

توزیع مکانی و اولویت‌بندی مخاطرات جوی در استان تهران بر اساس داده‌های ایستگاهی (دوره ۲۰۰۷-۲۰۲۳)

منصوره کوهی^{۱*}، ابراهیم اسعدی اسکویی^۲، شراره ملبوسی^۳، راضیه پهلوان^۴، فاطمه عباسی^۵

۱ و ۲- دکتری هواشناسی کشاورزی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، مشهد.

۳- کارشناس پژوهشی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، مشهد.

۴- دکترای هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی، تهران.

چکیده

در این پژوهش به بررسی و تحلیل مخاطرات جوی استان تهران، شامل گردوخاک، تگرگ، برف سنگین، توفان تندری، مه و کولاک شدید برف، بر اساس ۷ ایستگاه همدید (مهرآباد، شمیرانات، ورامین، فیروزکوه، شهریار، امام خمینی و آبهلی) طی دوره ۲۰۰۷-۲۰۲۳ پرداخته شد. بررسی توزیع مکانی مخاطرات نشان داد مخاطرات در مناطق کوهستانی شمالی و شمال شرقی استان (مانند آبهلی و فیروزکوه) دارای فراوانی بالایی هستند. در این مناطق، توفان تندری (با حداکثر ۱۴۱ مورد در دماوند) و برف سنگین (۲۰۲ مورد در دماوند) غالب هستند. در مقابل، نواحی جنوبی و دشتی (مانند امام خمینی و ورامین) بیشتر تحت تأثیر گردوخاک (۷ مورد در امام خمینی) و مه قرار دارند. اولویت‌بندی مخاطرات بر اساس نرمال‌سازی فراوانی انجام شد و نشان داد که توفان تندری اولویت اول در شهرستان‌های شمالی (شمیرانات، تهران و فیروزکوه) و گردوخاک در مناطق جنوبی (ری، شهریار و ورامین) است. این پژوهش تأثیر توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی را بر توزیع مکانی مخاطرات جوی در سطح استان تهران نشان داد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که برنامه‌ریزی مدیریت ریسک بر اساس این الگوها انجام شود.

کلید واژه‌ها: مخاطرات جوی، استان تهران، توزیع مکانی، اولویت‌بندی.

مقدمه

در طول نیم‌قرن گذشته، به‌طور متوسط، جهان روزانه شاهد یک حادثه مرتبط با تغییرات جوی، آب‌شناسی و اقلیمی بوده است. همچنین، به‌طور متوسط، روزانه ۱۱۵ نفر جان باخته و میزان خسارات بالغ بر ۲۰۲ میلیون دلار در هر روز ارزیابی شده است که بیش از ۹۱ درصد مرگ‌ومیرهای مرتبط با حوادث و بلایای طبیعی در کشورهای در حال توسعه رخ داده است (CRED, 2018). خشکسالی، یکی از مهم‌ترین عوامل مرگ‌ومیرها در ۵۰ سال اخیر بوده به‌طوری‌که ۶۵۰ هزار نفر، در این پنج دهه، بر اثر رخداد خشکسالی جان خود را از دست دادند. بر اساس آمار اطلس سازمان جهانی هواشناسی، در پنج دهه اخیر، بیش از ۵۷۷ هزار نفر بر اثر وزش توفان‌های شدید، نزدیک به ۵۹ هزار نفر بر اثر بروز سیل و نزدیک به ۵۶ هزار نفر بر اثر افزایش شدید دمای هوا (امواج گرمایی) جان باخته‌اند (WMO, 2023).

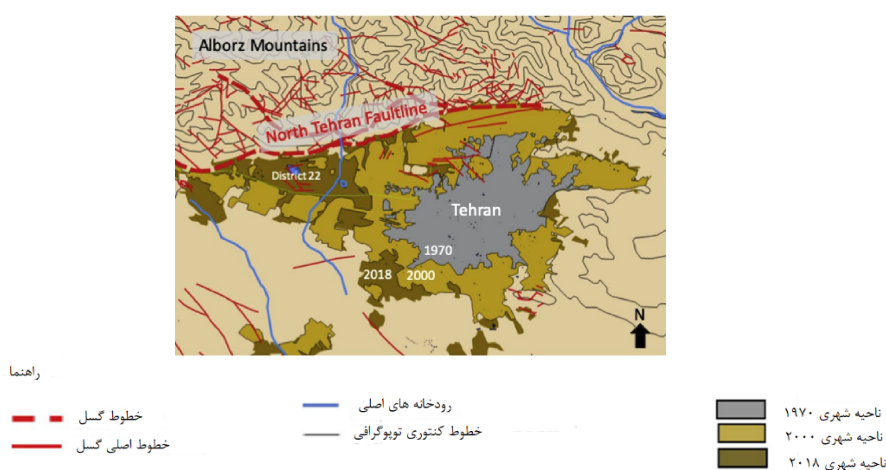
انسان‌ها قادر نیستند از رخداد بلایا به‌ویژه انواع طبیعی آن جلوگیری نمایند؛ اما با ارزیابی و برنامه‌ریزی می‌توان اثرات مخرب و صدمات ناشی از این رویدادها را کاهش داد. مدیریت بلایا به دلیل پیامدهای اقتصادی و اجتماعی، یکی از امیدبخش‌ترین زمینه‌های پژوهشی در زمینه مدیریت بلایا محسوب می‌شود (کور و سود، ۲۰۱۹)؛ بنابراین، از آنجاکه با دانش فعلی بشر امکان جلوگیری از مخاطرات مرتبط با جو وجود ندارد، تنها امکان موجود و فعلی سازگاری با تغییرات اقلیمی و مخاطرات جوی و اقلیمی و کاهش اثرات و تعدیل آن است. اگرچه اقلیم همچنان در حال تغییر است، برخی از این راهکارها در کاهش و انطباق با این آسیب‌ها مؤثر هستند که تاب‌آوری شهری از مهم‌ترین آن‌ها است. درواقع تاب‌آوری شهری ظرفیتی برای پاسخ به نظام‌های شهری پیش از بروز بلایا و پس از رخ دادن بحران است که در ابعاد مختلف بوم‌شناسی، اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و نهادی مطرح است. شاخص‌های تاب‌آوری در ترکیب با راهکارهای اقلیمی (به‌ویژه انطباق اقلیمی) قابلیت مقابله با اثرات تغییرات اقلیمی را دارند؛ بنابراین مطالعه ویژگی‌های این رویکرد جهت کاهش مخاطرات طبیعی، نقش عمده‌ای در پاسخگویی به بحران‌های مذکور دارد. درواقع به‌منظور تاب‌آور ساختن منطقه موردنظر لازم است ابتدا عوامل مؤثر بر تاب‌آوری در مقابله با مخاطرات شناسایی و اولویت‌بندی شود تا بر اساس آن راهکارهای سازگاری و تعدیل تعیین شود. موضوع تاب‌آوری اقلیمی

تلفیقی از تاب‌آوری شهری و تغییرات اقلیمی است. تاب‌آوری اقلیمی بیانگر توانایی و ظرفیت یک شهر در جهت پاسخ به چالش‌های حاصل از رویدادهای شدید جوی و مخاطرات تحت تأثیر تغییرات اقلیمی است (UN-DESA, 2017). مدیریت بلایا به‌طور مستقیم به ترسیم نقشه بستگی دارد (سیتوا و مارگانوا، ۲۰۲۱)؛ بنابراین نخستین گام جهت مقابله با مخاطرات جوی، شناسایی توزیع مکانی آن است. منظور از توزیع مکانی، شناسایی فراوانی زمانی و مکانی مخاطرات و تفسیر و استدلال رخداد آن‌ها در یک مکان مشخص است. بنابراین جهت مدیریت، سازگاری و کاهش و تعدیل تأثیرات این مخاطرات لازم است ضمن مطالعه و تحقیق در این زمینه، شناخت مناسبی از آن‌ها و اثراتشان در هر منطقه انجام شده و برای رفتارهای بعدی آمادگی بیشتری داشت و با برنامه‌ریزی مناسب عمل نمود.

تحقیقات سیستماتیک در زمینه بلایای طبیعی، به ویژه مخاطرات جوی، با کارهای گیلبرت وایت (۱۹۴۵-۱۹۹۳) آغاز شد و بر مخاطرات دمایی، توفان‌های تندری، گردوخاک، تگرگ، مه و برف سنگین تمرکز داشت که بخش وسیعی از جهان را تحت تأثیر قرار داد. مطالعات اخیر جهانی توفان‌های گردوخاک در جنوب غرب آسیا توسط راشکی و همکاران (۲۰۱۵)، توفان حاره ای (بارنز، ۲۰۱۰)، اطلس جهانی بلایای طبیعی توسط شی و کسپرسون (۲۰۱۷)، اطلس بلایای ۲۰۱۹ توسط سیتوا و مارینوا (۲۰۲۱) همراه با اطلس آنلاین هند برای ۱۳ رویداد جوی است. در ایران، تحقیقات شامل پهنه بندی مخاطرات شمال غرب توسط زینالی و همکاران (۱۳۹۸)، تغییرات شاخص‌های فرین توسط صادقی‌نیا و همکاران (۱۴۰۰)، و رخدادهای آذربایجان شرقی توسط اصلاحی و همکاران (۱۴۰۰)، پهنه بندی مخاطرات دمایی استان قزوین (کوهی و همکاران، ۱۴۰۰) می‌شود، که عمدتاً بر توزیع مکانی، زمانی، پهنه‌بندی و مدیریت ریسک با استفاده از داده‌های ایستگاهی و ماهواره‌ای و کاربرد روش‌های زمین آمار تمرکز دارند. طی سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۷۰ در پایگاه داده رویدادهای اضطراری (EM-DAT) مرکز تحقیقات همه‌گیری بلایای طبیعی ۹۳ مورد گزارش بلایای جوی از ایران ثبت شده است که به‌طور متوسط ۶۰۰۰ نفر تلفات جانی و ۳۳ میلیارد دلار خسارت اقتصادی به همراه داشته است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

را در معرض وقوع سیل‌های ناگهانی و سیل‌های ناشی از رواناب‌های سطحی قرار داده است. خطر سیل و بارندگی شدید افزایش یافته که می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به شهر وارد کند. زمین‌لغزش به‌عنوان سومین مخاطره مطرح شده برای این ناحیه است (حاجی بابایی و همکاران، ۲۰۱۴). مخاطرات جوی (تا پایان سال ۱۴۰۳) (۵۷ مورد) منجر به بروز خسارات زیادی بیش از ۱۶ مورد فوتی در سطح استان تهران و شهرستان‌های آن شده است.

اولین بلای طبیعی که استان تهران را تهدید می‌کند زلزله است. این شهر توسط گسل‌های لرزه‌ای فعالی احاطه شده است (شکل ۱) و طی تاریخ خود چندین بار تحت تأثیر زلزله‌های مخرب قرار گرفته است و احتمال وقوع زلزله‌ای بزرگ در این منطقه طی سال‌های آتی دور از انتظار نیست (حاجی بابایی و همکاران، ۲۰۱۴؛ تقی زاده و همکاران، ۲۰۱۲). تغییر اقلیم دومین حادثه طبیعی است که تهران را معرض قرار خواهد داد. ویژگی‌های این شهر از نظر زمین‌شناسی و مکان رودخانه‌ها، آن



شکل ۱ توسعه شهری تهران از سال ۱۹۷۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۸ بر مبنای داده‌های ماهواره لندست و ETM و Crona. خطوط گسل از نقشه ژئولوژیک ۱:۱۰۰۰۰۰. توجه شود که خطوط اصلی گسل و رودخانه اصلی نشان داده شده است (فکته و همکاران، ۲۰۲۰)

با توجه به مرکزیت این استان در ایران و تمرکز بالای صنایع، وزارت خانه‌ها، سازمان‌های دولتی و خدمات رفاهی لزوم مدیریت مخاطرات جوی و اقلیمی مشخص می‌شود؛ زیرا ترکیب چنین شرایطی نشان‌دهنده در معرض قرارگیری این شهر و افزایش خطرپذیری آن نسبت به مخاطرات و رویدادهای حدی اقلیمی و جوی و افزایش پتانسیل خسارات جانی و مالی است؛ بنابراین بررسی و تعیین مخاطرات مهم اقلیمی و جوی و بررسی توزیع مکانی آن امکان مدیریت بهتر مخاطرات را برای مدیران در بخش‌های مختلف فراهم خواهد آورد (فکته و همکاران، ۲۰۲۰).

با توجه به موارد مطرح شده، هدف از این پژوهش، با تاکید بر مؤلفه «مخاطره» از چارچوب ریسک، غربالگری اولیه مخاطرات جوی و تعیین انواع مخاطرات جوی استان تهران بر اساس کدهای ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی و تعیین توزیع زمانی و مکانی فراوانی وقوع این پدیده‌ها است. چنین نتایجی برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای و مدیریت

تهران طی دهه‌های اخیر شاهد بالاترین نرخ رشد فیزیکی و جمعیتی بوده است به‌طوری‌که جمعیت آن از ۴/۵ میلیون ساکن در سال ۱۹۷۶ به ۸/۷ میلیون در سال ۲۰۱۶ رسیده است (مرکز آمار ایران، ۲۰۱۶). طی همین دوره مساحت این شهر از ۲۴۵۰۰ هکتار در سال ۱۹۷۶ به ۷۳۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۱۶ رسیده است. چنین تغییرات شدید همراه با توسعه شهر در مناطق مستعد خطر، ساختمان‌هایی با کیفیت پایین و فقدان برنامه‌های مدیریت کاهش خطرپذیری بلایا بوده است (تقی زاده و همکاران، ۲۰۱۵؛ امینی، ۲۰۰۹). چنین شرایطی نشان می‌دهد این شهر تا چه حد می‌تواند در معرض خطرپذیری ناشی از مخاطرات جوی و رویدادهای حدی باشد. علل ریشه‌ای آسیب‌پذیری وابسته به شرایط اقتصادی-اجتماعی این شهر است که با پویایی‌های رشد شهری، فقدان رهیافت-های توسعه شهری با توجه به احتمال و یا وجود مخاطرات، مهاجرت و وابستگی‌ها به دیگر خدمات نجات و زیرساختاری تشدید شده است (فکته و همکاران، ۲۰۲۰).

است. از دید ناهمواری‌های طبیعی، تهران به دو ناحیه دشتی و کوهپایه‌ای البرز تقسیم می‌شود و گستره کنونی آن از ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد یافته است.

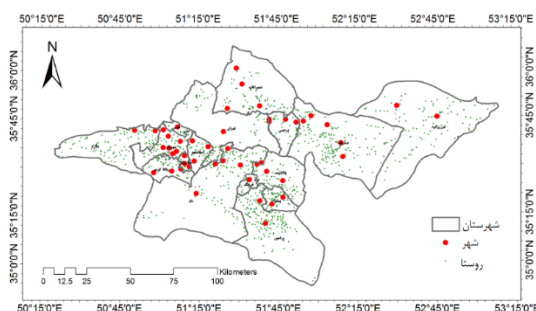
پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران، مرکز استان تهران و شهرستان تهران است. این شهر در برآورد سال ۱۴۰۱ بالغ بر ۹٬۰۳۹٬۰۰۰ تن جمعیت داشته است و بر اساس برآورد سال ۲۰۱۸ سازمان ملل متحد، سی و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و پرجمعیت‌ترین شهر غرب آسیا است. کلان‌شهر تهران نیز دومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه است. در استان تهران ۴۸ شهر و ۱۰۳۶ روستا وجود دارد. شهرستان‌های تهران ۵۹، ری ۱۲۳، شمیرانات ۷۱، اسلامشهر ۲۷، بهارستان ۷، پاکدشت ۶۳، پیشوا ۴۸، دماوند ۱۶۸، رباط‌کریم ۳۶، شهریار ۴۶، فیروزکوه ۹۱، قدس ۹، ملارد ۹۱، ورامین ۱۵۶، قرچک ۱۱ و پردیس ۳۰ روستا دارند (شکل ۲).

هشدارهای زود هنگام کاربرد بالایی دارد چرا که با تهیه این نقشه‌ها، شناخت دقیق‌تری از انواع این‌گونه مخاطرات در استان تهران به دست آید و الگوی دقیق‌تری از شرایط وقوع و آثار این پدیده‌ها ایجاد شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان تهران با وسعتی حدود ۱۸۸۱۴ کیلومترمربع بین ۳۴ تا ۳۶.۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غرب به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود است. استان تهران، از شهرهای تهران، شهریار، اسلامشهر، ری، پاکدشت، دماوند، شمیران، ورامین و فیروزکوه تشکیل شده



شکل ۲ توزیع مکانی شهرها و روستاها در استان تهران

شدند. در این مطالعه، شش نوع مخاطره جوی اصلی بر اساس

کدهای ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت:

توفان گردوخاک (کدهای ۳۰ تا ۳۵)

تگرگ (کدهای ۲۷، ۸۷ تا ۹۰ و ۹۳ تا ۹۹)

برف سنگین (کدهای ۷۳ تا ۷۵)

توفان تندری (کدهای ۹۲ تا ۹۹)

مه (کدهای ۴۰ تا ۴۹)

کولاک شدید برف (کدهای ۳۷ و ۳۹)

برای جلوگیری از بیش‌برآورد فراوانی رخدادهای هر مخاطره به‌صورت روز مخاطره تعریف شد؛ بدین معنا که حتی در صورت ثبت چند گزارش در یک روز، آن روز تنها به‌عنوان یک رخداد مخاطره‌آمیز در نظر گرفته شد.

داده‌ها و تعریف مخاطرات جوی

در این پژوهش از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های همدید سازمان هواشناسی کشور استفاده شد. به‌منظور حفظ یکنواختی داده‌ها و اطمینان از پوشش مکانی مناسب، ایستگاه‌هایی انتخاب شدند که دارای داده‌های نسبتاً پیوسته در دوره آماری ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ بودند. در نهایت، ۷ ایستگاه همدید اصلی شامل مهرآباد، شمیرانات، ورامین، فیروزکوه، شهریار، فرودگاه امام خمینی و آبعلی به‌عنوان ایستگاه‌های مرجع برای تحلیل توزیع مکانی مخاطرات در سطح شهرستان‌ها در نظر گرفته شدند.

مخاطرات جوی بر اساس کدهای هوای حاضر و گذشته توصیه‌شده توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) در دستورالعمل شماره ۳۰۶ این سازمان استخراج و طبقه‌بندی

تحلیل زمانی و مکانی مخاطرات

برای هر ایستگاه، مجموع تعداد روزهای همراه با هر نوع مخاطره جوی در کل دوره آماری محاسبه شد. تحلیل مکانی مخاطرات با انتساب داده‌های ایستگاهی به محدوده شهرستان‌ها و ترسیم نقشه‌ها در محیط ArcGISV.10 انجام شد. همچنین توزیع ماهانه و فصلی رخداد مخاطرات به منظور شناسایی الگوهای زمانی بررسی گردید. با توجه به محدود بودن تعداد ایستگاه‌ها، از روش‌های درونیایی استفاده نشد و الگوهای مکانی به صورت کیفی و در ارتباط با ارتفاع، توپوگرافی و شرایط گردش عمومی جو تفسیر شدند.

نرمال‌سازی فراوانی مخاطرات

به دلیل تفاوت قابل‌توجه در مقادیر مطلق فراوانی انواع مخاطرات، مقایسه مستقیم آن‌ها به منظور اولویت بندی در سطح شهرستان‌ها امکان‌پذیر نبود. از این رو، برای هم مقیاس‌سازی داده‌ها، از روش نرمال‌سازی حداقل-حداکثر (Min-Max Normalization) استفاده شد (رابطه ۱):

$$N_{ij} = \frac{F_{ij} - F_j^{min}}{F_j^{max} - F_j^{min}} \quad (1)$$

که در آن:

F_{ij} فراوانی مشاهده‌شده مخاطره (j) در شهرستان (i) است؛ F_j^{max} و F_j^{min} به ترتیب حداقل و حداکثر فراوانی مخاطره (j) در بین تمام شهرستان‌ها هستند؛

N_{ij} شاخص نرمال‌شده مخاطره است که مقداری بین صفر و یک دارد.

این روش امکان مقایسه نسبی فراوانی مخاطرات مختلف جوی را در مقیاس شهرستان‌ها فراهم می‌کند.

چارچوب اولویت‌بندی مخاطرات جوی

مبانی مفهومی اولویت‌بندی

در این پژوهش، اولویت‌بندی مخاطرات جوی به عنوان اهمیت نسبی هر مخاطره در یک شهرستان براساس سابقه رخداد آن تعریف می‌شود. با توجه به نبود داده‌های یکنواخت و قابل‌اعتماد در خصوص خسارات اقتصادی، تلفات جانی و میزان مواجهه جمعیت در سطح شهرستان‌ها، این مطالعه بر مؤلفه «مخاطره» از چارچوب ریسک تمرکز دارد و وارد مرحله ارزیابی کامل ریسک (Risk Assessment) نمی‌شود.

این رویکرد در مطالعات غربالگری اولیه مخاطرات جوی متداول بوده و برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای و مدیریت هشدارهای زود هنگام کاربرد بالایی دارد (Bazo et al., 2021; Field et al., 2014, ; De Moel et al., 2015).

رتبه‌بندی مخاطرات در سطح شهرستان

برای هر شهرستان، مقادیر نرمال‌شده مخاطرات به صورت نزولی مرتب شدند. مخاطره‌ای که بالاترین مقدار نرمال‌شده را داشت به عنوان اولویت اول و مخاطره دوم به عنوان اولویت دوم تعیین شد. انتخاب این ساختار دو سطحی با هدف افزایش شفافیت نتایج، جلوگیری از پیچیدگی بیش از حد و تسهیل استفاده از نتایج توسط مدیران و برنامه‌ریزان انجام شد.

نتایج

به منظور بررسی توزیع مکانی و شناسایی مناطق با فراوانی بالای مخاطراتی چون گردوخاک، توفان تندری، تگرگ، برف سنگین و مه و به منظور پوشش تمام اقلیم‌های موجود در استان، دوره آماری ۲۰۲۳-۲۰۰۷ انتخاب شد که ۷ ایستگاه همدید مهرآباد، شمیران، ورامین، فیروزکوه، شهریار، امام خمینی و آبعلی را شامل می‌شود (جدول ۱). این مخاطرات بر اساس کدهای توصیه شده توسط سازمان هواشناسی جهانی استخراج شد.

گردوخاک

تهران یکی از استان‌هایی است که تحت تأثیر پدیده گردوخاک قرار دارد. این امر به دلیل هم‌جواری این استان با چشمه‌های گردوخاک در نواحی جنوبی استان مانند نواحی خشک و بیابانی استان قم، مرکزی و حتی استان البرز است. به منظور تحلیل فراوانی و بررسی توزیع مکانی توفان گردوخاک، کدهای ۳۰ تا ۳۵ در نظر گرفته شد. نخست فراوانی رخداد این پدیده در ایستگاه‌های استان بررسی و مجموع مقادیر کدها برای دوره ۲۰۲۳-۱۹۹۱ استخراج شد. در جدول ۲، فراوانی هر کد به تفکیک ایستگاه‌های استان آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین فراوانی توفان گردوخاک ملایم در ایستگاه مهرآباد و بیشترین فراوانی در نوع شدید آن در ایستگاه امام خمینی ثبت شده است. در این دوره، ایستگاه مهرآباد شاهد کاهش فراوانی این

مورد)، خرداد و شهریور (۲ مورد) و بهمن (۱ مورد) و تیرماه (۱ مورد) ثبت شده است.

در شکل ۳ نمودار فراوانی رخداد توفان گردوخاک بر اساس شدت آن (کد) برای کل استان نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود کد ۳۵ که نشان‌دهنده توفان گردوخاک تشدید شده طی ساعت گذشته است در بین توفان‌های نوع شدید از فراوانی بیشتری برخوردار است.

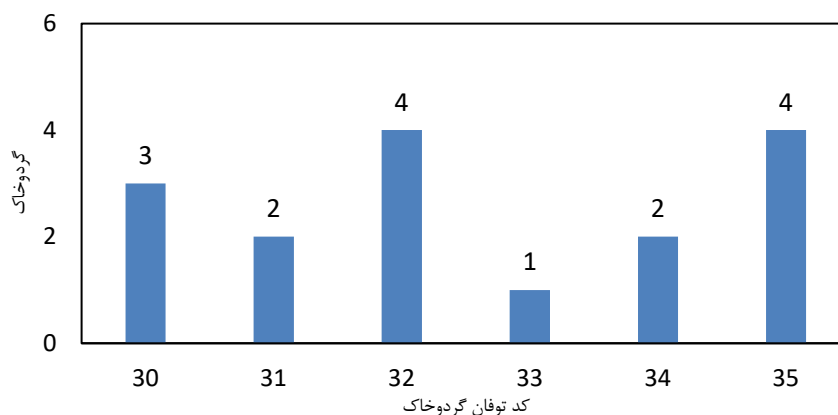
مخاطره نسبت به کل دوره آماری (۱۹۵۱-۲۰۲۳) خود بوده است، به‌طوری‌که تعداد توفان‌های ملایم از ۱۳ به ۲ و نوع شدید آن از ۳ به ۱ کاهش نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشخص می‌شود ایستگاه امام خمینی برخلاف داشتن دوره کوتاه آماری، دارای بالاترین رکورد ثبت این مخاطره است. از نظر فصلی و ماهانه، این مخاطره در ایستگاه‌های مهرآباد (دو مورد)، ورامین و شهریار طی ماه خرداد رخ داده است. در ایستگاه امام خمینی بیشترین فراوانی در ماه فروردین (۴)

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های همدید استان تهران

کد ایستگاه	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع	سال تأسیس (میلادی)	نوع ایستگاه
۴۰۷۵۴	تهران مهرآباد	۵۱/۳	۳۵/۶۹	۱۱۹۱	۱۹۵۱	همدید
۴۰۷۵۵	آبعلی	۵۱/۸	۳۵/۷	۲۴۶۵/۲	۱۹۸۳	همدید
۴۰۷۵۶	فیروزکوه	۵۲/۷	۳۵/۷۵	۱۹۷۶	۱۹۹۳	همدید
۴۰۷۷۷	فرودگاه امام خمینی	۵۱/۱	۳۵/۴۱	۹۹۰/۲	۲۰۰۴	همدید
۹۹۳۶۹	دماوند	۵۲/۰۵	۳۵/۷۱	۲۰۵۱	۲۰۰۹	همدید
۹۹۳۷۵	شهریار	۵۱	۳۵/۶۶	۱۱۶۲/۹	۲۰۰۷	همدید
۹۹۴۰۶	ورامین	۵۱/۶۵	۳۵/۳۱	۹۷۳	۲۰۰۷	همدید

جدول ۲- فراوانی توفان‌های گردوخاک استان تهران (کد ۳۰ تا ۳۵)

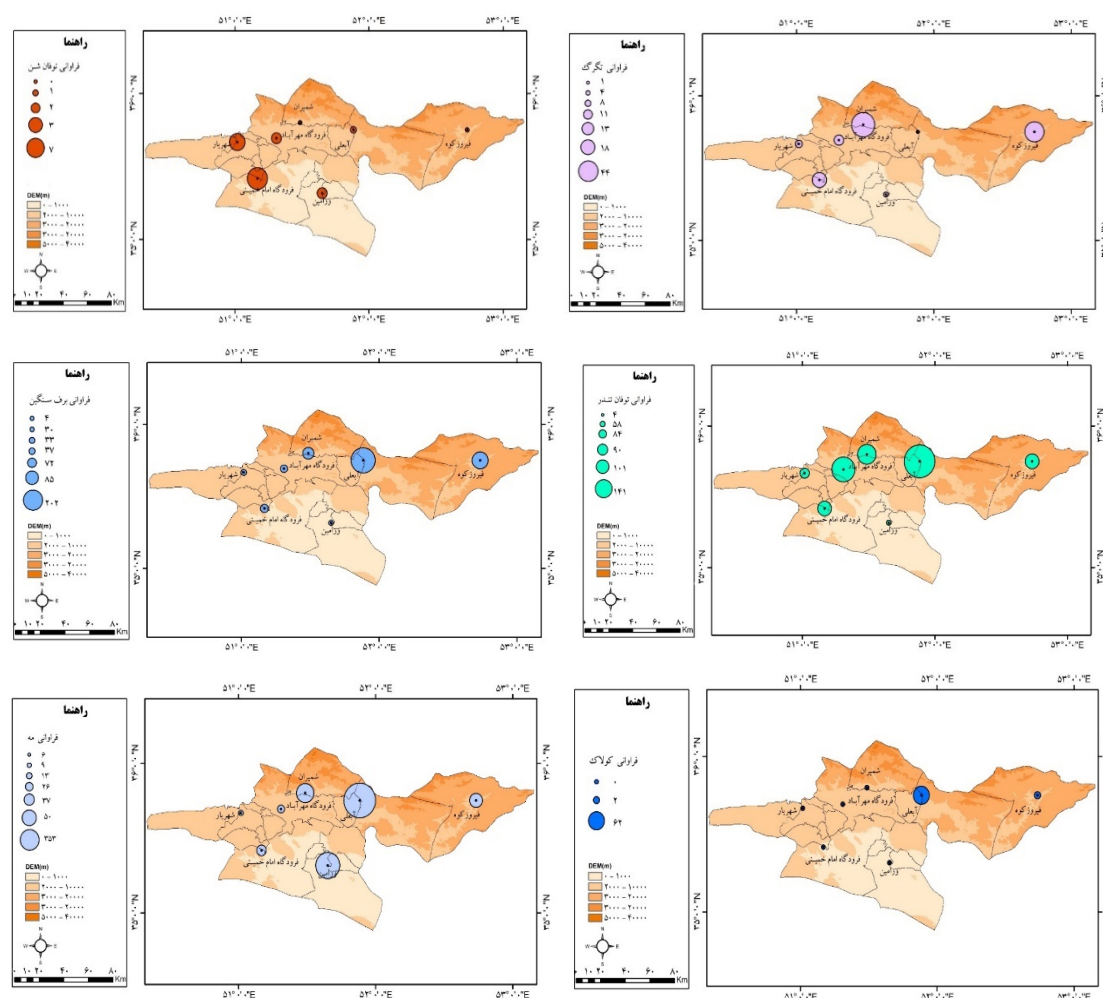
ردیف	نام ایستگاه	دوره آماری	کد وضع هوا مربوط به توفان گردوخاک					
۱	تهران مهرآباد	۱۹۵۱-۲۰۲۳	۵	۶	۲	۱	۲	۰
۲	آبعلی	۱۹۸۳-۲۰۲۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	فیروزکوه	۱۹۹۳-۲۰۲۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	فرودگاه امام خمینی	۲۰۰۴-۲۰۲۳	۲	۲	۱	۱	۱	۳
۵	دماوند	۲۰۰۹-۲۰۲۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	شهریار	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۰	۲	۱	۰	۰	۰
۷	ورامین	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۰	۰	۱	۰	۰	۰



شکل ۳ فراوانی توفان گردوخاک به تفکیک کد هواشناسی برای استان تهران طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۳

جنوب و جنوب غربی استان با بیشترین فراوانی این مخاطره روبرو است که این امر به دلیل وجود چشمه‌های گردوخاک مانند کویر قم، دشت قزوین و مناطق خشک استان سمنان است.

در شکل ۴، توزیع مکانی مجموع روزهایی با توفان ملایم تا شدید گردوخاک طی دوره آماری منتخب بر روی نقشه رقومی ارتفاعی منطقه نشان داده شده است. می‌توان نتیجه گرفت این پدیده دارای الگوی مکانی مشخصی بوده که تابع هم‌جواری با چشمه‌های گردوخاک است، به‌طوری‌که ناحیه



شکل ۴ توزیع مکانی فراوانی مخاطرات جوی مورد بررسی در این پژوهش طی دوره ۲۰۲۳-۲۰۰۷ در استان تهران

شدند که دربرگیرنده انواع مختلف بارش تگرگ با شدت‌های متفاوت هستند. در جدول ۳ فراوانی رخداد تگرگ به تفکیک کد برای دوره آماری هر ایستگاه ارائه شده است. بررسی ماهانه فراوانی وقوع این پدیده نشان داد در ایستگاه مهرآباد کدهای ثبت‌شده مربوط به بازه زمانی آبان تا خردادماه است. در ایستگاه فیروزکوه بیشترین رخداد این مخاطره طی نیمه اسفند تا دهه اول ماه اردیبهشت رخ داده است. برای ایستگاه فیروزکوه (GAW) بیشترین فراوانی طی نیمه اسفند تا نیمه خرداد با تعداد ۷۱ مورد ثبت شده است. در ایستگاه

تگرگ

تگرگ یکی از مخاطرات جوی است که به دلیل ناپایداری جوی توسط ابرهای کومه‌ای باران می‌دهد. فعالیت شدید توفان‌های تندری بیشتر در فصل‌های بهار و پاییز مشاهده می‌شود. بیشترین خسارت ناشی از بارش تگرگ در بخش کشاورزی است که همه ساله بخش زیادی از محصولات باغی و زراعی در اثر این پدیده مخرب از بین می‌روند (بازگیر و همکاران، ۱۳۹۷). به‌منظور مقایسه فراوانی وقوع تگرگ، در گروه هوای حاضر، کدهای مربوط به توفان تگرگ انتخاب

برف سنگین

برف سنگین با کدهای ۷۳، ۷۴ و ۷۵ (بارش برف بدون باران و تگرگ) در گزارش‌های هواشناسی شناخته می‌شود. در جدول ۴، فراوانی این پدیده در ایستگاه‌های استان تهران آورده شده است. همان‌طور که رکوردها مشخص می‌شود در کل استان، سهم کد ۷۳ که به بارش پیوسته برف با شدت متوسط اختصاص دارد از سایر کدها بالاتر است (با فراوانی ۱۱۶۶). کد ۷۵ با تعداد ۱۹۱ در رتبه بعدی قرار دارد (بارش برف شدید به‌طور پیوسته).

آبعلی نیز در همین بازه بیشترین فراوانی این مخاطره ثبت شده است (۱۳۱ مورد).

در شکل ۴، توزیع مکانی مجموع روزهایی با رخداد تگرگ طی دوره آماری ۲۰۲۳-۲۰۰۷ مربوط به ۷ ایستگاه ترسیم شده است. به‌طور مشخص، فراوانی این مخاطره در ایستگاه‌های واقع در مناطق مرتفع استان از بالاترین مقادیر برخوردار است. لذا نواحی شمال و شمال شرق استان تهران به‌عنوان نواحی مستعد خسارات ناشی از این پدیده قابل‌شناسایی است. بالاترین فراوانی این مخاطره در ایستگاه آبعلی ثبت شده است که با ۴۴ رخداد با اختلاف زیاد نسبت به سایر ایستگاه‌ها ثبت شده است.

جدول ۳ فراوانی رخداد تگرگ به تفکیک کدهای مربوطه در ایستگاه‌های استان تهران

نام ایستگاه	دوره آماری	کد وضع هوا مربوط به رخداد تگرگ						
تهران مهرآباد	۱۹۹۱-۲۰۲۳	۷	۱	۱	۲	۰	۲	۴
آبعلی	۱۹۹۱-۲۰۲۳	۳۸	۱۸	۷	۰	۶	۲	۵
فیروزکوه	۱۹۹۳-۲۰۲۳	۱۳	۱۱	۱	۰	۰	۰	۱
فرودگاه امام خمینی	۲۰۰۴-۲۰۲۲	۵	۲	۱	۱	۰	۰	۰
دماوند	۲۰۰۹-۲۰۲۳	۱	۲	۰	۰	۳	۰	۰
شهریار	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰
ورامین	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۴ فراوانی رخداد برف سنگین در ایستگاه‌های استان تهران

ردیف	نام ایستگاه	دوره آماری	کد وضع هوا مربوط به رخداد برف سنگین		
۱	تهران مهرآباد	۱۹۹۱-۲۰۲۳	۷۲	۲	۲۲
۲	آبعلی	۱۹۹۱-۲۰۲۳	۳۸۰	۲۹	۵۸
۳	فیروزکوه	۱۹۹۳-۲۰۲۳	۱۲۷	۱۰	۱۰
۴	فرودگاه امام خمینی	۲۰۰۴-۲۰۲۲	۴۱	۱	۱۳
۵	دماوند	۲۰۰۹-۲۰۲۳	۴۹	۱	۳
۶	شهریار	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۴۲	۱	۳
۷	ورامین	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۲۱	۲	۱۱

در شکل ۴ مجموع فراوانی سه کد برای هر ایستگاه بر روی نقشه رقومی ارتفاع استان نمایش داده شده است.

توفان تندری

توفان تندری یکی از مخاطرات هواشناسی محسوب می‌شود که اکثر اوقات به دلیل ناگهانی بودن رخداد پدیده، آسیب‌های جبران‌ناپذیر جانی و مالی به مناطق مسکونی، ساخت‌وسازها، زمین‌ها و فراورده‌های کشاورزی، جنگل، دام‌پروری و حیات‌وحش وارد می‌کند. در این طرح، کدهای ۹۲ تا ۹۹

در مقیاس ماهانه، در استان تهران، بیشترین فراوانی کد ۷۵ (برف شدید با ریزش پیوسته) طی هفته دوم دی‌ماه تا پایان هفته اول بهمن‌ماه ثبت شده است. آخرین رخداد برف سنگین از نظر زمانی در ایستگاه آبعلی در تاریخ ۱۳۷۱/۱/۱۸، فیروزکوه و دماوند ۱۳۹۷/۰۱/۲۷ و در فیروزکوه (آلودگی زمینه جو) ۱۳۸۸/۰۱/۲۴ مشاهده و ثبت شده است. ثبت اولین بارش برف سنگین با کد ۷۵ نیز در ایستگاه اخیر و در ۱۰ آبان ۱۳۷۸ بوده است. به‌منظور بررسی توزیع مکانی آن نیز

به‌عنوان کدهای معرف توفان تندی تعیین شدند. در جدول ۵ فراوانی این کدها به تفکیک ایستگاه‌های مورد بررسی آورده شده است. این مخاطره در تمام ماه‌های سال در این استان رخ داده است. بیشترین فراوانی در کل استان از نیمه فروردین تا نیمه خرداد با تعداد ۵۶۷ مورد ثبت شده است.

در شکل ۴ توزیع مکانی این مخاطره برای دوره ۲۰۲۳-۲۰۰۷ آورده شده است. ایستگاه آبعلی با اختلاف بسیار زیاد نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد بررسی، بالاترین فراوانی این مخاطره را به خود اختصاص داده است.

مه

مه گرفتگی یکی از انواع مخاطرات جوی است که در طول تاریخ زندگی بشر را تحت تأثیر خود قرار داده است. به‌منظور بررسی و ارزیابی فراوانی روزهای همراه با مه گرفتگی استان تهران، از گزارش‌های هواشناسی کدهای ۴۰ تا ۴۹ استخراج شد. بالاترین فراوانی در ایستگاه فیروزکوه (آلودگی زمینه جو) با تفاوت زیاد نسبت به سایر ایستگاه‌ها به دست آمد (جدول ۶).

در شکل ۴، توزیع مکانی مخاطره مه در ایستگاه‌های همدید این استان نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است

ایستگاه آبعلی با اختلاف زیاد نسبت به سایر ایستگاه‌ها، شاهد بالاترین فراوانی رخداد مه گرفتگی است. ایستگاه ورامین با تعداد ۵۰ رخداد مه در رتبه دوم قرار دارد.

کولاک شدید برف

رخداد کولاک برف یکی از مخاطرات جوی است که از ترکیب سایر عوامل جوی مانند دما (دمای زیر صفر)، برف و باد (سرعت ۱۵ متر بر ثانیه) رخ می‌دهد. در این طرح، از بین کدهای هواشناسی کولاک (۳۶، ۳۷، ۳۸ و ۳۹) کدهای با کولاک شدید برف (۳۷ و ۳۹) انتخاب شد. همان‌طور که در جدول ۷ و شکل ۴ مشخص است این مخاطره در سه ایستگاه آبعلی، فیروزکوه، فیروزکوه (زمینه آلودگی جو) از فراوانی بالایی برخوردار است. بازه زمانی رخداد این مخاطره در ایستگاه آبعلی، طولانی‌ترین بازه زمانی را در بین ایستگاه‌ها به خود اختصاص داده است، به‌طوری‌که از نیمه آبان تا نیمه فروردین کدهای مربوط به این پدیده در این ایستگاه ثبت شده است (۲۳ مورد). در این بازه زمانی، در گزارش‌های هواشناسی ایستگاه فیروزکوه (زمینه آلودگی جو) نیز دو مورد ثبت شده است.

جدول ۵ فراوانی رخداد توفان تندی به تفکیک ایستگاه‌های استان تهران

نام ایستگاه	دوره آماری	کد وضع هوا مربوط به رخداد توفان تندی					
تهران مهرآباد	۱۹۹۱-۲۰۲۳	۰	۲	۰	۱۴۲	۲	۱۴
آبعلی	۱۹۹۱-۲۰۲۳	۱۱	۶	۲	۱۵۰	۲۶	۳۵
فیروزکوه	۱۹۹۳-۲۰۲۳	۳	۰	۰	۱۱۵	۷	۶
فرودگاه امام خمینی	۲۰۰۴-۲۰۲۲	۵	۰	۰	۷۶	۳	۱۰
دماوند	۲۰۰۹-۲۰۲۳	۰	۳	۰	۶۱	۵	۲
شهریار	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۱	۰	۰	۴۹	۲	۴
ورامین	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۰	۰	۰	۴	۰	۰

جدول ۶ فراوانی رخداد مه بر اساس کد در ایستگاه‌های استان تهران

نام ایستگاه	دوره آماری	کد وضع هوا مربوط به رخداد مه			
تهران مهرآباد	۱۹۹۱-۲۰۲۳	۰	۳	۱	۰
آبعلی	۱۹۹۱-۲۰۲۳	۶۳	۶	۳۸	۶۲
فیروزکوه	۱۹۹۳-۲۰۲۳	۰	۰	۱	۱۳
فرودگاه امام خمینی	۲۰۰۴-۲۰۲۲	۱	۲	۳	۰
دماوند	۲۰۰۹-۲۰۲۳	۲۳	۲	۱	۴
شهریار	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۰	۰	۱	۳
ورامین	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۲	۱۷	۱۴	۴

مه آلودگی با ۳۵۳ مورد نیز متعلق به شهرستان دماوند است. کمترین فراوانی در بین مخاطرات جوی بررسی شده متعلق به توفان تگرگ است که عموماً زیر ۲۰ مورد (به جز شهرستان دماوند با ۴۴ مورد) بدست آمده است. مخاطره تگرگ تنها در شهرستان دماوند (۶۲ مورد) و فیروزکوه (۲ مورد) گزارش شده است. توفان گردوخاک عمده‌تاً در مناطق دشتی (فرودگاه امام ۷ مورد) ثبت شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود شهرستان دماوند، دارای بالاترین فراوانی در ۵ مخاطره (به جز توفان گردوخاک) است. کمترین فراوانی این مخاطرات در شهرستان ری بدست آمد. شهرستان شهریار دارای فراوانی متوسطی از این مخاطرات است که بالاترین فراوانی مربوط به توفان تندی با ۵۸ مورد و برف سنگین با ۳۰ مورد است. در فرودگاه امام خمینی، با تعداد قابل توجه توفان گردوخاک (۷ مورد) و تعداد توفان تندی نسبتاً بالا (۳۸ مورد) نشان‌دهنده تأثیر موقعیت دشتی و مجاورت با مناطق بیابانی بر این منطقه است.

در کل فراوانی ۶ مخاطره شامل توفان تگرگ، برف سنگین، توفان تندی، مه، کولاک برف شدید و توفان گرد و خاک، بر اساس شهرستان‌های استان در جدول ۸ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بالاترین مقادیر فراوانی مخاطرات فوق (به جز توفان گردوخاک) به ایستگاه آبعلی تعلق دارد.

اولویت‌بندی مخاطرات جوی برحسب شهرستان‌های استان تهران

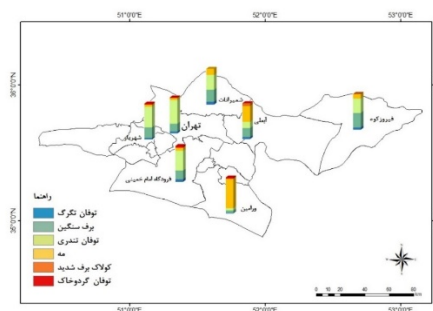
شکل ۵ نمودار میله‌ای فراوانی ۶ نوع مخاطره جوی را در بین شهرستان‌های استان تهران نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین فراوانی در بین مخاطرات جوی مورد بررسی متعلق به مخاطره توفان تندی است که دارای کمینه ۴ و بیشینه ۱۴۱ مورد است. در رتبه بعدی، مخاطره مه و برف سنگین است که بالاترین فراوانی برف سنگین در شهرستان دماوند با تعداد ۲۰۲ مورد ثبت شده است. مخاطره

جدول ۷ فراوانی رخداد کولاک شدید برف در ایستگاه‌های همید استان تهران

ردیف	نام ایستگاه	دوره آماری	کد وضع هوا مربوط به رخداد کولاک شدید برف
۱	تهران مهرآباد	۱۹۹۱-۲۰۲۳	۰
۲	آبعلی	۱۹۹۱-۲۰۲۳	۹۷
۳	فیروزکوه	۱۹۹۳-۲۰۲۳	۴
۴	فرودگاه امام خمینی	۲۰۰۴-۲۰۲۲	۰
۵	دماوند	۲۰۰۹-۲۰۲۳	۰
۶	شهریار	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۰
۷	ورامین	۲۰۰۷-۲۰۲۳	۰

جدول ۸ فراوانی مخاطرات جوی در ایستگاه‌های استان تهران برای دوره ۲۰۰۷-۲۰۲۳

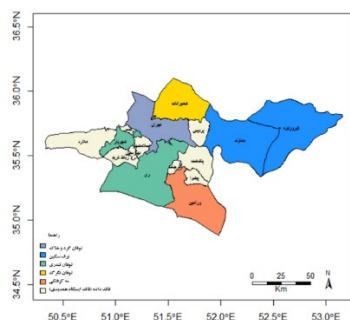
نام ایستگاه	توفان تگرگ	برف سنگین	توفان تندی	مه	کولاک برف شدید	توفان گردوخاک
تهران (مهرآباد)	۸	۳۳	۱۰۱	۹	۰	۲
آبعلی	۴۴	۲۰۲	۱۴۱	۳۵۳	۶۲	۱
فیروزکوه	۱۳	۸۵	۸۴	۲۶	۲	۰
امام خمینی	۱۱	۳۷	۸۴	۱۳	۰	۷
شهریار	۴	۳۰	۵۸	۶	۰	۳
ورامین	۱	۴	۴	۵۰	۰	۲



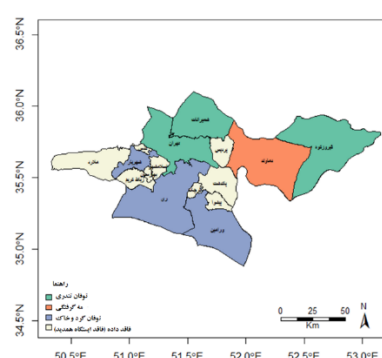
شکل ۵ توزیع فراوانی انواع مخاطرات جوی در شهرستان‌های استان تهران بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی

پيامدهایی چون افزایش خطر سيلاب‌های ناگهانی در مناطق شيب‌دار و خسارات به بخش‌های مختلف می‌شود. در مناطق مرکزی و جنوبی (شامل شهرستان‌های ری، شهریار، ورامین) اولویت اول مخاطرات شامل گردوخاک و مه است. در شکل ۷ اولویت دوم مخاطرات جوی این استان برای هر شهرستان ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تنوع مخاطرات در این اولویت تا ۵ نوع افزایش یافته است. در این سطح از اولویت‌بندی، توفان گردوخاک اولویت دوم شهرستان تهران بدست آمده است. شهرستان شمیرانات تنها شهرستانی است که در آن توفان تگرگ به عنوان اولویت دوم ثبت شده است. توفان تندی در شهرستان‌های ری و شهریار به عنوان اولویت دوم مشاهده می‌شود. این مناطق در تابستان‌ها دچار ناپایداری‌های همرفتی شدید هستند. در شهرستان ورامین به دلیل ویژگی‌های دشت‌گونه و رطوبت نسبی، مه در فصول سرد در این منطقه رایج است.

اولویت‌بندی مخاطرات جوی در شهرستان‌های استان تهران با نرمال‌سازی فراوانی مخاطرات انجام شد و برای هر شهرستان دو سطح اولویت (اول و دوم) در نظر گرفته شد (شکل ۶ و ۷). همان‌طور که مشاهده می‌شود اولویت اول در شمیرانات (منطقه کوهپایه‌ای)، تهران (مرکز شهری) و فیروزکوه (منطقه کوهستانی) مخاطره توفان تندی است و نشان‌دهنده تأثیرپذیری این مناطق از سامانه‌های جوی غربی و ناپایداری‌های کوهستانی است. در مقابل، اولویت اول در مناطق جنوبی (ری، شهریار، ورامین)، توفان‌های گردوخاک هستند که به دلیل مجاورت با مناطق خشک مرکزی ایران و همچنین رشد شهرنشینی و اثرات مرتبط با تغییر کاربری اراضی است. از نظر الگوی منطقه‌ای، مخاطرات غالب در مناطق شمالی (شمیرانات، آبهلی، فیروزکوه) مرتبط با ناپایداری جوی (توفان تندی، برف سنگین) هستند که به دلیل میانگین بالای ارتفاعات در این مناطق است. نوع فراوانی بالای توفان‌های تندی در شهرستان‌های مذکور منجر به



شکل ۷ مخاطرات جوی با اولویت دوم در شهرستان‌های استان تهران



شکل ۶ مخاطرات جوی با اولویت اول در شهرستان‌های استان تهران

نتیجه گیری

این پژوهش با تمرکز بر داده‌های ایستگاهی هفت ایستگاه همدید استان تهران (مهرآباد، شمیرانات، ورامین، فیروزکوه، شهریار، امام خمینی و آبدلی) طی دوره ۲۰۰۷-۲۰۲۳، توزیع مکانی و اولویت‌بندی شش مخاطره جوی کلیدی شامل گردوخاک، تگرگ، برف سنگین، توفان تندری، مه و کولاک شدید برف را بر اساس کدهای ثبت شده در گزارش‌های این ایستگاه‌ها ارزیابی کرد. این اولویت‌بندی ارائه‌شده صرفاً بر پایه فراوانی تاریخی رخداد مخاطرات است و شدت رخداد، خسارات اقتصادی، جمعیت در معرض خطر و میزان آسیب‌پذیری را به‌طور مستقیم در نظر گرفته نشد. با این حال، این روش یک ارزیابی مرتبه اول معتبر از مخاطرات جوی غالب استان تهران ارائه می‌دهد و می‌تواند مبنایی برای مطالعات تکمیلی در زمینه تاب‌آوری اقلیمی، ارزیابی ریسک و تحلیل سناریوهای تغییر اقلیم در آینده باشد.

نتایج نشان‌دهنده الگوی مکانی مشخصی در توزیع این مخاطرات است که عمدتاً تحت تأثیر عوامل توپوگرافیکی، جغرافیایی و اقلیمی قرار دارد. در مناطق کوهستانی شمالی و شمال شرقی استان (مانند شهرستان‌های دماوند، فیروزکوه و شمیرانات)، توفان تندری با حداکثر فراوانی ۱۴۱ و برف سنگین با ۲۰۲ مورد در شهرستان دماوند غالب بود. این الگو با ناپایداری‌های جوی ناشی از ارتفاعات البرز و سامانه‌های غربی همخوانی دارد، که منجر به افزایش ریسک سیلاب‌های ناگهانی، خسارات کشاورزی و اختلال در حمل‌ونقل می‌شود. در مقابل، نواحی کم ارتفاع جنوبی و جنوب غربی (مانند شهرستان‌های ری، ورامین و شهریار) بیشتر تحت تأثیر گردوخاک (با حداکثر ۷ مورد در امام خمینی) و پدیده مه قرار داشتند، که این پدیده‌ها به دلیل مجاورت با چشمه‌های گردوخاک در استان‌های همجوار (مانند قم و مرکزی) و شرایط رطوبتی دشت‌ها تشدید شده‌اند.

اولویت‌بندی مخاطرات براساس نرمال‌سازی فراوانی رخدادها در سطح استان تهران انجام شد و نشان داد که توفان تندری اولویت اول در شهرستان‌های شمالی (شمیرانات، تهران و فیروزکوه) است، در حالی که گردوخاک اولویت غالب در مناطق جنوبی (ری، شهریار و ورامین) محسوب می‌شود. در سطح اولویت بندی دوم، تنوع مخاطرات افزایش یافت. برای

مثال، توفان تگرگ در شمیرانات و مه در ورامین به عنوان این اولویت شناخته شد. این اولویت‌بندی با مطالعات پیشین مانند فکته و همکاران (۲۰۲۰) همسو است، که بر نقش رشد شهری و تغییرات کاربری اراضی در تشدید آسیب‌پذیری تهران تأکید کرده‌اند. همچنین، یافته‌ها با گزارش‌های جهانی مانند WMO (۲۰۲۳) و CRED (۲۰۱۸) مطابقت دارد، که افزایش رویدادهای حادی جوی را به تغییر اقلیم نسبت می‌دهند.

بحث

تمرکز جمعیتی و زیرساختی استان تهران (با بیش از ۹ میلیون نفر جمعیت و توسعه شهری از ۲۴۵۰۰ هکتار در ۱۹۷۶ به ۷۳۰۰۰ هکتار در ۲۰۱۶) ریسک مخاطرات جوی را افزایش داده است. برای نمونه، فراوانی بالای توفان تندری در شمال می‌تواند منجر به خسارات جانی (مانند سیل ۱۴۰۱ در فیروزکوه با ۱۶ کشته) و اقتصادی شود، در حالی که گردوخاک در جنوب بر سلامت عمومی و کشاورزی تأثیر منفی می‌گذارد (WHO, 2015). این الگوها اهمیت تاب‌آوری اقلیمی را، همان‌طور که UN-DESA (۲۰۱۷) بیان کرده، نشان می‌دهد. پیشنهاد می‌شود برنامه‌ریزی مدیریت ریسک بر اساس نقشه‌های توزیع مکانی (مانند شکل‌های ۴ تا ۸) انجام شود. راهکارهایی مانند تقویت سیستم‌های هشدار زودهنگام، حفاظت از اراضی کوهستانی و جلوگیری از ساخت و ساز و کنترل گردوخاک از طریق پوشش گیاهی می‌تواند اثرات مخرب را کاهش دهد. فرزنانگان و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهش خود نشان دادند سطح درآمد خانوار، اعتماد به مدیریت بلایای طبیعی ایران، ترس از بلایای طبیعی، فراوانی ادراک‌شده بلایای طبیعی و استفاده از اینترنت، ارتباط مثبتی با سواد بلایای طبیعی در استان تهران نشان می‌دهند.

با وجود دستاوردهای این پژوهش، محدودیت‌هایی مانند وابستگی به داده‌های ایستگاهی محدود (تنها هفت ایستگاه) و عدم پوشش کامل رویدادهای محلی وجود دارد. علاوه بر این، دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۲۳ ممکن است تغییرات بلندمدت اقلیمی را به طور کامل بازتاب ندهد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده از داده‌های ماهواره‌ای (مانند لندست) و بازتحلیل برای ارزیابی دقیق‌تر استفاده شود. همچنین با استفاده از برون‌داد مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای به روز

- scales. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 20(6), 865-890
7. Eslahi, M., Pourasghar, F. and Akbarzadeh, Y. (2021). Studying of Climate Extremes Events in East Azerbaijan Province for 2009-2018. *Nivar*, 45(114-115), 44-55. doi: 10.30467/nivar.2021.271314.1180
 8. Farzanegan, M. R., Fischer, S., & Noack, P. (2024). Natural disaster literacy in Iran: Survey-based evidence from Tehran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 100, 104204.
 9. Fekete, A., Asadzadeh, A., Ghafory-Ashtiany, M., Amini-Hosseini, K., Hetkamp, C., Moghadas, M., ... & Kötter, T. (2020). Pathways for advancing integrative disaster risk and resilience management in Iran: Needs, challenges and opportunities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101635.
 10. Field, C. B., & Barros, V. R. (Eds.). (2014). *Climate change 2014—Impacts, adaptation and vulnerability: Regional aspects*. Cambridge University Press.
 11. Kaur, A., & Sood, S. K. (2019). Analytical mapping of research on disaster management, types and role of ICT during 2011–2018. *Environmental Hazards*, 18(3), 266-285.
 12. Khoshakhlagh, F., Mohammadi, H., Shamsipour, A. and Oftadegan Khuzani, A. (2012). The statistical and synoptic analysis on widespread hailstorm events in northwest of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 1(2), 55-69. doi: 10.22067/geo.v1i2.16264
 13. Kouhi, M., & Oskouei, E. A. (2024). Understanding the spatial patterns of temperature hazards in Qazvin Province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 280-309.
 14. Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Francois, P., Kotsiopoulos, P. G., Legrand, M. (2015). Dust– Storm Dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*, 16, 35 – 48.
 15. Sadeghinia, A., Rafati, S. and Sedaghat, M. (2026). Spatial analysis of climate change in Iran. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 8(4), 55-70. doi: 10.52547/jsaeh.8.4.55
 16. Shi, P. and R. Kaspersen (eds.). (2015). *World Atlas of Natural Disaster Risk*, IHDP/Future Earth-Integrated Risk Governance Project Series, DOI 10.1007/978-3-662-45430-5 © Springer-Verlag Berlin
- مانند SSP، اثرات تغییر اقلیم بر روند و توزیع مکانی آینده مخاطرات جوی و اقلیمی با استفاده از نمایه‌های فرین بررسی شود. در نهایت، این مطالعه نشان می‌دهد که شناخت توزیع مکانی مخاطرات جوی نه تنها برای کاهش خسارات ضروری است، بلکه می‌تواند مبنایی برای سیاست‌گذاری پایدار در استان تهران فراهم آورد و این شهر را به سمت شهرهایی تاب‌آورتر در برابر تغییرات اقلیمی سوق دهد.
- ### سیاسگزاری
- این مقاله از طرح پژوهشی با عنوان "تعیین توزیع مکانی و زمانی مخاطرات جوی و اقلیمی استان تهران و ارائه برنامه جامع مدل‌سازی تاب‌آوری در برابر مخاطرات جوی، تغییر اقلیم و پهنه‌بندی خطرپذیری ناشی از آن" استخراج شده است که با حمایت مالی سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان تهران انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.
- ### منابع
1. Amini, H. K., Hosseini, M., Jafari, M. K., & Hosseinioun, S. (2009). Recognition of vulnerable urban fabrics in earthquake zones: a case study of the Tehran metropolitan area.
 2. Barnes, G. M. (2010): Meteorological Hazards in The Tropics: Severe Convective Storms and Flash Floods. Chapter in Tropical Meteorology, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) (www.eolss.net), Sponsored by the UNESCO, 109 pp
 3. Bazgeer, S., Ildoromi, A., Saber, G., Ershadi, A. and Nouri, H. (2018). Synoptic Analysis of Hail Hazard in Bojnord City, Iran. *Environmental Management Hazards*, 5(4), 339-358. doi: 10.22059/jhsci.2019.273487.431
 4. Bazo, J., Beardsley, D., Bye, H., Campbell, R., Cerrudo, C., Coughlan de Perez, E., ... & Yeung, L. (2021). WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services Part II: Putting Multi-hazard IBFWS into Practice.
 5. CRED (2018) 'Natural disasters 2017', Brussels.
 6. De Moel, H., Jongman, B., Kreibich, H., Merz, B., Penning-Rowsell, E., & Ward, P. J. (2015). Flood risk assessments at different spatial

24. World Meteorological Organization. (2021). Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water-Related Hazards (1970–2021).
25. Zebardast, E. (2005). Do Plans Matter? Managing a Metropolis with Two Directives for more than a Decade; The Case of Tehran City. *Life in the Urban Landscape. Urban Life.*
26. zeinali,B , khalili,S and eiyni,S . (2026). Zoning atmospheric Hazards in North West of Iran. *Applied Research in Geographical Sciences*, 19(53), 177-193. doi: 10.29252/jgs.19.53.177
27. Zhang, Q., Li, L., Ebert, B., Golding, B., Johnston, D., Mills, B., ... & Keller, J. (2019). Increasing the value of weather-related warnings. *Science Bulletin*, 64(10), 647-649.
- Heidelberg and Beijing Normal University Press.
17. Shi, P. and R. Kasperson (eds.). (2015). World Atlas of Natural Disaster Risk, IHDP/Future Earth-Integrated Risk Governance Project Series, DOI 10.1007/978-3-662-45430-5 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg and Beijing Normal University Press.
18. Siteva, D., & Marinova, S. (2021). Design of an Atlas of Significant Natural Disasters. In *Proceedings of the ICA (Vol. 4)*. Copernicus GmbH.
19. Statistical Centre of Iran, The 2016 National Population and Housing Census, 2016.
20. Taghizadeh, A. O., Hosseini, M., Navidi, I., Mahaki, A. A., Ammari, H., & Ardalani, A. (2012). Knowledge, attitude and practice of Tehran's inhabitants for an earthquake and related determinants. *PLOS Currents Disasters*.
21. Taghizadeh, A. O., Hosseini, M., Navidi, I., Mahaki, A. A., Ammari, H., & Ardalani, A. (2012). Knowledge, attitude and practice of Tehran's inhabitants for an earthquake and related determinants. *PLOS Currents Disasters*.
22. UN- DESA (2017) Climate Change Resilience for Sustainable Development, Department of Economic and Social Affairs, Chapter 1/ [https:// www.un.org/ development /desa /dpad /wp - content/uploads/sites/45/1_Chapter_WESS2016.pdf](https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/1_Chapter_WESS2016.pdf). United States. *International Journal of Climatology* 9(6), 567-579.
23. World Health Organization. Operational framework for building climate resilient health systems: World Health Organization; 2015. Available at <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565073> [Access date 07/04/2023]