. در این شرایط ممکن است به هر علتی، مثلاً محدودیت زمانی، دوری راه، آسیب دیدگی افراد حادثه‌دیده و غیره، تعدادی از افراد حادثه‌دیده نتوانند خود را به پایگاه‌های امداد برپا شده در تور اصلی برسانند و خدمت موردنظرشان را دریافت کنند و قطعاً در این حالت جان انسان‌های زیادی ممکن است در خطر باشد.

زمانی که ظرفیت پایگاه‌ها حداکثر برابر با مقدار تقاضای کل افراد حادثه‌دیده باشد، افزایش ظرفیت پایگاه‌ها مجاز است و میتوان در آن پایگاه‌ها از وسایل حمل و نقل متناظر با ظرفیت آن پایگاه‌ها بهره برد و در این صورت امدادرسانی با هزینه کمتر و سرعت بیشتری انجام خواهد گرفت، ولی اگر با یک برنامه‌ریزی نادرست، پایگاه‌های امداد با ظرفیت بیشتر از حد نیاز برپا شوند، با آنکه این کار هزینه امدادرسانی بیشتری دربر دارد، در سرعت امدادرسانی تأثیر چندانی نمی‌گذارد؛ بنابراین پایگاه‌های امداد باید با ظرفیت بهینه و متناسب با میزان تقاضای افراد حادثه‌دیده برپا گردند (جمالی و همکاران، ۲۰۱۵ الف).

از آنجایی که یکی از اهداف اصلی امدادرسانی، کاهش مرگ و میر افراد حادثه‌دیده است، نمی‌توان در چنین شرایطی انتظار داشت مردم بحران‌زده، خود را به تیم‌های امداد که در پایگاه‌های شهری مستقر شده‌اند، جهت دریافت خدمت برسانند. بنابراین استفاده از تور سطح دوم برای امدادرسانی مستقیم به افراد حادثه‌دیده لازم به نظر می‌رسد. برای درک بهتر مسئله فرض کنید در یک منطقه جغرافیایی، تعدادی شهر و روستا وجود دارد که در شرایط بحرانی بعد از وقوع حادثه قرار دارند. شهرها به ۲ دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول شامل شهرهایی هستند که حادثه دیده‌اند و باید حتماً در تور سطح اول قرار گیرند و در ضمن باید در آن‌ها پایگاه‌های امداد جهت خدمت‌رسانی به روستاهای حادثه‌دیده برپا شود.

دسته دوم شامل شهرهایی هستند که حادثه ندیده‌اند و می‌توانند در تور سطح اول به عنوان پایگاه امدادرسانی جهت امدادرسانی به نقاط حادثه‌دیده قرار گیرند. همه پایگاه‌های امداد دارای ظرفیت محدود و هزینه بازگشایی هستند.

بازگشایی، تخصیص نواحی بحران‌زده و وسایل حمل و نقل به مراکز توزیع و برنامه‌ریزی مسیرها مراکز توزیع به نواحی حادثه‌دیده با توجه به ظرفیت وسایل حمل و نقل و مجاز بودن شکست تقاضا است. نویسندگان این مقاله از ۲ روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامقلوب نسخه ۲ (NSGA-II و NSDA) برای حل مدلشان استفاده کردند. این ۲ روش در عملگرهای تقاطع و جهش با هم تفاوت دارند. برای ارزیابی کارایی ۲ روش پیشنهاد شده، ۵ مجموعه از مثال‌ها در اندازه‌های مختلف به صورت تصادفی تولید و توسط مدل‌های پیشنهادی حل شد. مقایسه جواب‌ها نشان داد روش NSGA-II در اکثر موارد نسبت به روش NSDA عملکرد بهتری داشته است.

وانگ و ژانگ (۲۰۰۵) برای بهینه‌سازی مکان مراکز امداد مدلی را براساس احتمال وقوع فاجعه، توابع هدف پراکندگی فاجعه و امدادرسانی ارائه کردند. آن‌ها یک الگوریتم ژنتیک (GA) را با استفاده از کدهای پایتری و در نظر گرفتن یک روش ابتکاری حریصانه برای محاسبه تابع هدف گسترش دادند. نتایج محاسباتی که بر روی مثال‌ها انجام گرفت نشان داد الگوریتم مذکور دارای عملکرد رضایت‌بخشی است. **هان و ژانگ (۲۰۰۹)** یک مسئله مکان‌یابی تسهیلات اورژانسی را گسترش دادند که به عنوان یک مسئله برنامه‌ریزی خطی مدل‌سازی شد. آن‌ها یک الگوریتم ژنتیک (GA) که در آن هر کروموزوم از شماره سریال تسهیلات اورژانسی موردنظر تشکیل شده بود و تنوع جمعیت به واسطه استفاده از یک عملگر احتمالی جهش پشتیبانی می‌شد را ارائه کردند. نتایج آزمایشات نشان دادند کارایی الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده بسیار بیشتر از کارایی الگوریتم‌های دیگر است. **جدول شماره ۱** به طور خلاصه، ویژگی‌های مطالعات انجام‌شده در حوزه مسائل تور پوششی، مسیریابی - مکان‌یابی دو سطحی و امدادرسانی را به همراه خلاصه‌ای تحقیقاتی نشان می‌دهد.

هدف پاشاپور و همکاران (۲۰۲۴) کمک به سازمان‌های بشردوستانه در بهینه‌سازی مقرون به صرفه لجستیک امکانات سیار با ظرفیت مورد استفاده برای ارائه کمک‌های امدادی به پناهندگان در حال عبور در یک محیط چند دوره بود. ۱ مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط فرموله شد و ۲ روش راه حل برای حل این مشکل پیچیده پیشنهاد شد: یک رویکرد تجزیه سریع بندرز به عنوان یک روش حل دقیق و یک الگوریتم ریاضی که بر یک دستور کار اصلاح و بهینه‌سازی پیشرفته تأکید دارد.

با مشاهده **جدول شماره ۱**، واضح است مدل‌سازی مسئله تور پوششی ۲ سطحی در شرایط امدادرسانی، امدادرسانی در دو سطح و به صورت هم‌زمان به نقاط حادثه‌دیده، در نظر گرفتن شعاع پوششی متفاوت با توجه به امکانات موجود در پایگاه‌ها، طراحی الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل این مسئله در اندازه‌های واقعی و در نظر گرفتن چند وسیله نقلیه در سطح اول و دوم در صورت لزوم از نکاتی هستند که تاکنون مورد مطالعه

اول در پایگاه اصلی موجودند. هر وسیله نقلیه سطح اولی یک زیرمجموعه از پایگاه‌های امداد را می‌پیماید و سپس به پایگاه مرکزی برمی‌گردد. به محض رسیدن وسیله نقلیه سطح اول به پایگاه‌های امداد و تأمین شدن مقدار تقاضای تخصیص یافته به آن پایگاه، وسیله نقلیه سطح دوم از آن پایگاه حرکت خود را آغاز می‌کند. مسیری را که برای ارائه خدمت و توزیع مواد امدادی به افراد حادثه‌دیده در نظر گرفته شده است را می‌پیماید و سپس به همان پایگاه بر می‌گردد. در این مسئله وسایل نقلیه سطح اول ظرفیت بیشتری نسبت به وسایل نقلیه سطح دوم دارند. هر پایگاه امداد برپاشده باید دقیقاً توسط یک وسیله نقلیه سطح اول بازدید شود. به‌طور مشابه هر نقطه متقاضی دریافت خدمات امداد باید دقیقاً توسط یک وسیله نقلیه سطح دوم خدمت‌رسانی شود. بنابراین باید مقدار تقاضای امدادی هر نقطه حادثه‌دیده، کوچک‌تر از ظرفیت هر یک از وسایل نقلیه سطح دوم باشد.

باتوجه به توضیحات بیان‌شده می‌توان نتیجه گرفت مسئله موردبررسی در این تحقیق، تعمیمی از مسائل تور پوششی^{۳۳} و مسئله مسیریابی مکان‌یابی^{۳۴} سطحی^{۳۵} در شرایط امدادرسانی است به همین علت این مسئله با عنوان مسئله مسیریابی - مکان‌یابی تور پوششی^{۳۶} سطحی^{۳۷} در شرایط امدادرسانی نام‌گذاری می‌شود که به‌اختصار در این مقاله مسئله تور پوششی دو سطحی نامیده می‌شود. نوآوری‌های تحقیق حاضر را می‌توان در موارد زیر دانست:

مدل‌سازی مسئله تور پوششی دو سطحی در شرایط

امدادرسانی در سطح دوم باتوجه به امکانات آن سطح، صرفاً به نقاط آسیب‌دیده‌ای امکان‌پذیر است که در فاصله کمتری از یک شعاع معین نسبت به پایگاه امداد متناظر قرار داشته باشند. در این مقاله امدادرسانی از پایگاه مرکزی به شهرها و سپس از شهرها به روستاهای حادثه‌دیده در دو سطح و به‌صورت هم‌زمان انجام می‌گیرد. به این صورت که در سطح اول پایگاه‌های امداد شهری برپا و تجهیز می‌شوند، به محض تجهیز شدن این پایگاه‌ها، امدادرسانی از آن‌ها به روستاهای حادثه‌دیده‌ای که تحت پوشش آن‌ها هستند و به آن‌ها تخصیص یافته‌اند توسط وسایل نقلیه امدادی مستقر در آن‌ها صورت می‌گیرد. این کار باعث می‌شود که تورها به‌طور هم‌زمان در دو سطح تشکیل شوند و امدادرسانی با سرعت بیشتری انجام گیرد.

پایگاه مرکزی موجود در این مسئله دارای امکاناتی نظیر وسایل حمل‌ونقل جهت امدادرسانی و مواد موردنیاز افراد حادثه‌دیده است. فاصله پوششی شهرها با یکدیگر متفاوت است و هر شهر فقط می‌تواند به روستاهایی که در فاصله پوششی آن شهر قرار دارند، امدادرسانی کند. هدف این مقاله تعیین مجموعه‌ای بهینه از پایگاه‌های امداد جهت استقرار تیم‌های امداد رسان و تجهیز آن‌ها توسط پایگاه امداد مرکزی، مسیریابی بهینه این تیم‌ها از پایگاه مرکزی به پایگاه‌های امداد برپاشده و سپس از این پایگاه‌ها به روستاهای حادثه‌دیده است. به‌طوری‌که نیاز امداد تمامی نقاط حادثه‌دیده برآورده شود و هزینه کل که شامل مجموع هزینه برپا شدن پایگاه‌های امداد و هزینه‌های حمل‌ونقل هستند، حداقل شود.

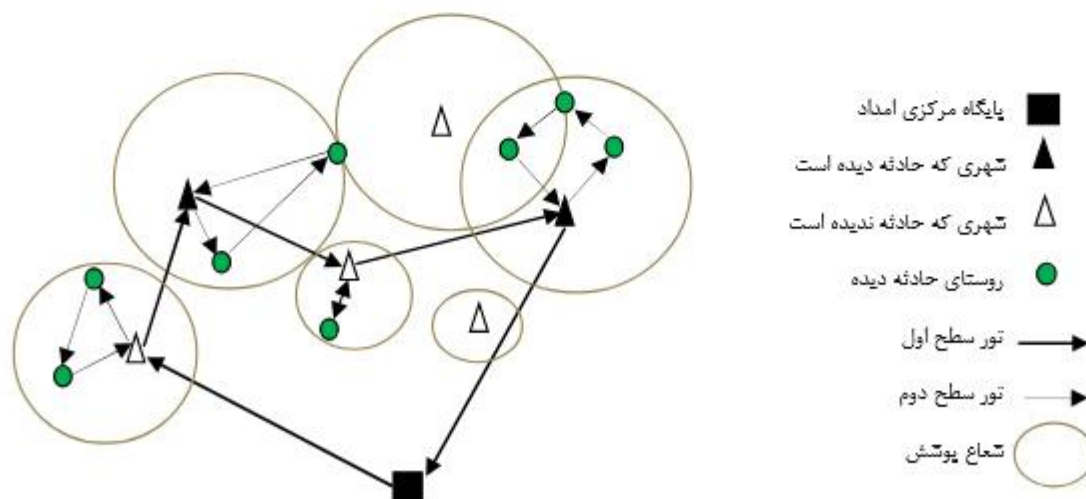
این مسئله دارای دو سطح است: سطح اول شامل پایگاه اصلی و پایگاه‌های امداد برپاشده و سطح دوم شامل این پایگاه‌ها و نقاط حادثه‌دیده است. در هر سطح، یک ناوگان از وسایل نقلیه مشابه با ظرفیت‌های یکسان و معین وجود دارد. وسایل حمل‌ونقل سطح

23. Covering Tour Problem (CTP)

24. Two-Echelon Location Routing Problem (2E-LRP)

25. Two-Echelon Relief Covering Tour Location Routing Problem (2E-RCTLRP)

23. Roulette Wheel



تصویر ۱. یک راه‌حل شدنی برای مسئله با مشخصات $|crs|=1$, $|RS|=6$, $|T|=3$, $|D|=8$



1.

$$(A_1 = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in RS \cup \{crs\}, i < j\})$$

امدادرسانی در سطح دوم باتوجه به امکانات آن سطح، صرفاً به نقاط آسیب‌دیده‌ای امکان‌پذیر است که در فاصله کمتری از یک شعاع معین نسبت به پایگاه امداد متناظر قرار داشته باشند (فرمول شماره ۲).

2.

$$(A_2 = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in RS \cup D, i < j\})$$

هدف از این مسئله، کمینه کردن هزینه‌های مربوطه، تعیین مکان‌های مناسب احداث پایگاه‌های امداد، تعیین و برنامه‌ریزی تورهای وسایل نقلیه در هر سطح است. به‌طوری که همه تقاضاها برآورده شوند. در این مقاله فرض شده است که پایگاه مرکزی امداد و پایگاه‌های امداد برپاشده می‌توانند کل مقدار تقاضا را برآورده کنند. یک راه‌حل شدنی شامل زیرمجموعه‌ای از پایگاه‌های امداد برپاشده و یک زیرمجموعه از مسیرهای سطح اول و دوم است. در ضمن محدودیت‌های زیر باید اعمال شوند:

هر نقطه حادثه‌دیده باید توسط تنها یک وسیله نقلیه سطح دوم خدمت‌رسانی شود و هر مرکز پایگاه امداد برپاشده باید تنها توسط یک وسیله نقلیه سطح اول تأمین شود. کل مقدار کالای تحویل‌شده توسط یک وسیله نقلیه نمی‌تواند از ظرفیت آن وسیله تجاوز کند. هر مسیر سطح دوم باید از یک پایگاه امداد برپاشده شروع شده و در همان پایگاه پایان یابد. کل مقدار کالای دریافت‌شده توسط یک پایگاه امداد باید به‌طور کامل به متقاضیان تحویل داده شود (ذخیره‌سازی مجاز نیست). تابع هدف که کل هزینه سیستم است و شامل هزینه استقرار پایگاه‌های امداد، هزینه‌های ثابت وسایل نقلیه استفاده‌شده و هزینه‌های مسیرهای سطح اول و سطح دوم، باید حداقل شود. برای بیان مدل‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط مسئله موردتحقیق، ابتدا نمادها و پارامترهای به‌کاررفته در مدل ریاضی تشریح می‌شوند. سپس با افزودن ملاحظات مربوط به محدودیت‌های پوشش به مسئله مسیریابی - مکان‌یابی ۲ سطحی ارائه‌شده توسط نگویین و همکاران (۲۰۱۲ ب) مسئله موردتحقیق مدل‌سازی می‌شود.

مجموعه‌های مسئله

V مجموعه کل رئوس برابر با $RS \cup D \cup \{crs\}$

RS مجموعه کل شهرها

D مجموعه روستاهای حادثه‌دیده

T مجموعه شهرهای حادثه‌دیده

A_1 مجموعه مسیرهای سطح اول

A_2 مجموعه مسیرهای سطح دوم

امدادرسانی، امدادرسانی در دو سطح و به‌صورت همزمان به نقاط حادثه‌دیده، در نظر گرفتن شعاع پوششی متفاوت باتوجه به امکانات موجود در پایگاه‌ها، طراحی الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل این مسئله در اندازه‌های واقعی و تحلیل حساسیت آن.

تصویر شماره ۱ راه‌حلی شدنی را برای یک مثال (مثال ۴ جدول شماره ۷) از مسئله موردبررسی در این تحقیق نشان می‌دهد. این مثال شامل ۱۵ رأس است که از این ۱۵ رأس، یک پایگاه امداد مرکزی (crs)، ۶ شهر (RS) که از این شهرها، ۲ شهر باید در تور قرار گیرند و ۴ شهر دیگر می‌توانند در تور واقع شوند. همچنین ۸ نقطه حادثه‌دیده وجود دارد (D). همه نقاط حادثه‌دیده از طریق پایگاه‌های امداد برپاشده در شهرهای قرارگرفته در تور امدادرسانی شده‌اند. همچنین در این شکل نحوه امدادرسانی از پایگاه اصلی به پایگاه‌های برپاشده در تور سطح اول و سپس امدادرسانی از این پایگاه‌ها به نقاط حادثه‌دیده در سطح دوم به ترتیب و به‌طور همزمان نمایش داده شده‌اند.

مسئله تور پوششی دو سطحی در شرایط امدادرسانی بر روی گراف کامل $G=(V,E)$ که در آن V برابر با $RS \cup D \cup \{crs\}$ مجموعه رئوس و E مجموعه یال‌هاست، تعریف می‌شود. RS مجموعه پایگاه‌های امدادرسان شهری است که به ۲ دسته تقسیم می‌شود: دسته اول شامل آن دسته از پایگاه‌ها است که لزوماً باید برپا شوند و دسته دوم شامل پایگاه‌هایی است که می‌توانند جهت امدادرسانی به نقاط حادثه‌دیده، برپا شوند. رأس crs که بیانگر پایگاه مرکزی امدادرسانی است، باید در تور قرار گیرد و بنابراین به مجموعه T تعلق دارد ($crs \in T$). مجموعه T شامل برخی از رئوس مجموعه RS و پایگاه مرکزی است. بنابراین داریم $T \subseteq RS \cup \{crs\}$. مجموعه D شامل نقاط حادثه‌دیده‌ای است که باید توسط پایگاه‌های امداد برپاشده امدادرسانی شوند.

توجه شود که هر نقطه حادثه‌دیده فقط می‌تواند توسط پایگاه‌هایی امدادرسانی شود که در فاصله پوششی آن قرار داشته باشند. این فاصله پوششی برای رئوس مجموعه RS باتوجه به میزان امکانات موجود در آن‌ها متفاوت است. در این مسئله مجموعه‌ای از متقاضیان دریافت امداد (نقاط حادثه‌دیده)، مجموعه‌ای از نقاط (شهرهای حادثه‌دیده) که باید در آن‌ها پایگاه امداد برپا شود و مجموعه‌ای از نقاط (شهرهای آسیب‌دیده) که می‌توان در آن‌ها پایگاه‌های امدادرسانی برپا کرد، وجود دارد. مقدار تقاضای نقاط آسیب‌دیده و ظرفیت پایگاه‌ها از ابتدا مشخص هستند. وسایل حمل‌ونقل کالا در هر سطح، مشابه و دارای ظرفیتی یکسان هستند. همچنین این مسئله شامل ۲ مجموعه از مسیرهای وسایل حمل‌ونقل نیز هست. مسیرهای سطح اول بر روی مجموعه RS تعریف می‌شوند به این صورت که در شهرهای مجموعه T حتماً باید پایگاه‌های امداد برپا شوند و در بقیه شهرها می‌توان پایگاه‌های امداد جهت خدمت‌رسانی به نقاط حادثه‌دیده برپا کرد (فرمول شماره ۱).



4.

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{s \in RS} O_s z_s + \sum_{k \in K} \sum_{s \in RS} F x_{cts,s}^k + \\ & \sum_{k \in K} \sum_{s \in RS} F x_{s,cts}^k + \sum_{k \in K} \sum_{s \in RS} \sum_{j \in RS} F \\ & \sum_{i \in RS} \sum_{s \in RS} \sum_{d \in D} G y_{id}^i + \sum_{i \in L} \sum_{d \in D} \sum_{j \in D} G y_{ij}^i + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_1} c_{ij} x_{ij}^k + \sum_{i \in L} \sum_{(i,j) \in A_2} c_{ij} y_{ij}^i \end{aligned}$$

Subject to:

5.

$$\sum_{i \in RS \cup D} \sum_{l \in L} y_{li}^l = 1, \quad \forall d \in D$$

6.

$$\sum_{j \in RS \cup D} y_{ji}^l = \sum_{j \in RS \cup D} y_{ij}^l, \quad \forall i \in RS \cup D, l \in L$$

7.

$$\sum_{s \in RS} \sum_{d \in D} y_{sd}^l \leq 1, \quad \forall l \in L$$

8.

$$\sum_{i \in D} \sum_{j \in RS \cup D} d_{ij} y_{ij}^l \leq R, \quad \forall l \in L$$

9.

$$\sum_{i \in D} \sum_{j \in D} y_{ij}^l \leq |D| - 1, \quad \forall l \in L, D \subseteq D, |D| \geq 2$$

10.

$$\sum_{i \in D} y_{si}^l + \sum_{i \in RS \cup D} y_{ij}^l \leq 1 + u_{sj}, \quad \forall s \in RS, j \in D, l \in L$$

11.

$$\sum_{s \in RS} u_{sj} = 1, \quad \forall j \in D$$

12.

$$\sum_{i \in D} d_{ij} u_{sj} \leq A_s z_s, \quad \forall s \in RS$$

13.

$$\sum_{i \in RS \cup L \cup A_1} \sum_{k \in K} x_{si}^k = z_s, \quad \forall s \in RS$$

14.

$$\sum_{j \in RS \cup L \cup A_1} x_{ij}^k = \sum_{j \in RS \cup L \cup A_1} x_{ji}^k, \quad \forall k \in K, i \in RS \cup \{crs\}$$

15.

$$\sum_{i \in RS} \sum_{j \in RS} x_{ij}^k \leq |RS| - 1, \quad \forall k \in K, RS \subseteq RS, |RS| \geq 2$$

 K مجموعه وسایل نقلیه سطح اول L مجموعه وسایل نقلیه سطح دوم

3.

$$S_i = \{s \in RS | dis_{si} \leq r_s\}$$

فرمول شماره ۳ حاوی رئوسی از مجموعه RS است که می‌توانند برای پوشش رأس $i \in D$ در فاصله پوششی r_s استفاده شوند.

پارامترهای مسئله

 O_s هزینه برپا شدن پایگاه امداد s A_s ظرفیت پایگاه امداد s d_j مقدار تقاضای امدادی روستای j Q ظرفیت وسایل نقلیه سطح اول R ظرفیت وسایل نقلیه سطح دوم F هزینه ثابت استفاده از وسایل نقلیه سطح اول G هزینه ثابت استفاده از وسایل نقلیه سطح دوم r_s شعاع پوششی پایگاه امداد s dis_{sd} فاصله نقطه $s \in RS$ و $d \in D$ c_{ij} هزینه طی مسافت از گره i به گره j

متغیرهای مسئله

x_{ij}^k اگر وسیله نقلیه سطح اول k کمان (i, j) را پیموده باشد ۱ و در غیر این صورت صفر است.

y_{ij}^l اگر وسیله نقلیه سطح دوم l کمان (i, j) را پیموده باشد ۱ و در غیر این صورت صفر است.

z_s اگر پایگاه امداد $s \in RS$ برپا شده باشد ۱ و در غیر این صورت صفر است.

u_{sd} اگر پایگاه امداد $s \in RS$ به نقطه حادثه‌دیده $d \in D$ خدمت‌رسانی کرده باشد ۱ و در غیر این صورت صفر است.

متغیر نامنفی b_s^k مقدار کالای تحویل داده‌شده به پایگاه امداد $s \in RS$ توسط وسیله نقلیه $k \in K$ را نشان می‌دهد.

باتوجه به موارد ذکر شده، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط مسئله تور پوششی دو سطحی در شرایط امدادرسانی به صورت فرمول‌های شماره ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶ و ۲۷ ارائه می‌شود:



وجود داشته باشد که پایگاه امداد S را ترک کرده و به نقطه حادثه‌دیده J رسیده باشد. همچنین u_{sj} می‌تواند مساوی ۱ باشد حتی اگر هیچ وسیله نقلیه‌ای از S به J نرفته باشد. محدودیت ۸ دبرای تخصیص هر نقطه حادثه‌دیده به ۱ پایگاه امداد به کار می‌رود. محدودیت ۹ بیان می‌دارد اگر پایگاه امداد S برپا نشده باشد آن‌گاه هیچ نقطه حادثه‌دیده، به آن تخصیص نمی‌یابد و در غیر این صورت اگر پایگاه امداد SS برپا شده باشد، آن‌گاه کل تقاضای تخصیص یافته به آن نمی‌تواند از ظرفیتش تجاوز کند.

محدودیت‌های ۱۰ تا ۱۷ مربوط به سطح اول هستند. محدودیت ۱۰ بیان می‌دارد که هر پایگاه امداد برپاشده باید توسط ۱ وسیله نقلیه سطح اول بازدید شود. محدودیت ۱۱ یک سفر پیوسته را برای هر وسیله نقلیه به کار گرفته‌شده در سطح اول تضمین می‌کند. محدودیت ۱۲ مربوط به حذف زیرتورها است. محدودیت ۱۳ مقدار جریان را در هر پایگاه امداد S نشان می‌دهد به این صورت که کل مقدار کالای آورده‌شده به پایگاه امداد S توسط وسایل نقلیه سطح اول باید با کل تقاضای تخصیص یافته به این پایگاه امداد برابر باشد (ذخیره‌سازی مجاز نیست). محدودیت ۱۴ مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه سطح اول است. محدودیت ۱۵ بیان می‌دارد اگر وسیله نقلیه k پایگاه امداد S را بازدید نکرده باشد، مقدار کالای ارائه‌شده توسط وسیله نقلیه k به پایگاه امداد S باید صفر باشد. محدودیت ۱۶ تضمین می‌کند هر نقطه حادثه‌دیده فقط به ۱ پایگاه‌های امدادی که در فاصله پوششی آن قرار دارد تخصیص یابد. محدودیت ۱۷ تضمین می‌کند در نقاط مجموعه T حتماً باید پایگاه امداد برپا شود. محدودیت‌های ۱۸ تا ۲۳ متغیرهای تصمیم مسئله را تعریف می‌کنند.

روش حل مسئله

برای حل این مسئله از روش‌های دقیق و فراابتکاری در این مقاله استفاده شده است. این مسئله یک مسئله Np-hard می‌باشد، زیرا تعمیمی از مسائل شناخته‌شده Np-hard مانند مسئله مسیریابی - مکان‌یابی ۲ سطحی (2E-LRP) تعریف شده در مقاله (نگوین، پرینس و پرودون، ۲۰۱۲) و مسئله تور پوششی بیان شده در مقاله (ژاندر و همکاران، ۱۹۹۷) است. در ابتدا مسئله در ابعاد کوچک توسط نرم‌افزار بهینه‌سازی Gams به صورت دقیق حل می‌شود. از آنجایی که این مسئله در حوزه مسائل Np-hard قرار دارد و با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله، روش‌های دقیق قادر به حل آن‌ها در یک زمان منطقی و قابل قبول نیستند، برای ابعاد بزرگ‌تر مسئله از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. به این صورت مسئله مذکور در نرم‌افزار متلب^{۲۶} کدنویسی شده و سپس حل شده است. با مقایسه جواب‌ها بعد از حل مسئله در ابعاد کوچک، با استفاده از هر دو روش دقیق و فراابتکاری مشاهده می‌شود جواب‌ها کاملاً یکسان هستند. بنابراین عملکرد الگوریتم

$$16. \quad \sum_{k \in K} b_s^k = \sum_{i \in D} d_i u_{si}, \quad \forall s \in RS$$

$$17. \quad \sum_{s \in RS} b_s^k \leq Q, \quad \forall k \in K$$

$$18. \quad b_s^k \leq Q \times \sum_{i \in RS \cup \{crs\}} x_{si}^k, \quad \forall s \in RS, k \in K$$

$$19. \quad \sum_{s \in S_i} u_{si} = 1, \quad \forall i \in D, S_i = \{s \in RS | d_{si} \leq r_i\}$$

$$20. \quad z_s = 1, \quad \forall s \in T$$

$$21. \quad x_{ij}^k \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A_1, k \in K$$

$$22. \quad y_{ij}^l \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A_2, l \in L$$

$$23. \quad z_s \in \{0, 1\}, \quad \forall s \in RS$$

$$24. \quad z_s = 1, \quad \forall s \in T$$

$$25. \quad u_{si} \in \{0, 1\}, \quad \forall s \in RS, i \in D$$

$$26. \quad b_s^k \geq 0, \quad \forall s \in RS, k \in K$$

تابع هدف ۱ شامل هزینه‌های برپایی پایگاه‌های امداد، هزینه‌های ثابت استفاده از وسایل نقلیه سطح اول و دوم و هزینه‌های مسیریابی هر دو سطح است. محدودیت‌های ۲ تا ۹ مربوط به سطح دوم است. محدودیت ۲ تضمین می‌کند که تمام نقاط حادثه‌دیده بازدید شوند. محدودیت ۳ تضمین می‌کند یک وسیله نقلیه سطح دوم به پایگاه امداد اولیه‌اش برگردد. در محدودیت ۴، هر وسیله نقلیه سطح دومی حداکثر از یک پایگاه امداد حرکت می‌کند. محدودیت ۵ مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه سطح دوم است. محدودیت ۶ مربوط به حذف زیرتورها است. محدودیت ۷ تضمین می‌کند پایگاه امداد S به نقطه حادثه‌دیده J خدمت‌رسانی می‌کند ($u_{sj} = 1$). اگر یک وسیله نقلیه $l \in L$



جدول ۲. یک راه حل ایتنایی و نشدنی برای مسئله

شهر	گره ۱	گره ۲	گره ۳	گره ۴	گره ۵
۱	۲	۸	۹	۱۰	۲
۲	۳	۱۱	۳		
۳	۴	۱۳	۱۴	۴	
۴	۵	۵			
۵	۶	۱۲	۱۵	۶	
۶	۷	۹	۱۰	۱۵	۷

جدول ۳. نحوه تشکیل یک راه حل شدنی برای مسئله

شهر	گره ۱	گره ۲	گره ۳	گره ۴	گره ۵
۱	۲	۸	۹	۱۰	۲
۲	۳	۱۱	۳		
۳	۴	۱۳	۱۴	۴	
۴	۵	۵			
۵	۶	۱۲	۱۵	۶	
۶	۷	۹	۱۰	۱۵	۷

شهر	گره ۱	گره ۲	گره ۳	گره ۴
۱	۲	۸	۲	
۲	۳	۱۱	۳	
۳	۴	۱۳	۱۴	۴
۴	۵	۵		
۵	۶	۱۲	۱۵	۶
۶	۷	۹	۱۰	۷

شهر	گره ۱	گره ۲	گره ۳	گره ۴
۱	۲	۸	۲	
۲	۳	۱۱	۳	
۳	۴	۱۳	۱۴	۴
۴	۶	۱۲	۱۵	۶
۵	۷	۹	۱۰	۷



جدول ۴. والد اول

شهر	گره ۱	گره ۲	گره ۳	گره ۴
۱	۶	۱۲	۶	
۲	۴	۱۳	۱۴	۴
۳	۲	۸	۹	۲
۴	۷	۱۰	۱۵	۷
۵	۳	۱۱	۳	

جدول ۵. والد دوم

شهر	گره ۱	گره ۲	گره ۳	گره ۴
۱	۲	۸	۲	
۲	۳	۱۱	۳	
۳	۴	۱۳	۱۴	۴
۴	۶	۱۲	۱۵	۶
۵	۷	۹	۱۰	۷

ژنتیک مورد تأیید و قابل استفاده برای مثال‌های در ابعاد بزرگ است.

الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسئله

نمایش جواب و تولید جواب شدنی

برای مسئله مورد بررسی در این تحقیق یک جواب شدنی، شامل مکان‌یابی پایگاه‌های امدادرسانی و مسیریابی وسایل حمل و نقل در دو سطح است. در سطح اول مسئله، پایگاه‌های امداد برپاشده در شهرها توسط پایگاه مرکزی امداد و به وسیله وسایل نقلیه مستقر در این پایگاه تأمین می‌شوند. در سطح دوم، روستاهای بحران‌زده تخصیص یافته به هر پایگاه امداد، توسط وسایل نقلیه مستقر در آن پایگاه‌ها امدادرسانی می‌شوند. برای توضیح بیشتر، روند الگوریتم ژنتیک برای مثال ۴ جدول شماره ۷ تشریح می‌شود. این مثال شامل ۱۵ رأس است که از این ۱۵ رأس، ۱ رأس مربوط به پایگاه امداد مرکزی، ۶ رأس نشان‌دهنده شهرها ($|RS| = 6$) و ۸ رأس مربوط به نقاط حادثه‌دیده (روستاها) هستند ($|D| = 8$). از مجموع ۶ شهر، شهرهای ۲ و ۶ باید در تور قرار گیرند و ۴ شهر دیگر می‌توانند جهت امدادرسانی به روستاها در تور قرار گیرند. بنابراین باتوجه به اینکه پایگاه مرکزی امداد نیز در تور سطح اول قرار می‌گیرد، ۳ رأس باید در تور قرار گیرد ($|T| = 3$). ماتریس Subtours را در نظر بگیرید؛ تعداد

سطرهای این ماتریس برابر با تعداد شهرها و تعداد ستون‌های این ماتریس برابر با حداکثر تعداد روستاهای تخصیص داده شده به یک شهر است. بنابراین ماتریس Subtours به این صورت ساخته می‌شود: در ابتدا عنصر اول هر سطر از ماتریس برابر با شماره ۱ شهر قرار می‌گیرد و سپس روستاها باتوجه به شعاع پوشش شهرها به آن‌ها تخصیص می‌یابند:

27.

$$\forall i \in N_{RS}, j \in N_D; \text{ If } dis(RS_i, D_j) \leq r_i \Rightarrow$$

$$Subtours(i, t) = D_j ; \quad t = 2, 3, \dots$$

سپس در انتهای هر سطر از ماتریس Subtours شهری که در ابتدای آن سطر قرار گرفته بود، قرار داده می‌شود. به عنوان مثال، ماتریس Subtours می‌تواند به صورت جدول شماره ۲ باشد.

درواقع ماتریس Subtours شامل زیرتورهای مسئله است که از هر پایگاه امداد شروع شده و در همان پایگاه خاتمه می‌یابند. ماتریس Subtours باید دارای ۲ ویژگی باشد: اولاً تمامی روستاها در این ماتریس وجود داشته باشند و ثانیاً هر روستا فقط ۱ بار ظاهر شده باشد. شرط اول بیان می‌کند که تمامی روستاها توسط شهرها پوشش یافته‌اند و شرط دوم بیانگر آن است که هر روستا فقط به یک شهر تخصیص یافته باشد. در ماتریس مذکور شرط اول برقرار است، اما در مورد شرط دوم باید گفت روستاهای ۹ و



Newtour1=1-6-12-6-4-13-4-2-8-2-7-9-10-15-7-3-11-3-1

Newtour2=1-2-8-9-2-3-11-3-4-13-4-4-6-12-15-6-7-10-7-1

حال تورهای فرزند به وجود آمده قطعاً شدنی نیز هستند. برای تسریع در رسیدن به بهترین تور، می‌توان از عملگر ۲ نقطه‌ای یا چندنقطه‌ای نیز استفاده کرد. به این صورت که به جای انتخاب ۱ شهر، ۲ یا چند شهر به طور تصادفی انتخاب شوند و جای زیرتورهای مرتبط با آن‌ها در تورهای والد عوض شود.

عملگر جهش

بعد از اجرای عملگر تقاطع بر روی تورهای قدیم و به وجود آوردن تورهای جدید، استفاده از عملگر جهش بر روی تورهای جدید و به دست آوردن تورهای جهش‌یافته جهت رسیدن به بهترین تورها، لازم به نظر می‌آید. برای این کار، یک یا چند پایگاه امداد مستقر در تور جدید به تصادف انتخاب می‌شود و سپس ترتیب قرار گرفتن روستاها در آن زیرتور به طور تصادفی تغییر می‌یابد. به عنوان مثال فرض کنید برای Newtour1 عدددهای تصادفی تولید شده ۲ و ۴ باشند، تور جهش یافته (Mutatedtour) می‌تواند به صورت زیر باشد:

Newtour 1=1-2-8-9-2-3-11-3-4-13-14-4-6-12-15-6-7-10-7-1

Mutatedtour= 1-2-9-8-2-3-11-3-4-14-13-4-6-12-15-6-7-10-7-1

عملگر انتخاب

برای تولید نسل جدید از عملگر انتخاب استفاده می‌شود. نسل جدید در این مسئله شامل تعدادی از تورهای برتر نسل قبل، تورهای جدید تولید شده و تورهای جهش‌یافته است. این عمل با استفاده از عملگر چرخ رولت^{۲۷} صورت می‌پذیرد. درصد مربوط به هر قسمت باتوجه به طراحی آزمایش‌ها برای هر مثال به دست آمده است. مثلاً برای مثال ۴، ۶۰ درصد جمعیت نسل جدید از عملگر تقاطع، ۲۰ درصد از عملگر جهش و ۲۰ درصد بقیه نیز از جمعیت برتر نسل قبل به وجود آمده‌اند.

شبه کد الگوریتم ژنتیک استفاده شده در این مقاله به صورت زیر است:

- پارامترهای اولیه الگوریتم را تعیین کنید.

- جمعیت اولیه از تورها را به صورت تصادفی تولید کنید.

- مقدار تابع هدف برای هر یک از تورها را محاسبه کنید.

۱۰ و ۱۵ به ۲ شهر تخصیص یافته‌اند، بنابراین برای شدنی بودن مسئله، به طور تصادفی در ماتریس مذکور روستاهای تکراری حذف می‌شوند تا زمانی که شرط دوم برقرار شود و هر روستا فقط به ۱ شهر تخصیص داده شده باشد. بنابراین ماتریس Subtours می‌تواند به صورت جدول شماره ۳ باشد.

در ادامه شهرهایی که جزو مجموعه T نیستند و روستایی نیز به آن‌ها تخصیص نیافته است حذف می‌شوند. به این ترتیب شهر ۵ نیز در تور قرار نمی‌گیرد و از ماتریس Subtours حذف می‌شود. در ادامه تور موردنظر با قرار دادن سطرهاى ماتریس Subtours پشت سر هم و افزودن پایگاه امداد مرکزی (عدد شماره ۱) در ابتدا و انتهای آن ساخته می‌شود. بنابراین یک راه حل شدنی اولیه برای این مثال به صورت زیر است:

Tour=1-2-8-2-3-11-3-4-13-14-4-6-12-15-6-7-9-10-7-1

عملگر تقاطع

از این عملگر برای جستجوی محلی در فضای پاسخ استفاده می‌شود و دارای انواع مختلفی، مانند ۱ نقطه‌ای، ۲ نقطه‌ای، چندنقطه‌ای و غیره است. در این مقاله به منظور تولید ۲ مسیر جدید از ۲ مسیر اولیه از عملگر ۱ نقطه‌ای استفاده شده است. فرض کنید والد به صورت جدول شماره ۴ و ۵ داشته باشیم.

والد اول با Oldtour 1 و والد دوم با Oldtour 2 نام‌گذاری می‌شوند، بنابراین داریم:

Oldtour1= 1-6-12-6-4-13-14-4-2-8-9-2-7-10-15-7-3-11-3-1

Oldtour2=1-2-8-2-3-11-3-4-13-14-4-6-12-15-6-7-9-10-7-1

حال عددی از بین پایگاه‌های امداد مستقر در شهرها که در هر دو تور وجود داشته باشد به تصادف انتخاب می‌شود. این عدد همان نقطه تقاطع Crosspoint است. فرض کنید Crosspoint=2 انتخاب شده باشد. برای به وجود آوردن تورهای جدید (فرزندها) با استفاده از تورهای قدیم (والدها)، جای زیرتورهایی که با شهر شماره ۲ شروع می‌شود، در تورهای قدیم با هم عوض می‌شوند و تورهای جدید باتوجه به فاصله پوششی شهرها و اینکه همه روستاها باید در تور وجود داشته باشند و هر روستا نیز فقط ۱ بار در تور وجود داشته باشد، به وجود می‌آیند. بنابراین باتوجه به جابه‌جایی زیرتورها در تورهای جدید، در تور جدید اول، به علت تکراری بودن روستای ۹، این روستا حذف شده و در تور جدید دوم، باتوجه به فاصله پوششی شهر ۷ و اینکه روستای ۹ می‌تواند به این شهر تخصیص یابد، این روستا اضافه شده است. فرزند اول با Newtour1 و فرزند دوم با Newtour 2 نام‌گذاری می‌شوند:



جدول ۶ نتایج طرح آزمایش تاکوچی برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک مثال ۱۰ از جدول ۷ در مسئله تور پوششی ۲ سطحی

میانگین	تکرار ۵	تکرار ۴	تکرار ۳	تکرار ۲	تکرار ۱	طرح آزمایش	شماره طرح
۳۹۲/۵۹۲۸	۳۹۲/۹۲۲۲	۳۹۵/۲۲۲۵	۳۸۲/۳۹۱۱	۳۹۴/۴۷۲۵	۳۹۶/۸۵۴۶	۱-۱-۱-۱	۱
۳۹۲/۹۰۸۱	۳۹۵/۳۱۲۲	۳۹۱/۴۰۵۶	۳۸۹/۰۶۲۱	۳۸۹/۸۷۶۵	۳۹۸/۸۸۳۳	۱-۲-۲-۲	۲
۲۸۶/۱۲۱۵	۳۹۲/۶۹۱۳	۳۷۵/۱۲۳۳	۳۸۲/۲۷۹۰	۳۹۱/۷۷۲۷	۳۸۶/۵۳۱۱	۱-۳-۳-۳	۳
۳۸۹/۵۸۷۲	۳۹۲/۰۴۷۶	۳۸۹/۲۵۲۸	۳۹۶/۲۶۸۹	۳۸۲/۱۲۶۸	۳۸۸/۲۲۹۹	۲-۱-۲-۳	۴
۳۹۰/۰۰۳۷	۳۸۸/۵۱۶۹	۳۹۴/۸۶۸۵	۳۸۹/۸۱۰۶	۳۹۷/۲۰۱۳	۳۹۹/۶۱۶۲	۲-۲-۳-۱	۵
۳۹۴/۸۶۴۳	۳۹۰/۷۱۲۲	۳۹۲/۰۸۶۲	۳۹۱/۵۹۷۳	۴۰۰/۰۱۷۸	۳۹۹/۹۰۶۹	۲-۳-۱-۲	۶
۳۸۹/۷۹۰۰	۴۰۱/۰۳۳۲	۳۸۲/۷۴۱۰	۳۹۵/۷۹۳۸	۳۹۷/۵۳۰۴	۳۸۹/۸۵۱۵	۳-۱-۳-۲	۷
۳۹۰/۱۹۲۴	۳۹۴/۱۷۲۶	۳۹۰/۹۲۴۸	۳۹۵/۱۵۸۶	۳۹۶/۶۴۷۹	۳۹۴/۰۵۸۲	۳-۲-۱-۳	۸
۳۹۶/۵۶۷۶	۴۰۲/۰۷۵۹	۳۸۷/۶۵۶۵	۳۹۹/۴۸۹۸	۳۹۰/۱۹۷۲	۴۰۲/۴۱۸۷	۳-۳-۲-۱	۹

پارامترها روی کیفیت جواب‌ها از طرح آزمایشی تاکوچی استفاده شده است. برای هریک از عوامل ۳ سطح در نظر گرفته شده است. نرخ تقاطع ۰/۱۶، ۰/۰۷، ۰/۰۸، نرخ جهش ۰/۱، ۰/۰۲، ۰/۱۵، جمعیت ۴۰، ۵۰، ۶۰ و برای حداکثر تکرارها ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ در نظر گرفته شده است. برای حل هریک از مسائل، تنظیم پارامترها انجام گرفته و در نهایت مسئله با الگوریتم تنظیم شده حل شده است. به عنوان نمونه در جدول شماره ۶ برای مثال ۱۰ از جدول شماره ۷، طرح آزمایش تاکوچی دارای ۹ آزمایش بوده که توسط نرم افزار مینی تب به دست آمده است. در ستون آخر، جواب الگوریتم ژنتیک به صورت میانگین بعد از ۵ بار تکرار آورده شده است.

با در نظر گرفتن ستون میانگین در نرم افزار مینی تب و باتوجه به تصویر شماره ۲، طرح ۳-۳-۱-۱ به عنوان بهترین طرح

برای $t=1$ تا تعداد نسل‌ها تکرار کنید.

- برنامه تورها (یعنوان والدین) را انتخاب کنید.

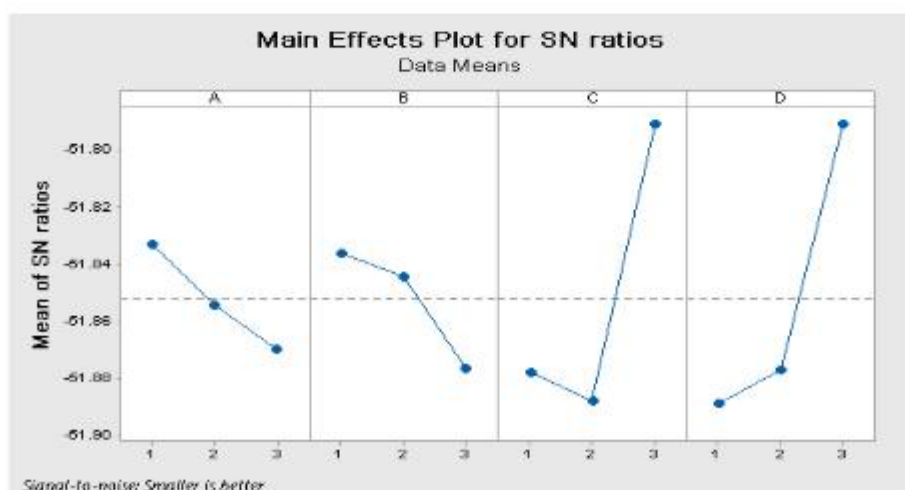
- تورهای جدید را براساس عملگرهای ادغام و جهش تولید کنید

- مقدار تابع هدف برای تورهای جدید را محاسبه کنید.

- اعضای نسل جدید را از داخل اعضای نسل قبل و تورهای جدید ایجاد شده انتخاب کنید.

استفاده از طراحی آزمایش‌ها برای تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک

پارامترهای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای مسئله تور پوششی ۲ سطحی تعریف شده در این مقاله نرخ جهش، نرخ تقاطع، جمعیت و تعداد تکرارها هستند. برای تعیین اثر تغییر این



تصویر ۲. آنالیز مثال ۱۰ توسط نرم افزار مینی تب جهت انتخاب مناسب ترین پارامترها

جدول ۷. حل مثال‌های 2E-RCTLRP یا استفاده از نرم‌افزار Gams و الگوریتم ژنتیک

مثال‌ها	مشخصات مسئله 2E-CTLRP	Gams		الگوریتم ژنتیک		Gap
		تابع هدف	زمان (ثانیه)	بهترین مقدار	زمان (ثانیه)	
۱	$n=10, RS =3, T =1, D =6$	۱۲۳/۰۹۸	۱۳	۱۲۳/۰۹۸	۰/۰۴	-
۲	$n=12, RS =4, T =1, D =7$	۱۲۸/۱۷۶	۱۰۷	۱۲۸/۱۷۶	۰/۱۱	-
۳	$n=13, RS =5, T =2, D =7$	۱۳۹/۵۲۰	۲۵	۱۳۹/۵۲۰	۰/۳	-
۴	$n=15, RS =6, T =3, D =8$	۱۵۳/۴۳۶	۱۵	۱۵۳/۴۳۶	۰/۴	-
۵	$n=16, RS =7, T =4, D =8$	۱۵۶/۱۵۶	۱۱۳	۱۵۶/۱۵۶	۰/۴	-
۶	$n=20, RS =7, T =4, D =12$	-	>۱۰۰۰	۱۸۹/۱۷۶	۰/۶۵	-
۷	$n=25, RS =8, T =4, D =16$	-	>۱۰۰۰	۲۱۳/۴۳۰	۲/۹	-
۸	$n=35, RS =8, T =4, D =26$	-	>۱۰۰۰	۲۷۵/۲۲۸	۴/۷	-
۹	$n=45, RS =9, T =4, D =35$	-	>۱۰۰۰	۳۴۱/۳۵۸	۶/۵	-
۱۰	$n=55, RS =10, T =5, D =44$	-	>۱۰۰۰	۴۸۳/۹۲۰	۱۱/۲۵	-
۱۱	$n=60, RS =11, T =5, D =48$	-	>۱۰۰۰	۴۳۱/۱۶۸	۱۶/۹۵	-
۱۲	$n=70, RS =14, T =5, D =55$	-	>۱۰۰۰	۴۸۶/۶۵۹	۲۹/۴۴	-
۱۳	$n=80, RS =17, T =5, D =62$	-	>۱۰۰۰	۵۶۲/۲۰۲	۳۹/۴۴	-
۱۴	$n=90, RS =19, T =5, D =70$	-	>۱۰۰۰	۶۱۱/۸۰۶	۷۸/۵۵	-
۱۵	$n=100, RS =22, T =5, D =77$	-	>۱۰۰۰	۶۶۱/۰۴۵	۱۱۴/۸۹	-

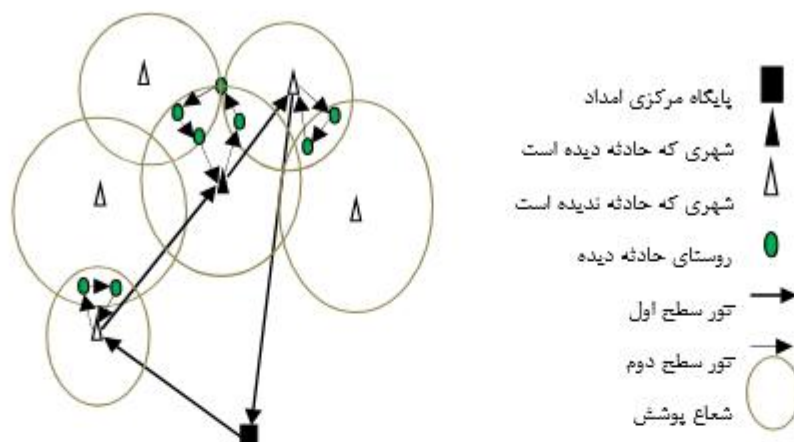
گرفته، مثال‌ها حل شده و جوابها به همراه زمان حل آن‌ها آورده شده‌اند. با مقایسه جواب‌های به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود نتایج حل مسائل با استفاده از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار Gams کاملاً یکسان است و کد نوشته‌شده برای مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک کارایی لازم را برای حل مثال‌های با ابعاد بزرگ‌تر دارد. از آنجایی که با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل آن‌ها در نرم‌افزار Gams به‌شدت افزایش می‌یابد در ادامه برای حل این مسائل از الگوریتم ژنتیک و کدنویسی در نرم‌افزار متلب استفاده شده است. انجام تمامی محاسبات در کامپیوتری با مشخصات CPU: Intel Core i5-4200U, 1.6GHz و RAM: 4GB انجام گرفته است. نتایج در جدول شماره ۷ قابل مشاهده هستند.

در اینجا برای درک بهتر مثال‌ها به تشریح مثال ۴ از جدول شماره ۷ پرداخته می‌شود. این مثال شامل ۱۵ رأس است که از این ۱۵ رأس، یک رأس مربوط به پایگاه امداد مرکزی، ۶ رأس نشان‌دهنده شهرها ($|RS|=6$) با شعاع‌های پوشش متفاوت و ۸ رأس مربوط به نقاط حادثه‌دیده (روستاهای) هستند. از مجموع ۶ شهر، ۲ شهر باید در تور قرار گیرند و ۴ شهر دیگر می‌توانند جهت امداد رسانی به روستاهای در تور قرار گیرند. بنابراین باتوجه به اینکه پایگاه مرکزی امداد نیز در تور سطح اول قرار می‌گیرد

معرفی می‌شود. یعنی برای مثال ۱۰ نرخ تقاطع ۰/۸، نرخ جهش ۰/۲، تعداد جمعیت ۵۰ و حداکثر تعداد تکرارها برابر ۴۰۰ در نظر گرفته شده است. با وارد کردن اعداد بالا در الگوریتم ژنتیک مذکور و بعد از ۱۰ بار اجرا توسط نرم‌افزار متلب، جواب به‌صورت میانگین برابر ۲۸۳/۹۲۰ شده است. برای تمامی مثال‌ها آزمایش تاگوچی انجام گرفته و مثال‌ها با پارامترهای تنظیم‌شده حل شده‌اند.

مثال‌های عددی

در این بخش ۱۵ مثال در اندازه‌های مختلف برای مسئله تور پوششی ۲ سطحی در شرایط امداد رسانی بررسی و حل شده است. در این مثال‌ها تعداد رؤس از ۱۰ تا ۱۰۰ رأس در نظر گرفته شده است. مجموعه S بیانگر مجموعه شهرها، مجموعه T شامل پایگاه مرکزی به علاوه شهرهایی که باید در تور قرار گیرند و مجموعه W شامل روستاهای حادثه‌دیده است که باید امداد رسانی شوند. در ابتدا برای ۵ مثال اول کدنویسی در نرم‌افزار Gams انجام گرفته و جواب‌ها به‌صورت دقیق به همراه زمان حل آن‌ها آورده شده‌اند. در ادامه با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای ۵ مثال ابتدایی، کدنویسی در نرم‌افزار متلب انجام



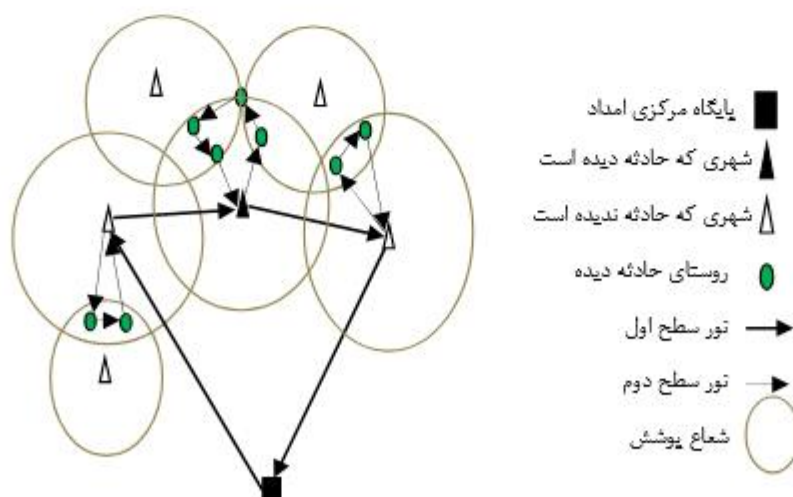
تصویر ۳. زمانی که تورهای سطح اول و دوم همزمان تشکیل می‌شوند

ساده هستند تشکیل داد. در این قسمت با ارائه مثالی نشان داده می‌شود این دیدگاه صحیح نیست و با حل همزمان و غیرهمزمان، جواب‌های مختلفی به دست می‌آید. این مثال از ۱۵ رأس تشکیل شده است که ۶ رأس آن شهرها و ۸ رأس دیگر نقاط حادثه‌دیده و یک رأس مربوط به پایگاه مرکزی امداد هستند. کل مسافت پیموده‌شده در حالت همزمانی تورها برابر با ۷۱/۴۵۸۲ واحد و در حالت غیرهمزمان برابر با ۷۳/۶۷۰۴ واحد است. جواب مثال در هر دو حالت در قالب تصاویر شماره ۳ و ۴ آورده شده است.

تحلیل حساسیت مسئله

در این قسمت تحلیل حساسیت مسئله از چند جنبه بررسی می‌شود. هدف از انجام تحلیل حساسیت در این پژوهش، بررسی میزان تأثیر تغییر در پارامترهای کلیدی مدل بر نتایج نهایی و

بنابراین ۳ رأس باید در تور قرار گیرند ($|T| = 3$). بعد از حل مثال مشخص شد برای امدادسانی به همه روستاهای حادثه‌دیده لازم است ۴ شهر در تور سطح اول قرار گیرند و در آن شهرها پایگاه‌های امدادسانی برپا شود. سپس امدادسانی از ۴ پایگاه امداد برپاشده به روستاهای حادثه‌دیده توسط تورهای سطح دوم انجام گیرد. مقدار هزینه امدادسانی در این مثال در حالت بهینه برابر با ۱۵۳/۴۳۶ واحد شده است. توجه شود که مثال‌های ارائه‌شده برای این مسئله با در نظر گرفتن این اصل که دو سطح به‌صورت همزمان تشکیل می‌شوند، حل شده‌اند. شاید این‌گونه به نظر برسد که در ابتدا می‌توان مسئله را به‌صورت یک مسئله تور پوششی ساده حل کرد و سپس بعد از به دست آوردن تور سطح اول و تخصیص نقاط حادثه‌دیده به پایگاه‌های امداد مستقر در تور سطح اول، تورهای سطح دوم را که هرکدام یک مسئله TSP



تصویر ۴. زمانی که تورهای سطح اول و دوم همزمان تشکیل نمی‌شوند

جدول ۸. تحلیل حساسیت مسئله از نظر ظرفیت وسایل حمل و نقل سطح اول

مرحله	مشخصات مسئله	تعداد پایگاه‌های امداد برپاشده	تعداد وسایل نقلیه		هزینه کل امداد رسانی
			سطح اول	سطح دوم	
۱	$n=16, F=20, G=10, Q=15, R=5$	۶	۳	۸	۵۰۵/۶۲۸
۲	$n=16, F=21, G=10, Q=20, R=5$	۴	۲	۸	۴۱۷/۲۰۹
۳	$n=16, F=22, G=10, Q=25, R=5$	۴	۲	۸	۴۱۲/۰۸۸
۴	$n=16, F=23, G=10, Q=30, R=5$	۴	۲	۸	۴۱۸/۰۸۸
۵	$n=16, F=24, G=10, Q=35, R=5$	۴	۲	۸	۴۲۴/۰۸۸
۶	$n=16, F=25, G=10, Q=40, R=5$	۴	۱	۸	۲۸۲/۲۳۷
۷	$n=16, F=26, G=10, Q=45, R=5$	۴	۱	۸	۲۸۷/۲۳۷
۸	$n=16, F=27, G=10, Q=50, R=5$	۴	۱	۸	۳۹۲/۲۳۷
۹	$n=16, F=28, G=10, Q=55, R=5$	۴	۱	۸	۳۹۷/۲۳۷
۱۰	$n=16, F=29, G=10, Q=60, R=5$	۴	۱	۸	۴۰۲/۲۳۷

در این قسمت تحلیل حساسیت بر روی مثال ۵ جدول شماره ۷ انجام می‌شود. در هر مرحله از وسایل نقلیه بزرگ‌تر و با ظرفیت بیشتر و بالطبع دارای هزینه به کارگیری بیشتر استفاده می‌شود. از آنجایی که شکست تقاضا در هر دو سطح مجاز نیست باید وسایل نقلیه سطح اول به گونه‌ای انتخاب شوند که ظرفیت آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی با حداکثر مقدار تقاضای امدادی تخصیص یافته به پایگاه‌های امداد و کوچک‌تر یا مساوی با حداقل ظرفیت پایگاه‌های امداد باشند. همچنین ظرفیت هر وسیله نقلیه سطح دوم باید بزرگ‌تر یا مساوی با حداکثر مقدار تقاضای امدادی نقاط حادثه‌دیده باشد. برای این مثال حداکثر تقاضای نقاط حادثه‌دیده برابر ۵ واحد و حداکثر تقاضای تخصیص یافته به پایگاه‌های امداد برابر ۱۵ واحد است. بنابراین برای سطح اول باید از وسایل

ساختار تصمیم‌گیری است. در شرایط بحرانی، تصمیم‌گیرندگان ممکن است با عدم قطعیت در برخی پارامترها، مانند ظرفیت وسایل حمل و نقل یا شعاع پوشش پایگاه‌ها مواجه باشند. در این پژوهش، ۲ پارامتر حیاتی تحت تحلیل حساسیت قرار گرفتند: تحلیل حساسیت نسبت به ظرفیت وسایل حمل و نقل و تحلیل حساسیت نسبت به شعاع پوششی پایگاه‌های امداد. برای بررسی تأثیر ظرفیت حمل تیم‌های امداد، سناریوهایی با افزایش و کاهش درصدی ظرفیت وسایل نقلیه در مدل اجرا شد. با تغییر شعاع پوششی پایگاه‌ها، تغییرات در پوشش دهی، تعداد پایگاه‌های موردنیاز و الگوی مسیریابی بررسی شد.

تحلیل حساسیت مسئله از نظر ظرفیت وسایل حمل و نقل

جدول ۹. تحلیل حساسیت مسئله از نظر ظرفیت وسایل حمل و نقل سطح دوم

مرحله	مشخصات مسئله	تعداد پایگاه‌های امداد برپاشده	تعداد وسایل نقلیه		هزینه کل امداد رسانی
			سطح اول	سطح دوم	
۱	$n=16, F=25, G=10, Q=40, R=5$	۴	۱	۸	۲۸۲/۲۳۷
۲	$n=16, F=25, G=11, Q=40, R=10$	۴	۱	۵	۳۶۴/۱۵۶
۳	$n=16, F=25, G=12, Q=40, R=15$	۴	۱	۴	۳۶۳/۱۵۶
۴	$n=16, F=25, G=13, Q=40, R=20$	۴	۱	۴	۳۷۵/۱۵۶
۵	$n=16, F=25, G=14, Q=40, R=25$	۴	۱	۴	۳۸۷/۱۵۶
۶	$n=16, F=25, G=15, Q=40, R=30$	۴	۱	۴	۳۹۷/۱۵۶
۷	$n=16, F=25, G=16, Q=40, R=35$	۴	۱	۴	۴۱۱/۱۵۶

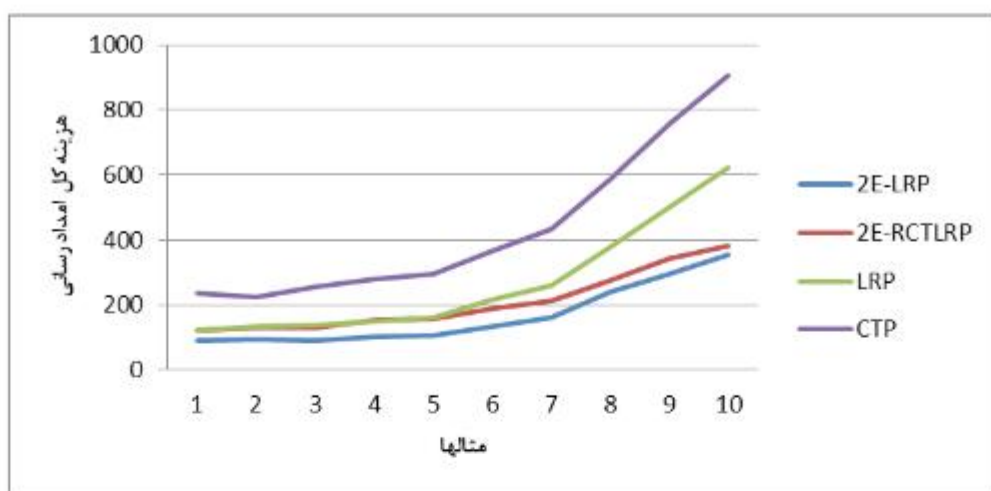


جدول ۱۰. تحلیل حساسیت مسئله از نظر شعاع پوششی پایگاه‌های امداد و مقایسه آن با مسئله 2E-LRP متناظر

2E-LRP	مشخصات مسئله 2E-RCTLRP							مرحله
جواب	جواب	شعاع پوششی پایگاه‌ها						
		ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	
۱۰۳/۶۹۸	۲۲۷/۲۷۸	۳	۴	۱	۳/۵	۲	۳/۵	۱
۱۰۳/۶۹۸	۱۹۹/۲۳۶	۴	۴	۳	۳/۵	۳	۴	۲
۱۰۳/۶۹۸	۱۹۵/۲۵۸	۴	۴	۳	۳/۵	۴	۴	۳
۱۰۳/۶۹۸	۱۷۵/۷۸۷	۴	۴	۳	۶/۵	۴	۴	۴
۱۰۳/۶۹۸	۱۶۷/۲۲۷	۴	۴	۳	۶/۵	۶	۴	۵
۱۰۳/۶۹۸	۱۵۹/۸۴۹	۴	۱۰	۳	۶/۵	۶	۴	۶
۱۰۳/۶۹۸	۱۵۲/۲۰۳	۴	۱۰	۳	۶/۵	۶	۸	۷
۱۰۳/۶۹۸	۱۳۷/۲۸۵	۴	۱۰	۱۱	۶/۵	۶	۸	۸
۱۰۳/۶۹۸	۱۲۸/۵۶۰	۴	Max	۱۱	۶/۵	۶	۸	۹
۱۰۳/۶۹۸	۱۲۸/۵۶۰	۴	Max	۱۱	۶/۵	۶	Max	۱۰
۱۰۳/۶۹۸	۱۰۹/۰۶۷	۴	Max	۱۱	Max	۶	Max	۱۱
۱۰۳/۶۹۸	۱۰۹/۰۶۷	Max	Max	۱۱	Max	۶	Max	۱۲
۱۰۳/۶۹۸	۱۰۷/۶۸۶	Max	Max	۱۱	Max	Max	Max	۱۳
۱۰۳/۶۹۸	۱۰۳/۶۹۸	Max	Max	Max	Max	Max	Max	۱۴

جدول ۱۱. نتایج حل مسائل LRP، 2E-LRP، 2E-RCTLRP و CTP در حالت امدادرسانی

مثال	مشخصات مسئله	2E-LRP	2E-RCTLRP	LRP	CTP
۱	$n=10, RS =3, T =1, D =6$	۹۱/۰۳۱	۱۲۲/۰۹۸	۱۲۲/۰۷	۲۲۷/۷۸۵۸
۲	$n=12, RS =4, T =1, D =7$	۹۳/۶۸۸	۱۲۸/۱۷۶	۱۳۴/۵۶۴	۲۲۲/۲۳۴۱
۳	$n=13, RS =5, T =2, D =7$	۹۲/۲۲۲	۱۲۹/۵۲۰	۱۳۸/۰۲۹	۲۵۷/۹۶۴
۴	$n=15, RS =6, T =3, D =8$	۱۰۲/۶۹۸	۱۵۲/۴۳۶	۱۴۷/۲۸۴	۲۸۰/۳۱۶۸
۵	$n=16, RS =7, T =4, D =8$	۱۰۵/۴۹۵۴	۱۵۶/۱۵۶	۱۶۲/۹۱۰	۲۹۵/۲۳۶۹
۶	$n=20, RS =7, T =4, D =12$	۱۳۳/۹۱۲۴	۱۸۹/۱۷۶	۲۱۶/۲۷۸	۳۶۵/۸۹۷۶
۷	$n=25, RS =8, T =4, D =16$	۱۵۹/۹۰۸۹	۲۱۲/۴۳۰	۲۶۰/۲۴۷	۴۳۲/۱۶۶۴
۸	$n=35, RS =8, T =4, D =26$	۲۲۸/۷۶۵۳	۲۷۵/۲۲۸	۳۷۷/۲۴۵	۵۸۸/۳۲۱۹
۹	$n=45, RS =9, T =4, D =35$	۲۹۷/۰۱۷۲	۳۴۱/۳۵۸	۳۹۹/۸۱۸	۷۵۶/۰۱۸۳
۱۰	$n=55, RS =10, T =5, D =44$	۳۵۵/۳۴۶۰	۳۸۳/۹۲۰	۶۲۰/۴۳۹	۹۰۵/۴۷۷۹



تصویر ۵. هزینه مربوط به مثال‌های حل‌شده برای مسائل 2E-LRP، 2E-RCTLRP و CTP

حساسیت در جدول شماره ۱۰ آمده است. با مشاهده این جدول می‌توان نتیجه گرفت با افزایش شعاع پوشش پایگاه‌های امداد، مسئله 2E-RCTLRP با مسئله 2E-LRP همگرا می‌شود.

مقایسه حل مسئله 2E-RCTLRP با LRP، 2E-LRP و CTP متناظر

در این قسمت جواب مثال‌های از نوع 2E-RCTLRP با مثال‌های متناظر از نوع LRP، 2E-LRP و CTP مقایسه شده است. در همه مثال‌ها ظرفیت وسایل نقلیه، هزینه ثابت استفاده از وسایل نقلیه و هزینه برپایی پایگاه‌های امداد یکسان در نظر گرفته شده است. در مسئله LRP یک سطحی تعریف شده و امداد رسانی از پایگاه مرکزی امداد به نقاط حادثه‌دیده با استفاده از وسایل نقلیه موجود در پایگاه مرکزی امداد صورت گرفته است. در مسئله CTP، ۱ سطحی تعریف شده، پایگاه‌های امداد توسط پایگاه مرکزی امداد تجهیز می‌شوند و سپس افراد حادثه‌دیده جهت دریافت خدمات امداد به پایگاه‌های برپاشده مراجعه می‌کنند. بنابراین چون افراد مستقیماً امداد رسانی نمی‌شوند هزینه‌ای به مدل اضافه شده است. از آنجایی که برای مسئله 2E-RCTLRP محدودیت پوشش برای پایگاه‌های امداد در نظر گرفته شده است، هزینه این مثال‌ها از مثال‌های مربوط به 2E-LRP بیشتر شده است که این اختلاف به معنای برتری 2E-LRP نسبت به 2E-RCTLRP نیست. نتایج حل مثال‌ها در جدول شماره ۱۱ و تصویر شماره ۵ زیر آورده شده است. همان‌گونه که پیداست روش‌های ۲ سطحی به مراتب نتایج بهتری نسبت به روش‌های تک‌سطحی ارائه می‌دهند.

نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته به نظر می‌رسد، پژوهش حاضر نوآوری‌های قابل توجهی را در دو بُعد اصلی ارائه می‌دهد:

نقلیه‌ای با حداقل ظرفیت ۱۵ و برای سطح دوم از وسایل نقلیه‌ای با حداقل ظرفیت ۵ استفاده کرد. Q ظرفیت وسایل نقلیه سطح اول، R ظرفیت وسایل نقلیه سطح دوم، F هزینه ثابت استفاده از وسایل نقلیه سطح اول و G هزینه ثابت استفاده از وسایل نقلیه سطح دوم است. در ابتدا تحلیل حساسیت مسئله از نظر ظرفیت وسایل حمل و نقل سطح اول و سپس برای سطح دوم انجام گرفته است. همان‌گونه که در جداول شماره ۸ و ۹ مشاهده می‌شود استفاده از وسایل نقلیه با ظرفیت بیشتر باعث کاهش تعداد وسایل استفاده‌شده و در نهایت کاهش هزینه امداد رسانی به نقاط آسیب‌دیده شده است. اما باید دقت شود که لزوماً استفاده از وسایل نقلیه با ظرفیت زیاد همواره باعث کاهش هزینه‌ها نمی‌شود. به‌عنوان مثال بزرگ‌ترین وسیله نقلیه‌ای که می‌تواند برای سطح اول به کار گرفته شود وسیله نقلیه‌ای با حداکثر ظرفیت برابر با کل مقدار تقاضای امدادی نقاط حادثه‌دیده است. برای این مثال بهترین وسایل حمل و نقل سطح اول در مرحله ۶ جدول شماره ۸ و برای سطح دوم در مرحله ۳ جدول شماره ۹ به دست آمده است. نتایج در جدول شماره ۸ آورده شده‌اند.

تحلیل حساسیت مسئله از نظر شعاع پوششی پایگاه‌های امداد

تحلیل حساسیت مسئله 2E-RCTLRP از نظر شعاع پوششی پایگاه‌های امداد برای مثال ۴ جدول شماره ۷ انجام می‌شود. بدین منظور شعاع پوشش پایگاه‌ها در هر مرحله به صورت تصادفی افزایش داده می‌شود تا اینکه در نهایت شعاع پوشش حداکثر شود. شعاع پوشش حداکثر برای یک پایگاه امداد برابر با بیشترین فاصله نقاط حادثه‌دیده از آن پایگاه است. شعاع پوششی مرحله اول برابر با حداقل شعاعی است که همه نقاط حادثه‌دیده توسط پایگاه‌های امداد پوشش یابند. تمامی مشخصات پایگاه‌های امداد و وسایل نقلیه استفاده‌شده در تمامی مراحل تحلیل حساسیت و مسئله 2E-LRP یکسان در نظر گرفته شده‌اند. نتایج این تحلیل



افزون بر این، انعطاف‌پذیری بالای الگوریتم ژنتیک در انطباق با انواع مختلف توابع هدف و قیود، آن را به ابزاری قدرتمند در شرایط متغیر و پویای مسئله، به‌ویژه در حوزه امداد رسانی، تبدیل کرده است. باین حال استفاده از الگوریتم ژنتیک با برخی محدودیت‌ها نیز همراه است. از جمله، این الگوریتم تضمینی برای دستیابی به جواب بهینه مطلق ندارد و معمولاً تنها راه‌حل‌های تقریباً بهینه را ارائه می‌دهد که در برخی کاربردها ممکن است ناکافی باشد. همچنین عملکرد الگوریتم به شدت وابسته به تنظیم مناسب پارامترهایی، مانند اندازه جمعیت، نرخ تقاطع و نرخ جهش است و انتخاب نادرست این پارامترها می‌تواند منجر به هم‌گرایی زودهنگام یا کاهش کیفیت پاسخ شود. از سوی دیگر، به‌ویژه در مسائل بزرگ، الگوریتم ژنتیک ممکن است برای دستیابی به پاسخ‌های قابل قبول، به زمان محاسباتی قابل توجهی نیاز داشته باشد که این امر در مقایسه با برخی روش‌های فراابتکاری دیگر، می‌تواند به‌عنوان یک نقطه ضعف تلقی شود.

در نظر گرفتن شعاع پوشش متغیر برای هر پایگاه امداد، استفاده از وسایل حمل‌ونقل متفاوت در هر سطح و همچنین بررسی مسئله در حالت پوشش حداکثر به‌منظور کاهش زمان امداد رسانی می‌تواند به‌عنوان موضوع مطالعات آتی در این حوزه پیشنهاد شوند. همچنین استفاده از داده‌های واقعی در مدل‌سازی یا مقایسه الگوریتم ژنتیک با سایر روش‌های بهینه‌سازی می‌تواند به‌عنوان زمینه‌ای برای تحقیقات آتی مطرح شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در این مطالعه تمام اصول اخلاقی رعایت شد. از آنجایی که هیچ آزمایشی بر روی نمونه‌های انسانی یا حیوانی انجام نشد، نیازی به رعایت اصول اخلاقی نبود.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت‌نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

نخست، «در این تحقیق، برای نخستین بار مدلی دوسطحی از مسئله مکان‌یابی-مسیریابی ارائه شده است که هم‌زمانی تشکیل تورها در هر دو سطح را در قالب تورهای پوششی با شعاع متغیر پوشش پایگاه‌های امداد در نظر می‌گیرد. این مدل، برخلاف بسیاری از پژوهش‌های پیشین که با فرض شعاع ثابت پوشش، ساختار تک‌سطحی و بی‌توجهی به هم‌زمانی تورها همراه بوده‌اند، به واقعیت‌های پیچیده شرایط بحران و امداد رسانی نزدیک‌تر است.» دوم، مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن تفاوت در ظرفیت و میزان آسیب‌دیدگی شهرها، امکان تصمیم‌گیری هوشمندانه‌تر در مکان‌یابی پایگاه‌ها را فراهم می‌آورد. در حالی که در اغلب مطالعات گذشته این متغیرها یا لحاظ نشده‌اند یا به شکل ساده‌شده مدل‌سازی شده‌اند. حال آنکه طراحی یک شبکه امداد رسانی دو سطحی می‌تواند سرعت و کیفیت امداد رسانی در شرایط بحران را افزایش دهد. در این تحقیق در ابتدا مسئله امداد رسانی تور پوششی دو سطحی تعریف، مدل‌سازی و سپس حل شد. نتایج حاصل از حل مسئله نشان می‌دهد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، الگوریتمی کارا و کاربردی است. در حل تمام مثال‌ها، تورهای هر دو سطح به‌طور هم‌زمان تشکیل شده‌اند. با ارائه مثالی نشان داده شده است که نتایج حل حاصل از تشکیل تورهای دو سطح به‌صورت هم‌زمان و غیرهم‌زمان متفاوت است و حل مسئله با در نظر گرفتن تشکیل هم‌زمانی تورها در هر دو سطح دارای نتایج بهتری است. در ادامه به تحلیل حساسیت مسئله از نظر ظرفیت وسایل حمل‌ونقل پرداخته و نتیجه‌گیری شد افزایش ظرفیت وسایل حمل‌ونقل معمولاً باعث کاهش هزینه امداد رسانی می‌شود، اما باید دقت شود لزوماً استفاده از وسایل نقلیه با ظرفیت بیشتر همواره باعث کاهش هزینه‌ها نمی‌شود و باید وسیله حمل‌ونقل با ظرفیت بهینه استفاده شود. همچنین با افزایش شعاع پوششی پایگاه‌های امداد، مسئله مورد تحقیق با مسئله 2E-LRP هم‌گرا می‌شود و نهایتاً مقایسه‌ای بین مسائل ۱ سطحی و ۲ سطحی در شرایط امداد انجام گرفت و نتیجه‌گیری شد روش‌های دو سطحی به مراتب نتایج بهتری نسبت به روش‌های تک‌سطحی ارائه می‌دهند.

الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یک روش فراابتکاری، در حل مسائل پیچیده و با ابعاد بزرگ، مانند مسئله تور پوششی ۲ سطحی در شرایط امداد رسانی، دارای مزایای قابل توجهی است. یکی از مهم‌ترین نقاط قوت این الگوریتم، توانایی آن در جست‌وجوی گسترده و متنوع در فضای پاسخ است، به‌گونه‌ای که با بهره‌گیری از یک جمعیت از راه‌حل‌ها، امکان اکتشاف هم‌زمان در نواحی مختلف فضای جست‌وجو فراهم می‌شود. این ویژگی باعث افزایش احتمال یافتن پاسخ‌های بهتر و کاهش خطر گیر افتادن در بهینه‌های محلی می‌شود. همچنین الگوریتم ژنتیک به دلیل ساختار جمعیتی و مبتنی بر تکامل خود، برای مسائل بزرگ‌مقیاس که در آن‌ها روش‌های دقیق از نظر زمانی یا محاسباتی ناکارآمد هستند، گزینه‌ای مناسب محسوب می‌شود.

References

- Allahyari, S., Salari, M., & Vigo, D. (2015). A hybrid metaheuristic algorithm for the multi-depot covering tour vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 242(3), 756-768. [DOI:10.1016/j.ejor.2014.10.048]
- Altay, N., & Green III, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475-493. [DOI:10.1016/j.ejor.2005.05.016]
- Arkin, E. M., & Hassin, R. (1994). Approximation algorithms for the geometric covering salesman problem. *Discrete Applied Mathematics*, 55(3), 197-218. [DOI:10.1016/0166-218X(94)90008-6]
- Belenguer, J., Benavent, E., Prins, C., Prodhon, C., & Woler Calvo, R. (2011). A branch-and-cut method for the capacitated location-routing problem. *Computers and Operations Research*, 38(6), 931-941. [DOI:10.1016/j.cor.2010.09.019]
- Boccia, M., Crainic, T. G., Sforza, A., & Sterle, C. (2010). A metaheuristic for a two echelon location-routing problem. In P. Festa (Ed.), *Experimental Algorithms. SEA 2010. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6049. Berlin: Springer. [DOI:10.1007/978-3-642-13193-6_25]
- Bottani, E., Casella, G., & Murino, T. (2021). A hybrid metaheuristic routing algorithm for low-level picker-to-part systems. *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107540. [DOI:10.1016/j.cie.2021.107540]
- Cai, Z., Mo, D., Geng, M., Tang, W., & Chen, X. M. (2023). Integrating ride-sourcing with electric vehicle charging under mixed fleets and differentiated services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 169, 102965. [DOI:10.1016/j.tre.2022.102965]
- Caunhye, A. M., Nie, X., & Pokharel, S. (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review. *SocioEconomic Planning Sciences*, 46(1), 4-13. [DOI:10.1016/j.seps.2011.04.004]
- Choi, J., Lee, S., & Choi, H. (2022). The influence of knowledge, trust, and perceived risk on firefighters' preparedness and willingness to respond to nuclear emergencies: The case of South Korea. *International Journal of Disaster Risk Science*, 13, 536-548. [Link]
- Contardo, C., Cordeau, J. F., & Gendron, B. (2013). A computational comparison of flow formulations for the capacitated location-routing problem. *Discrete Optimization*, 10(4), 263-295. [DOI:10.1016/j.disopt.2013.07.005]
- Contardo, C., Hemmelmayr, V., & Crainic, T. G. (2012). Lower and upper bounds for the two-echelon capacitated location-routing problem. *Computers & Operations Research*, 39(12), 3185-3199. [DOI:10.1016/j.cor.2012.04.003] [PMID]
- Crainic, T. G., Sforza, A., & Sterle, C. (2011a). *Tabu search heuristic for a two-echelon location-routing problem*. Quebec: Cirrelet. [Link]
- Crainic, T. G., Sforza, A., & Sterle, C. (2011b). *Location-routing models for two-echelon freight distribution system design*. Quebec: Cirrelet. [Link]
- Current, J. R., & Schilling, D. A. (1989). The covering salesman problem. *Transportation Science*, 23(3), 208-213. [DOI:10.1287/trsc.23.3.208]
- De La Torre, L. E., Dolinskaya, I. S., & Smilowitz, K. R. (2012). Disaster relief routing: Integrating research and practice. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 88-97. [DOI:10.1016/j.seps.2011.06.001]
- 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(3), 1078-1096. [DOI:10.1016/j.ejor.2005.10.067]
- Dalal, J., & Üster, H. (2019). Combining worst-case and average-case considerations in an integrated emergency response network design problem. *Transportation Science*, 52(1), 52-67. [DOI:10.1287/trsc.2016.0725]
- Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (1997). The covering tour problem. *Operations Research*, 45(4), 568-576. [DOI:10.1287/opre.45.4.568]
- Golden, B., Naji-Azimi, Z., Raghavan, S., Salari, M., & Toth, P. (2012). The generalized covering salesman problem. *INFORMS Journal on Computing*, 24(4), 534-553. [DOI:10.1287/ijoc.1110.0480]
- Golden, B. L., Raghavan, S., & Wasil, E. A. (2008). *The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges*. Berlin: Springer. [Link]
- Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., & Devika, K. (2013). Two-Echelon Multiple-Vehicle Location-Routing Problem with Time Windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*, 152, 9-28. [DOI:10.1016/j.ijpe.2013.12.028]
- Hachicha, M., Hodgson, M. J., Laporte, G., & Semet, F. (2000). Heuristics for the multi-vehicle covering tour problem. *Computers & Operations Research*, 27(1), 29-42. [DOI:10.1016/S0305-0548(99)00006-4]
- Han, C. F., & Zhang, C. (2009). Genetic algorithm for solving problems in emergency management Paper presented at 2009 Fifth International Conference on Natural Computation, Tianjin, China, 14-16 August 2009. [DOI:10.1109/ICNC.2009.333]
- Hodgson, M. J., Laporte, G., & Semet, F. (1998). A covering tour model for planning mobile health care facilities in Suhum District, Ghana. *Journal of Regional Science*, 38(4), 621-638. [Link]
- Jacobsen, S. K., & Madsen, O. B. G. (1980). A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem. *European Journal of Operational Research*, 5(6), 378-387. [DOI:10.1016/0377-2217(80)90124-1]
- Jang, H. C., Lien, Y. N., & Tsai, T. C. (2009, June). Rescue information system for earthquake disasters based on MANET emergency communication platform. *Proceedings of the 2009 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing: Connecting the World Wirelessly*, 623-627. [DOI:10.1145/1582379.1582514]
- Jamali, H., Bashiri, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2016). [Modeling and a genetic algorithm for the two-echelon relief logistics problem (Persian)]. *Emergency Management*, 4(2), 5-22. [Link]
- Jamali, H., Bashiri, M., & Tavakkoli Moghadam, R. (2015). [Management of relief operations in emergency situations using the concept of cover tour and the possibility of sending (Persian)]. *Modiri-at-e Farda*, 42(14), 1-10. [Link]
- Jamali, H., & Bashiri, M. (2020). [Modeling for the Covering Tour Problem in Relief Condition for Disaster Management (Persian)]. *Emergency Management*, 9(1), 69-82. [Link]
- Jebbor, S., Raddouane, C., & El Afia, A. (2022). A preliminary study for selecting the appropriate AI-based forecasting model for hospital assets demand under disasters. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 12 (1), pp. 1-29. [DOI:10.1108/JHLSCM-12-2020-0123]

- Jiao, L., Peng, Z., Xi, L., Guo, M., Ding, S., & Wei, Y. (2023). A multi-stage heuristic algorithm based on task grouping for vehicle routing problem with energy constraint in disasters. *Expert Systems with Applications*, 212, 118740. [DOI:10.1016/j.eswa.2022.118740]
- Kharina, R., Konyukhov, Y. V., Burmistrov, I., Cayumil, R., Belov, V. A., & Rogachev, S. O., et al. (2021). An innovative route for valorising iron and aluminium oxide rich industrial wastes: Recovery of multiple metals. *Journal of Environmental Management*, 295, 113035. [DOI:10.1016/j.jenvman.2021.113035]
- Liu, W., Li, J., & Xu, J. (2020). Effects of disaster-related resettlement on the livelihood resilience of rural households in China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101649. [DOI:10.1016/j.ijdrr.2020.101649]
- Malikov, E., Zhang, J., Zhao, S., & Kumbhakar, S. C. (2022). Accounting for cross-location technological heterogeneity in the measurement of operations efficiency and productivity. *Journal of Operations Management*, 68(2), 153-184. [Link]
- Madsen, O. B. G. (1983). Methods for solving combined two-level location-routing problems of realistic dimensions. *European Journal of Operational Research*, 12(3), 295-301. [DOI:10.1016/0377-2217(83)90199-6]
- Mohamad, F. A., Rezapour, S., Baghaian, A., & Amini, M. H. (2023). An integrative framework for coordination of damage assessment, road restoration, and relief distribution in disasters. *Omega*, 115, 102748. [DOI:10.1016/j.omega.2022.102748]
- Nagy, G., & Salhi, S. (1996). Nested heuristics methods for the location-routing problem. *Journal of Operational Research Society*, 47(9), 1166-1174. [DOI:10.1057/jors.1996.144]
- Naji-Azimi, Z., Renaud, J., Ruiz, A., & Salari, M. (2012). A covering tour approach to the location of satellite distribution centers to supply humanitarian aid. *European Journal of Operational Research*, 222(3), 596-605. [DOI:10.1016/j.ejor.2012.05.001]
- Nguyen, V. P., Prins, C., & Prodhon, C. (2012a). Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking. *European Journal of Operational Research*, 216(1), 113-126. [DOI:10.1016/j.ejor.2011.07.030]
- Nguyen, V. P., Prins, C., & Prodhon, C. (2012b). A multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(1), 56-71. [DOI:10.1016/j.engappai.2011.09.012]
- Nolz, P. C., Doerner, K. F., Gutjahr, W. J., & Hartl, R. F. (2010). A bi-objective metaheuristic for disaster relief operation planning. In C. A. Coello Coello, C. Dhaenens & L. Jourdan, (Eds.), *Advances in Multi-Objective Nature Inspired Computing. Studies in Computational Intelligence*, vol 272. Berlin: Springer. [DOI:10.1007/978-3-642-11218-8_8]
- Oliveira, B., Pessoa, A. & Roboredo, M. (2025). New cuts and a branch-cut-and-price model for the multi-vehicle covering tour problem. *4OR: A Quarterly Journal of Operations Research*. [DOI:10.1007/s10288-025-00584-0]
- Pashapour, A., Güneş, D., Salman, F. S., & Yücel, E. (2024). Capacitated mobile facility location problem with mobile demand: Efficient relief aid provision to en route refugees. *Omega*, 129, 103138. [DOI:10.1016/j.omega.2024.103138]
- Pirkwieser, S., & Raidl, G. R. (2010). Variable neighborhood search coupled with ILP-based very large neighborhood searches for the (periodic) location-routing problem. In M. J. Blesa, C. Blum, G. Raidl, A. Roli & M. Sampels(Eds.), *Hybrid Metaheuristics. HM 2010. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6373. Berlin: Springer. [DOI:10.1007/978-3-642-16054-7_13]
- Rath, S., & Gutjahr, W. J. (2014). A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief. *Computers and Operations Research*, 42, 25-39. [DOI:10.1016/j.cor.2011.07.016]
- Schwengerer, M., Pirkwieser, S., & Raidl, G. R. (2012). A variable neighborhood search approach for the two-echelon location-routing problem. In J. K. Hao & M. Middendorf (Eds.), *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization. EvoCOP 2012. Lecture Notes in Computer Science*, vol 7245 (pp.13-24). Berlin: Springer. [DOI:10.1007/978-3-642-29124-1_2]
- Tarhan, I., Zografos, K. G., Sütanto, J., & Kheiri, A. (2023). A quadrant shrinking heuristic for solving the dynamic multi-objective disaster response personnel routing and scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 314(2), 776-791. [DOI:10.1016/j.ejor.2023.09.002]
- Tuzun, D., & Burke, L. I. (1999). A two-phase tabu search approach for the location routing problem. *European Journal of Operational Research*, 116, 87-99. [DOI:10.1016/S0377-2217(98)00107-6]
- Wang, H., Du, L., & Ma, Sh. (2014). Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 69, 160-179. [DOI:10.1016/j.tre.2014.06.006]
- Wang, D. W., & Zhang, G. X. (2005). Model and algorithm to optimize location of catastrophic rescue center. *Journal of Northeastern University (Natural Sciences)*, 26(10), 953-956. [Link]
- Yi, W., & Özdamar, L. (2007). "A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1177-1193. [DOI:10.1016/j.ejor.2005.03.077]
- Zegordi, S. H., & Nikbakhsh, E. (2010). A heuristic algorithm and a lower bound for the two-echelon location-routing problem with soft time window constraints. *Scientia Iranica*, 17(1), 36-47. [Link]
- Zhang, N., Ou, M., Liu, B., & Liu, J. (2023). A GERT network model for input-output optimization of general aviation industry chain based on value flow. *Computers & Industrial Engineering*, 176, 108945. [DOI:10.1016/j.cie.2022.108945]
- Zhu, Q., Chen, J. M., Tseng, M. L., & Luan, H. M. (2020). Modeling green multimodal transport route performance with Witness simulation software. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119245. [DOI:10.1016/j.jclepro.2019.119245]

This Page Intentionally Left Blank

Research Paper

Bow-tie Risk Assessment of Hydrogen Gas Leakage From the Chlorination Unit of a Combined-cycle Power Plant



Iraj Mohammadfam¹, *Tahereh Eskandari²

1. Department of Ergonomics, Health In Emergency and Disaster Research Center, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran.
2. Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.



Citation Mohammadfam, I., & Eskandari, T. (2025). [Bow-tie Risk Assessment of Hydrogen Gas Leakage From the Chlorination Unit of a Combined-cycle Power Plant (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):230-241. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.811.1>

doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.811.1>

ABSTRACT

Background and objective The combined-cycle power plants are one of the important types of power plants in the world with high occupational accidents. To reduce the costs for occupational accidents and reduce the lost days, finding the root causes of accidents in these industries is necessary. This study aims to assess the risk of hydrogen gas leakage from the chlorination unit of a combined-cycle power plant with once-through cooling system using the Bow-tie risk assessment method.

Method At first, the hydrogen gas leakage from the chlorination unit of a combined-cycle power plant in Iran was selected as the scenario for probabilistic risk assessment. For finding the causes and consequences of the scenario, the bow-tie method was used.

Results We identified 44 basic events, three safety barriers that prevent the occurrence of the desired scenario (congestion, immediate ignition, and delayed ignition), and six consequences including flash fire, jet fire, fire ball, pool fire, explosion, and safe release of hydrogen gas. The probability of hydrogen leakage from the chlorination unit was 1.51×10^{-18} , and the most likely consequence was "explosion/jet fire/flash fire," with a probability of 4.89×10^{-2} .

Conclusion We identified the causes, safety barriers, and potential consequences of hydrogen gas leakage from the chlorination unit of a combined-cycle power plant. The malfunction of electrolyzers is the most significant cause and explosion/jet fire/flash fire is the most important consequence of hydrogen leakage.

Keywords Combined-cycle power plant, Hydrogen gas, Risk assessment, Bow-tie technique, Chlorination unit, Safety system, Gas leakage

Article Info:

Received: 07 Dec 2024

Accepted: 01 Mar 2025

Available Online: 01 Jul 2025

* Corresponding Author:

Tahereh Eskandari

Address: Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Tel: +98 (991) 0714120

E-mail: t.eskandari304@gmail.com



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Combined-cycle power plants are one of the most important and efficient types of power plants worldwide, where exhaust gases from gas turbines are utilized for generating steam and additional energy. However, the presence of chemicals such as chlorine and flammable gases like hydrogen in various processes of these plants poses specific risks. Chlorination units, which are used to prevent scaling and microbial growth in cooling systems, are critical safety points due to the production of hydrogen gas, which is highly flammable and explosive. This study aims to identify and analyze the risks of hydrogen gas leakage from the chlorination unit of a combined-cycle power plant with once-through cooling system in Iran using the bow-tie risk assessment method. This method was selected due to its ability to simulate causes and consequences of industrial accidents, especially in complex processes like chlorination, where multiple factors interact with each other. It was used in this study to identify root causes, analyze the probability of hazardous events, and predict potential outcomes.

Methods

In this research, the scenario of hydrogen gas leakage from the chlorination unit was first selected. To simulate and analyze the probable cause-effect relationships of this scenario, the bow-tie technique was employed. This technique, which combines fault tree analysis (FTA) and event tree analysis (ETA), provides a graphical representation of causes and consequences of incidents. Initially, the causes and intermediate events leading to hydrogen leakage were identified, and then effective safety barriers to prevent the incident were simulated. Finally, the potential consequences of the scenario were examined.

Results

The results showed that hydrogen leakage from the chlorination unit occurs due to failures in three main systems: The chlorine storage tank, rectifier, and electrolyzers. A total of 44 root causes and 20 intermediate causes were identified that could lead to hydrogen leakage. Also, three effective safety barriers were identified: Congestion, immediate ignition, and delayed ignition. These safety barriers play a crucial role in preventing the leakage, and their success or failure can lead to different consequences such as flash fires, jet fires, pool fire, fire ball, explosion, or safe release of hydrogen gas. Quantitative analysis of this scenario indicated that the probability of hydrogen leakage from the chlorina-

tion unit was $1.51 \times 10^{-1}\%$, and the most likely consequence, "explosion/flash fire/jet fire," was identified with a probability of $4.89 \times 10^{-20}\%$.

Conclusion

The analysis using the Bow-tie method showed that the probability of hydrogen leakage from the chlorination unit increases significantly if safety systems fail. Furthermore, since the failure of electrolyzers was identified as the primary cause of this incident, it seems that this part of the system requires greater attention and improvements in safety and monitoring. Strengthening safety barriers can significantly reduce the risks associated with hydrogen gas leakage. The findings also indicate that the likelihood of consequences such as explosions and flash fires is very high if safety barriers do not function correctly. Therefore, measures to strengthen these barriers and reduce the likelihood of incidents are essential.

This study demonstrates that the bow-tie technique can be an effective tool for analyzing and assessing risks in complex systems such as the chlorination unit of combined-cycle power plants. The model is particularly useful in cases where factors such as sensitive equipment and environmental hazards interact with each other. This research can help power plants and similar industries and be a basis for future studies in industrial accident risk management of power plants.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This research was conducted in compliance with all ethical principles. Since there was no experiment on human or animal samples, the need for an ethical code was waived.

Funding

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

This Page Intentionally Left Blank



مقاله پژوهشی

ارائه مدل ارزیابی و تحلیل ریسک دینامیک نشت گاز هیدروژن در یک واحد کلرزنی نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از تکنیک پاپیونی

ایرج محمدفام^۱، * طاهره اسکندری^۲

۱. گروه ارگونومی، مرکز تحقیقات سلامت در حوادث و بلایا، دانشگاه علوم توانبخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران.

۲. گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.



Citation: Mohammadfam, I., & Eskandari, T. (2025). [Bow-tie Risk Assessment of Hydrogen Gas Leakage From the Chlorination Unit of a Combined-cycle Power Plant (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):230-241. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.811.1>

doi: <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.811.1>

چکیده

زمینه و هدف: نیروگاه از نقطه نظر بروز حوادث شغلی از کانونهای فوق العاده حساس در جهان به شمار می‌رود. باتوجه به موقعیت حساس نیروگاههای سیکل ترکیبی، جهت حفظ نیروی انسانی، کاهش هزینه‌های پرداختی بابت حوادث شغلی و کاهش روزهای تلف شده می‌بایست ریشه‌یابی اصولی حوادث در این صنایع مورد تحقیق، پژوهش و بررسی روزافزون قرار گیرد.

روش: در ابتدا نشت گاز هیدروژن از واحد کلرزنی به عنوان سناریوی مورد مطالعه جهت ارزیابی ریسک احتمالی انتخاب شد. برای آنالیز علت - پیامد سناریوی مورد نظر از تکنیک پاپیونی (Bow-tie) استفاده شد. Bow-tie یک روش گرافیکی برای نشان دادن سناریوی کامل حادثه است که از علل حادثه شروع و با عواقب آن پایان می‌یابد.

یافته‌ها: تحلیل نشت گاز هیدروژن از واحد کلرزنی با استفاده از تکنیک Bow-tie، ۴۴ علت پایهای را شناسایی کرد. همچنین ۳ مانع ایمنی در پیشگیری از وقوع سناریوی مورد نظر شناسایی شد که موفقیت و شکست این مانع ایمنی منجر به تعیین ۶ پیامد نهایی شد.

نتیجه‌گیری: تجزیه و تحلیل علت - پیامد سناریوی با استفاده از دیگرام Bow-tie، رویدادهای پایهای، رویدادهای میانی، موقع ایمنی و شناسایی پیامدهای احتمالی ناشی از نشت هیدروژن از واحد کلرزنی انجام شد. براساس تحلیل تکنیک BT، نقص عملکرد الکترولایزرها به عنوان مهم‌ترین عامل و انفجار / آتش فورانی / آتش ناگهانی به عنوان مهم‌ترین پیامد در وقوع نشت هیدروژن از واحد کلرزنی شناخته شدند.

کلیدواژه‌ها: تحلیل ریسک، تکنیک پاپیونی، گاز هیدروژن، نیروگاه

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۷ آذر ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۱ اسفند ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۱۰ تیر ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

طاهره اسکندری

نشانی: تهران، دانشگاه علوم پزشکی ایران، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت حرفه‌ای.

تلفن: ۰۲۱۴۱۲۰۰۷۱۱ (۹۹۱) +۹۸

پست الکترونیکی: T.eskandari304@gmail.com



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

کیلوژول بر مول است. در صورت ترکیب هیدروژن با هوا، ممکن است در اثر یک جرعه کوچک، مقدار اندکی گرما و یا نور خورشید انفجار رخ دهد. حوادث مربوط به گاز هیدروژن در صنعت به علت خصوصیات ویژه آن (قابلیت اشتعال بالا، انفجار و پراکندگی) متفاوت از سایر حوادث صنعتی است. برای مثال انفجار هیدروژن در پسانادا^۵ آمریکا (سال ۱۹۹۲) منجر به کشته شدن ۲۳ نفر و زخمی شدن ۳۱۶ نفر شد. انفجار بر اثر نشت گاز هیدروژن در یک نیروگاه در هنگ کنگ (سال ۱۹۹۹) باعث مرگ ۲ نفر و مجروح شدن ۱۹ نفر شد. در همان سال آتش سوزی و انفجار هیدروژن در نیروگاهی در فلوریدا منجر به مرگ ۳ نفر و زخمی شدن ۵۰ نفر شد (باند و رید، ۲۰۲۰).

نیروگاه از نقطه نظر بروز حوادث شغلی از کانون های فوق العاده حساس در جهان به شمار می رود (فرشادمنش و همکاران، ۲۰۲۴). بنابراین باتوجه به موقعیت حساس نیروگاه های سیکل ترکیبی، جهت حفظ نیروی انسانی، کاهش هزینه های پرداختی بابت حوادث شغلی و کاهش روزهای تلف شده می بایست ریشه یابی اصولی حوادث در این صنایع مورد تحقیق، پژوهش و بررسی روزافزون قرار گیرد (روبین و ژای، ۲۰۱۲؛ لعل و همکاران، ۲۰۱۹). ارزیابی ریسک یکی از مهم ترین روش های کنترل هدفمند خطرات در صنعت است. همچنین مدیریت ریسک از مهم ترین ابزارهای تعیین استراتژی های کنترل است که باید در سطوح مختلف و ابعاد مختلف یک فرایند کاری بررسی شود (شیرالی و همکاران، ۲۰۱۳). از روش های مورد استفاده در ارزیابی ریسک، روش ارزیابی ریسک Bow-tie است که یک روش احتمالاتی یکپارچه در مدیریت ریسک است که با یافتن علل بنیادین بروز یک حادثه و روابط منطقی حاکم بر آن ها، به تجزیه و تحلیل پیامدهای آن و ارزیابی احتمالات و مسیر رخداد سناریوهای مختلف جهت جلوگیری، کنترل و کاهش رویدادهای ناخواسته می پردازد (حیرانی و بقائی، ۲۰۱۶).

مارکوفسکی و کوتینیا در سال ۲۰۱۲، مطالعه ای با عنوان «کاربرد مدل Bow-tie در آنالیز لایه های حفاظتی» به این نتیجه رسیدند که در میان مدل های کیفی مختلفی که برای ارائه سناریوی حادثه استفاده می شود، رویکرد Bow-tie بهترین نمایش تصویری روابط بین خطرات مختلف (علل)، حوادث، سیستم های ایمنی و پیامدهای آن به شمار می رود. این مدل می تواند مجموعه ای کامل از رویدادهای مسیر را معرفی کند که می تواند برای همه سناریوهای احتمالی مورد استفاده قرار گیرد (مارکوفسکی و کوتینیا، ۲۰۱۱).

در مطالعه انجام شده توسط امیرحسین تکیه و همکاران، تحت عنوان «کاربرد تکنیک Bow-tie در آنالیز حادثه واحد SRP پالایشگاه شهید تندگویان تهران (سال ۱۳۹۰)» یکی از حوادث

نیروگاه ها شامل مجموعه ای از ماشین آلات و دستگاه ها هستند که برای تبدیل انرژی نهفته برخی از مواد قابل احتراق یا انرژی پتانسیل جریان آب به انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرند (آزاده و همکاران، ۲۰۰۷؛ فرشادمنش و همکاران، ۲۰۲۴). انواع نیروگاه ها شامل نیروگاه حرارتی (نیروگاه های هسته ای، بخاری، گازی، سیکل ترکیبی و دیزلی)، نیروگاه برقابی، نیروگاه بخار، نیروگاه گازی و نیروگاه های با انرژی تجدیدپذیر هستند (هرینچنکو و همکاران، ۲۰۲۳). نیروگاه سیکل ترکیبی پربازده ترین نوع نیروگاه در بین تمامی نیروگاه ها است. در چنین نیروگاه هایی انرژی حرارتی ناشی از گازهای خروجی توربین گاز به یک بویلر باز یافت با چرخه آب / بخار رفته و با چرخش پره های توربین سبب تولید برق می شود (کومار و همکاران، ۲۰۲۰). از آنجایی که یک نیروگاه سیکل ترکیبی دارای توربین بخار و کندانسور است، وجود سیستم خنک کننده در این نیروگاه لازم و ضروری است. باتوجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی این نیروگاه ها نوع سیستم خنک کننده کندانسور می تواند یکی از سیستم های برج خشک^۱، سیستم خنک کننده هوای کندانسور^۲ و یا سیستم یک بار - گذر^۳ باشد. سیستم یک بار - گذر برای نیروگاه های واقع در کنار دریا و یا رودخانه مناسب است (لین و همکاران، ۲۰۲۴).

به طور معمول نیروگاه های واقع در مجاورت دریا، آب را مستقیماً از دریا به داخل چرخه سیستم خنک کاری یک بار - گذر کشیده و نهایتاً دوباره آن را به داخل دریا تخلیه می کنند. شرایط در داخل چرخه سیستم خنک کاری محیط مناسبی جهت رسوب و رشد میکروارگانیسم های دریایی است. این رسوبات می تواند منجر به انسداد لوله ها و کانال ها شود (محمدفام و همکاران، ۲۰۲۳). غربالگری جریان آب خنک کننده و تمیز کردن رسوبات، جزء استراتژی های کنترل کننده مؤثر در سیستم های نیروگاهی است. دوزینگ شیمیایی نظیر کلرزی مکرر در سطوح پایین تر از سطح کشندگی^۴، روشی مؤثر برای پاک سازی فیزیکی آب است که به طور گسترده جهت کنترل رسوبات در کانال های خنک کننده نیروگاه برق مورد استفاده قرار می گیرد. فعل و انفعالات شیمیایی صورت گرفته در فرایند تولید کلر مورد نیاز در واحد کلرزی نیروگاه های سیکل ترکیبی، منجر به تولید سدیم هیپوکلریت و گاز هیدروژن می شود (گلور و همکاران، ۲۰۲۰). گاز هیدروژن بسیار قابل اشتعال و انفجار است. به طوری که در ترکیب با هوا و در بازه گسترده ای از غلظت ۴ تا ۷۵ درصد حجمی، قابلیت اشتعال و انفجار را داراست و آنتالپی استاندارد سوختن آن ۲۸۶

1. Heller
2. Acc
3. Once-through
4. Sub- lethal



لیمریک و همکاران، ۲۰۱۴.

باتوجه به موارد ذکر شده هدف مطالعه حاضر شناسایی و کمی سازی علل وقوع نشت گاز هیدروژن از واحد کلرزی یک نیروگاه سیکل ترکیبی با سیستم خنک کننده یک بار - گذر براساس تکنیک Bow-tie است.

روش

تکنیک Bow-tie

شناسایی و ارزیابی علل اصلی رخداد نشت گاز هیدروژن از واحد کلرزی، همچنین پیامدهای ناشی از رخداد آن براساس تکنیک Bow-tie انجام شد.

BT یا تکنیک پاپیونی یک روش گرافیکی برای نشان دادن سناریوی کامل حادثه است که از علل حادثه شروع و با عواقب آن پایان می یابد. این مدل درواقع از ترکیب ۲ روش تحلیل درخت خطا^۸ و تحلیل درخت رویداد^۹ تشکیل شده است. شناسایی و ارزیابی علل اصلی سناریوی موردنظر (رویداد اصلی) با استفاده از تکنیک تحلیل درخت خطا انجام شد (رضائی فر و همکاران، ۲۰۲۳). روش تحلیل درخت خطا، یک مدل منطقی و سلسله مراتبی است که چگونگی وقوع یک حادثه ناخواسته را از ترکیب رویدادهای میانی^{۱۰} و رویدادهای پایه ای^{۱۱} نشان می دهد. حادثه ناخواسته معمولاً به عنوان رویداد اصلی درخت خطا معرفی می شود. در این روش ارتباط بین رویدادها و علل آنها با استفاده از دوازدهای منطقی AND و OR نشان داده می شود (اسکندری و همکاران، ۲۰۱۹؛ رضائی فر و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین براساس ارتباط منطقی بین رویدادهای پایه با رویدادهای میانی، احتمال رویدادهای میانی و در نهایت احتمال رویداد اصلی از طریق قوانین ترکیب دروازه ها طبق فرمول های شماره ۱، ۲ و ۳ محاسبه می شود.

قوانین ترکیب دروازه ها:

1. AND Gate: $P(A.B) = P(A) \times P(B)$
2. OR Gate: $P(A+B) = P(A) + P(B) - P(A).P(B)$
3. $P_{And}(E) = \prod_{i=1}^k P(E_i)$
4. $P_{Or}(E) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P(E_i))$

k: تعداد کل رویدادهای ورودی به دروازه موردنظر

$P_{And}(E)$: احتمال وقوع رویداد میانی یا رویداد اصلی با ورودی and

8. Fault Tree Analysis (FTA)
9. Event Tree Analysis (ETA)
10. Intermediate Events
11. Basic Events

فرایندی مهم منجر به فوت در شرکت ملی پالایش و پخش فراورده های نفتی ایران با استفاده از تکنیک پاپیون (Bow-tie) که از مؤثرترین و نوین ترین روش های تجزیه و تحلیل حوادث به شمار می رود، مدل سازی شد. این بررسی نشان داد استفاده از روش سیستماتیک و تحلیلی Bow-Tie ضمن تعیین علل ریشه ای حوادث، در تعیین وظایف بحرانی با هدف اطمینان از یکپارچگی و اثربخشی کنترل های جاری کاملاً موثر بوده و نقش مهمی در شناسایی شاخص های کلیدی عملکرد (ایمنی، بهداشت و محیط زیست-HSE)^۶ و بهبود آنها ارائه می دهد (تکیه، ۲۰۰۰).

در مطالعه ای که توسط لی و همکاران در سال ۲۰۱۸ در ارتباط با شبیه سازی سیستم مدیریت ایمنی پروسه کلرزی براساس روش سیستم پویا^۷ صورت گرفت، به این مهم اشاره شد که کارگران، تجهیزات، مواد، محیط زیست و انرژی در فرایند کلرزی در ارتباط بسیار نزدیک با هم هستند، در این مقاله با استفاده از تئوری و روش های پویایی سیستم، یک مدل دینامیکی سیستم کلرزی برای بررسی عوامل نااطمینانی که تأثیر قابل ملاحظه ای در فرایند کلرزی دارند شبیه سازی شده است. ۴ مازول مربوط به کارگران، مدیریت، قوانین (و مقررات) و تجهیزات و همچنین یک عامل جهش مرتبط با درجه خوردگی، به طور جامع یکپارچه شده است. از طریق پیاده سازی یکسری از سناریوها با ورودی های مختلف، می توان دریافت مدل پیشنهادی دینامیکی سیستم می تواند الگوی نفوذ در میزان خوردگی تجهیزات را به دست آورد و مهارت کار، تأثیر مثبت و کاملی بر ایمنی سیستم دارد (لی و همکاران، ۲۰۱۸).

مارکوفسکی و کوتینیا در سال ۲۰۱۲، مطالعه ای با عنوان «کاربرد مدل Bow-tie در آنالیز لایه های حفاظتی» به این نتیجه رسیدند که در میان مدل های کیفی مختلفی که برای ارائه سناریو حادثه استفاده می شود، رویکرد Bow-tie بهترین نمایش تصویری برای روابط بین خطرات مختلف (علل، حوادث، سیستم های ایمنی و پیامدهای آن به شمار می رود. این مدل می تواند مجموعه ای کامل از رویدادهای مسیر را معرفی کند که می تواند برای همه سناریوهای احتمالی مورد استفاده قرار گیرد (مارکوفسکی و کوتینیا، ۲۰۱۱).

در مطالعه انجام گرفته توسط بورگس لیمریکو همکاران در سال ۲۰۱۴، به تجزیه و تحلیل پاپیونی یک برخورد کشنده در یک معدن زغال سنگ زیرزمینی (معدن زغال سنگ زیرزمینی Queensland در سال ۲۰۰۷) با هدف آنالیز مرگ و میر پرداخته شد. در این مقاله برای تشریح از روش Bow-Tie استفاده شد و به این نتیجه رسیدند که نمایش پاپیونی ارائه دهنده یک روش مؤثر سیستماتیک بررسی دلایل، نتایج و پیشگیری احتمالی و کاهش اقدامات کنترل یا موانع مرتبط با تصادف قبلی است (بورگس-لیمریکو و همکاران، ۲۰۱۴).

6. Health, Safety and Environmental (HSE)
7. System Dynamics (SD)



رویدادها و حوادث مختلف پس از رویداد اصلی ترسیم شد. باتوجه به عملکرد موانع ایمنی یعنی شکست یا عملکرد صحیح و مورد انتظار، سناریوی نشت هیدروژن از واحد کلرزی منجر به ۶ پیامد نهایی شد که آتش ناگهانی، آتش فورانی، آتش کروی، انفجار و انتشار مواد را شامل می‌شود.

بعد از ترسیم کیفی Bow-tie، احتمال رخداد رویدادهای پایه و موانع ایمنی با استفاده از پایگاه داده‌هایی مانند OREDA، نظر کارشناسان در این زمینه و داده‌های ارائه‌شده در راهنمای آنالیز ریسک (۲۰۰۰) استخراج شد و کمی‌سازی BT با استفاده از ترکیب دروازه‌های منطقی و فرمول‌های شماره ۴، ۳ و ۵ انجام گرفت (جدول‌های شماره ۱ و ۲).

بحث

این مطالعه در صنایع نیروگاهی با هدف شناسایی و ارزیابی خطرات و تعیین ریسک‌های ایمنی مؤثر در واحد کلرزی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با سیستم خنک‌کاری یک بار - گذر با استفاده از جمع‌آوری داده‌ها از طریق روش‌های میدانی، شامل بررسی نقشه‌های دیاگرام جریان فرایند (PFD)^{۱۲} و نقشه‌های نمودار لوله کشی و ابزار دقیق (P&ID)^{۱۳} واحد کلرزی توسط اعضای تیم ارزیابی ریسک، بررسی حوادث و شبه‌حوادث واحد کلرزی نیروگاه مورد مطالعه و صنایع مشابه، مصاحبه با اپراتورها و خبرگان واحد کلرزی نیروگاه مورد مطالعه، بررسی دستورالعمل‌های کاری مکتوب جهت بهره‌برداری از سیستم، بررسی داده‌های نرخ نقص اجزای واحد کلرزی، بررسی لاگ شیت‌های راه‌اندازی و کنترل عملکرد روزانه سیستم و روش کتابخانه‌ای (استفاده از کتاب‌ها، مقاله‌ها، اینترنت و غیره) براساس روش تحلیل ریسک‌های نامطلوب سیستم با استفاده از روش Bow-tie صورت گرفته است. امروزه بیشتر مطالعات جهت طراحی استراتژی‌های پیشگیرانه و کنترلی حوادث در صنایع بر روی فرایند مدیریت ریسک تمرکز بیشتری دارند، زیرا در این فرایند رویدادهای پایه منجر به رخداد رویداد اصلی (سناریو) شناسایی می‌شوند تا امکان طراحی استراتژی‌های پیشگیرانه کارآمدتر فراهم شود (امین و همکاران، ۲۰۲۳).

در بین روش‌های تحلیل حوادث، تکنیک Bow-tie به‌عنوان یک روش کارآمد و قابل اعتبار به‌خاطر توانایی آن در نمایش علل رخداد یک حادثه در قالب یک مدل گرافیکی ثابت شده است (برقی‌پور و همکاران، ۲۰۲۱؛ آلنکار و همکاران، ۲۰۲۳). Bow-tie، تکنیکی ثابت در مدیریت ریسک مرتبط و شناسایی علل مخاطرات است. این یک روش تجزیه و تحلیل جامع، سازمان‌یافته و منطقی با هدف شناسایی و ارزیابی مخاطرات سیستم‌های پیچیده است (برقی‌پور و همکاران، ۲۰۱۹).

$P_{or}(E)$: احتمال وقوع رویداد میانی یا رویداد اصلی با ورودی OR

$P(E_i)$: احتمال رخداد رویدادها در درخت خطا E_i برای $i=1, 2, 3$

در ادامه به‌منظور شناسایی پیامدهای مختلفی که در صورت وقوع رویداد اصلی (نشت گاز هیدروژن از واحد کلرزی) و نقص هر یک از موانع ایمنی ممکن است رخ دهد، از تکنیک آنالیز درخت رویداد^{۱۴} (ETA) استفاده شد (کورمانوف و همکاران، ۲۰۲۴).

ETA یک ابزار بسیار قدرتمند برای شناسایی و محاسبه ترتیب رخداد سناریوهای دخیل در حادثه بالقوه است و یک تکنیک مدل‌سازی قیاسی است که با ایجاد ۲ شاخه موفقیت و نقص به‌طور هم‌زمان به ارزیابی یک رویداد منفرد می‌پردازد. هدف این تکنیک، تعیین رخداد اولیه و پیامدهای آن در صورت عدم کارکرد صحیح سیستم‌های ایمنی است (اسکندر و همکاران، ۲۰۱۸؛ اندروز و اریکسون، ۲۰۰۰). در این رویکرد، احتمال رخداد هر پیامد از طریق فرمول شماره ۵ محاسبه شد.

$$5. Pr(\text{Consequence}) = Pr(TE) \times \prod_{j=1}^n Pr(E_j)$$

در این رابطه $Pr(\text{Consequence})$ احتمال رخداد هر یک از پیامدها، $Pr(TE)$ احتمال رویداد اصلی و $Pr(E)$ احتمال شکست یا موفقیت موانع ایمنی است.

یافته‌ها

تصویر شماره ۱ دیاگرام Bow-tie حاصل از سناریو نشت گاز هیدروژن از واحد کلرزی را نشان می‌دهد که سمت چپ آن دیاگرام تحلیل درخت خطا و سمت راست آن دیاگرام ETA است.

در ابتدا ترسیم دیاگرام تحلیل درخت خطای نشت هیدروژن از واحد کلرزی (به‌عنوان سناریو اصلی) انجام شد. شناسایی علل اصلی نشت هیدروژن از واحد کلرزی از طریق مشاهدات مستقیم، مصاحبه با کارشناسان، بررسی اسناد و نقشه‌های عملیاتی جمع‌آوری شد. نتایج به ۳ علل اصلی، از جمله نقص در مخزن ذخیره کلر، نقص در عملکرد رکتی فایر و نقص عملکرد الکترولایزرها اشاره کرد. این علل اصلی به علل میانی و پایه‌ای بیشتر شکسته شدند. در مجموع ۶۴ علل یا نقص (۴۴ علل پایه‌ای و ۲۰ علل میانی) در وقوع نشت هیدروژن از واحد کلرزی شناسایی شد.

بخش درخت رویداد با در نظر گرفتن ۳ مانع ایمنی، تراکم و احتقان^{۱۵}، جرقه آبی^{۱۶} و جرقه تأخیری^{۱۷} با هدف تعیین توالی

12. Event Tree Analysis (ETA)

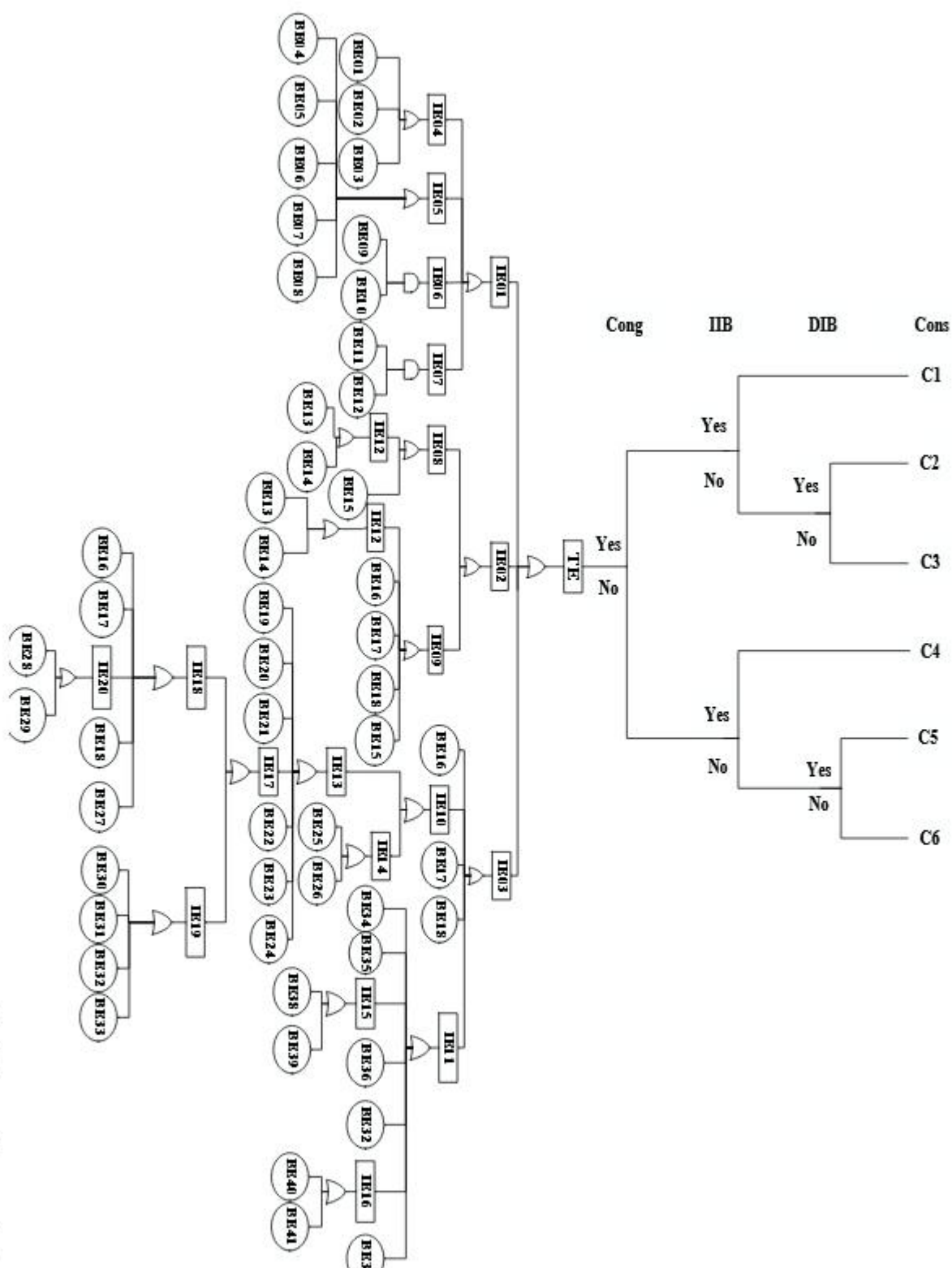
13. Congestion

14. Immediate ignition barrier

15. Delay ignition barrier

16. Process Flow Diagram

17. Piping and Instrumentation Diagram



شکل ۱. دیاگرام Bow-tie سناریوی نشت گاز هیدروژن از واحد کلرزنی



جدول ۱. نمادها، توصیفها و احتمالات رویدادهای میانی (IE)

رویدادهای اصلی و میانی و پیامدها	توصیف	احتمال (BT)
Top Event	نشت هیدروژن از واحد کلرزنی	$1/51 \times 10^{-1}$
IE01	نقص در مخزن ذخیره کلر	$3/41 \times 10^{-2}$
IE02	نقص عملکرد رکتی فایر	$1/93 \times 10^{-2}$
IE03	نقص عملکرد الکترولایزرها	$1/03 \times 10^{-1}$
IE04	پایین بودن دبی تزریق	$6/44 \times 10^{-2}$
IE05	کاهش دبی هوای یلوفر	$2/78 \times 10^{-2}$
IE06	بالا بودن سطح مخزن	$1/78 \times 10^{-2}$
IE07	پایین بودن سطح مخزن	$1/59 \times 10^{-2}$
IE08	بالا بودن ولتاژ در رکتی فایر	$5/59 \times 10^{-2}$
IE09	جریان بالا در رکتی فایر	$1/38 \times 10^{-2}$
IE10	نقص سیستم تهیه آب نمک	$4/68 \times 10^{-2}$
IE11	بالا بودن فشار هیدروژن	$4/68 \times 10^{-2}$
IE12	خطای اپراتور	$7/99 \times 10^{-2}$
IE13	کاهش غلظت آب نمک	$4/24 \times 10^{-2}$
IE14	انتقال پایین نمک	$4/65 \times 10^{-2}$
IE15	نشت کلر از سلها	$2/51 \times 10^{-2}$
IE16	گرفتگی مسیر تهویه هیدروژن	$7/71 \times 10^{-2}$
IE17	پرور تنش در سلها	3×10^{-2}
IE18	جریان بالا	$1/68 \times 10^{-2}$
IE19	ولتاژ بالا	$1/34 \times 10^{-2}$
IE20	خطای انسانی	$1/14 \times 10^{-2}$

جدول ۲. نمادها، توصیفها و احتمالات پیامدهای ناشی از نشت گاز هیدروژن

پیامدها	توصیف	احتمال (BT)
C1	آتش کروی / آتش فورانی	$9/06 \times 10^{-2}$
C2	انفجار / آتش فورانی / آتش ناگهانی	$4/89 \times 10^{-2}$
C3	رهایش ایمن	$3/26 \times 10^{-2}$
C4	آتش فورانی	$6/04 \times 10^{-2}$
C5	آتش فورانی / آتش ناگهانی	$3/26 \times 10^{-2}$
C6	رهایش ایمن	$2/17 \times 10^{-2}$



باتوجه به پیچیدگی‌های فرایند و تأثیرات احتمالی آن، استفاده از مدل Bow-tie در شبیه‌سازی و تحلیل حوادث سیستم‌های پیچیده، مانند نیروگاه‌های سیکل ترکیبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مدل با ارائه تصویری شفاف از علل و پیامدهای حادثه، امکان شناسایی راه‌های مقابله با خطرات و طراحی استراتژی‌های مؤثر برای کاهش ریسک‌ها و پیامدهای ناخواسته را فراهم می‌آورد. در نتیجه، استفاده از این روش در تحلیل ریسک‌های مرتبط با واحدهای کلرژنی نیروگاه‌ها می‌تواند به افزایش ایمنی و کاهش خطرات منجر شود.

در نهایت، پیشنهاد می‌شود نیروگاه‌ها به‌طور مداوم بر سیستم‌های کنترل ایمنی نظارت داشته باشند و از نتایج این مطالعه برای بهبود برنامه‌های ایمنی و پیشگیری از حوادث استفاده کنند. این امر نه تنها به حفظ سلامت کارکنان و محیط زیست کمک خواهد کرد، بلکه به کاهش هزینه‌های اقتصادی ناشی از حوادث نیز منتهی می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاقی پژوهش

این تحقیق با رعایت تمام اصول اخلاقی انجام شد. از آنجایی که هیچ آزمایشی روی نمونه‌های انسانی یا حیوانی انجام نشد، نیازی به رعایت اصول اخلاقی نبود.

حامی مالی

این پژوهش هیچ گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت‌نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

Bow-tie دارای توانایی استدلال استقرایی است که احتمال وقوع رویداد اصلی را پیش‌بینی می‌کند (میرزایی علی‌آبادی و همکاران، ۲۰۱۶؛ پاپازورگیو و همکاران، ۲۰۲۳). نتایج استدلال استقرایی به‌منظور پیش‌بینی احتمال نشت گاز هیدروژن از واحد کلرژنی با رویکرد BT نشان داد احتمال وقوع به‌دست آمده $10^{-1} \times 1/51$ است. همچنین نتایج استدلال استقرایی سناریوی نشت گاز هیدروژن از واحد کلرژنی با استفاده از مدل Bow-tie نشان داد پیامد دوم (انفجار / آتش‌فروانی / آتش ناگهانی) محتمل‌ترین پیامد ناشی از نشت گاز هیدروژن از واحد کلرژنی با احتمال وقوع $10^{-2} \times 4/89$ است.

نتایج حاصل، حاکی از توان بالای این روش در تحلیل خطرات و ریسک‌ها با ارائه یک تحلیل روشن و قابل‌فهم برای همگان از اقدامات پیشگیرانه و واکنشی مطلوب است که این موضوع با یافته‌های تحقیق تکیه و همکاران در سال ۱۳۹۰ (تکیه، ۲۰۰۰)، مبنی بر نقش مهم Bow-tie در شناسایی شاخص‌های کلیدی عملکرد HSE و بهبود آن‌ها و همچنین مطالعه بورگس-لیمریکو در سال ۲۰۱۴ (بورگس-لیمریکو، ۲۰۱۴)، مبنی بر امکان ارائه یک روش مؤثر سیستماتیک بررسی دلایل، نتایج و پیشگیری احتمالی و کاهش اقدامات کنترل یا موانع مرتبط با تصادف قبلی با استفاده از روش Bow-tie، هم‌راستا است.

مطالعه حاضر یک رویکرد جامع تحلیل کمی ریسک نشت هیدروژن از واحد کلرژنی یک نیروگاه سیکل ترکیبی با سیستم خنک‌کننده یک بار - گذر ارائه می‌دهد. نشت هیدروژن از واحد کلرژنی (سناریوی اصلی) و پیامدهای ناشی از آن برای تحلیل ریسک احتمالی مدنظر قرار گرفت. تجزیه و تحلیل علت - پیامد سناریو با استفاده از دیاگرام Bow-tie، رویدادهای پایه‌ای، رویدادهای میانی، موانع ایمنی و شناسایی پیامدهای احتمالی ناشی از نشت هیدروژن از واحد کلرژنی انجام شد. براساس تحلیل تکنیک Bow-tie، نقص عملکرد الکترولایزرها به‌عنوان مهم‌ترین عامل و انفجار / آتش‌فروانی / آتش ناگهانی به‌عنوان مهم‌ترین پیامد در وقوع نشت هیدروژن از واحد کلرژنی شناخته شدند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با استفاده از تکنیک تحلیل Bow-tie، خطرات و ریسک‌های ناشی از نشت گاز هیدروژن از واحد کلرژنی یک نیروگاه سیکل ترکیبی با سیستم خنک‌کننده یک بار - گذر شناسایی و ارزیابی شد. نتایج نشان داد وقوع نشت هیدروژن از واحد کلرژنی ممکن است به پیامدهای جدی همچون انفجار، آتش‌فروانی و آتش ناگهانی منجر شود. از آنجایی که نقص عملکرد الکترولایزرها به‌عنوان مهم‌ترین علت در وقوع این حادثه شناسایی شد اقدامات پیشگیرانه باید بر بهبود عملکرد این سیستم و پایش دقیق آن متمرکز شود.



References

- Alencar, M., Silva, L., Bhardwaj, U., & Guedes Soares, C. (2023). Risk identification and Bowtie analysis for risk management of subsea pipelines. Paper presented at: *The 33rd European Safety and Reliability Conference (ESREL 2023)*, 3 – 8 September 2023, Southampton, UK. [DOI:10.3850/978-981-18-8071-1_P195-cd]
- Amin, Z., & Mohammad, R. (2023). Bowtie analysis for risk assessment of confined space at sewerage construction project. *Progress in Energy and Environment*, 24, 22-34. [DOI:10.37934/progress.24.1.2234]
- Andrews, J., & Ericson, C. A. (2000). Fault tree and Markov analysis applied to various design complexities. *Proceedings of the 18th international system safety conference*. [Link]
- Azadeh, A., Mohammad, F. I., & Garakani, M. (2007). A total ergonomic design approach to enhance the productivity in a complicated control system. *Information Technology Journal*, 6(7), 1036-1042. [DOI:10.3923/itj.2007.1036.1042]
- Bond, J., & Reid, D. (2020). Explosion at the Phillips' Houston chemical complex, Pasadena, 23 October 1989. *Loss Prevention Bulletin*, 272, 29-31. [Link]
- Borgheipour, H., Tehrani, G., Eskandari, T., Mohammadi, O., & Mohammadfam, I. (2021). Dynamic risk analysis of hydrogen gas leakage using Bow-tie technique and Bayesian network. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18, 3613-3624. [DOI:10.1007/s13762-020-03090-4]
- Borgheipour, H., Tehrani, G. M., Tehrani, N. A., Lomer, S. N., Esfahani, A. N., & Mohammadfam, I. (2019). Health Safety and Environmental Hazards of the Chlorination Unit of Combined Cycle Power Plants by Using HAZOP and Bow-Tie Methods. *Occupational Hygiene and Health Promotion*. [DOI:10.18502/ohhp.v3i2.1391]
- Burgess-Limerick, R., Horberry, T., & Steiner, L. (2014). Bow-tie analysis of a fatal underground coal mine collision. *Ergonomics Australia*, 10, 1-5. [Link]
- Eskandari, T., Aliabadi, M. M., & Mohammadfam, I. (2018). Dynamic analysis of the consequences of gas release in process industries using event tree technique and bayesian network. *International Journal of Occupational Hygiene*, 10(3), 151-157. [Link]
- Eskandari, T., Mohammadfam, I., & Mirzaei Aliabadi, M. (2019). [Dynamic Safety Analysis CNG Stations Using Fault Tree Approach and Bayesian Network (Persian)]. *Journal of Health and Safety at Work*, 9(4), 250-264. [Link]
- Fam, I. M., Azadeh, A., & Azadeh, M. A. (2023). Modeling an integrated health, safety and ergonomics management system: Application to power plants. *Journal of Research in Health Sciences*, 7(2), 1-10. [Link]
- Farshadmanesh, P., Beal, J., Sakurahara, T., Reihani, S., Kee, E., & Rowell, A. et al. (2024). Modeling interconnections of safety and financial performance of nuclear power plants part 1: Categorical review and theoretical bases. *Progress in Nuclear Energy*, 171, 105123. [DOI:10.1016/j.pnucene.2024.105123]
- Glover, A., Baird, A., & Brooks, D. (2020). *Final report on hydrogen plant hazards and risk analysis supporting hydrogen plant siting near nuclear power plants*. New Mexico: Sandia National Laboratories. [DOI:10.2172/1678837]
- Heyrani, P., & Baghaei, A. (2016). [Risk assessment in gas and oil pipelines based on the fuzzy Bow-tie technique (Persian)]. *Journal of Health and Safety at Work*, 6(1), 59-70. [Link]
- Hrinchenko, H., Koval, V., Shmygol, N., Sydorov, O., Tsimoshynska, O., & Matuszewska, D. (2023). Approaches to sustainable energy management in ensuring safety of power equipment operation. *Energies*, 16(18), 6488. [DOI:10.3390/en16186488]
- Kumar, P., Singh, L. K., & Kumar, C. (2020). Performance evaluation of safety-critical systems of nuclear power plant systems. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(3), 560-567. [DOI:10.1016/j.net.2019.08.018]
- Kurmanov, A., Bekmagambetov, A., Daumova, G., Issamadiyeva, G., & Kulmagambetova, E. (2024). Event tree analysis as a method of assessing occupational risks in the production of titanium ingots. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 14(5), 1371-1376. [DOI:10.18280/ijssse.140503]
- Laal, F., Fallah Madvari, R., & Halvani, G. (2019). The impact of safety programs on accident indicators in a combined cycle power plant. *Health in Emergencies and Disasters Quarterly*, 5(1), 45-52. [DOI:10.32598/hdq.5.1.320.1]
- Li, C. Y., Wang, J. H., Zhi, Y. R., Wang, Z. R., & Gong, J. H. (2018). Simulation of the chlorination process safety management system based on system dynamics approach. *Procedia Engineering*, 211, 332-342. [Link]
- Lin, H., Zhang, S., Cao, R., Yu, S., Bai, W., & Zhang, R., et al. (2024). A review on the risk, prevention and control of cooling water intake blockage in coastal nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Technology*, 56(2), 389-401. [DOI:10.1016/j.net.2023.10.009]
- Markowski, A. S., & Kotynia, A. (2011). "Bow-tie" model in layer of protection analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 89(4), 205-213. [DOI:10.1016/j.psep.2011.04.005]
- Mirzaei Aliabadi, M., Mohammad Fam, I., Kalatpour, O., & Babayi Mesdaraghi, Y. (2016). [Risk assessment of liquefied petroleum gas (LPG) storage tanks in the process industries using the Bowtie technique (Persian)]. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*, 3(2), 1-11. [DOI:10.21859/johe-03021]
- Papageorgiou, P., Dermatis, Z., Anastasiou, A., Liargovas, P., & Papadimitriou, S. (2023). Using a Proposed Risk Computation Procedure and Bow-Tie Diagram as a Method for Maritime Security Assessment. *Transportation Research Record*, 2678(2), 318-339. [DOI:10.1177/03611981231173641]
- Ramezanifar, E., Gholamizadeh, K., Mohammadfam, I., & Aliabadi, M. M. (2023). Reliability assessment of fixed foam systems of storage tank based on fuzzy fault tree analysis. *Journal of Health & Safety at Work*, 13(1), 1-17. [Link]
- Rubin, E. S., & Zhai, H. (2012). The cost of carbon capture and storage for natural gas combined cycle power plants. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3076-3084. [DOI:10.1021/es204514f] [PMID]
- Shirali, G. A., Mohammadfam, I., Ebrahimipour, V. (2013). A new method for quantitative assessment of resilience engineering by PCA and NT approach: A case study in a process industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 119, 88-94. [DOI:10.1016/j.res.2013.05.003]
- Tekyeh, A. H., Jafari, M. J., & Mortazavi, S. B. (2000). [Application of Bow-Tie technique in the accident analysis of SRP Unit of Shahid Tondogan Refinery in Tehran (Persian)]. Paper presented at: The 7th National Conference on Occupational Health, Qazvin, Iran, 3 May 2011. [Link]

This Page Intentionally Left Blank

Research Paper

Analyzing the Physical and Infrastructural Resilience to Fire Accidents in District 20 of Tehran, Iran, Based on the Geographic Information System



Eslam Ali Khodabandehlou¹ , *Amir Hooman Hemmasi² , Akramolmoluk Lahijanian² , Amir Hesam Hassani² , Ali Mohammadi² 

1. Department of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Department of Industry and Energy Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.



Citation Khodabandehlou, EA., Hemmasi, AH., Lahijanian, A., Hassani AH., & Mohammadi, A. (2025). [Analyzing the Physical and Infrastructural Resilience to Fire Accidents in District 20 of Tehran, Iran, Based on the Geographic Information System (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):242-265. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.915.1>

 <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.915.1>

ABSTRACT

Background and objective The present study aims to analyze the status of physical and infrastructural resilience to fire accidents in District 20 of Tehran, Iran based on the geographic information system.

Method First, the criteria to evaluate the physical and infrastructural resilience were collected. Then, researcher-made questionnaires were completed by 15 experts from fire departments in Tehran, to rate the importance of these criteria. The weight of these factors was calculated using the Expert Choice 11 software. By layering the criteria using the weights obtained from the analytical hierarchical process (AHP) in ArcGIS software, version 10.6 and overlaying the layers, the final resilience map of District 20 was prepared.

Results There were three main criteria, seven sub-criteria, and 21 indicators to evaluate the resilience. Based on the software output, the main criteria were prioritized as infrastructure resilience with a weight of 0.731, physical resilience with a weight of 0.188, and environmental resilience with a weight of 0.081. Based on the zoning map of resilience in the context of health, safety, and environment, it was found that 3.3% of the area (729,718 m²) had low resilience, 35.38% (7,802,578 m²) moderate resilience, 29.54% (6,513,646 m²) high resilience, 30.1% (6,639,824 m²) very high resilience, and 1.65% (364,196 m²) extremely high resilience.

Conclusion According to the results, the District 20 of Tehran has appropriate physical and infrastructural resilience to fire and accidents.

Keywords Physical resilience, Infrastructural resilience, GIS, Fire department, Tehran

Article Info:

Received: 29 Dec 2024

Accepted: 15 Mar 2025

Available Online: 01 Jul 2025

* Corresponding Author:

Amir Hooman Hemmasi, Professor.

Address: Department of Industry and Energy Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 44865164

E-mail: h-hemmasi@yahoo.com



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

The communication network plays an important role in the cities' resilience against natural disasters such as earthquakes and fire accidents. If this network has appropriate resilience and does not fail, it can play an important role in reducing casualties from accidents. Access routes as a communication network of the city are very important for rescue forces to reach the accident scene in the shortest possible time and continue operational measures. Various accidents and events have occurred in the Tehran metropolis, Iran. The present study aims to investigate the current and ideal state of physical and infrastructural resilience of District 20 of Tehran based on the geographic information system (GIS) in order to help the Tehran Fire Department during crises and natural disasters.

Materials and Methods

First, three criteria, seven sub-criteria, and 21 indicators were collected to evaluate the physical and infrastructural resilience of the fire stations. Considering that some criteria and sub-criteria are preferable to other criteria and play a significant role in the infrastructural and physical resilience, 15 researcher-made questionnaires were completed by experts from fire departments in Tehran. They were asked to rate the importance of the criteria from 1 to 9. The weight of these criteria was calculated using the Expert Choice 11 software. The inconsistency ratio for judgment consistency was less than 0.1. By layering the criteria using the weights obtained from the analytical hierarchical process (AHP) method in the ArcGIS software, version 10.6 and overlaying the layers, the final resilience map of District 20 was prepared.

Results

The first examined criterion was the infrastructure resilience, which had three sub-criteria, including: Fire stations (number and area of fire stations, number of vehicles and equipment, population density, number of personnel, number of hydrants), vital arteries (roads, power transmission, and gas lines), and relief and military centers (health centers, military centers). The second criterion was physical resilience, which had two sub-criteria of occupations (low-risk places, high-risk places, moderate-risk places) and urban fabric (worn fabric, historical buildings, bridges). The third criterion was environmental resilience with the sub-criteria of geographical features (slope, faults, and

canals) and environmental sustainability (green space of public and private roads).

Based on the AHP results and the output of Expert Choice 11 software, the infrastructure resilience was the first priority (weight=0.731), followed by the physical resilience (weight=0.188) and environmental resilience (weight=0.081). Based on the zoning map of resilience in the context of health, safety, and environment, it was found that 3.3% of the area (729,718 m²) had low resilience, 35.38% (7,802,578 m²) moderate resilience, 29.54% (6,513,646 m²) high resilience, 30.1% (6,639,824 m²) very high resilience, and 1.65% (364,196 m²) extremely high resilience. The results of analyzing the functional radius of seven fire stations showed that fire stations (fire, rescue, and support) in old neighborhoods with narrow passages (region 1 and the southern part of region 4) face accessibility challenges which should be considered in order to make the area resilient to fires and accidents.

Conclusion

According to the results, the District 20 of Tehran has appropriate physical and infrastructural resilience to fire and accidents.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This research was conducted in compliance with the ethical principles. Since there was no experiment on human or animal samples, the need for an ethical code was waived.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.



Acknowledgments

The authors would like thank the Technology and Information Unit of the Tehran Fire Department for providing information and all firefighters and experts who participated in responding to the questionnaire.



مقاله پژوهشی

ارزیابی تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی محدوده عملیاتی ایستگاه‌های آتش‌نشانی منطقه ۲۰ شهر تهران با استفاده از سامانه GIS

اسلام‌علی خدابنده‌لو^۱، *امیرهومن حمصی^۲، اکرم‌الملوک لاهیجانیان^۱، امیرحسام حسینی^۱، علی محمدی^۱

۱. گروه مدیریت زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. گروه مهندسی صنعت و انرژی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.



Citation: Khodabandehlou, EA., Hemmasi, AH., Lahijanian, A., Hassani AH., & Mohammadi, A. (2025). [Analyzing the Physical and Infrastructural Resilience to Fire Accidents in District 20 of Tehran, Iran, Based on the Geographic Information System (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):242-265. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.915.1>

doi: <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.915.1>

چکیده

زمینه و هدف: هدف از پژوهش حاضر، تحلیل وضعیت تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی در برابر حوادث و آتش‌سوزی در منطقه ۲۰ شهر تهران بر اساس سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.

روش: ابتدا معیارهای ارزیابی تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی گردآوری شد. سپس، پرسش‌نامه‌های محقق‌ساخته توسط ۱۵ نفر از کارشناسان سازمان آتش‌نشانی تهران تکمیل شد تا اهمیت این معیارها مشخص شود. وزن این عوامل با استفاده از نرم‌افزار Expert نسخه ۱۱ محاسبه شد. با لایه‌بندی معیارها با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۱۰/۶ و روی هم قرار دادن لایه‌ها، نقشه نهایی تاب‌آوری منطقه ۲۰ تهیه شد.

یافته‌ها: برای ارزیابی تاب‌آوری سه معیار اصلی، هفت زیرمعیار و ۲۱ شاخص مورد تحلیل قرار گرفت. براساس خروجی نرم‌افزار، معیارهای اصلی به‌ترتیب تاب‌آوری زیرساختی با وزن ۰/۷۳۱، تاب‌آوری کالبدی با وزن ۰/۱۸۸ و تاب‌آوری زیست‌محیطی با وزن ۰/۰۸۱ اولویت‌بندی شدند. بررسی ۳ معیار ۷ زیرمعیار و ۲۱ شاخص مکانی برای ارزیابی تاب‌آوری مکانی در منطقه ۲۰، حاکی از آن است که براساس ضریب اهمیت، اولویت‌بندی معیارهای تاب‌آوری به‌ترتیب تاب‌آوری زیرساختی با وزن ۰/۷۳۱، تاب‌آوری کالبدی با وزن ۰/۱۵۸ و تاب‌آوری زیست‌محیطی ۰/۰۸۱ تعیین گردید. براساس نقشه پهنه‌بندی تاب‌آوری در زمینه ایمنی، بهداشت و محیط زیست مشخص شد ۲/۳ درصد از مساحت (۷۲۹۷۱۸ مترمربع) تاب‌آوری کم، ۲۵/۳۸ درصد (۷۸۰۲۵۷۸ مترمربع) تاب‌آوری متوسط، ۲۷/۵۴ درصد (۶۵۱۳۶۴۶) مترمربع) تاب‌آوری زیاد، ۳۰/۱ درصد (۶۶۳۹۸۲۳ مترمربع) تاب‌آوری خیلی زیاد و ۱/۶۵ درصد (۳۶۴۱۹۶ مترمربع) تاب‌آوری بسیار بالا دارد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج، منطقه ۲۰ تهران از نظر تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی در برابر آتش‌سوزی و حوادث از وضعیت مناسبی برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: تاب‌آوری کالبدی، تاب‌آوری زیرساختی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، آتش‌نشانی تهران، منطقه ۲۰ شهر تهران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳ دی ۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳ اسفند ۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴ تیر ۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر امیرهومن حمصی

نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، گروه مهندسی صنعت و انرژی.

تلفن: ۴۴۸۶۵۱۶۴ (۲۱) ۹۸ +

پست الکترونیکی: h-hemmasi@yahoo.com



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

حریق و حوادث رخ داده در سالیان اخیر بیانگر این موضوع است که سازمان‌ها به‌صورت فزاینده‌ای آسیب‌پذیر شده و ریسک‌های ناشی از حریق و حوادث نیز افزایش یافته‌اند. نگاه مدیریت شهری در سواتح، رویکرد کاهش مخاطرات و آسیب‌پذیری بوده است. کلان‌شهر تهران همواره با حوادث و رویدادهای مختلفی همراه است (خدابندهلو و همکاران، ۱۴۰۳).

هدف اصلی و کاربردی پژوهش حاضر، بررسی وضعیت موجود و ایدئال تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی محدوده مورد مطالعه جهت افزایش تاب‌آوری و در نتیجه کاهش آسیب‌پذیری در سازمان آتش‌نشانی تهران به‌عنوان اولین سازمان امدادی پاسخگو در زمان وقوع بحران و سواتح طبیعی (سیل، زلزله و غیره)، سواتح آتسان‌ساخت (حریق، حوادث و خدمات ایمنی) و همچنین حوادث تروریستی است که در نهایت منجر به کاهش خسارات جانی و مالی (آتش‌نشانی و شهروندان) و کاهش آسیب به محیط زیست شهری خواهد شد. شبکه ارتباطی شهر، نقش مهمی در تاب‌آوری شهر در برابر حریق و حوادث دارد. در صورتی که شبکه ارتباطی و مسیرهای دسترسی از تاب‌آوری مناسبی برخوردار باشد و عملکرد خود را از دست ندهد، می‌تواند نقش مهمی در کاهش تلفات ناشی از حوادث داشته باشد. مسیرهای دسترسی بعد از وقوع حوادث به‌عنوان شبکه ارتباطی (شریان‌های حیاتی) شهر برای نیروهای امدادی جهت رسیدن به محل حادثه در کمترین زمان ممکن و در ادامه اقدامات عملیاتی، از قبیل تخلیه، نجات و فاصله گرفتن از شرایط پرخطر و دسترسی به فضاهای امن بسیار حائز اهمیت است. بنابراین در صورت مسدود شدن هر کدام از مسیرهای ارتباطی، خسارات و تلفات ناشی از حوادث و بحران چندین برابر افزایش می‌یابد. در این میان، زلزله اغلب تلفات جبران‌ناپذیری را بر این سکونتگاه‌ها و ساکنان آن تحمیل کرده که لازم است تا با مقاوم‌سازی شهرها بتوان صدمات ناشی از آن را کاهش داد (زلزله و همکاران، ۱۴۰۰).

تاب‌آوری^۱، مفهوم نوظهوری است که بیشتر در مواجهه با عدم قطعیت‌ها به کار می‌رود. تاب‌آوری سازمانی به‌منظور رویارویی و مقابله با چالش‌ها و رخدادها، ناپهنگام، اقداماتی را که نقش اساسی در افزایش تاب‌آوری در سازمان‌ها بازی می‌کنند در پیش می‌گیرد (سیاح‌پور، ۱۳۹۷). تاب‌آوری را می‌توان جزو مباحث چالش‌برانگیز سازمان امداد و نجات دانست (آقایانی و همکاران، ۱۴۰۳). تاب‌آوری توانایی ذاتی یک سیستم برای تنظیم عملکرد آن است تا بتواند عملیات مورد نیاز را در هر دو مورد پیش‌بینی کرده و شرایط غیرمترقبه را حفظ کند (هولنازل، ۱۴۰۱). تاب‌آوری در مشاغل پرخطر که در آن‌ها یک حادثه می‌تواند منجر به آسیب یا حتی مرگ شود بسیار حائز اهمیت است (زردان، ۱۳۹۶).

آتش‌نشانیان معمولاً در محیط‌های مخاطره‌آمیز و ازجمله انفجارها به امدادرسانی و عملیات می‌پردازند، بنابراین آسیب‌پذیری آنان در حد بالایی است. باتوجه به اهمیت تاب‌آوری سازمانی در سازمان‌های امدادی و به‌ویژه سازمان‌های آتش‌نشانی به‌عنوان اولین پاسخ‌گو در مواجهه با حریق و حوادث، کیفیت خدمات و تاب‌آوری سازمانی در ارزیابی خدمات ایمنی شهروندان یک موضوع مهم و مؤثر در این سازمان‌ها است (خدابندهلو، ۱۴۰۳). شهر تاب‌آور، شهری است که برای آماده شدن و پاسخ‌گویی به همه‌گونه مخاطرات طبیعی و انسان‌ساخت، ناگهانی و کند (براساس سرعت وقوع)، موردانتظار و غیرمنتظره ارزیابی، برنامه‌ریزی و اقدام می‌کند (انجرائی و همکاران، ۱۴۰۲).

پیشینه تحقیق

روند توسعه شهری در طی دهه‌های اخیر بسیار شدت یافته و انطباق محیط ساخته‌شده و زیرساخت‌های حیاتی برای افزایش تاب‌آوری آن‌ها نیاز است. یکی از مهم‌ترین عناصر، زیرساخت‌های حمل‌ونقل هستند. پرداختن به تاب‌آوری این زیرساخت‌ها به‌عنوان رویکردی راهبردی از اهمیت خاصی برخوردار است (زبردست و همکاران، ۱۴۰۲). امروزه نظریه‌های مدیریت سواتح به دنبال ایجاد جوامع تاب‌آور در برابر مخاطرات طبیعی هستند و ضرورت توجه به رویکرد آینده‌پژوهی و نقش و جایگاه آن در ارتقای تاب‌آوری از اهمیت بسیاری برخوردار است (آراسته و همکاران، ۱۳۹۹).

در پژوهشی با عنوان «تاب‌آوری شهر در برابر زلزله با رویکرد آینده‌پژوهی در راستای افزایش تاب‌آوری منطقه ۱ شهرداری تهران» علاوه بر مدل بهینه تاب‌آوری، دسترسی به ایستگاه‌های آتش‌نشانی و مراکز درمانی که نقش بسیار حیاتی در افزایش تاب‌آوری منطقه در برابر زلزله با رویکرد آینده‌پژوهی دارد، محدوده تحت پوشش و عملکرد مطلوب مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. کاهش سازگاری تاب‌آوری شهری در آینده، ممکن است ابزاری جهانی برای ردیابی پیشرفت شهرها به سمت توسعه تاب‌آور آب و هوا و افزایش جاه‌طلبی و تقویت اقدامات ارائه دهد (بلینگ و همکاران، ۲۰۲۴).

براساس بررسی پژوهش‌ها و استانداردهای جهانی، حداکثر زمان پاسخ به کنترل حریق و حوادث ۵ دقیقه است. بنابراین هر کدام اعزام از ایستگاه‌های آتش‌نشانی از زمان اعلام حریق و حوادث تا رسیدن آتش‌نشانیان به محل حادثه (در محدوده تحت پوشش)، نباید بیش از ۵ دقیقه طول بکشد. بنابراین پراکندگی و جانمایی مناسب ایستگاه‌های آتش‌نشانی در سطح شهر از مهم‌ترین موارد ضروری و کلیدی در کلان‌شهرها جهت کاهش زمان سفر است (آیشم و همکاران، ۱۴۰۲).



تجزیه و تحلیل تاب‌آوری زیرساخت‌های حمل و نقل برای حمایت از برنامه‌ریزی و طراحی و همچنین مدیریت کارآمد متمرکز هستند. به عنوان یک بررسی جامع، این پژوهش معیارهای مختلفی را برای ارزیابی تاب‌آوری با بحث در مورد چالش‌های اساسی ناشی از عدم قطعیت‌ها و وابستگی‌های متقابل، پوشش می‌دهد (سان و همکاران، ۲۰۲۰).

پژوهش لویی و همکاران (۲۰۱۹) براساس تحلیل عمیق خطر تاب‌آوری در بلایا، ضریب سازگاری ساختار صنعتی و اشتغال و نرخ رشد سرانه تولید ناخالص داخلی را از دیدگاه اجتماعی اقتصادی برای سنجش تاب‌آوری در برابر بلایا بررسی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد تأثیر «اثر پس از زلزله» بر تاب‌آوری در برابر بلایا به‌طور قابل توجهی در طول زمان کاهش می‌یابد و شدت لرزه‌ای و پیچیدگی توپوگرافی، عوامل داخلی مهمی هستند که بهبود تاب‌آوری در بلایا را محدود می‌کنند. این پژوهش یک سناریوی کاربردی گسترده‌تر برای مفهوم تاب‌آوری، به‌ویژه در مدیریت ریسک یکپارچه و فرایند بازسازی پس از زلزله ارائه می‌کند.

پژوهش سرشته‌داری و همکاران (۲۰۲۲) زمان پاسخ آتش‌نشانی به مکان‌های دچار آتش‌سوزی شده پس از زلزله را بررسی می‌کند و چارچوبی را برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در یک جامعه با در نظر گرفتن احتمال حریق و تأخیرهای بالقوه در پاسخ آتش‌نشانی پیشنهاد می‌کند. تأخیرها به عنوان تابعی از آسیب پل و راه‌های مسدود شده به دلیل آوار ساختمان محاسبه می‌شود. عدم قطعیت در عملکرد پل و تجمع زباله در تجزیه و تحلیل گنجانده شده است. این چارچوب برای یک مطالعه موردی اعمال می‌شود تا نشان دهد چگونه کار پیشنهادی می‌تواند برای برنامه‌ریزی منابع آتش‌نشانی و به حداقل رساندن تلفات ناشی از آتش‌سوزی‌های پس از زلزله استفاده شود. سنجش تاب‌آوری مناطق زلزله‌زده در اولویت برای علم پیشگیری و کاهش بلایا است. این پژوهش براساس تحلیل عمیق، خطر تاب‌آوری در بلایا، ضریب سازگاری ساختار صنعتی و اشتغال و نرخ رشد سرانه تولید ناخالص داخلی را از دیدگاه اجتماعی اقتصادی برای اندازه‌گیری تاب‌آوری در برابر بلایا می‌سنجد (لیو و همکاران، ۲۰۱۹).

تاب‌آوری نوظهورترین مفهوم برای کاهش خسارات مربوط به فاجعه است. ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت ویژگی‌های کلیدی را در تمام مراحل، یعنی قبل، حین و بعد از فاجعه ارائه می‌کند. اگر این ویژگی‌ها به درستی مورد توجه قرار گیرند، تقویت تاب‌آوری زیرساختی آسان می‌شود. میراث فرهنگی جوامع را به گذشته متصل می‌کند و سهمی برابر در توسعه اقتصادی دارد. در این پژوهش، روش‌های گذشته به تمرکز بر تاب‌آوری سیستم زیرساخت به‌طور انتقادی بررسی شده‌اند و یک رویکرد تحلیلی برای مقابله با مفهوم تاب‌آوری از طریق بعد اقتصادی و حفاظت از میراث فرهنگی پیشنهاد شده‌اند (کامران، ۲۰۲۲).

نتایج حاصل از پژوهش مکان‌یابی بهینه گسترش کالبدی شهر سردشت نشان می‌دهد بر مبنای نقشه همپوشانی به‌دست‌آمده که حاصل مدل‌های فازی و فرایند تحلیل شبکه‌ای^۲ (ANP) است، بهترین اراضی جهت توسعه آتی شهر سردشت باتوجه به موقعیت مکانی شهر به‌صورت پراکنده در قسمت‌های جنوب، جنوب غربی، شمال شرقی و غرب قرار گرفته است (یزدانی و همکاران، ۲۰۲۴). مطالعه تاب‌آوری شهرها در مقابل زلزله از الزامات برنامه‌ریزی کاهش خسارات جانی و مالی زلزله در شهرهاست. تاب‌آوری تعاریف گوناگونی دارد و مدلی جامع به‌منظور محاسبه کمی آن وجود ندارد. تنها یک راهکار فنی یا اجتماعی نمی‌تواند ضامن موفقیت طرح‌های بهبود تاب‌آوری شهری باشد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۹).

با آنکه پژوهش‌های بسیاری در حوزه بحث تاب‌آوری اجتماعی انجام پذیرفته است، اما هنوز زوایای دقیق نحوه کنشگری یک جامعه محلی در مواجهه با شرایط بحران و نیز نحوه تأثیر آنچه از ادبیات علمی به عنوان شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی شناخته می‌شود، روشن نیست. به نظر می‌رسد انجام پژوهش‌های عمیق با رویکرد کیفی و پدیدارشناسانه در مقیاس محلی بتواند درک عمیق‌تری از ابعاد و لایه‌های تاب‌آوری یک اجتماع محلی به دست دهد (روستا و همکاران، ۱۴۰۳). فرونشست زمین پتانسیل ایجاد یک فاجعه عظیم انسانی را دارد و در صورت وقوع آن، زمین‌های کشاورزی، بافت شهرها، شریان‌های حیاتی و بسیاری از جنبه‌های زیست‌محیطی را در معرض آسیب‌پذیری شدید قرار خواهد داد (رضایی و همکاران، ۱۴۰۱). در پژوهشی با عنوان «ارائه راهبردهای کاهش آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه از زلزله» به ارائه راهبردهای کاهش آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه از زلزله، ارائه مدل‌های کاهش آسیب‌پذیری از زلزله با استفاده از اصول برنامه‌ریزی شهری و به کارگیری مدیریت بحران شهری، جهت ارائه راهبردها و برنامه‌های عملیاتی به‌منظور ارتقای تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری شهر کرمانشاه از زلزله پرداخته شد (حمیدی، ۱۴۰۲).

نصیری هنده‌خاله و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به مکان‌یابی پایگاه پشتیبانی مدیریت بحران مرکزی شهر کرج با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. براساس یافته‌های این پژوهش و پس از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی^۳ (GIS) نقشه مکان‌یابی پایگاه پشتیبانی مدیریت بحران مرکزی شهر کرج در ۵ سطح طبقه‌بندی شد. زیرساخت‌های حمل و نقل، نقش مهمی در حمایت از اقتصاد ملی و رفاه اجتماعی ایفا می‌کند. رویدادهای شدید، آسیب‌های فیزیکی وحشتناکی را به زیرساخت‌های حمل و نقل همراه با اثرات اجتماعی و اقتصادی درازمدت وارد کرده است. تعداد فزاینده‌ای از مطالعات بر

2. Analytical Network Process

3. Geographic Information System (GIS)



شدت حادثه در زمان وقوع سیل می‌شوند (ابراهیمی‌پور و همکاران، ۱۴۰۰). عدم آمادگی در راستای مواجهه و رویارویی با بحران منجر به افزایش تلفات انسانی و مادی و زمان‌بر شدن فرایند بازگشت جوامع انسانی به شرایط پیش از وقوع بحران خواهد شد. با توجه به اینکه از اصلی‌ترین نیازهای فرد آسیب‌دیده ناشی از بحران، دستیابی به یک سرپناه و دریافت خدمات اولیه در ساعات ابتدایی وقوع بحران است، پایگاه‌های پشتیبان مدیریت بحران، می‌توانند در راستای امداد رسانی به بازماندگان مؤثر واقع شوند (صادقی‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).

توجه به مقیاس و ابعاد بافت فرسوده از بُعد تاب‌آوری در برابر آتش‌سوزی رویکردی لازم و ضروری است، بنابراین رعایت حریم مناسب تصرف‌ها از امکان پرخطر، مانند پمپ بنزین و گاز، تعریض و اصلاح معابر در برخی نواحی، به‌خصوص نواحی با تراکم جمعیتی بالا و دارای بافت فرسوده و احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید می‌تواند باعث افزایش تاب‌آوری در منطقه شود (خیردست و همکاران، ۱۴۰۳ الف). عوامل متعددی، از جمله عدم توجه مدیران به مسائل ایمنی و تصمیمات اتخاذ شده در این زمینه و همچنین بی‌توجهی به ریسک‌ها و مخاطرات موجود، باعث کاهش تاب‌آوری می‌شود (خیردست و همکاران، ۱۴۰۳ ب).

روش

هدف از انجام پژوهش حاضر، ارزیابی تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی محدوده عملیاتی ایستگاه‌های آتش‌نشانی منطقه ۲۰ شهر تهران با استفاده از سامانه (GIS) است. ماهیت این تحقیق از نوع علمی پژوهشی و روش این مطالعه، کاربردی مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و نیز روش‌های میدانی، نظیر تهیه پرسش‌نامه محقق‌ساخته است. در پژوهش حاضر جهت ارزیابی وضعیت تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی محدوده عملیاتی ایستگاه‌های تحت پوشش منطقه ۲۰ شهرداری تهران از ۳ معیار، ۷ زیرمعیار و ۲۱ شاخص طبق جدول شماره ۱ استفاده شده است. با عنایت اینکه بعضی از معیارها و زیرمعیارها نسبت به سایر معیارها ارجحیت دارند و نقش بسزایی در تاب‌آوری زیرساختی و کالبدی منطقه مورد مطالعه داشتند، پرسش‌نامه‌ای برای وزن‌دهی و تعیین اهمیت نسبی هر کدام از معیارها گردآوری شد و در میان کارشناسان و خبرگان سازمان آتش‌نشانی تهران توزیع و تکمیل شد. در پژوهش حاضر و در فرایند تحلیل تاب‌آوری ایستگاه‌های آتش‌نشانی، اولین گام گردآوری داده‌های مورد نیاز از منطقه مورد مطالعه بود.

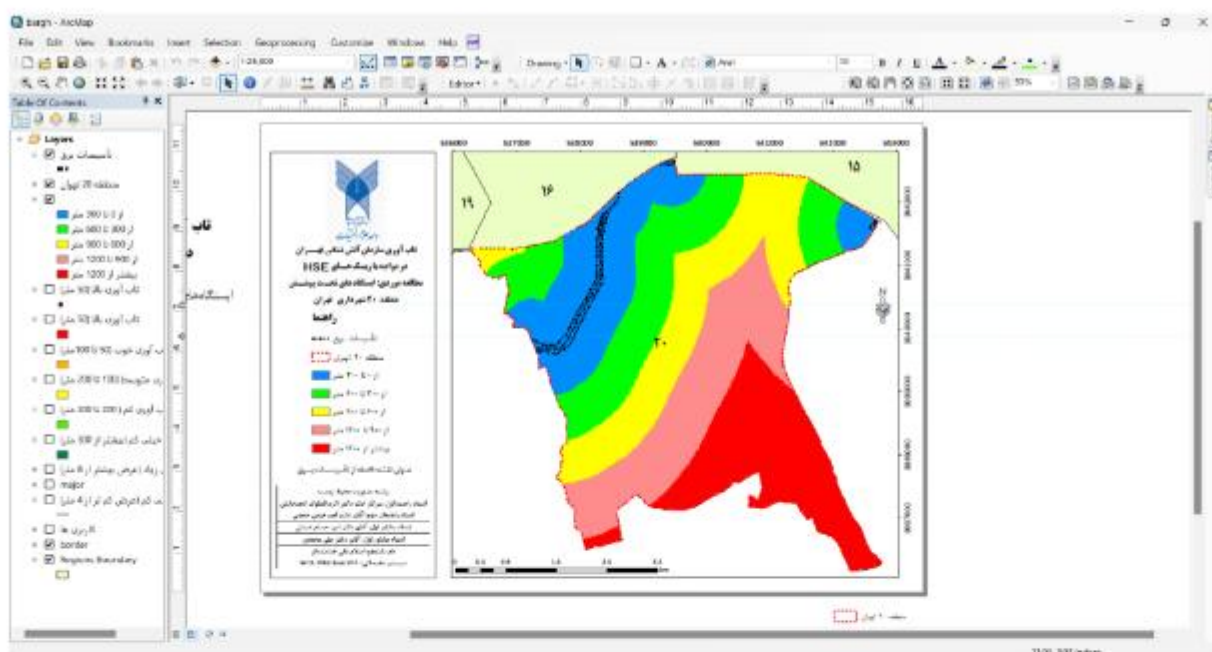
این داده‌ها می‌تواند شامل اطلاعات جغرافیایی، مانند موقعیت دقیق ایستگاه‌ها و شبکه راه‌ها و داده‌های مرتبط با ویژگی‌های محیطی و جمعیتی باشد. جمع‌آوری شیپ فایل داده‌های مورد نیاز پس از اخذ مجوزهای لازم توسط واحد فناوری و اطلاعات شهرداری منطقه ۲۰ و واحد GIS سازمان آتش‌نشانی تهران جهت

پژوهش ساتی و همکاران (۲۰۲۱)، یک روش جدید ارزیابی ریسک لرزه‌ای را در سطح ناحیه محلی پیشنهاد می‌کند. به‌طور خلاصه، یافته‌های پژوهش به‌عنوان پایه‌ای برای کاهش آسیب‌پذیری کشور در برابر بلایا عمل می‌کند. روابط بین وضعیت فعلی و آینده توسعه و تاب‌آوری هم‌تراز (همسو یا احتمالی) و هم در تضاد (مقابل یا محدود) شکل‌دهنده استراتژی برای تنظیم سیاست است. کاهش و سازگاری در آینده، تاب‌آوری شهری ممکن است ابزاری جهانی برای ردیابی پیشرفت شهرها به سمت توسعه تاب‌آور آب‌وهوا و با انجام این کار، افزایش جاه‌طلبی و تقویت اقدامات ارائه دهد (پلینگ و همکاران، ۲۰۲۴).

پژوهش رحیمی و همکاران (۲۰۲۴)، برای اولین بار به دنبال تعیین تاب‌آوری کالبدی عملکردی در مرکز شهر اصفهان از نظر تحمل زلزله فرضی بود. براین اساس این پژوهش می‌تواند به پژوهشگران علوم شهری، سرمایه‌گذاران، مدیران شهری و سازمان‌های محلی و ملی کمک کند تا مناطق تاب‌آور را شناسایی کرده و بر رفع نقاط ضعف عمده آن‌ها تمرکز کرده و از تلفات جانی، مالی و منابع مختلف شهری در اثر زلزله جلوگیری کنند. یکی از اهداف مهم برنامه‌ریزی شهری، کاهش میزان آسیب‌پذیری سکونت‌گاه‌ها در برابر بحران است. شبکه ارتباطی و مسیرهای دسترسی شهری یکی از فاکتورهای مهم در کاهش میزان آسیب‌پذیری شهر در مواجهه با حوادث است (معصومی و همکاران، ۱۴۰۰).

سیستم‌های واکنش اضطراری سنتی بیشتر براساس مکاتیس‌های سنتی و فاقد فناوری مدرن، مانند اینترنت اشیا و یکپارچه‌سازی داده‌های مکانی عمل می‌کنند. به همین دلیل، این سیستم‌ها ممکن است با مشکلاتی همچون تأخیر در اعزام کارکنان اورژانس به محل حادثه و کمبود اطلاعات دقیق و سریع از بیمار مواجه شوند. فناوری‌های مدرن، مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی امکان پاسخ سریع‌تر و کارآمدتر به بحران‌ها را فراهم می‌کنند و به سازمان‌های ذی‌ربط، از جمله سازمان مدیریت بحران کمک می‌کنند تا تصمیمات بهتری برای تخصیص منابع در شرایط اضطراری بگیرند و عملکرد کلی خود را بهبود بخشند (سعیدی و همکاران، ۱۴۰۳). در کشورهای در حال توسعه همچون ایران که زیرساخت‌های شهری هنوز در حال احداث است، ضرورت توجه به پدافند غیرعامل شهری برای کاهش حجم خسارات بیشتر مورد توجه است. به کارگیری اصول و راهبردهای عملیاتی دفاعی غیرعامل با تأکید بر اصل هم‌جواری برای مکان‌یابی پناهگاه‌های شهری ضروری است (حجاریان، ۱۴۰۳).

براساس بررسی تاریخچه سیلاب‌ها، آسیب‌پذیری ناشی از وقوع سیلاب به دلایل مختلفی از جمله نبود شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی، ساخت‌وساز غیرمجاز در حریم رودخانه و محدودیت‌های معابر و شبکه ارتباطی است که باعث افزایش



تصویر ۱. محیط نرم‌افزار Arc GIS

کوکران استفاده شد. وزن عوامل با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice نسخه ۱۱ محاسبه شد و همچنین میزان نرخ ناسازگاری قضاوت‌ها محاسبه شد و ضریب ناسازگاری کمتر از ۰/۱ به دست آمد.

فرمول کوکران جهت تعیین حجم نمونه (فرمول شماره ۱):

$$1. n = \frac{NZ^2Pq}{Nd^2 + Z^2Pq} = (25 \times 3.84 \times 0.5 / 25 \times 0.05 + 1/92) \Rightarrow n = 15$$

جهت تعیین روایی پرسش‌نامه نسبت روایی محتوایی^۴ (CVR) براساس نظر ۲۵ نفر از خبرگان محاسبه شد. هریک از سؤالات در قالب طیف لیکرت (سؤال ضروری است، سؤال مفید است ولی ضروری نیست و سؤال ضرورتی ندارد) ارزیابی شد و سؤالاتی را که مقدار شاخص CVR آن‌ها کمتر از حد مجاز بود حذف شد. مقدار روایی پرسش‌نامه ۰/۴۹ محاسبه شد.

تعیین روایی پرسش‌نامه با استفاده از فرمول شماره ۲ انجام شده است.

$$2. CVR = \frac{ne - N/2}{N/2} = 0.49$$

برای سنجش پایایی پرسش‌نامه از ضریب آلفای کرونباخ و نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد. همچنین جهت تعیین اهمیت و برتری هر کدام از پارامترها از دامنه امتیازی ۱ تا ۹ و از شاخص‌های جدول شماره ۲ استفاده شد.

تحلیل تاب‌آوری صورت گرفت و پس از جمع‌آوری، این داده‌ها به فرمت مناسب برای پردازش در GIS تبدیل و به سیستم وارد شد. برای استفاده بهینه، تمامی اطلاعات ورودی استانداردسازی شدند تا هماهنگی لازم برای تحلیل برقرار شود. ابتدا با لایه‌سازی برای هریک از معیارهای اصلی و زیرمعیارها در ۴ بعد ایستگاه‌های آتش‌نشانی، شریان‌های حیاتی، مراکز امدادی و نظامی، تصرفات و کالبد شهری، با استفاده از اوزان حاصل از فرایند سلسله‌مراتبی در محیط Arc GIS نسخه ۱۰/۶ (تصویر شماره ۱) و روی هم‌گذاری لایه‌ها، نقشه تاب‌آوری کلی منطقه ۲۰ تهیه شد. پس از تکمیل نقشه نهایی تاب‌آوری منطقه ۲۰ شهرداری تهران، با استفاده از وزن دهی به هریک از معیارهای تأثیرگذار در تاب‌آوری منطقه و همچنین با به‌کارگیری روش طوفان فکری در بین خبرگان، معیارها و شاخص‌های مؤثر در تقویت و افزایش تاب‌آوری ایستگاه‌های آتش‌نشانی محدوده تحت پوشش منطقه ۲۰ تهران استخراج شد. برای تعیین مؤثرترین شاخص‌ها با رویکرد ارزیابی تاب‌آوری مکانی، از نرم‌افزار Arc Map استفاده شده است.

داده‌های به‌کاررفته براساس معیارهای مؤثر در ارزیابی تاب‌آوری با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد ارزیابی قرار گرفته است. با ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی و اعمال ضرایب مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره، درجه‌بندی شاخص‌ها مشخص شد و ۱۵ پرسش‌نامه در اختیار خبرگان آتش‌نشانی و حوزه مدیریت بحران قرار گرفت. روش انجام پژوهش کاربردی بوده و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل ارزیابی سلسله‌مراتبی و نرم‌افزار Arc GIS استانداردسازی شده است. روش نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی ساده بود و برای تعیین حجم نمونه از فرمول

4. Content Validity Ratio (CVR)

جدول ۱. معیارهای بررسی تاب‌آوری مکانی محدوده تحت پوشش منطقه ۰۲ شهر تهران (یافته‌های پژوهش؛ خداینده‌لو و همکاران، ۱۴۰۳)

هدف	معیار	زیر معیار	شاخص‌ها	میزان یا فاصله	منبع
بررسی وضعیت تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی ایستگاه‌های آتش‌نشانی تحت پوشش منطقه ۰۲ شهر تهران با استفاده از سامانه GIS	تاب‌آوری زیرساختی (Z)	ایستگاه‌های آتش‌نشانی	تعداد و محدوده ایستگاه‌های آتش‌نشانی	هر ۵ کیلومتر یک ایستگاه	
			تعداد پرسنل	۳۶ نفر برای ایستگاه تک‌منظوره	NFPA 1221
			تعداد خودروها و تجهیزات	۵ دستگاه سبک و سنگین	NFPA 6430
			تعداد هیدرانت	۱۵۰ متر	
	شریان‌های حیاتی (Z2)		جمعیت	به ازای هر ۵۰ هزار نفر ۱ ایستگاه	
			معیار (بزرگراه، خیابان و کوچه)	۱۰۰-۵۰ متر	مقیمی و همکاران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱۳۹۸
			انتقال نیرو	۵۰ الی ۹۰۰ متر	
			گاز	۰ الی بیش از ۱۲۰۰ متر	
	مراکز امدادی و نظامی (Z3)		مراکز بهداشتی و درمانی	هرچه بیشتر بهتر	NFPA 1037
			مراکز نظامی و انتظامی	هرچه بیشتر بهتر	LSP2017
	تاب‌آوری کالبدی (K)	تصرفات	اماکن کم‌خطر	۳۰۰ متر	
			اماکن میان‌خطر	۱۰۰۰-۴۰۰ متر	کاظمی‌نیا، ۱۳۹۸
			اماکن پرخطر		
			بافت فرسوده		LSP2017
	کالبد شهری (K2)		ابنیه تاریخی و فرهنگی	هرچه بیشتر بهتر	NFPA1720
			پل‌ها		NFPA 1402
					(قدیری و طهرانی، ۱۳۹۹)
			شیب	۲-۶ درصد	SOP6
	تاب‌آوری زیست‌محیطی (M)	پایداری محیط زیستی	خصوصیات جغرافیایی	۱۰۰۰ متر	NFPA 1901
			گسل	۳ الی ۹ کیلومتر	قوچی و همکاران، ۱۳۹۵
			فضای سبز معابر اختصاصی	صفر الی بیش از ۱۵۰۰ متر	NFPA 1852
			فضای سبز معابر عمومی		

سنجش پایایی پرسش‌نامه با استفاده فرمول شماره ۳ انجام شد.

$$3. \alpha = \left(\frac{k}{k-1} \right) \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{S^2} \right) = 0.82$$

شناسایی و ارزیابی عوامل تاب‌آوری کالبدی منطقه مورد مطالعه

شناسایی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی

در سال‌های اخیر در سطح جهانی تغییرات زیادی در نگرش به مخاطرات رخ داده است؛ به‌طور کلی دیدگاه از کاهش آسیب‌پذیری، به افزایش تاب‌آوری شهرها در مواجهه با حوادث تغییر پیدا کرده است. با توجه به غیرمنتظره بودن حوادث طبیعی و انسان‌ساخت و غیرقابل پیش‌بینی بودن آن، تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی می‌تواند به‌عنوان توانایی تطابق و سازش سیستم‌ها در برابر شوک‌ها، بدون از دست رفتن سیستم در زمان وقوع حوادث مطرح شود. از دیدگاه تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی، قبل از وقوع حوادث، برنامه‌های پیشگیرانه و کاهش اثر حوادث جهت



جدول ۲. درجه‌بندی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری کالیدی (یافته‌های پژوهش؛ خداینده‌لو و همکاران، ۱۴۰۳)

درجه‌بندی عوامل تاب‌آوری مکانی	۱	۳	۵	۷	۹
توضیحات	تاب‌آوری خیلی کم	تاب‌آوری کم	تاب‌آوری متوسط	تاب‌آوری زیاد	تاب‌آوری خیلی زیاد

تقویت ویژگی‌های سیستم تاب‌آور باید پیاده‌سازی شود. باتوجه‌به این دیدگاه، تقویت تاب‌آوری زیرساختی و کالیدی شهری در مواجهه با حوادث برای نیل به اهداف توسعه پایدار شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش ۲ زیرمعیار تصرفات (شامل اماکن کم، میان و پر خطر) و کالبد شهری (شامل بافت فرسوده، ابنیه تاریخی و فرهنگی، پل‌ها) طبق جدول شماره ۱ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

شناسایی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری زیرساختی

جهت بررسی عوامل موجود در زیرساخت‌های تأسیسات شهری منطقه ۲۰، باید سازمان‌های موازی درگیر در مدیریت بحران مورد بررسی قرار بگیرند. بنابراین با بررسی مدارک و مستندات موجود و رعایت الزامات و استانداردهای شهرسازی می‌توان به این مهم دست یافت. از دیدگاه تاب‌آوری، تأسیسات شهری یکی از عوامل کلیدی زیرساخت است. در پژوهش حاضر هریک از طبقات عوامل مؤثر بر تاب‌آوری زیرساختی مانند ایستگاه‌های آتش‌نشانی، شریان‌های حیاتی و مراکز امدادی و نظامی بین ۱ تا ۹ طبق جدول شماره ۲ درجه‌بندی شدند. عدد ۱ نشان‌دهنده تاب‌آوری خیلی کم و عدد ۹ نشان‌دهنده تاب‌آوری خیلی زیاد است. پس از طبقه‌بندی لایه‌های مکانی، هرکدام از عوامل مکانی و وزن‌های هرکدام از آن‌ها با استفاده از تکنیک ترکیب خطی وزنی در سامانه GIS روی‌هم‌گذاری شدند. شاخص‌های موردبررسی در این گام از پژوهش، شامل تعداد و محدوده ایستگاه‌های آتش‌نشانی، تعداد پرسنل، تعداد خودروها و تجهیزات، ایستگاه‌های گاز، مراکز بهداشتی و درمانی، مراکز نظامی و انتظامی، تعداد هیدرانت (شیرهای آتش‌نشانی)، جمعیت، معابر (بزرگراه، خیابان و کوچه) و خطوط انتقال نیرو بودند. میزان و تعداد هرکدام از شاخص‌ها طبق جدول شماره ۱ و استانداردهای موجود مشخص شده است.

شناسایی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری زیست‌محیطی

وقوع بیش از صدها نوع آتش‌سوزی (کوچک و بزرگ) در بین ایستگاه‌های تحت پوشش منطقه مورد مطالعه، بیانگر این موضوع است که منطقه ۲۰ از نظر وقوع آتش‌سوزی‌ها از آمار بالایی برخوردار است که در نتیجه باعث ایجاد خسارت‌های جانی، مالی و آلودگی‌های زیست‌محیطی زیادی برای ساکنین منطقه می‌شود. جهت بررسی تهدیدهای زیست‌محیطی، این عامل مورد وزن‌دهی قرار گرفت. با به‌کارگیری روش‌های صحیح

و درست مدیریت آتش‌سوزی‌های فضای سبز (معايير اختصاصی و عمومی) و پرداختن به مقوله ایمنی و پیشگیری می‌توان در راستای حفاظت از محیط زیست شهری و کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی ناشی از حریق و حوادث گام مؤثری در منطقه برداشت. از مهم‌ترین برنامه‌های مدیریت زیست‌محیطی بررسی چالش‌های زیست‌محیطی ناشی از حریق و حوادث است که باعث آلودگی هوا، خاک و آب بر اثر آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی می‌شود.

در پژوهش حاضر هریک از طبقات عوامل مؤثر بر تاب‌آوری مکانی، طبق جدول شماره ۲، براساس اعداد ۱ تا ۹ درجه‌بندی شدند. عدد ۱ نشان‌دهنده تاب‌آوری خیلی کم و عدد ۹ نشان‌دهنده تاب‌آوری خیلی زیاد است. پس از طبقه‌بندی لایه‌های مکانی هرکدام از عوامل مکانی و وزن‌های هرکدام از آن‌ها با استفاده از تکنیک ترکیب خطی وزنی در سامانه Arc GIS روی‌هم‌گذاری شدند.

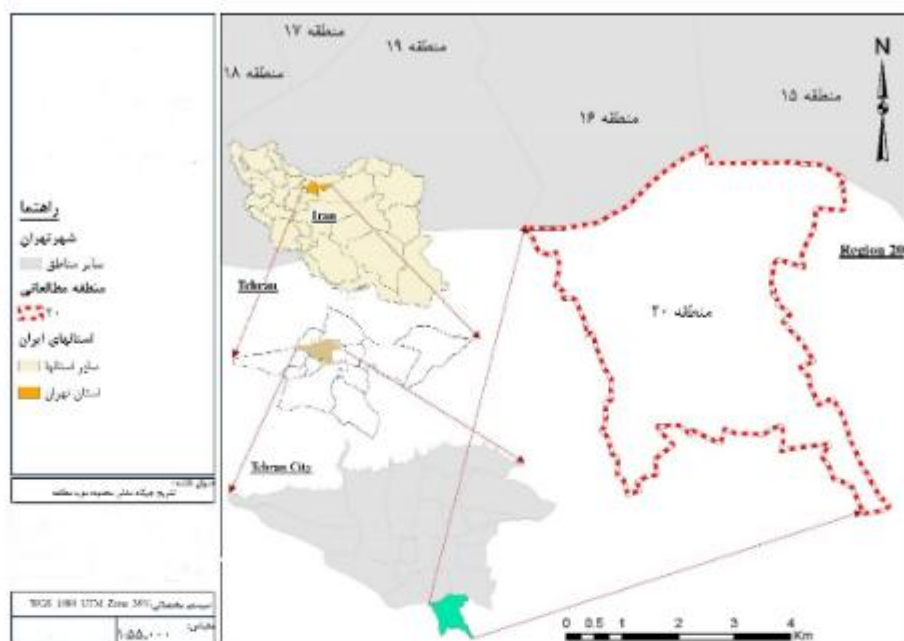
یافته‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه ۲۰ (شهری) جنوبی‌ترین منطقه شهری شهرداری تهران است و دارای ۵ ناحیه داخل محدوده و ۲ ناحیه خارج از محدوده و ۲۲ محله است. منطقه ۲۰ تهران از لحاظ موقعیت شهری در جنوب شهر تهران قرار داشته و با مناطق ۱۵، ۱۶، ۱۷ هم‌جوار است. این منطقه با احتساب حریم ۱۸۶ کیلومتر مربع مساحت دارد و ۵ ناحیه در داخل حریم و ۲ ناحیه در خارج از حریم تشکیل شده است و تقریباً ۴۵۳ هزار نفر جمعیت دارد. تصویر شماره ۲ محدوده منطقه ۲۰ شهرداری تهران را نشان می‌دهد.

یافته‌های حاصل از معیار تاب‌آوری زیرساختی

مهم‌ترین هدف پژوهش حاضر بررسی تاب‌آوری زیرساختی و کالیدی در منطقه ۲۰ تهران از نظر ایمنی و آتش‌نشانی است که با استفاده از معیارها و استانداردها تعیین می‌شود. تعیین تاب‌آوری زیرساختی به عوامل مختلفی بستگی دارد. بنابراین با در نظر گرفتن مختصات جغرافیایی منطقه ۲۰ می‌توان عوامل مؤثر در آن را تعیین کرد. در پژوهش حاضر برای تعیین تاب‌آوری، یکی از معیارهای بررسی‌شده از نوع زیرساختی است که خود دارای ۳ زیر معیار شامل ایستگاه‌های آتش‌نشانی، شریان‌های حیاتی و مراکز



تصویر ۲. محدوده منطقه ۲۰ شهرداری تهران، محدوده مطالعاتی (یافته‌های پژوهش؛ خدایندلو و همکاران، ۱۴۰۳)

منطقه در برابر حریق و حوادث، مراکز آتش‌نشانی موجود منطقه به لحاظ قرارگیری مکانی و شعاع عملکرد آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از این‌رو براساس موقعیت ایستگاه‌های آتش‌نشانی در منطقه، فاصله اقلیدسی نسبت به ایستگاه‌ها محاسبه شده است. یافته‌های پژوهش در این گام حاکی از آن است که فاصله تا ۱۵۰۰ متر از ایستگاه‌ها تاب‌آوری بالا، از ۱۵۰۰ الی ۲۵۰۰ متر تاب‌آوری خوب، از ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر تاب‌آوری مطلوب، از ۳۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر تاب‌آوری متوسط و از ۵۰۰۰ متر بیشتر، تاب‌آوری نامطلوب را نشان می‌دهد. براساس رابطه مسافت، یک خودروی آتش‌نشانی در ۵ دقیقه^۵، حداکثر ۲/۹ کیلومتر مسافت را در معابر شهری با وجود موانع در طول مسیر دسترسی و در شرایطی که تردد در وضعیت عادی و نرمال باشد، می‌تواند طی کند.

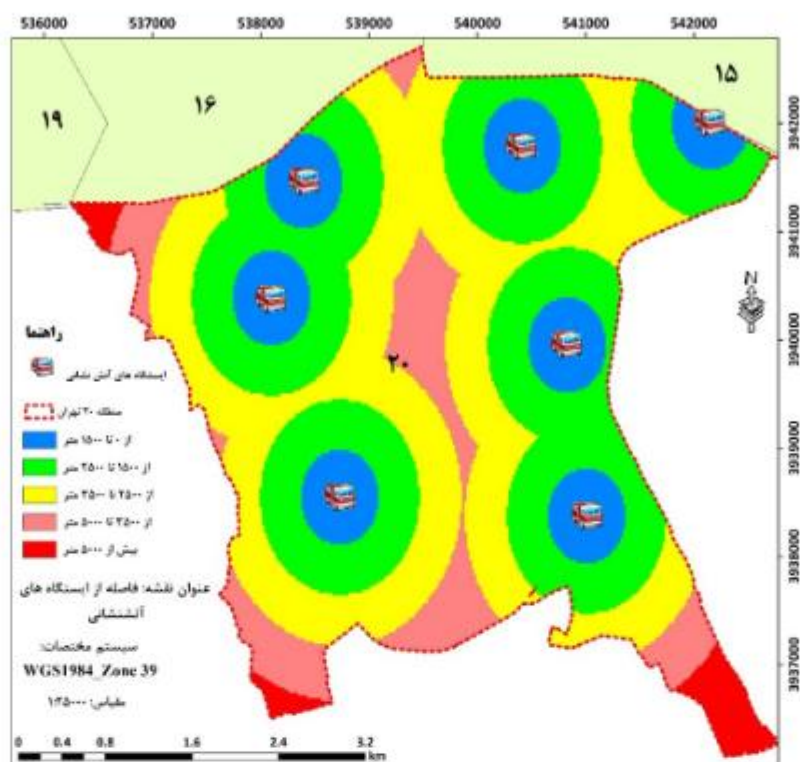
در شرایط تشدید اوضاع، به‌ویژه در شرایط اضطرار و وقوع حوادثی که منجر به آسیب به شبکه ارتباطی شده‌اند و یا در شرایطی که وقوع حادثه باعث نتیجه مسدود شدن مسیرهای دسترسی و ترافیک سنگین شده است خودروی آتش‌نشانی چنین مسافتی را نمی‌تواند طی کند. بنابراین در پژوهش حاضر، به لحاظ اینکه بررسی تاب‌آوری منطقه مورد مطالعه، در شرایط اضطرار مدنظر است، حداکثر مسافت طی شده توسط خودروهای سنگین عملیاتی آتش‌نشانی حدود ۱۵۰۰ متر پیش‌بینی شده است. درواقع محدوده تحت پوشش هر ایستگاه (محدوده عملیاتی)، ۱۵۰۰ متر، یعنی نیمی از شعاع تحت پوشش در وضعیت عادی و معمولی (بدون

امدادی و نظامی است. در ادامه به ترتیب به تفسیر یافته‌ها پرداخته شده است.

دسترسی به ایستگاه‌های آتش‌نشانی

ساختمان‌ها و ایستگاه‌های آتش‌نشانی به اندازه هر ساختمان عمومی و امدادی دیگری دارای اهمیت فراوان است. ایستگاه‌های آتش‌نشانی محل استقرار و جانیابی خودروهای سبک و سنگین عملیاتی آتش‌نشانی (حریق، نجات و پشتیبانی)، از جمله مراکز بسیار مهم و حیاتی خدمات‌رسانی در شهرها هستند که نقش بسیار مهمی در امر تأمین ایمنی شهروندان برعهده دارند. جانیابی و مکان‌یابی مناسب ایستگاه‌های آتش‌نشانی به دلیل اهمیت روزافزون امر ایمنی در شهرها و همچنین دسترسی آتش‌نشانان به محل حریق و حادثه در کمترین زمان ممکن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. دسترسی مناسب و سریع نیروهای امدادی مستقر در ایستگاه‌های آتش‌نشانی به محل حادثه نیز به‌عنوان یک فاکتور بسیار مهم در امدادرسانی به شهروندان تلقی می‌شود و افزایش فاصله تصرفات (نوع کاربری) و محل وقوع حریق و حوادث با ایستگاه‌های آتش‌نشانی، زمان رسیدن به محل حادثه را افزایش و سرعت امداد و نجات را کاهش می‌دهد. در منطقه ۲۰ شهرداری تهران، ۷ ایستگاه آتش‌نشانی در نقاط مختلف جانیابی شده است. وجود این تعداد از ایستگاه‌ها برای تعیین تاب‌آوری لازم است، ولی کافی نیست. تعیین نقاط تاب‌آور در منطقه مطالعاتی باید در محل یا منطقه‌ای باشد که به ایستگاه‌های آتش‌نشانی نزدیک باشد تا امدادرسانی در صورت بروز حریق و حوادث در کمترین زمان ممکن صورت گیرد. بنابراین در این تحقیق برای تاب‌آور کردن

۵. ایستگاه‌های آتش‌نشانی با پوشش مناسب در فاصله زمانی کمتر از ۵ دقیقه می‌توانند از شدت حوادث و خسارات مالی و جانی به‌شدت بکاهند، چراکه آتش‌سوزی در این فاصله زمانی قابلیت کنترل بیشتری دارد (مهندسین مشاور مرصه، ۱۴۰۱: ۱۳۷۸).



تصویر ۳. شعاع عملکردی ایستگاه‌های آتش‌نشانی تحت پوشش منطقه ۲۰ (یافته‌های پژوهش؛ خدایندملو و همکاران، ۱۴۰۳)

وقوع حادثه) در نظر گرفته شده است (تصویر شماره ۳).

هیدرانت (شیرهای آتش‌نشانی)

شیر هیدرانت آتش‌نشانی، به‌عنوان یکی از عناصر حیاتی سیستم اطفای حریق شهری، نقشی اساسی در حفظ ایمنی شهر ایفا می‌کند. این شیرهای آتش‌نشانی که به شبکه اصلی آب شهری متصل هستند، در مواقع بحرانی، مانند آتش‌سوزی، به‌عنوان منبعی مطمئن و سریع برای تأمین آب موردنیاز آتش‌نشانان عمل می‌کنند. با طراحی خاص و جنس مقاوم، شیرهای هیدرانت در برابر شرایط سخت محیطی (نشست‌ها و یا شکست) مقاومت کرده و در هر زمان آماده تأمین آب هستند. نصب این شیرها در مکان‌های استراتژیک و عمومی، به آتش‌نشانان این امکان را می‌دهد تا در کمترین زمان ممکن به منبع آب دسترسی پیدا کرده و عملیات اطفای حریق را آغاز کنند. بررسی وضعیت پراکندگی شیرهای هیدرانت منطقه ۲۰ باتوجه به تراکم، نوع تصرفات و عرض معابر و مسیرهای دسترسی خودروهای آتش‌نشانی انجام شد. فواصل تعیین‌شده در ۵ گروه (۵۰ متر، تاب‌آوری بالا به رنگ قرمز و بیش از ۳۰۰ متر، تاب‌آوری کم با رنگ سبز تیره) در محیط Arc GIS لایه‌گذاری و مطلوبیت منطقه از نظر تاب‌آوری شیرهای آتش‌نشانی استخراج شد.

با توجه به تصویر شماره ۳ و تعیین فاصله اقلیدسی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مشاهده می‌شود که ایستگاه ۸۲ خارج از محدوده مورد مطالعه است و همچنین موقعیت ایستگاه ۷۹ به دلیل عدم دسترسی مناسب به معابر اصلی و اتوبان امام علی (ع) باعث کاهش تاب‌آوری عملیاتی منطقه شده است.

تراکم جمعیت

مفهوم تاب‌آوری به‌عنوان امری ضروری در بحث تراکم جمعیتی باید در نظر گرفته شود. اخیراً تأکید بر این است که چرا تاب‌آوری شهری متفاوت با پایداری شهری است. افزایش تراکم جمعیتی، پتانسیل آسیب‌پذیری شهرها را در برابر تهدیدات ناشی از بحران‌های طبیعی و انسان‌ساخت افزایش می‌دهد. بنابراین به‌منظور کاهش پیامدهای متصور این تهدیدات، می‌بایست برنامه‌ریزی و اقدامات مقابله‌ای متناسب پیش‌بینی شود. در پژوهش حاضر تراکم جمعیتی به‌ازای هر ۵۰ نفر در هر کیلومتر مربع در نظر گرفته شده است. فواصل تعیین‌شده در ۹ گروه در محیط Arc GIS لایه‌گذاری و مطلوبیت منطقه از نظر تاب‌آوری تراکم جمعیتی استخراج شد. باتوجه به طیف رنگ‌های آبی تا سبز می‌توان عنوان کرد منطقه ۲۰ از نظر تراکم جمعیتی در نواحی یادشده از درجه مطلوبیت برخوردار است.

جدول ۳. تلفیق زیرمعیارهای تاب‌آوری زیرساختی یا اعمال ضرایب ماتریس PHA (یافته‌های پژوهش؛ خداینده‌لو و همکاران، ۱۴۰۳)

نرخ ناسازگاری	لاتدها	لاتدهای ماتریس AHP	خروجی ضرب ماتریس W در ماتریس اولیه	ماتریس AHP	ایستگاه‌های آتش‌نشانی	شریان‌های حیاتی	مراکز امدادی و نظامی
	۳/۳۷	لاتدای ۱ ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۲/۳۴	ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۱	۵	۷
	۳/۰۶	لاتدای ۲ شریان‌های حیاتی	۰/۷۵	شریان‌های حیاتی	۰/۱۴	۱	۷
	۲/۸۷	لاتدای ۳ مراکز امدادی و نظامی	۰/۱۷	مراکز امدادی و نظامی	۰/۱۱	۰/۱۴	۱
۰/۰۹	لاتدای حداکثری	پارامترهایی که به آن‌ها ضریب اعمال می‌شود	ضرایب (w) AHP	مجموع	۱/۲۵	۶/۱۴	۱۵
	۳/۱۰۷	ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۰/۶۹	۲/۰۸	۰/۸	۰/۸۱	۰/۴۶
	شاخص ناسازگاری	شریان‌های حیاتی	۰/۲۴	۰/۷۴	۰/۱۱	۰/۱۶	-۰/۴۶
	۰/۰۵	مراکز امدادی و نظامی	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۰۸	۱/۰۲	۰/۰۶
	شاخص ناسازگاری تصادفی	تست درستی محاسبات	۱	۳			
	۰/۵۸						

نرخ ناسازگاری قابل قبول کمتر از ۰/۱ است

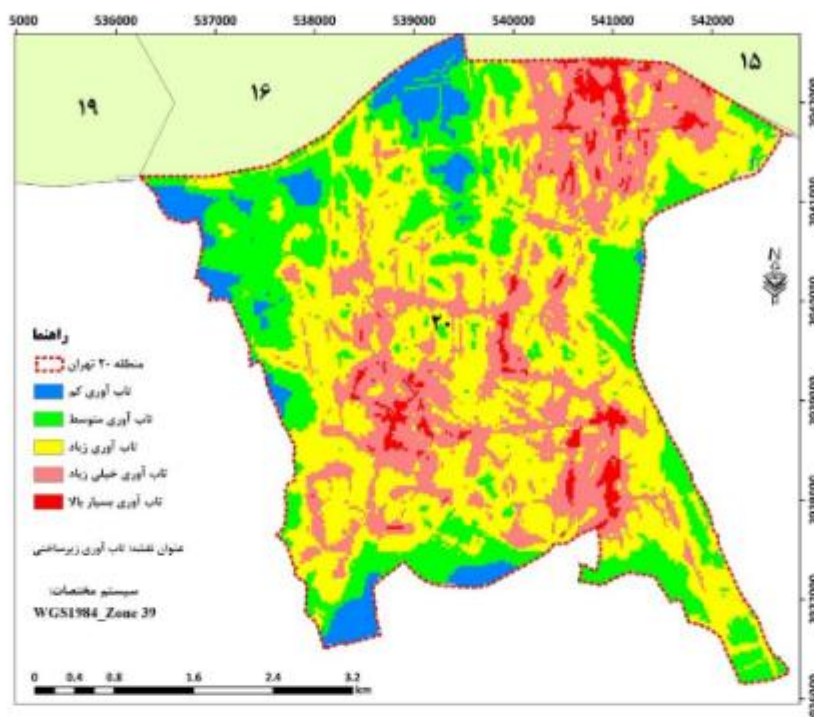
شریان‌های حیاتی

مسیر جهت رسیدن به محل حادثه است. جهت بررسی دقیق تر و استفاده از الگوریتم‌های مختلف برای تصمیم‌گیری بهتر از منطق فازی نیز استفاده شده است.

شبکه معابر (بزرگراه، خیابان و کوچه)

مسیرهای دسترسی و شبکه ارتباطی شهر، نقش مهمی در کاهش زمان رسیدن نیروهای امدادی به محل حادثه و در نتیجه افزایش تاب‌آوری شهر در برابر حریق و حوادث را دارد. در صورتی که شبکه معابر از تاب‌آوری مناسبی برخوردار باشد و کارایی خود را حفظ کند، می‌تواند تا حد زیادی از خسارات ناشی از حوادث را بکاهد. شبکه معابر و راه‌های ارتباطی پس از وقوع حوادث به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور در دسترسی تیم‌های آتش‌نشانی به محل حادثه جهت انجام عملیات تخلیه، نجات و اطفای حریق و انتقال محبوسین احتمالی به فضاهای امن مورد توجه قرار می‌گیرد. بنابراین در صورت مسدود شدن یکی از معابر اصلی یا حتی معابر فرعی، بر اثر ترافیک یا تصادفات، آسیب‌های ناشی از حوادث چندین برابر می‌شود. بین عرض معابر و تراکم جمعیت، با افزایش آسیب‌پذیری ناشی از حوادث رابطه مستقیمی وجود دارد. به‌طوری‌که هرچه عرض معابر کمتر و تراکم جمعیت زیاد باشد، تردد و استقرار خودروهای سنگین عملیاتی، مانند نردبان هیدرولیکی و بالابر با مشکل مواجه می‌شود و آسیب‌پذیری ناشی از حوادث افزایش خواهد یافت.

تعیین مناسب‌ترین و کوتاه‌ترین مسیر جهت رسیدن به افراد آسیب‌دیده در منطقه مورد مطالعه یک امر ضروری در تاب‌آوری است. مسیرهای شبکه معابر منطقه براساس خیابان اصلی طراحی شدند. منطقه از نظر تاب‌آوری باید در موقعیتی باشد که به مسیرهای مواصلاتی و تردد شهری و همچنین شریان‌های اصلی نزدیک باشد تا امداد رسانی به سرعت انجام گیرد. معابری که عمدتاً کمتر از ۶ متر عرض داشته باشد به‌عنوان بافت‌های فرسوده آسیب‌پذیر در برابر حریق و حوادث در نظر گرفته شدند و تردد خودروهای سنگین عملیاتی آتش‌نشانی در این معابر با کندی حرکت مواجه است و یا به دلیل پارک خودروها عملاً تردد امکان‌پذیر نیست و دسترسی نیروهای آتش‌نشانی به محل حریق و حادثه مختل است. همچنین وجود نقاط پرترافیک و یا مسدود شدن مسیرها به علت تنگ بودن معبر منجر به افزایش زمان سفر خودروهای عملیاتی آتش‌نشانی به محل حادثه و ناکارآمدی مسیرهای دسترسی بیشتر و کاهش میزان تاب‌آوری منطقه می‌شود. از این‌رو براساس نقشه، فاصله اقلیدسی نسبت به نقاط مسیرهای اصلی در منطقه ۲۰ تهیه شد. از آنجایی که میزان نزدیکی به مسیرها و راه‌های ارتباطی و شریان‌های اصلی جهت تعیین تاب‌آوری مهم است، باید یک بار دیگر نقشه را بازتولید و با امتیازدهی ۱ تا ۹ و وارونه‌سازی داده‌ها نتیجه مطلوب حاصل شود. امتیازدهی ۹ به معنای اهمیت مطلق برای تعیین نزدیک‌ترین



تصویر ۴. تلفیق نقشه‌های تولیدشده در معیار تاب‌آوری زیرساختی (یافته‌های پژوهش؛ خدایندو و همکاران، ۱۴۰۳)

خطوط انتقال نیرو

وجود خطوط انتقال نیرو هم به‌عنوان یک عامل ناسازگار و خطرناک و هم به‌عنوان یک عامل سازگار در محاسبه تاب‌آوری به حساب می‌آید. با امتیازدهی این عامل از ۱ تا ۹ و عدم وارون‌سازی داده‌ها نتیجه مطلوب حاصل شد. این معیار در ۵ طبقه و از فواصل صفر تا بیش از ۱۲۰۰ متر طبقه‌بندی و تاب‌آوری آن‌ها محاسبه شد. نقاط آبی‌رنگ و سبزرنگ از درجه بسیار مطلوب و مطلوب از نظر فاصله خطوط انتقال نیرو در تاب‌آوری شناخته شدند.

خطوط انتقال گاز

خطوط انتقال گاز می‌تواند خطر بزرگی در منطقه، به‌ویژه در شرایط بحرانی همچون زلزله باشد. در صورت دور بودن منطقه از ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز و خطوط مربوط به آن، تاب‌آوری افزایش می‌یابد، بنابراین فاصله اقلیدسی نسبت به فاصله از ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز نیز محاسبه شد.

دسترسی به مراکز درمانی و نظامی

دسترسی به مراکز درمانی، بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها و پایگاه‌های اورژانس باعث افزایش تاب‌آوری در منطقه می‌شوند. وجود فاصله کم بین مراکز درمانی تا محل وقوع حادثه منجر به دسترسی سریع به مصدومین و سرعت بخشیدن به عملیات نجات می‌شود. بالعکس هرچه فاصله محل وقوع حریق و حادثه

تا مراکز درمانی بیشتر باشد، رهاسازی و نجات و همچنین انتقال مصدومین به مراکز درمانی زمان‌بر شده و اقدامات درمانی و مراقبتی به مخاطره می‌افتد. از طرف دیگر وجود مراکز نظامی به خاطر دارا بودن خطرات خاص باعث کاهش تاب‌آوری مکانی در منطقه می‌شوند. از این‌رو فاصله اقلیدسی نسبت به دسترسی به بیمارستان‌ها، مراکز درمانی و نظامی نیز مورد محاسبه قرار گرفته است. باتوجه به بررسی‌های صورت گرفته کاملاً مشخص است که جهت امداد رسانی و انتقال سریع مصدومین حوادث به مراکز درمانی و حضور سریع عوامل انتظامی جهت برقراری نظم و امنیت در محل حادثه و افزایش تاب‌آوری امنیتی، هرچه فاصله این اماکن کمتر باشد، تاب‌آوری بیشتر است. همان‌طور که در تصویر شماره ۳ مشاهده می‌شود، نقشه با امتیازدهی ۱ تا ۹ و وارون‌سازی داده‌ها تولید شد که این روش دارای بیش تخمینی بود و نمی‌توان به محاسبات آن جهت تصمیم‌گیری استناد کرد. به همین دلیل در زیرمعیار دسترسی به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، به خروجی امتیازدهی فواصل اقلیدسی بسنده شده است.

در این معیار میزان مطلوبیت تاب‌آوری زیرساختی مورد بررسی قرار گرفت. در این ماتریس باتوجه به شرایط مکانی، مانند ایستگاه‌های آتش‌نشانی، شریان‌های حیاتی و مراکز نظامی و امدادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از تولید تک‌تک نقشه‌ها برای هر سه زیرمعیار به روش فواصل اقلیدسی، هر نقشه امتیازدهی شده به‌صورت رستری با اعمال ضرایب فرایند تحلیل



سلسله مراتبی^۶ (AHP) (جدول شماره ۳) با هم جمع شدند که نتیجه آن در تصویر شماره ۴ قابل مشاهده است. به این روش، تلفیق همپوشانی شاخص می گویند که نتیجه بسیار دقیقی برای معیار تاب آوری زیرساختی ارائه داده است.

معیار تاب آوری کالبدی

تصرفات

براساس بند ۴-۲-۱ در الزامات عمومی ساختمان در مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان ایران، تصرف به معنی در اختیار گرفتن ساختمان یا بخشی از آن به منظور کار یا استفاده‌ای معین است. تصرفات ۹ گانه شامل مسکونی، حرفه‌ای / اداری، آموزشی / فرهنگی، درمانی / مراقبتی، تجمعی، کسبی / تجاری، صنعتی، انباری و مخاطره آمیز (اماکن پرخطر (تراکم مواد مشتعل بیش از ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع)، میان خطر (تراکم مواد مشتعل بین ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع) و کم خطر (تراکم مواد مشتعل ۵۰ کیلوگرم بر مترمربع)) و کالبد شهر به عنوان عوامل اساسی در تاب آوری کالبدی محسوب می شود. این معیار بیان کننده این است که تاب آوری کالبدی دارای مقیاس است. از اماکن کم خطر، پرخطر و میان خطر و بناهای تاریخی و پل ها به عنوان شاخص های مهم این معیار استفاده شده است. برای بررسی دقیق تر و استفاده از الگوریتم های مختلف برای تصمیم گیری بهتر از منطق فازی نیز استفاده شد. هرچه تراکم جمعیت در نواحی کمتر باشد، تراکم متعادل تر خواهد بود و اماکن، جزء کم خطر به شمار می رود. تراکم های جمعیتی زیاد در مناطق شهری کاهش تاب آوری را در آن مناطق به دنبال خواهد داشت. بنابراین ضروری است توزیع متعادل اماکن در سطح منطقه انجام شود.

اماکن پرخطر (پمپ بنزین و غیره)

کالبد شهری

پل ها و معابر

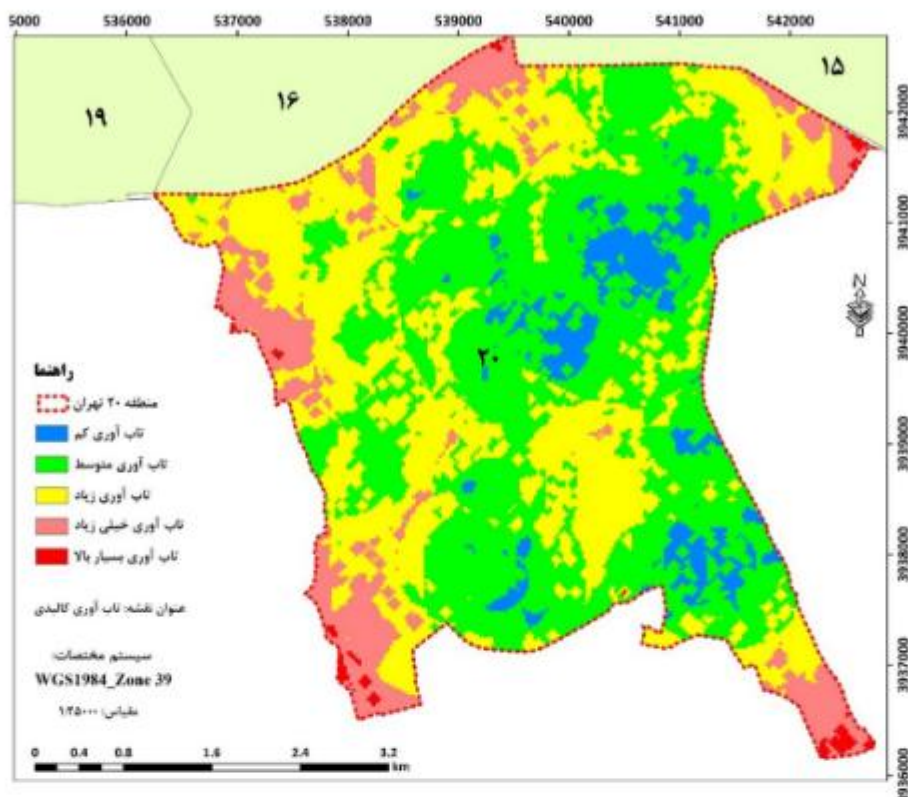
شبکه (مسیرهای) دسترسی و ارتباطی، مهم ترین عامل در افزایش تاب آوری سازمان آتش نشانی در مواجهه با حریق و حوادث است. چنانچه مسیرهای دسترسی و معابر از تاب آوری مناسب برخوردار باشند و عملکرد خود را در زمان وقوع حوادث حفظ کنند باعث دسترسی سریع نیروهای امدادی به محل حادثه و کاهش خسارات و تلفات ناشی از حوادث می شوند. معابر بعد از وقوع حوادث، به عنوان شریان های حیاتی شهر در جهت دسترسی سریع خودروهای عملیاتی و تجهیزات امداد و نجات سازمان آتش نشانی به محل حادثه در کمترین زمان ممکن برای پاسخ به عملیات نجات، تخلیه، اطفاء و انتقال محبوسین و مصدومین احتمالی به محل امن هستند. بنابراین در صورت مسدود شدن یکی از جاده های اصلی یا حتی معابر فرعی، بر اثر تصادفات، آوار و یا زلزله، صدمات ناشی از حوادث چندین برابر می شود. تاب آوری رابطه معکوس با آسیب پذیری دارد و عوامل متعددی بر آن تأثیر گذار هستند. همچنین بین معابر و مسیرهای دسترسی و تراکم جمعیت، رابطه مستقیمی وجود دارد و بر تاب آوری منطقه مؤثر است؛ بنابراین هرچه عرض معابر کمتر (تنگ بودن معبر) و تراکم جمعیت در آن محدوده زیاد باشد، کاهش تاب آوری و در نهایت افزایش آسیب پذیری ناشی از حریق و حوادث را در پی خواهد داشت. جدول شماره ۴ و تصویر شماره ۵ زیر معیارهای تاب آوری کالبدی با اعمال ضرایب ماتریس AHP را نشان می دهد.

6. Analytical Hierarchical Process (AHP)

جدول ۴. زیرمعیارهای تاب آوری کالبدی یا اعمال ضرایب ماتریس AHP (یافته های پژوهش؛ خدایندهلو و همکاران، ۱۴۰۳)

لانداهای ماتریس سلسله مراتبی	خروجی ضرب ماتریس W در ماتریس اولیه	ماتریس AHP	تصرفات	کالبد شهری
		تصرفات	۱	۵
		کالبد شهری	۷	۱
ضرایب (W) AHP	مجموع		۸	۶
۰/۸۱	۱/۶۲		۱	۰/۶۲
۳/۵۶	۷/۱۲		۷	۰/۱۲
۴/۳۷	۸/۷۵			
تست درستی محاسبات				

در ماتریس ۲×۲ به دلیل صفر بودن مقدار R_I در مخرج باعث می شود نرخ ناسازگاری تعریف نشده باشد



تصویر ۵. تلفیق نقشه‌ها در معیار تاب آوری کالبدی (یافته‌های پژوهش؛ خدایندو و همکاران، ۱۴۰۳)

بافت فرسوده

اجزای کالبدی شهر، بخش مهمی از محیط زیست انسان را فراهم می‌کند. یکی از مشکلات اصلی منطقه ۲۰ وجود بافت فرسوده شهری، به‌ویژه در ناحیه ۱ است که علاوه بر مشکلات مربوط به فاضلاب، دارای معابر کم‌عرض، تراکم جمعیت و وجود فضایی نامرغوب و ناامن است. توانمندسازی کالبد شهر در بافت‌های فرسوده و قدیمی (تاریخی)، مؤلفه بسیار مهمی در رضایتمندی ساکنین و افزایش تاب آوری منطقه است. بنابراین به‌منظور ایجاد پایداری در شهر و محلات باید در وجه کالبدی به پایداری دست یافت. میزان تاب آوری در مناطق دارای بافت فرسوده در برابر حریق و حوادث، مناسب نیست و در نهایت آسیب‌پذیری ساکنین منطقه را به‌دنبال خواهد داشت. یکی دیگر از دلایل آسیب‌پذیری ساکنان بافت فرسوده، نداشتن توان مالی ساکنین جهت بهسازی و نوسازی ساختمان خود است که به مرور زمان، روند تخریب ساختمان‌های موجود در این محدوده را در سالیان اخیر شدت بخشیده است. با توجه به وجود نقاط و ابنیه حادثه‌خیز در این منطقه، می‌بایست در راستای ارتقای شرایط کیفی محل سکونت ساکنین در این محدوده اقدامات لازم از سوی مراجع ذی‌ربط صورت گیرد. براساس طرح‌های جامع و تفصیلی شهر تهران، به دلیل چالش دسترسی تیم‌های آتش‌نشانی معابر با عرض کمتر از ۶ متر به‌عنوان بافت فرسوده آسیب‌پذیر در برابر حریق و حوادث در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هرچه عرض مسیرهای دسترسی بیشتر باشد،

علاوه بر کاهش گره ترافیکی مسیر و حفظ عملکرد شبکه ارتباطی، تردد خودروهای سنگین عملیاتی آتش‌نشانی تسهیل می‌شود و این منجر به کاهش زمان رسیدن به محل حادثه و در نهایت افزایش میزان تاب آوری منطقه خواهد شد.

ابنیه تاریخی

وجود آثار باستانی و ابنیه‌های تاریخی، قدمت و تاریخچه هر سرزمینی را مشخص می‌کند. شهرری یکی از قدیمی‌ترین شهرهای ایران است. وجود اماکن تاریخی بسیاری از جمله باروی ری، قلعه گبری، برج طغرل، آتشکده ری، دژ رشکان و حرم عبدالعظیم حسنی و بازار سنتی نیازمند حفاظت و توجه و افزایش تاب آوری این اماکن در مواجهه با حریق و حوادث است. یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش آسیب‌پذیری وجود مسیر دسترسی مناسب نیروهای امدادی به‌ویژه، آتش‌نشانان در پاسخ به حریق و حوادث در این اماکن است.

ارزیابی معیار تاب آوری زیست محیطی

زیرمعیار خصوصیات جغرافیایی

شیب زمین

یکی از آسیب‌های رایج در بحران‌های طبیعی و غیرطبیعی سستی زمین و خطر گسیختگی در تمامی سطوح شیب‌دار است که باعث



پایداری محیط زیستی

فضای سبز

در سال‌های اخیر، آتش‌سوزی فضای سبز در منطقه مورد مطالعه افزایش یافته است. مدیریت مؤثر و کارآمد حریق نیاز به اخذ اطلاعات دقیق در مورد وقوع آتش‌سوزی، گسترش سریع حریق فضای سبز به اطراف به دلیل نوع گونه‌های گیاهی موجود و تأثیر آن بر محیط زیست دارد. در این پژوهش باتوجه به تعدد وقوع حریق فضای سبز معابر عمومی (شامل بزرگراه‌ها، اتوبان، خیابان و کوچه) و فضای سبز معابر اختصاصی (شامل ادارات، سازمان‌ها و غیره) و بوستان‌ها به عنوان کاربری‌های سازگار جهت افزایش تاب‌آوری مکانی در آتش‌سوزی مورد بررسی قرار گرفت. باتوجه به اهمیت وقوع حریق‌های فضای سبز شهری به صورت فصلی، این شاخص به عنوان یک شاخص سازگار است. جهت بررسی تاب‌آوری فضای سبز فواصل ۳۰۰ متری در ۶ طبقه بصورت فاصله اقلیدسی در نظر گرفته شده است.

تلفیق نقشه‌های تولید شده در معیار تاب‌آوری زیست‌محیطی

باتوجه به روش تحلیل سلسله‌مراتبی مطابق وزن‌های ارائه شده در جدول شماره ۵، نقشه معیار تاب‌آوری زیست‌محیطی تهیه شد (تصویر شماره ۶). به عبارتی طبق این نقشه مناطقی دارای تاب‌آوری بالا هستند که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. پس از تولید نقشه‌ها هر دو زیرمعیار زیست‌محیطی به روش فواصل اقلیدسی، امتیازدهی شده و به صورت رستری با اعمال ضرایب ماتریس AHP (جدول شماره ۵) با هم جمع شدند که نتیجه آن در تصویر شماره ۶ دیده می‌شود.

آسیب و خسارت می‌شود. شیب زمین ارتباط مستقیم با حرکات دامنه‌ها دارد. هرچه شیب زمین کمتر باشد، خطر حرکت‌های دامنه‌ای زمین و آسیب ناشی از آن کمتر خواهد بود. بنابراین در این پژوهش برای تهیه نقشه شیب منطقه ابتدا مدل رقومی ارتفاعی تهیه و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نقشه شیب تهیه شد. شیب مورد نظر در این پژوهش در ۵ گروه و بین صفر تا ۲، ۲ تا ۵، ۵ تا ۸، ۸ تا ۱۱ و بیشتر از ۱۱ درجه به دست آمد. براساس نقشه شیب زمین، فاصله اقلیدسی نسبت به مناطق پرشیب محاسبه شد.

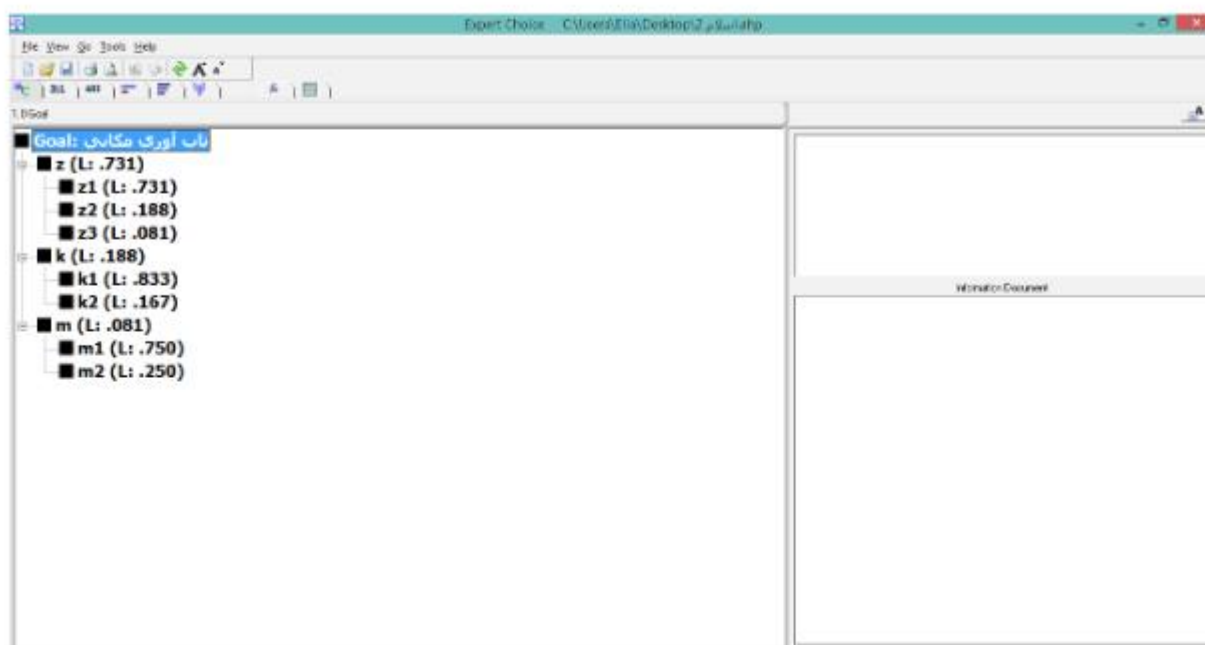
فاصله از گسل

گسل‌های فعال در تهران و اطراف آن باعث کاهش تاب‌آوری شهری و کالبدی شده است. فاصله از گسل رابطه مستقیمی با میزان تاب‌آوری ابنیه، شریان‌های حیاتی و زیرساخت‌های شهری در برابر حریق و حوادث و بحران‌ها دارد. هرچه فاصله سازه‌ها و زیرساخت‌های شهری با گسل کم باشد منجر به کاهش تاب‌آوری و از طرفی افزایش آسیب‌پذیری در مواجهه با سوانح طبیعی و انسان‌ساخت خواهد شد. مهم‌ترین گسل‌های جنوب تهران شامل گسل‌های جنوب و شمال شهری هستند که خود گسل شمال ری نیز دارای دو گسل است که در قسمت میانی هم‌پوشانی دارند. گسل شمال ری در راستای شرقی غربی و به طول ۱۶/۵ کیلومتر در شمال و شمال غربی به صورت دیواره به ارتفاع ۲ متر در نزدیکی محله عظیم‌آباد وجود دارد. گسل جنوب شهری نیز به صورت دیواره کوتاه و فرسوده‌ای به ارتفاع ۱ تا ۲ متر در ضلع جنوبی تپه باستانی محله قلعه‌نو دیده می‌شود. هرچه فاصله از گسل بیشتر باشد تاب‌آوری در آن منطقه یا ناحیه بیشتر خواهد شد. در این پژوهش میزان فاصله از گسل بین ۳ تا ۹ کیلومتر محاسبه شد. مقدار مطلوبیت این معیار با امتیازدهی به این معیار از ۱ تا ۹ در نظر گرفته شده است.

جدول ۵. ماتریس PHA معیار تاب‌آوری زیست محیطی (یافته‌های پژوهش؛ خدایندلو و همکاران، ۱۴۰۳)

لانداهای ماتریس سلسله مراتبی	خروجی غرب ماتریس W در ماتریس اولیه	ماتریس AHP	خصوصیات جغرافیایی	پایداری محیط زیستی
			خصوصیات جغرافیایی	۷
			پایداری محیط زیستی	۱
			مجموع	۸
	۰/۹۳	۱/۸۷	۱	۰/۸۷
	۰/۰۶	۰/۱۲	۰	۰/۱۲
تست درستی محاسبات	۱	۲		

در ماتریس ۲×۲ به دلیل صفر بودن مقدار R_i در مخرج باعث می‌شود نرخ ناسازگاری تعریف نشده باشد.



تصویر ۷. خروجی نرم افزار Expert Choice (یافته‌های پژوهش؛ خدایندو و همکاران، ۱۴۰۳)

جدول ۶. ماتریس PHA مقایسه اهمیت معیارها (یافته‌های پژوهش؛ خدایندو و همکاران، ۱۴۰۳)

نرخ ناسازگاری	لاتدها	لاتدهای ماتریس AHP	خروجی ضرب ماتریس W در ماتریس اولیه	ماتریس AHP	تاب‌آوری زیرساختی	تاب‌آوری کالبدی	تاب‌آوری زیست‌محیطی
	۳/۳۳	لاتدهای ۱ تاب‌آوری زیرساختی	۲/۴۶	تاب‌آوری زیرساختی	۱	۵	۹
	۳/۱۱	لاتدهای ۲ تاب‌آوری کالبدی	۰/۶۸	تاب‌آوری کالبدی	۰/۲	۱	۵
	۲/۹۶	لاتدهای ۳ تاب‌آوری زیست‌محیطی	۰/۱۸	تاب‌آوری زیست‌محیطی	۰/۱۱	۰/۲	۱
۰/۰۹۸	لاتدهای حداکثری	پارامترهایی که به آن‌ها ضریب اعمال می‌شود	ضرایب AHP(W)	مجموع	۱/۳۱	۶/۲	۱۵
	۳/۱۳	تاب‌آوری زیرساختی	۰/۷۳	۲/۲۱	۰/۸	۰/۸۱	۰/۶
	شاخص ناسازگاری	تاب‌آوری کالبدی	۰/۲۱	۰/۶۵	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۳۳
	۰/۰۶۹۰۷۵۴۱۶	تاب‌آوری زیست‌محیطی	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۰۸۸	۰/۰۳۳	۰/۰۶
	شاخص ناسازگاری تصادفی	تست درستی محاسبات	۱/۰۱	۳/۰۵			
۰/۵۸							

نرخ ناسازگاری قابل قبول کمتر از ۰/۱ است

جدول ۷. مساحت و درصد تاب‌آوری مکانی در مواجهه با ریسک‌های HSE در منطقه مورد مطالعه

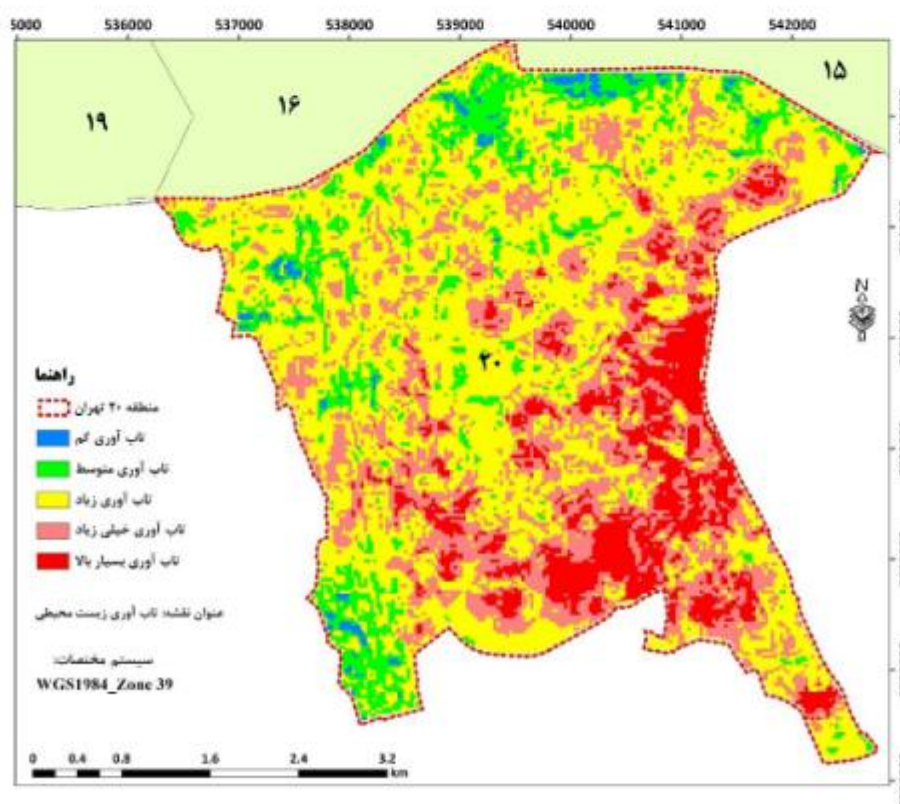
کلاس	تاب‌آوری کم	تاب‌آوری متوسط	تاب‌آوری زیاد	تاب‌آوری خیلی زیاد	تاب‌آوری بسیار بالا
مساحت (متر مربع)	۷۳۹۷۱۸	۷۸۰۲۵۷۸	۶۵۱۳۶۴۶	۶۶۳۹۸۲۴	۳۶۴۱۹۶
درصد	۳/۳	۲۵/۳۸	۲۹/۵۴	۳۰/۱	۱/۶۵

تلفیق نقشه‌های تولیدشده در هر سه معیار

پس از تولید نقشه‌ها برای هر سه معیار تاب‌آوری زیست محیطی، تاب‌آوری کالبدی و تاب‌آوری زیرساختی به روش فواصل اقلیدسی، هر سه نقشه نهایی معیارها به صورت جداگانه به صورت رستری با اعمال ضرایب ماتریس سلسله مراتبی (جدول شماره ۶) و با استفاده از نرم افزار Expert Choice (تصویر شماره ۷) با هم تجمیع شدند که نتیجه آن در تصویر شماره ۸ قابل مشاهده است. تصویر شماره ۷ اوزان نهایی معیارها و زیرمعیارها را در محیط نرم افزار Expert Choice نشان می‌دهد.

از آنجایی که تمامی معیارها ارتباط بسیار نزدیکی با موضوع دارند، به عنوان یکی از شاخص‌های تأثیرگذار در تاب‌آوری محسوب می‌شوند. تجزیه و تحلیل تاب‌آوری مکانی منطقه ۲۰ شهرداری تهران در راستای توسعه پایدار است. منطقه ۲۰ شهر تهران با توجه به ویژگی‌های عنوان شده در شاخص‌ها در معرض

خطر ناشی از رخداد طبیعی و غیرطبیعی است. بررسی مجموعه معیارها و زیرمعیارهای پژوهش نشان داد میزان تاب‌آوری در منطقه ۲۰ به شکل همگن و یکنواخت نیست. با روی هم گذاری هریک از لایه‌های تولیدشده ناشی از شاخص‌های موجود که به آن اشاره شد، نقشه کلی تاب‌آوری مکانی در مواجهه با آتش سوزی در منطقه مورد مطالعه، حاصل شد (تصویر شماره ۹). براساس نتایج به دست آمده از نقشه پهنه بندی تاب‌آوری مکانی در مواجهه با ریسک‌های HSE منطقه مورد مطالعه، ۳/۳ درصد از سطح منطقه (۷۲۹۷۱۸ متر مربع) دارای تاب‌آوری کم، ۲۵/۳۸ درصد (۷۸۰۲۵۷۸ متر مربع) دارای تاب‌آوری متوسط، ۲۹/۵۴ درصد (۶۵۱۳۶۴۶ متر مربع) دارای تاب‌آوری زیاد، ۳۰/۱ درصد (۶۶۳۹۸۲۴ متر مربع) دارای تاب‌آوری خیلی زیاد و ۱/۶۵ درصد (۳۶۴۱۹۶ متر مربع) دارای تاب‌آوری بسیار بالا است (جدول شماره ۷).



تصویر ۶. تلفیق نقشه‌های تاب‌آوری زیست محیطی (باقی‌مانده‌های پژوهش؛ خدایندلو و همکاران، ۱۴۰۳)

وضعیت بسیار نامطلوب قرار دارند. برخی از بافت‌ها و فضاهای شهری، به‌ویژه ناحیه ۱ (محدوده عملیاتی ایستگاه‌های ۱۴ و ۱۳۷) به دلیل تنگ بودن معابر و مسیرهای دسترسی و فرسودگی، همچنین وجود چالش‌های دسترسی و بالا بودن تراکم جمعیت، آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند. در راستای ارتقای تاب‌آوری می‌توان با فرهنگ‌سازی و آموزش در سرای محلات و مشارکت اجتماعی در محلات دارای بافت فرسوده، در مواجهه با حریق و حوادث، گام موثری برداشت. آسیب‌پذیری‌های زیست‌محیطی به دلیل وجود نواحی ۶ و ۷ منطقه در بافت حاشیه‌ای و وجود مزارع و آتش زدن مزارع پس از برداشت محصولات که به آلودگی هوای منطقه منجر می‌شود، همچنین آسیب‌پذیری فیزیکی، سلامت، رفاه و اقتصاد موضوعاتی هستند که در تاب‌آوری منطقه تأثیرگذار هستند. وجود گسل و بروز حریق و حوادث زیاد که به خسارات مالی و جانی منجر می‌شود باعث انجام پژوهش‌هایی در حوزه تاب‌آوری شهری شده که هدف آن‌ها افزایش سرعت تاب‌آوری و درنهایت کاهش آسیب‌پذیری در شهر است. طبق فرضیه تحقیق، ارزیابی تاب‌آوری برون‌سازمانی با استفاده از سامانه GIS در افزایش تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی و در نتیجه کاهش آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه نقش مؤثری دارد. در پاسخ به مسئله پژوهش مبنی بر ظرفیت‌های تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی در برابر حریق و حوادث می‌توان گفت منطقه دارای تاب‌آوری مناسب است.

باتوجه به نتایج حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی و خروجی نتایج نرم‌افزار Expert Choice (تصویر شماره ۶)، معیار زیرساختی در اولویت اول ($Z=0.731$)، معیار کالبدی در اولویت دوم ($K=0.188$) و معیار زیست‌محیطی در اولویت سوم ($M=0.081$) قرار گرفت.

درصد تاب‌آوری نهایی محدوده مورد مطالعه (ایستگاه‌های آتش‌نشانی منطقه ۲۰ شهر تهران) در تصویر شماره ۸ نشان داده شده است.

بحث

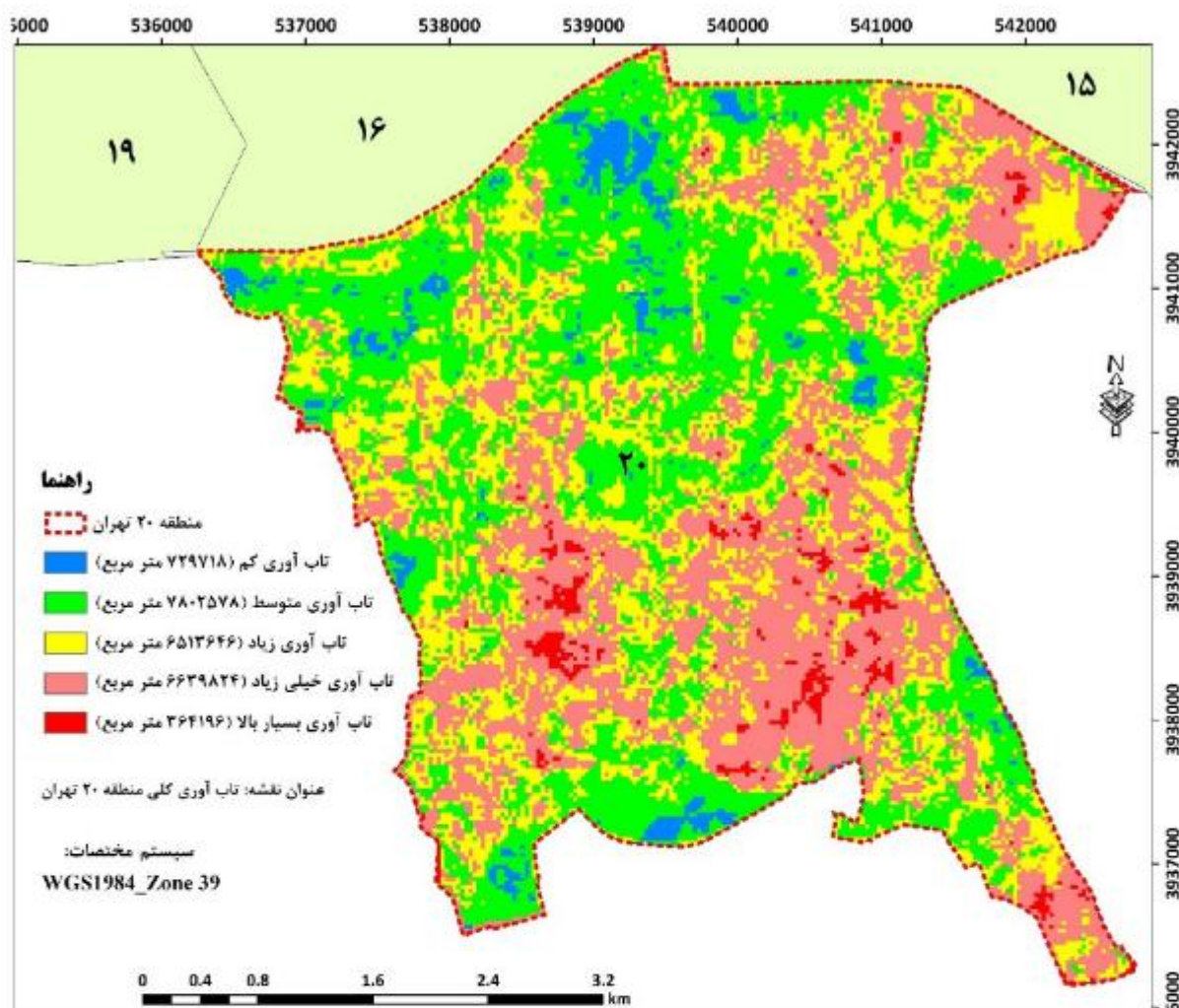
با مطالعه فاکتورهای مؤثر آسیب‌پذیری کالبدی و زیرساختی، قبل از وقوع حریق و حوادث و برنامه‌ریزی مناسب می‌توان تاب‌آوری شهرها را در برابر حوادث افزایش داد. در پژوهش حاضر جهت ارزیابی وضعیت تاب‌آوری کالبدی و زیرساختی محدوده عملیاتی ایستگاه‌های تحت پوشش منطقه ۲۰ شهرداری تهران از ۳ معیار، ۷ زیرمعیار و ۲۱ شاخص طبق جدول شماره ۱ استفاده شد. ابتدا با لایه‌سازی برای هر یک از معیارهای اصلی و زیرمعیارها در چهار بعد ایستگاه‌های آتش‌نشانی، شریان‌های حیاتی، مراکز امدادی و نظامی، تصرفات و کالبد شهری با استفاده از اوزان حاصل از فرایند سلسله‌مراتبی (AHP) نقشه تاب‌آوری کلی منطقه ۲۰ (تصویر شماره ۹) تهیه شد. اوزان حاصله با روش طوفان فکری و توسط خبرگان آتش‌نشانی و براساس فاصله اقلیدسی و افزایش یا کاهش مؤثر در تاب‌آوری و با دستور Reclassify و پس از دسته‌بندی در محیط Arc GIS (تصویر شماره ۱) انجام شد. با روی هم‌گذاری لایه‌ها (نقاط دارای تاب‌آوری مشترک)، نقشه تاب‌آوری در سنجش و پهنه‌بندی میزان تاب‌آوری کالبدی منطقه مورد مطالعه می‌توان عنوان کرد که میزان تاب‌آوری در محدوده عملیاتی ۷ ایستگاه آتش‌نشانی یکسان نیست.

در سنجش و پهنه‌بندی میزان تاب‌آوری کالبدی منطقه مورد مطالعه می‌توان عنوان کرد میزان تاب‌آوری در محدوده عملیاتی ۷ ایستگاه آتش‌نشانی یکسان نیست و برخی نواحی در

درصد تاب‌آوری کلی منطقه مورد مطالعه



تصویر ۸. درصد تاب‌آوری کلی منطقه مورد مطالعه (یافته‌های پژوهش؛ خدایندو و همکاران، ۱۴۰۳)



تصویر ۹. تاب آوری کلی منطقه ۰۲ (یافته‌های پژوهش، خداینده‌لو و همکاران، ۱۴۰۳)

وجود بافت فرسوده و تراکم جمعیت و حادثه‌خیز بودن این نواحی و همچنین تنگ بودن مسیرهای دسترسی در سطح محدوده با مطالعه انجام نشده است. عدم دسترسی مناسب به ایستگاه‌های آتش‌نشانی، به‌ویژه در محله صفائیه نیازمند بازنگری و پیشنهاد احداث یک ایستگاه جدید (جانمایی در میدان صفائیه مرز بین ناحیه ۱ و ۴) در راستای پوشش عملیاتی مناسب، کاهش زمان رسیدن خودروهای آتش‌نشانی و بهبود دسترسی ساکنان، در سطح محدوده است. همچنین یافته‌های پژوهش در رابطه با بررسی محدوده تحت پوشش مراکز درمانی نشان می‌دهد به‌جز نواحی ۲ و ۶ منطقه، سایر نواحی در دسترسی به مراکز درمانی وضعیت مناسبی داشته و دارای تاب آوری مناسبی هستند. در راستای تاب‌آور کردن منطقه در برابر حریق و حوادث به‌ویژه در بافت‌های فرسوده با معابر تنگ و باریک (ناحیه ۱ و بخش جنوبی ناحیه ۴)، می‌بایست نقش برنامه‌ریزی شهری و به‌طور کلی مدیریت کاربری اراضی برای افزایش تاب آوری مناطق شهری در

یافته‌های تحقیق نشان داد باتوجه به نقشه پهنه‌بندی تاب آوری مکانی در مواجهه با ریسک‌های HSE منطقه مورد مطالعه، ۳/۳ درصد از سطح منطقه دارای تاب آوری کم، ۳۵/۳۸ درصد دارای تاب آوری متوسط، ۲۹/۵۴ درصد دارای تاب آوری زیاد، ۳۰/۱ درصد دارای تاب آوری خیلی زیاد و ۱/۶۵ درصد دارای تاب آوری بسیار بالا است (تصویر شماره ۸).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل شعاع عملکردی ۷ ایستگاه آتش‌نشانی موجود در محدوده منطقه ۲۰ شهرداری تهران حاکی از آن است که دسترسی به ایستگاه‌های آتش‌نشانی (حریق، نجات و پشتیبانی) که نقش بسیار حیاتی در کاهش خسارات و تلفات ناشی از حریق و حوادث و همچنین افزایش تاب آوری دارد، در بعضی از محلات نواحی (مثل ناحیه ۱ و ۴) منطقه با چالش دسترسی مواجه است و توزیع و جانمایی این ایستگاه‌ها باتوجه به



نظر گرفته شود.

- توجه سازمان‌های ذی‌ربط در خصوص بهسازی و نوسازی بافت فرسوده ناحیه ۱.

- پیشنهاد می‌شود در بافت فرسوده و معابر تنگ که امکان تردد خودروهای امدادی سنگین با محدودیت مواجه است از خودروهای سبک به‌عنوان جایگزین استفاده شود.

- آموزش شهروندان در خصوص عدم ازدحام در محل حریق و حادثه به دلیل وجود خطرات ثانویه.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله با رعایت اصول اخلاقی انجام شد. از آنجایی که هیچ آزمایشی روی نمونه‌های انسانی یا حیوانی انجام نشد، نیازی به رعایت اصول اخلاقی نبود.

حامی مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اعلام نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از واحد فناوری و اطلاعات سازمان آتش‌نشانی تهران برای ارائه اطلاعات و همچنین از کلیه آتش‌نشانان و کارشناسانی که در پاسخ به پرسش‌نامه مشارکت داشتند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

نتایج پژوهش در خصوص بررسی شبکه معابر (عرض معابر و رابطه مستقیم آن با تسهیل تردد و استقرار خودروهای عملیاتی سنگین در محل حادثه) با مطالعه **عشقی چهاربرج (۱۳۹۷)**، با عنوان «تاب‌آوری شهر در برابر زلزله با رویکرد آینده‌پژوهی» در یک راستا است. همچنین نتایج پژوهش براساس تصویر شماره ۳ (شعاع عملکردی و محدوده تحت پوشش) با تحقیق **آیثم و همکاران (۱۴۰۲)** نیز هم‌راستا است. نتایج پژوهش حاضر در ارتباط با زمان پاسخ تیم‌های آتش‌نشانی به مکان‌های دچار آتش‌سوزی شده با پژوهش **سرشته‌داری و همکاران (۲۰۲۰)** در یک راستا است. در صورت تاب‌آوری معابر و مسیرهای دسترسی و نیز تعامل با عوامل راهور جهت مدیریت مسیرهای پرترافیک و چراغ راهنمایی و رانندگی در حین اعزام، زمان رسیدن تا حد زیادی کاهش پیدا خواهد کرد. در حال حاضر زمان رسیدن تیم‌های آتش‌نشانی در محدوده تحت پوشش به محل حادثه حداکثر ۵ دقیقه بدون در نظر گرفتن ترافیک مسیر و مسدود بودن مسیر است. براساس رابطه مسافت، حداکثر مسافتی که یک خودروی سنگین آتش‌نشانی در وضعیت عادی و باز بودن مسیر می‌تواند در ۵ دقیقه، طی کند، حداکثر ۲/۹ کیلومتر است. همچنین یافته‌های پژوهش با نتایج معصومی و همکاران (۱۴۰۰)، در خصوص بررسی میزان آسیب‌پذیری شبکه معابر محدوده در برابر حریق و حوادث، همسو است و براساس پژوهش حاضر مهم‌ترین چالش تیم‌های آتش‌نشانی در پاسخ به حریق و حوادث، در زمان اعزام و چالش دسترسی به محل حادثه است که این چالش در صورت آسیب به معابر و مسیرهای دسترسی و یا مسدود شدن مسیر به دلیل تصادف و ترافیک سنگین دو چندان شده و زمان رسیدن به محل حادثه و درنهایت امداد رسانی را به تأخیر خواهد انداخت.

محدودیت‌های پژوهش

مهم‌ترین محدودیت این پژوهش، عدم دسترسی به اطلاعات و مستندات پرونده پزشکی مصدومین عملیات قبل از سال ۱۳۹۷ است. همچنین جهت انجام این پژوهش نیاز به همکاری آتش‌نشانان بود که در برخی موارد عدم همکاری آنان از محدودیت‌های اجرای طرح بوده است.

پیشنهادهای

- پیشنهاد احداث یک ایستگاه جدید آتش‌نشانی در محله صفاییه (مرز بین ناحیه ۱ و ۴).

- آموزش و فرهنگ‌سازی محلات در خصوص تماس با سامانه ۱۲۵، اطفای حریق، امداد و نجات و باز کردن مسیر در زمان بروز حادثه.

References

- Aghayani, P., & Nikbaksh, E. (2024). [A review of resilience and fairness concepts and modeling in humanitarian logistics using a meta-analysis approach (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 14 (1), 2-23. [\[DOI:10.32598/DMKP.14.1.801.1\]](#)
- Anjerani, N., Bigdeli Rad, V., & Pakzad, S. (2023). [A comparative study on the realization of urban resilience in three old, moderate, and new fabrics of Qazvin City, Iran based on perceptions of residents (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 13 (3), 374-391. [\[DOI:10.32598/DMKP.13.3.594.3\]](#)
- Arasteh, M., Baghban, A., & Baghban, S. (2020). [Identification of Key Factors Affecting Urban Resilience with a Foresight Approach (Case Study: Mashhad Metropolis) (Persian)]. *Physical Social Planning*, 7(2), 63-78. [\[DOI:10.30473/psp.2020.7007\]](#)
- Aysham, M., Molaei A., & Ezzati Mehr, M. (2023). [Analysis of the spatial distribution of fire stations in Tabriz city with a passive defense approach (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 13 (1), 19-34. [\[Link\]](#)
- Ebrahimipour, M., Ziari, K., & Ardalan, D. (2021). [Explaining the pattern of physical resilience measurement in river-centered city against the impact of floods (case study: Tonekabon City) (Persian)]. *Geographical Planning of Space*, 11(41), 43-68. [\[DOI:10.30488/gps.2020.214382.3159\]](#)
- Eric, H. (2023). *Resilience engineering in operations and resilience training for firefighters* [A. Khairdast& Afrasiab. E. Khodabandehloo, Persian trans.]. Tehran: Danesh Binoyad Publications. [\[Link\]](#)
- Eshghi Chaharborj, A. (2018). [City resilience to earthquakes with a futures research approach, case study: District 1 of Tehran Municipality (Persian)] [PhD dissertation]. Ardabili: University of Mohaghegh Ardabili.
- Ghasemi, R., Omidvar, B. and Behzadfar, M. (2020). [Study of the Effectiveness of "Technical-Physical" and "Socio-Economic" Strategies in Improving Urban Resilience against Earthquakes (Persian)]. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 8(1), 99-114. [\[DOI:10.22059/jurbangeo.2019.278571.1080\]](#)
- Ghochani, S. K., Attari Rahimi, H., & Akbaregi, F. (2016). [Locating suitable emergency accommodation spaces in cities during times of crisis (Case study: District 11 of Mashhad Municipality) (Persian)] [MA thesis]. Mashhad: Payam Noor University.
- Hajarian, A. (2024). [Locating the optimal areas for multipurpose urban shelters based on the principles of passive defense in Isfahan, Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 14 (1), 44-59. [\[DOI:10.32598/DMKP.14.1.803.1\]](#)
- Hamidi, A. (2023). [Presenting strategies for reducing the physical vulnerability of Kermanshah city due to earthquakes (Persian)] [PhD dissertation]. Tabriz: University of Tabriz.
- Kamran, M. (2022). Role of cultural heritage in promoting the resilience of linear/critical infrastructure system with the enhancement of economic dimension of resilience: A critical review. *International Journal of Construction Management*, 22(7), 1345-1354. [\[Link\]](#)
- Kazemirnia, A. (2018). [Locating the construction of emergency shelters in Kerman city using GIS (Persian)]. *Bi-Quarterly Scientific and Research Journal of Crisis Management*, 16, 47-59.
- Kheirdast, A., Jozi, S. A., Rezaian, S., & Mirza Ebrahim Tehrani, M. (2024). [Locating emergency accommodation in District 19 of Tehran using multi-criteria decision-making method (Persian)]. *Journal of Human and Environment*, 1(22), 54-35. [\[Link\]](#)
- Kheirdast, A., Demirchi, E. S., Padash, A., Khodabandehloo, E. A., & Mohammadi Jahdi, Z. (2024). [Relationship of work safety climate with organizational cynicism and career Resilience of firefighters (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly)*, 14(2), 178-191. [\[DOI:10.32598/DMKP.14.2.826.1\]](#)
- Khodabandehloo, E. A., Hemmasi, A. H., Lahijanian, A., Hassani, A. H., & Mohammadi, A. (2024). [Identification and prioritization of criteria affecting the resilience of Tehran Fire Department using the analytic network process method (Persian)]. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*, 26(4). [\[Link\]](#)
- Kim, Y. (2021). Building organizational resilience through strategic internal communication and organization-employee relationships. *Journal of Applied Communication Research*, 49(5), 589-608. [\[Link\]](#)
- Liu, B., Chen, X., Zhou, Z., Tang, M., & Li, S. (2019). Research on disaster resilience of earthquake-stricken areas in Longmenshan fault zone based on GIS. In D. J. Parker, E. C. Penning-Rowsell (Eds.), *Environmental Hazards and Resilience: Theory and Evidence* (pp.50-69). London: Routledge. [\[Link\]](#)
- Masoomi, M. T., & Rajabzadeh, M. (2021). [Investigating the vulnerability of Ardabil city road network against natural disasters (earthquake) (Case study: Imam Khomeini Street, Shahr) (Persian)]. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 141-161. [\[DOI:10.22067/geoh.2021.67019.0\]](#)
- Moghim, S., & Monsefi, D. (2019). [Locating suitable space for temporary accommodation of earthquake victims using hierarchical analysis and weighted linear combination based on GIS, case study: Shahrud city (Persian)]. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 6(1). [\[Link\]](#)
- Nasiri Hendeh Khaleh, E., Rostami, S. & Shirini, M. (2023). [Location analysis of Karaj central disaster management (Persian)]. *Human Geography Research*, 55(3), 83-96. [\[Link\]](#)
- Pelling, M., Comelli, T., Cordova, M., Kalaycioğlu, S., Menoscal, J., & Upadhyaya, R., et al. (2024). Normative future visioning for city resilience and development. *Climate and Development*, 16(4), 335-348. [\[Link\]](#)
- Rahimi Juneghani, A., & Nooraie, H. (2024). Evaluation of the physical-functional resilience of Isfahan City center using spatial statistics methods and ELECTRE*. *Geo-Spatial Information Sciences*, 1-18. [\[Link\]](#)
- Rezaie shahabi, R., Arab, A., Ahmadi, H., Pishva, A., & Shahbakhsh Mosazehi, M. E. (2023). [Evaluating the Vulnerability of the Urban Fabric of District 18 of Tehran under the Influence of Land Subsidence using ANP and GIS (Persian)]. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(4), 193-219. [\[DOI: 10.22067/geoh.2022.76899.1235\]](#)
- Roosta, M., Karimkoshteh, N., & Azarm, Z. (2024). [Rereading local community resilience indicators in dealing with crisis an analysis of the narratives and experiences of saadi neighborhood residents in Shiraz During the 2019 Flood Disaster (Persian)]. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 12(1), 85-101. [\[Link\]](#)
- Sadeghi Pour, T., Hajipour, K., & Sadeghi, A. (2023). [The Role of Urban Planning in Post Disaster Recovery through Site Selection of Crisis Management Support Shelters (Case Study: Third District of Shiraz Municipality) (Persian)]. *Emergency Management*, 12(1), 120-138. [\[Link\]](#)



- Saeedi, R., Aghamohammadi, H., Alesheikh, A. A., & Vafaeinejad, A. (2024). [Smart emergency services using geographical information system and Internet of Things (Persian)]. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 16(2), 159-178. [DOI:10.48308/gisj.2024.229150.1128]
- Sarreshtehdari, A., & Elhami Khorasani, N. (2022). Post-earthquake emergency response time to locations of fire ignition. *Journal of Earthquake Engineering*, 26(7), 3389-3416. [Link]
- Sauti, N. S. & Daud, M. E. & Kaamin, M., & Sahat, S. (2021). GIS spatial modelling for seismic risk assessment based on exposure, resilience, and capacity indicators to seismic hazard: A case study of Pahang, Malaysia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1948-1972. [Link]
- Sayahpoor, A., Hematiyan, F., & Shoul, A. (2019). Organizational Resilience Process Analysis Using Interpretative Structural Modeling (Case study: Sapco). *Journal of Iranian Public Administration Studies*, 2(1), 123-147. [DOI:10.22034/jipas.2019.90667]
- Sun, W., Bocchini, P., & Davison, B. D. (2020). Resilience metrics and measurement methods for transportation infrastructure: The state of the art. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 5(3), 168-199. [Link]
- Ghadiri, M., & Tehranchi, A. (2019). [Fire prevention and protection strategies in cultural-historical buildings and textures (Persian)]. Qazvin: Qazvin Academic Jihad Publications. [Link]
- Yazdani, M., & Farzaneh Sadat Zaranji, Z. (2024). [Optimum Location of Physical Expansion of Sardasht City Using Combined Methods and Transfer Process Fuzzy Network of Spatial Information System (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 13 (4), 474-489. [DOI:10.32598/DMKP.13.4.779.1]
- Zardan, M. (2017). [Investigating the effect of transformational leadership on organizational resilience with the mediation of emotional intelligence in fire stations in Rasht City (Persian)] [MA thesis]. Industrial Management (Production), North Strategy Higher Education Institute.
- Zebardast, E. and Gheshlaghpour, S. (2024). [Evaluating the resilience of transportation infrastructures in Tehran Metropolis. Case Study: Localities of Two (Region 9), Four (Region 6) and Five (Region 1) Districts (Persian)]. *Emergency Management*, 12(2), 191-205. [Link]
- Zhaleh, M., & Charehjoo, F. (2021). [Measurement and zoning of physical resilience of urban neighborhoods against earthquake (Persian)]. *Emergency Management*, 10(1), 83-99. [Link]



Disaster Prevention and Management Knowledge

Summer 2025, Vol 15, Issue 2

Table of Contents

124	Spatiotemporal Changes in Regional Temperature Influenced by Global Warming in Tehran Province, Iran	Niloofer Mohammadi, Zahra Hejazizadeh, Parviz Zeaiean Firouzabadi, AliReza Karbalaee
144	Flood Risk Zoning Using Fuzzy Logic Model; Case Example: Lavasanat Watershed	Sayad Asghari Sareskanroud, Aqil Madadi, Maherukh Sardashti
160	Identifying the Drivers and Consequences of the Mainstream Media's Effective Activism in Managing Soci-political Crises in Iran	Mitra Afzali Farooji, Fatemeh Estarami
182	A Collaborative Model of Humanitarian Assistance for Maximum Coverage of Areas Affected by Natural Disasters	Golnush Jahromi Rajabi, Razieh KeshavarzFard
202	A Two-echelon Model of Location-routing Problem for Optimizing Relief Operations in Natural Disasters	Hossein Jamali, Mehdi Kabiri Naeini, Zeynab Elahi
230	Bow-tie Risk Assessment of Hydrogen Gas Leakage From the Chlorination Unit of a Combined-cycle Power Plant	Iraj Mohammadfam, Tahereh Eskandari
242	Analyzing the Physical and Infrastructural Resilience to Fire Accidents in District 20 of Tehran, Iran, Based on the Geographic Information System	Eslam Ali Khodabandehlou, Amir Hooman Hemmasi, Akramolmoluk Lahijanian, Amir Hesam Hassani, Ali Mohammadi

Aims and Scope:

Promotion and expansion of disaster management knowledge in the specialized fields of risk prevention, preparedness, response, and recovery;

Promotion and expansion of passive defense knowledge

Promotion and expansion of Health, Safety and Environment (HSE) knowledge;

Publishing the latest research results and creating an environment for constructive criticism and exchange of ideas;

Establishing cooperation and scientific interaction between scholars at the national and international levels;

Creating a suitable platform for identifying and providing solutions related to crisis management issues at local, regional, national, and international levels;

Transferring knowledge and innovations in disaster management with an emphasis on the role of urban management;

Helping to create a scientific communication network between scholars, policymakers, and disaster management planners of the country;

Creating a suitable platform to use the experiences of other countries for localizing the international experiences of crisis management.

Topics include but are not limited to:

1. Safety and risk prevention and reduction

1.1. Risk prevention

1.2. Safety

1.3. Risk reduction planning

2. Risk assessment

2.1. Risk identification

2.2. Risk assessment

3. Preparation and planning

3.1. incident command system

3.2. planning response in emergency situations

3.3. operational plan in emergency situations

3.4. Evacuation and emergency accommodation

3.5. Help and rescue

4. Reconstruction and rehabilitation in disaster

4.1. Demolition and debris management

4.2. Restoration of infrastructure, transportation system, housing system, environment

4.3. Physical, psychological, social, and economic rehabilitation

4.4. People with special needs in crisis (elderly, children, women, people with disabilities, special patients, etc.)

5. Natural and man-made hazards

5.1. Ground-related hazards (earthquake and landslide, subsidence and collapse of the ground, **volcano**, etc.)

5.2. Meteorological hazards (climate changes, flood, soil erosion, desertification, fires, drought, **storms**, etc.)

5.3. Chemical hazards (environmental pollution, industrial buildings' fire, chemical waste, etc.)

5.4. Transportation hazards (road accidents, railway accidents, airway accidents, subway accidents, crowd crushes, etc.)

5.5. Biological hazards (epidemics, biological threats, etc.)

6. Future studies of the disaster

6.1. Quantitative and qualitative analyses of trends

6.2. Identification of future risks and hazards

6.3. Designing the desired, possible and probable future

6.4. Politicizing and planning changes for the desired future

7. Disaster knowledge management

7.1. Documentation

7.2. Lessons Learned Register

7.3. Root cause analysis of accidents

8. Intelligence and new technologies

- 8.1. Knowledge-based achievements
- 8.2. Technologies based on data analysis
- 8.3. Information systems management

9. Social and cultural

- 9.1. Local communities and community-based participation in disaster management
- 9.2. Social responsibility (individual, corporate and organizational) in disaster management
- 9.3. Social capital and disaster

9.4. Disaster culture

- 9.5. Empowerment, safety training, and disaster management
- 10. Economy of disaster and insurance

11. Laws, regulations, standards and legal requirements of disaster management

12. Information and media in disaster management

13. Passive defense

14. Health, Safety and Environment (HSE)



Disaster Prevention and Management Knowledge

Summer 2025. Vol 15. Issue 2, Serial No. 56

Editorial Advisory Board

Ali Nasiri

Assistant Professor, Department of Health in Emergency and Disasters.
Faculty of Health, Baghiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Mehdi Zare

Professor, International Research Institute of Seismology and Earthquake
Management, Tehran, Iran.

Iraj Mohammadfam

Professor, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran,
Iran.

Mohamad Hossein Yarmohamadian

Professor, Isfahan University of Medical Science, Isfahan, Iran.

Mohammad Reza Ghayamqamian

Professor, Research Institute of Seismology and Earthquake Management,
Tehran, Iran.

Ali Moradi

Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran,
Iran.

Raouf Mostafazadeh Mostafazadeh

Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of
Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili,
Ardabil, Iran.

Ali Bagheri

Associate Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty
of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Mohsen Kalantari

Associate Professor, Department of Geography, Zanjan University, Zanjan,
Iran.

Mehry Akbary

Associate professor of Climatology, Department of Physical Geography
(Climatology), Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University,
Tehran, Iran.

Aliakbar Taghipour

Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Earth Sciences,
Damghan University, Damghan, Iran.

Fereshteh Aslani

Faculty of Architecture and Urbanism, Shahid Beheshti University, Tehran,
Iran.

Jalal Samia

Assistant Professor, GIS and Remote sensing, University of Mazandaran,
Mazandaran, Iran.

Seyed Azim Hosseini

Associate Professor, Civil Engineering Department, Islamic Azad University,
South Tehran Branch, Tehran, Iran.

Amirabbas Fatemi

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Pardis Branch,
Islamic Azad University, Pardis, Iran.

Mahboobeh Pirzadeh

Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil
Engineering, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran.

Ayoub Pazhouhan

Assistant Professor, Department of Public Administration and Tourism,
Payame Noor University, Tehran, Iran.

Esmail Najafi

Assistant professor of Earth Sciences Faculty, Geomorphology
Department, Damghan University, Damghan, Iran.

Alireza Saeidi

Department of Regional Planning and Urban Planning, Islamic Azad
University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

Hamidreza Zarghami

Assistant Professor, Shahid Sattari University of Aeronautical Sciences and
Technology, Tehran, Iran.

Dariussh Mehri

Assistant Professor, Shahid Sattari University of Aeronautical Sciences and
Technology, Tehran, Iran.

Sadegh Syedbeighi

Department of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University,
Science and Research Branch, Tehran, Iran.

Seyedeh Samaneh Mirasmaeeli

Ph.D. in Health in Disasters and Emergencies, School of Health
Management and Information, University of Iran Medical Sciences, Tehran,
Iran.

Mehrab Sharifi Sadeh

Ph.D. in Health in Disasters and Emergencies, Tehran University of Medical
Sciences, Tehran, Iran.

Fatemeh Falahati

Hydrological Hazards Department, Natural Disasters Research Institute,
Tehran, Iran.

Kelvan Karimiou

Ph.D. in Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran,
Iran.



Disaster Prevention and Management Knowledge

Summer 2025. Vol 15. Issue 2, Serial No. 56

Editorial Advisory Board

Esmail Salimi

Department of Architectural and Urban Planning Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Zeinab Nasiri Mahini

Department of Social Work, Social Sciences Faculty, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

Azizollah Salimi Tari

Ph.D. in Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Zohreh Molamohamadi

Ph.D. in Industrial Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Marzieh Samadi-Foroushani

Ph.D. in Operations Research Management, University of Tehran, Iran.

Kamran Khalifehei

Ph.D. in Civil Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan, Iran.

Mohammad Javad Keyhanpour

Ph.D. in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Narges Ramak

Ph.D. in Public International Law, Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran.

Sona Razzaghi

Ph.D. in Industrial Engineering, Eyvanekey University, Eyvanekey, Iran.

Seyyed Sadegh Abdulahi

Ph.D. in Industrial Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.

Azam Keshavarzi

Ph.D. in Educational Psychology, North Tehran Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Mohsen Mehrjou

Ph.D. in Urban Planning, Islamic Azad University of Qods Branch, Tehran, Iran.

Somayeh Ghezavat

Ph.D. in Industrial Management, Department of Industry Management & Information, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Shahab Taghikhani

Ph.D. in Media Management, University of Tehran, Iran.

Aida Ravarian

Ph.D. in occupational therapy, University of Social Welfare and Rehabilitation, Tehran, Iran.

Mohammadhosein Mahdavi Ghahsareh

Ph.D. Candidate, Department of Restoration, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Ali Vejdani Nozar

Department of Disasters engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Kiyoumars maleki

Postdoctoral Researcher in Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Afrasiab Khairdast

Ph.D. in Environmental Management, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran



Disaster Prevention and Management Knowledge

Summer 2025. Vol 15. Issue 2, Serial No. 56

Owner: Tehran Disaster Mitigation and Management Organization (TDMMO)

Frequency: Quarterly

P-ISSN: 2322-5955

E-ISSN: 2538-1814

Peer review: Double Blind

Publication Policy: Open Access

Director-in-Charge

Ali Nasiri, Assistant Professor

President of Tehran Disaster Mitigation and Management Organization (TDMMO), Department of Health in Emergency and Disasters, Faculty of Health, Baghiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Editor in chief

Mehdi Zare, Professor

International Research Institute of Seismology and Earthquake Management, Tehran, Iran.

Executive Manager

Marzieh Samadi-Foroushani, PhD

Researcher in Tehran Disaster Mitigation and Management Organization (TDMMO) and PhD in Operations Research Management, University of Tehran, Iran.

Editorial Board

Mehdi Zare, Professor

International Research Institute of Seismology and Earthquake Management, Tehran, Iran.

Ali Akbar AghaKouchak, Professor

Structural Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Mahmoudreza Delavar, Professor

School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Mohammad Reza Ghayamqamian, Professor

Research Institute of Seismology and Earthquake Management, Tehran, Iran.

Mashaallah Khamechian, Professor

Engineering geology department of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Iraj Mohammadfam, Professor

University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran.

Ali Moradi, Associate Professor

Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran.

Reza Pourhossein, Associate Professor

Psychology and Educational Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

Seyed Amirhossein Garakani, Associate Professor

Architecture and Urban Planning, Central Tehran Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Mohsen Ghafory-Ashtiani, Professor

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, IIEES, Tehran, Iran.

Mohamad Hossein Yarmohamadian, Professor

Isfahan University of Medical Science, Isfahan, Iran.

Jafar Yazdi, Associate Professor

Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Masoud Khoshshima, Associate Professor

Iranian Space Research Center, Tehran, Iran.

International Editorial Board

Ali Asgary, Professor

Disaster and Emergency Management, York University, Toronto, Canada.

Fariborz M Tehrani, Professor

Civil engineering and geomatics, California State University, Fresno).

Amirhomayoun Safarzadeh, Associate Professor

Department of Urban and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, Fukuoka, Japan.

Mahnaz Hosseinzadeh, Associate Professor

Operations Management and Decision Sciences, Sheffield Management School, University of Sheffield, United Kingdom.

Abstracts & Indexing:

Google Scholar, Academia, Islamic World Science & Technology Monitoring and Citation Institute (ISC), Scientific Information Database (SID), Magiran, Index Copernicus

Address: West Jalal-Al-E-Ahmad Ave, Tehran Disaster Mitigation and Management Organization (TDMMO), Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 96024217, +98 (21) 44244040, **Fax:** +98 (21) 44267365

Website: www.dpmk.ir

Email: dpmktdmmo@gmail.com, info@dpmk.ir

Binding & Printing : Hamshahri Printing House



Tehran Disaster Mitigation and Management Organization