نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال اول، شماره پیاپی ۳، پاییز ۱۳۹۳
صفحات ۷۰-۵۹

تحلیل فضایی مخاطره‌ی توفان‌های تندری بهاره‌ی ایران

یوسف قویدل رحیمی، استادیار جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس[۱]
پرستو باغبانان، دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه تربیت مدرس
منوچهر فرج‌زاده اصل، دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۰۲ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۵/۲۱

چکیده

در پژوهش حاضر، داده‌های ماهانه‌ی فراوانی وقوع توفان‌های تندری ۲۵ ایستگاه سینوپتیک کشور در طی بازه‌ی زمانی ۵۱ ساله از ۱۹۶۰-۲۰۱۰ با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی وارد شد و روش زمین‌آمار کریجینگ به منظور طبقه‌بندی و شناسایی مکان‌های اصلی رخداد مخاطره‌ی توفان‌های تندری فصل بهار در ایران تحلیل شد. پس از محاسبه فراوانی وقوع توفان‌های تندری فصل بهار و بررسی ویژگی‌های آماری مربوط به آن، تابع توزیع احتمالاتی مناسب با داده‌های توفان‌های تندری برازش داده شد و سپس، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به تقسیم‌بندی مناطق گوناگون به گروه‌های همگون و با استفاده از روش کریجینگ به پهنه‌بندی توفان‌های تندری اقدام گردید. پس از بررسی فراسنج‌های آمار توصیفی توفان‌های تندری بهاره، مشخص شد که توزیع احتمال فراوانی وقوع داده‌های توفان‌های تندری بهاره‌ی ایران، مانند بیشتر متغیرهای تصادفی گسسته از توزیع احتمال ویبول سه پارامتری تبعیت می‌کند. براساس نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای مناطق گوناگون کشور به پنج ناحیه همگن مجزا مشتمل بر نواحی شمالی، میانی، شمال شرقی؛ نواحی مرکزی و شرقی؛ شمال غرب؛ غرب و نیمه‌ی جنوبی با روند مشابه خوشه‌بندی گردید. پس از انجام پهنه‌بندی مشخص شد که کانون‌های اصلی رخداد این پدیده بیشتر در نواحی شمال غرب و غرب کشور متمرکز شده است.

واژگان کلیدی: مخاطرات اقلیمی، پهنه‌بندی، توفان تندری، تحلیل فضایی، ایران.

[۱]- نویسنده‌ی مسئول: Email:ghavidel@modares.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

مقدمه

توفان تندری از انواع بارزترین اشکال ناپایداری جوی است. رخداد آن در ابرهای کومولونیمبوس بوده و با پدیده‌های مستعد خطر همچون صاعقه، بادهای شدید، باران سنگین همراه با دانه‌های ریز تگرگ یا برف همراه است. توفان‌های تندری، به منزله‌ی جزئی لاینفک از اقلیم، از شدیدترین مخاطرات اقلیمی محسوب می‌شوند و عنصر مهم چرخه‌ی آب و الکتریسیته جو هستند. توفان‌های تندری و پدیده‌های ناشی از آن همچون تگرگ، باد شدید، صاعقه، بارش سنگین و سیل‌آسا از مهم‌ترین مخاطرات اقلیم‌شناختی هستند که بخش وسیعی از تحقیقات آب و هواشناسی دنیا را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس منشأ، مورفولوژی و میزان بارشی که هر سامانه‌ی تندری می‌تواند تولید کند اقدام به پهنه‌بندی مناطق گوناگون آمریکا گردید و پنج منطقه‌ی مجزا تشخیص و نقشه‌ی آن ترسیم شد (Easterling, ۱۹۸۹). در بررسی توزیع زمانی و مکانی بارش‌های ناشی از توفان‌های تندری سیدنی مشخص گردید که بارش های تندری اغلب در بهار و تابستان و طی اواخر بعد از ظهر و آغاز غروب و بیشتر در نواحی ساحلی و کوه‌ها و کمتر در زمین‌های پست داخل حوزه‌ی سیدنی روی می‌دهند (Rasuly, ۱۹۹۶). مطالعه بارش های تندری در نیجریه نشان داد که الگوی توزیع فضایی بارندگی‌های تندری در فصل خشک از جنوب به شمال و مشابه با الگوی کل توزیع بارندگی در کشور نیجریه است (Adelekan, ۱۹۹۸). تحلیل تغییرات روزانه در فراوانی پیدایش انواع مختلف بارش و توفان تندری با استفاده از داده‌های ۱۵۰۰۰ ایستگاه در کل جهان و مجموعه داده‌های اقیانوسی–جوی در سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷انجام گرفت و مشخص شدکه وقوع بارش های رگباری و توفان های تندری بیشتر در بعد از ظهرها و در نواحی خشک در تمام فصول رخ داده، در حالی که در نواحی اقیانوسی، در مجاورت با قاره‌ها، بارش رگباری به هنگام صبح‌ها فراوان است (Dai, ۲۰۰۱). در تحقیقی دیگر به منظور بررسی بارش های جهانی و فرکانس توفان های تندری و تغییرات فصلی و درون سالانه ی آن، این نتیجه به دست آمد که فراوانی توفان های تندری با الگوی جوی-اقیانوسی انسو رابطه‌ی معنادار قوی دارد (Dai, ۲۰۰۱). با مطالعه توزیع زمانی و مکانی بارش‌های رعد و برقی نواحی مرزی آمریکا و مسائل ناشی از آن‌ها به‌ویژه سیل و فرسایش خاک معین شد که این امر به شکل دائم به عنوان ناپایدارکننده‌ی محیط و مخرب در نواحی مرزی عمل می‌کند و تمایل سرمایه‌گذاران کشاورزی به فعالیت در مناطق مذکور را به‌شدت کاهش می‌دهد (Changton, ۲۰۰۱) . در پژوهشی پس از بررسی تغییرات طولانی مدت وقوع توفان‌های تندری و بارش‌های توفانی در کراکو لهستان در بین سال‌های ۱۸۹۶ تا ۱۹۹۵، متوجه شدند که میانگین روزهای توفانی و بارش‌های همراه با آن در فصل زمستان، به‌خصوص در سی سال اخیر، افزایش یافته است (Bielec, ۲۰۰۱). با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست محدوده‌ی متأثر از توفان‌های تندری تعیین و با استفاده از تصاویر باندهای متفاوت سنجنده‌های ماهواره‌ی لندست، صدمات ناشی را از توفان‌ها نقشه کشی شده است (Bently et al, ۲۰۰۲).

در تحقیقی از توفان های تندری به عنوان معضل مهم آمریکا در قرن بیستم یاد شده و پیامدهای محیطی و اقتصادی ناشی از توفان های تندری و پدیده های مربوط به آن (سیل، تگرگ، باد شدید) را بر اقتصاد قشرکشاورزان آمریکا، بسیارخانمان سوز دانسته اند (Easterling, ۲۰۰۳). در بررسی توفان‌های تندری ایسلند، الافسون و همکاران معتقدند که بیشینه‌ی فعالیت توفان‌های تندری در زمستان هنگامی رخ می‌دهد که توده‌هوای قطبی بر روی دریاهای گرم در جهت ایسلند حرکت می‌کند (Olafasson et al, ۲۰۰۴). بررسی تغییرات بلندمدت بارش روزهای همراه با توفان تندری لهستان نشان دادند که بارش‌های رخ داده در ۸۵ درصد موارد در روزهای رعد و برقی در نیمه‌ی دوم سال رخ می‌دهند. در ۶۳ درصد روزهای رعد و برقی بارش باران بین ۰/۱ تا ده میلی‌متر است. موارد بیش از سی میلی‌متر نیز به صورت نادر و عمدتاً در نواحی کوهستانی مشاهده می‌گردد (Bielec and Lupikasza, ۲۰۰۸). در پژوهشی تحت عنوان روند توفان‌های تندری و توفان‌های تگرگ و رابطه‌ی آن‌ها با ویژگی‌های جوی جنوب غربی آلمان از داده‌های روزهای تندری، داده‌های مربوط به آسیب تگرگ از یک شرکت بیمه‌ی ساختمان، جریان‌های بزرگ مقیاس و شاخص‌های همرفتی برای دوره‌ی ۱۹۷۴-۲۰۰۳ استفاده و مشخص شد که بسیاری از شاخص‌های همرفتی به کار برده شده و رخدادهای سالانه‌ی تگرگ رابطه‌ی همبستگی بسیار قوی دارند، در حالی که تعداد سالانه‌ی میانگین روزهای توفان تندری تقریباً

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

بدون تغییر باقی مانده است. همچنین، روزهای تگرگی به طور عمده‌ای افزایش نشان داده‌اند (Kunz et al, ۲۰۰۹). مطالعه تغییرات فعالیت و فرکانس رخداد توفان های در واسلو نشان داد که زمان شروع توفان تندری از ۱۷ آوریل تا ۲۸ ماه می است. همچنین، از هشت آگوست تا چهارم ماه دسامبر نیز وقوع آن مشاهده شده است. در کل، در غرب منطقه، فصل توفان تندری کمتر از شرق است، ولی شدت آن در غرب بیشتر است (Florin, ۲۰۱۰). نتایج بررسی های انجام شده بر روی محیط های مساعد وقوع رعد و برق های شدید استرالیا با تمرکز ویژه بر نفوذ ال نینو نوسان جنوبی نشان داد، در حالی که انسو تأثیر عمده‌ای در توزیع فضایی محیط‌های رعد و برق پرشدت در سراسر این قاره دارد، درارتباط با فرکانس نامشخص است (Allen and karoly, ۲۰۱۳). تغییرات فضایی و زمانی صاعقه‌های ابر به زمین بر روی قاره‌ی آمریکا در طی دوره سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ معین می کند که فعالیت‌های شدید صاعقه‌ای بر روی قسمت‌های مرکزی آمریکا و همچنین بر روی قسمت‌های غربی کوهستان‌های آپالاچیان است و بیشترین تناوب و تکرار از روزهای مهم وقوع صاعقه در روزهای تابستانی اتفاق می‌افتد (Villarini and Smith, ۲۰۱۳). تجزیه و تحلیل اولیه ارائه شده بر روی تغییرات موقت و فضایی صاعقه‌های ثبت شده در یونان در دوره‌ی بین ژانویه ۲۰۰۸ تا دسامبر ۲۰۰۹ مشخص نمود که از نظر زمانی در طی فصل پاییز و، بعد از آن نیز، فصل‌های تابستان و بهار و از نظر مکانی در دریای یونان و آگیان فعالت صاعقه در بالاترین حد است (Nastos et al, ۲۰۱۴). بررسی اقلیم‌شناختی توفان‌های تندری برزیل و ارتباط آن با انسو و اطلس حاره‌ای نشان داد که افزایش ۷۹ درصدی توفان‌های تندری مرتبط با افزایش شهرنشینی بوده است. همچنین، نتایج بررسی پیوند از دور مشخص کرد که تمایل ال‌نینو برای افزایش فعالیت توفان تندری در مناطق جنوب (فقط در بهار و تابستان)، جنوب شرقی، شمال شرقی و شمال (فقط در پاییز و زمستان) مشهود است (Pinto, ۲۰۱۵).

در ایران، تاکنون در زمینه‌ی تحلیل مکانی توفان‌های تندری ایران پژوهش چشم‌گیری صورت نگرفته و مطالعات بیشتر درباره‌ی بررسی‌های آماری، همدید و دینامیکی است. عمده اطلاعات در مورد توفان‌های تندری ایران در کتاب آب و هوای ایران مندرج است.

کار علیجانی (۱۳۷۸) در جایگاه اولین مطالعه صورت گرفته در ایران بسیار باارزش و قابل استناد است. حجازی‌زاده (۱۳۷۹) برای بررسی توفان‌ها و رعد و برق در غرب کشور با توجه به شرایط سینوپتیک حاکم بر منطقه در ماه ژوئن از دوره‌ی گرم سال و ماه‌های ژانویه و فوریه از دوره سرد سال به صورت نرمال (سی‌ساله)، نوسان دو مؤلفه‌ی مهم گردش عمومی جو، یعنی پرفشار جنب‌حاره‌ای و چرخندگی مثبت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، را در اولویت مطالعه قرار داد و نتایج به دست آمده را با بارندگی ۱۸ ایستگاه شمال غرب و غرب کشور بر حسب عرض جغرافیایی مقایسه کرد. او سرانجام به این نتیجه رسید که با آغاز دوره‌ی انتقال گرم به سرد سال افزایش بارندگی با عقب‌نشینی پرفشار مجاور مداری و، سرانجام، با عرض جغرافیایی رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد. غیبی و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شبکه‌های عصبی اقدام به تعیین ویژگی‌ها و طبقه‌بندی توفان‌های تندری مناطق جنوب و جنوب غرب ایران کردند. جلالی و همکاران (۱۳۸۵) در پژوهشی به مطالعه‌ی توفان‌های تندری و بارش‌های ناشی از آن در محدوده‌ی شهر اهر پرداختند. نتایج مطالعه آنان این واقعیت را نشان می‌دهد که اغلب بارش‌های مذکور در فصل‌های بهار و تابستان و طی ساعات بعد از ظهر و اویل شب رخ می‌دهد. خورشید دوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۵) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان وقوع توفان‌های تندری در شمال غرب ایران در ماه اردیبهشت رخ می‌دهد. خوشحال دستجردی و قویدل رحیمی (۱۳۸۶) در پژوهشی، با استفاده از داده‌های فراوانی وقوع توفان‌های تندری تبریز، دریافتند که بیشترین رخداد توفان‌های تندری در این منطقه در فصل بهار و ماه می اتفاق می‌افتد. قویدل رحیمی (۱۳۹۰) با استفاده از شاخص‌های ناپایداری به تحلیل دینامیکی توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز پرداخت و به این نتیجه رسید که در میان شاخص‌ها، شاخص شوالتر نتایج بهتری را برای ارزیابی و پیش‌بینی توفان تندری دارد. میر احمدی (۱۳۹۱) با استفاده از اطلاعات مربوط به وقوع توفان‌های تندری کوهرنگ در طول دوره آماری ۱۹ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۲) به بررسی ویژگی‌های آماری توفان‌های تندری در کوهرنگ بختیاری پرداخت. نتایج بررسی‌ها نشان دادند که بیشترین وقوع توفان‌های تندری در ایستگاه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

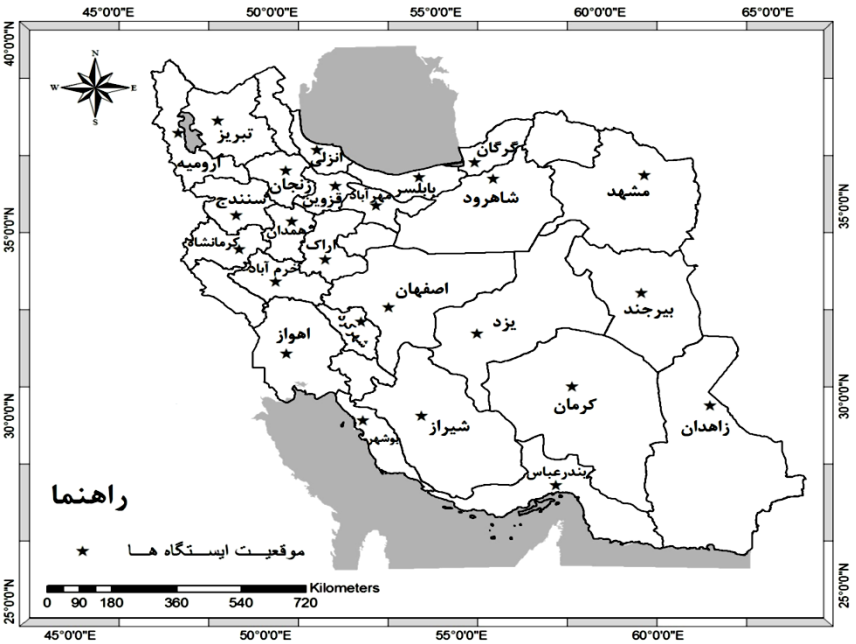
سینوپتیک کوهرنگ در فصل بهار و ماه آوریل رخ می‌دهد. مدل‌های روند خطی و پلی‌نومیال مرتبه‌ی شش نشان دادند که وقوع توفان‌های تندری در ایستگاه مربوط روند کاهشی دارد.

فصل بهار از جمله فصول انتقالی سال با شرایط بسیار ناپایدار اقلیمی است که هر ساله در این مقطع زمانی به دلیل رخداد حداکثر فراوانی توفان‌های تندری، صدمات فراوانی از این پدیده حادث می‌گردد. در کل، مخاطره‌ی توفان تندری و پدیده‌های همراه آن مخاطره‌ای ناگهانی همراه با خسارات فراوان است. با توجه به این‌که حوادث ناگهانی زمانی که شروع می‌شوند فرصتی برای چاره‌اندیشی و مقابله با آن وجود ندارد و دست‌یابی به روش‌های مقابله با این پدیده‌ی خسارت آور در گرو مطالعات و شناخت کانون‌های رخداد و بازه‌های زمانی، عوامل به وجود آورنده‌ی آن و شرایط تکوین و تأثیر آن‌ها در مقیاس‌های زمانی و مکانی معین است، بنابراین این مطالعه با هدف تجزیه و تحلیل توفان‌های تندری بهاره و شناسایی مکان‌های اصلی رخداد این مخاطره در سطح کشور صورت گرفته است.

داده‌ها و روش‌ها

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع مابین ۲۵ تا ۴۰ درجه‌ی عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه‌ی طول شرقی در نیمه‌ی جنوبی منطقه‌ی معتدله نیم‌کره‌ی شمالی قرار دارد و بخش جنوبی آن در مجاورت منطقه‌ی استوایی واقع شده و متأثر از پدیده‌های این منطقه است. حضور سیستم‌های سینوپتیک مهاجر بزرگ‌مقیاس، که در بستر بادهای غربی به سمت ایران روانه می‌گردند، به همراه منابع رطوبتی شمال و جنوب کشور و توپوگرافی پیچیده و ارتفاعات کوهستانی، علاوه بر تعدیل تنوع آب و هوایی ایران، مخاطرات خاصی را همچون توفان‌های تندری در این منطقه به وجود می‌آورند. به همین منظور شناسایی مکان‌های اصلی رخداد این مخاطره در گستره‌ی کشور ضرورت می‌یابد.

در پژوهش حاضر، از داده‌های فراوانی ماهانه توفان تندری ۲۵ ایستگاه سینوپتیک کشور به مدت ۵۱ سال در بازه‌ی آماری ۱۹۶۰-۲۰۱۰ میلادی استفاده گردیده است. داده‌های یاد شده از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است. توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعه در سطح ایران در شکل ۱ مشهود هستند.



شکل۱- پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعه در پهنه‌ی ایران.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

برای بررسی‌های فصلی، فراوانی توفان‌های تندری را در ماه‌های مختلف با تجمیع هر سه ماه یک فصل به دست آوردیم. بدین معنی که فراوانی رخداد در فصل بهار از محاسبه‌ی مجموع فراوانی‌های سه ماهه‌ی آوریل، می و ژوئن ایجاد گردید (دلیل استفاده نکردن از ماه مارس و به‌کارگیری ماه ژوئن در محاسبات قرارگیری دوره زمانی و روزهای بیشتر فصل بهار در ماه ژوئن از ماه مارس و شرایط اقلیمی مربوط به این ماه است. به همین دلیل، محاسبات آماری مربوط به دوره‌ی زمانی در سه ماه آوریل، می و ژوئن صورت گرفت). به علت کثرت داده‌ها و یکنواختی نبودن فراوانی‌ها برای معین شدن ویژگی آماری باید شاخص‌های گرایش به مرکز و پراکندگی را در کنار یکدیگر بررسی کرد. در پژوهش حاضر نیز، ویژگی‌های مجموع، حداقل، حداکثر، دامنه‌ی تغییرات، ضریب تغییرات، انحراف معیار، چولگی و نما برای تعیین اقلیم‌شناسی مکانی و زمانی توفان‌های تندری فصل بهار از مشخصه‌های آماری فوق استفاده شد. همچنین، با توجه به این‌که تابع توزیع احتمال ابزاری مؤثر و مفید برای توصیف جامع هر متغیر هواشناسی است، سعی شد توابع احتمالاتی مناسبی بر داده‌های توفان‌های تندری برازش داده شود. با توجه به این‌که فراوانی وقوع توفان تندری از نوع متغیر تصادفی گسسته است و به تجربه ثابت شده است که توزیع احتمال ویبول سه پارامتری با فاصله اطمینان ۹۹ درصد بهترین توزیع برای داده‌های گسسته است، بنابراین از این تابع توزیع احتمال استفاده گردید. به دلیل این‌که کانون‌های وقوع توفان تندری در کشور به صورت پراکنده است، در نتیجه تحلیل، شناسایی و تفکیک مکانی واحدهای ناهمانند بسیار مشکل است. به همین منظور با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به تقسیم‌بندی مناطق به گروه‌های همگون با بیشترین شباهت درون گروهی می‌توان نتایج را بهتر بررسی کرد. در همین زمینه، برای شناسایی گروه‌های همسان از نظر هم‌زمانی وقوع توفان تندری و زمان وقوع توفان تندری از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی وارد با فاصله‌ی اقلیدسی برای مطالعه استفاده گردید.

برای پهنه‌بندی و تحلیل زمانی و مکانی توفان‌های تندری ایران از روش زمین آمار کریجینگ استفاده شد. در بین روش‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی و میان‌یابی در سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش کریجینگ بسیار مرسوم است. دلیل استفاده از روش کریجینگ در پژوهش حاضر این است که در آن مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به‌دست می‌آید. روش کریجینگ کمترین مقدار واریانس تخمینی را به دست می‌دهد. در چنین سیستمی خطاهای نظام‌مند حذف می‌شوند و اطلاعات موجود به بهترین نحو استفاده می‌شود. به همین منظور، در پژوهش حاضر، پس از تنظیم کردن پایگاه اطلاعاتی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از روش میان‌یابی زمین آمار کریجینگ، نقشه‌های هم‌ارزش فراوانی وقوع توفان تندری تهیه شد. در واقع، در این پژوهش، بعد از مقایسه و ترسیم چند روش پهنه‌بندی از نظر میزان خطای درون‌یابی و نحوه‌ی نمایش، روش زمین‌آمار کریجینگ انتخاب و استفاده شد. کریجینگ بهترین تخمین‌گر خطی ناریب است و از مدل‌های آماری و ریاضی محسوب می‌شود که با استفاده از همبستگی به بررسی رابطه‌ی بین دو متغیر می‌پردازد. علاوه بر این، می‌تواند از توابع تبدیلاتی استفاده کند. همچنین، برای دستیابی به طبقه‌بندی مناسب مناطق گوناگون کشور درباره‌ی رخداد توفان‌های تندری، ایستگاه‌های مطالعه بر اساس میانگین و مجموع فراوانی داده‌ها طبقه‌بندی شدند که به علت مشابهت نتایج هر دو تعداد اعضای گروه‌ها مانند یکدیگر شدند.

شرح و تفسیر نتایج

نتایج حاصل از تحلیل فراسنج‌های آمار توصیفی مربوط به فراوانی وقوع توفان‌های تندری ایران در جدول ۱ نشان داد که حداکثر میانگین فراوانی با حدود ۲۰ توفان تندری در شمال غرب کشور در تبریز است. حداقل فراوانی نیز در ایستگاه‌های ساحلی جنوب و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

شمالی کشور در بابلسر و بندرعباس رخ داده است. دامنه‌ی انحراف معیار توفان تندری بهاری۲ تا ۸ است. این مقدار از شمال غـرب به طرف بخش‌های جنوبی کاهش می‌یابد. میزان بیشتر انحراف معیار در زنجان، تبریـز و ارومیـه و مقـدار کمتـر آن در بنـدرعباس، بابلسر و اصفهان است. بیشترین ضریب تغییرپذیری توفان تندری فصل بهـار بـا ۱۳۲ در گرگـان در جنـوب شـرقی دریـای خـزر و کمترین مقدار این ضریب در تبریز برابر با ۳۸ درصد در شمال غرب ایران محاسـبه شـده اسـت. بـا توجـه بـه ایـن‌کـه فصـل بهـار فراوان‌ترین زمان برای وقوع توفان تندری است و بیشینه‌ی این مقدار در شمال غرب به دلیل فراهم بـودن شـرایط اقلیمـی در ایـن بخش است، بالاترین میزان توفان تندری در تبریز با ۱۰۳۳ رخداد مشاهده شده اسـت. پـس از تبریـز، ارومیـه بـا ۷۴۹ و زنجـان و مهرآباد با بیش از ۶۰۰ توفان تندری در رده‌های بعدی قرار دارند. در این شرایط، در بخش‌های جنوبی کشور، همچون بندرعباس با ۸۱ توفان تندری، کمترین میزان ملاحظه می‌گردد. از نظر کمترین مقدار فراوانی وقوع توفان تندری، تبریـز بـا ۶ رخـداد بیشـترین مقدار را از آن خود کرده است. به غیر از ایستگاه های غرب و شمال غرب کشور با ۱ تا ۴ رخداد توفان تندری در سایر مناطق کشور هیچ توفانی گزارش نشده است. از لحاظ بیشترین فراوانی رخداد توفان تندری، تبریز، ارومیه و زنجان در بخش شمال غربی بالاترین مقدار را دارند که میزانی بیش از ۳۰ توفان را دربر می‌گیرد. در چنین وضعیتی بابلسر با ۷ توفان در کمترین حد خود قرار دارد.

جدول ۱. فراسنج‌های آمار توصیفی فراوانی وقوع توفان‌های تندری ایران در فصل بهار طی ۱۹۶۰-۲۰۱۰

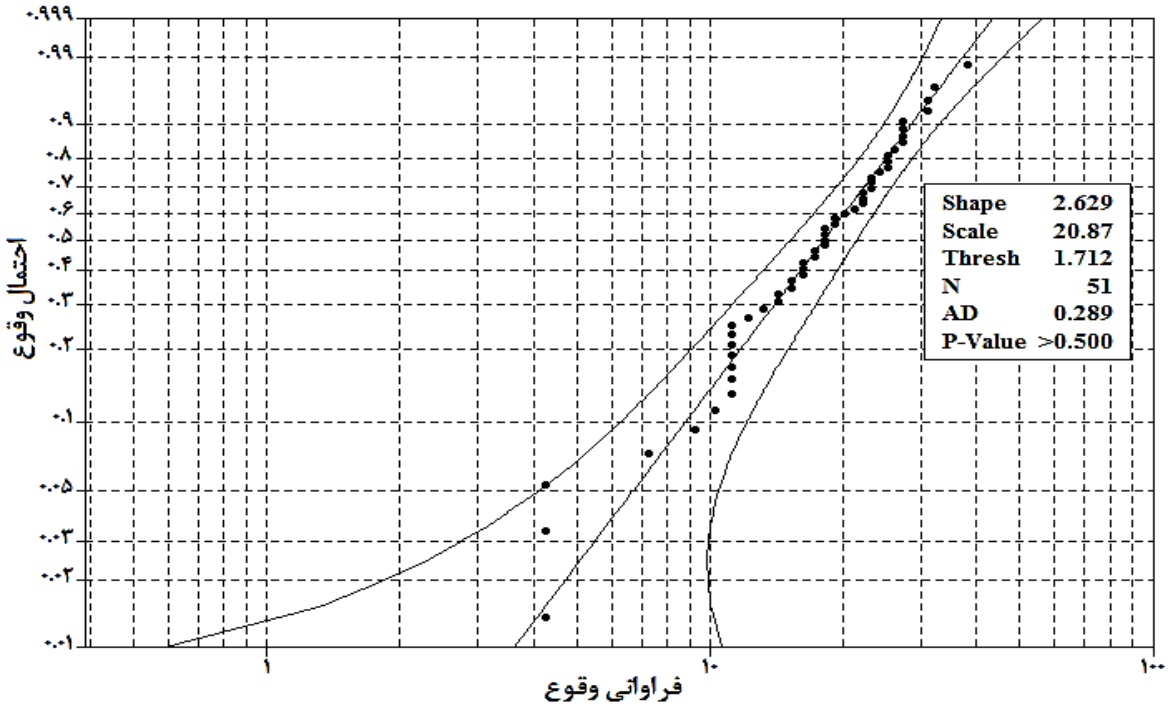
ردیف	نام ایستگاه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	مجموع	حداقل	حداکثر	دامنه	چولگی
۱	اهواز	۳	۴	۱۱۲	۱۷۶	۰	۱۵	۱۵	۱
۲	انزلی	۱۰	۵	۵۶	۴۹۹	۰	۲۵	۲۵	۰
۳	اراک	۶	۴	۶۶	۳۳۰	۱	۱۹	۱۸	۱
۴	بابلسر	۲	۲	۱۰۹	۹۲	۰	۷	۷	۱
۵	بندرعباس	۲	۲	۱۱۲	۸۱	۰	۸	۸	۱
۶	بیرجند	۶	۴	۶۸	۳۰۷	۰	۱۷	۱۷	۱
۷	بوشهر	۴	۳	۶۵	۲۲۵	۰	۱۱	۱۱	۱
۸	اصفهان	۳	۲	۷۰	۱۶۶	۰	۹	۹	۰
۹	قزوین	۱۳	۷	۵۰	۶۸۶	۴	۲۹	۲۵	۱
۱۰	گرگان	۳	۵	۱۳۲	۱۷۶	۰	۱۹	۱۹	۲
۱۱	همدان نوژه	۱۰	۶	۶۰	۵۱۱	۱	۲۶	۲۵	۱
۱۲	کرمان	۳	۳	۱۰۵	۱۲۹	۰	۱۰	۱۰	۱
۱۳	کرمانشاه	۹	۴	۴۲	۴۷۰	۱	۲۰	۱۹	۱
۱۴	خرم‌آباد	۸	۵	۶۴	۳۸۵	۰	۱۸	۱۸	۰
۱۵	مشهد	۹	۵	۵۶	۴۴۷	۱	۱۹	۱۸	۰
۱۶	ارومیه	۱۵	۷	۵۰	۷۴۹	۳	۳۴	۳۱	۱
۱۷	سنندج	۸	۵	۶۷	۴۰۶	۰	۲۰	۲۰	۱
۱۸	شهرکرد	۴	۴	۹۸	۱۹۵	۰	۱۶	۱۶	۱
۱۹	شاهرود	۹	۵	۵۴	۴۷۶	۱	۲۱	۲۰	۱
۲۰	شیراز	۴	۳	۷۶	۱۹۱	۰	۱۴	۱۴	۱
۲۱	تبریز	۲۰	۸	۳۸	۱۰۳۳	۶	۴۰	۳۴	۰
۲۲	مهرآباد	۱۰	۵	۵۳	۵۲۰	۱	۲۴	۲۳	۱
۲۳	یزد	۳	۳	۹۵	۱۳۹	۰	۱۰	۱۰	۱
۲۴	زاهدان	۴	۴	۱۰۳	۱۹۷	۰	۲۰	۲۰	۲
۲۵	زنجان	۱۳	۸	۶۵	۶۴۶	۰	۳۰	۳۰	۰

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

دامنه‌ی تغییرات مقادیر حداکثر و حداقل توفان تندری بین ۷ تا ۳۴ متغیر است. این میزان از بخش‌های شمال غرب به سمت قسمت‌های مرکزی و جنوبی کشور کاهش می‌یابد. بالاترین مقدار در ایستگاه تبریز و کمترین مقدار در بابلسر و بندرعباس محاسبه شده است. بیشینه‌ی میزان چولگی در زاهدان و گرگان و کمینه مقدار این شاخص در اصفهان، مشهد و بخش‌های غربی و شمال غرب کشور است.

الف) توزیع احتمال توفان‌های تندری در فصل بهار

با توجه به این‌که در مطالعات اقلیمی تعداد پدیده‌های قطعی (مثل توفان‌های تندری) کم است، به همین دلیل همواره از روش‌های احتمال برای پیش‌بینی این متغیرهای اقلیمی و انتخاب روش مناسب برای تحلیل و ارزیابی استفاده می‌شود. در این روش تعداد رویدادهای گسسته به جای فراوانی برحسب احتمال وقوعشان مرتب می‌شوند و توزیع احتمال آن‌ها ترسیم می‌گردد تا با شناسایی نوع توزیع و پراکنش داده‌ها بررسی داده‌ها با روش‌های مناسب صورت گیرد. برازش توزیع‌های گسسته‌ی احتمالاتی به داده‌های مربوط به فراوانی وقوع توفان‌های تندری ایران نشان داد که بهترین نوع توزیع احتمالاتی ویبول سه پارامتری است که، در این زمینه، برای نمونه، نمودار مربوط به رخداد توفان تندری بهاره‌ی تبریز به عنوان ایستگاه شاخص دارای بیشینه‌ی توفان‌های تندری در شکل ۲ درج گردیده است. نمودار توزیع احتمال رخداد توفان تندری تبریز بیانگر مطابقت کامل توزیع ویبول سه پارامتری با مقادیر توفان تندری این ایستگاه در سطح اطمینان ۹۹ درصد است و نشان می‌دهد که احتمال وقوع فراوانی توفان تندری بهاره در تبریز به تعداد ۴۰ بار در فصل و کمتر از آن ۹۹ درصد است و احتمال وقوع بیش از ۴۰ توفان تندری در فصل بهار تبریز تنها ۱ درصد است.

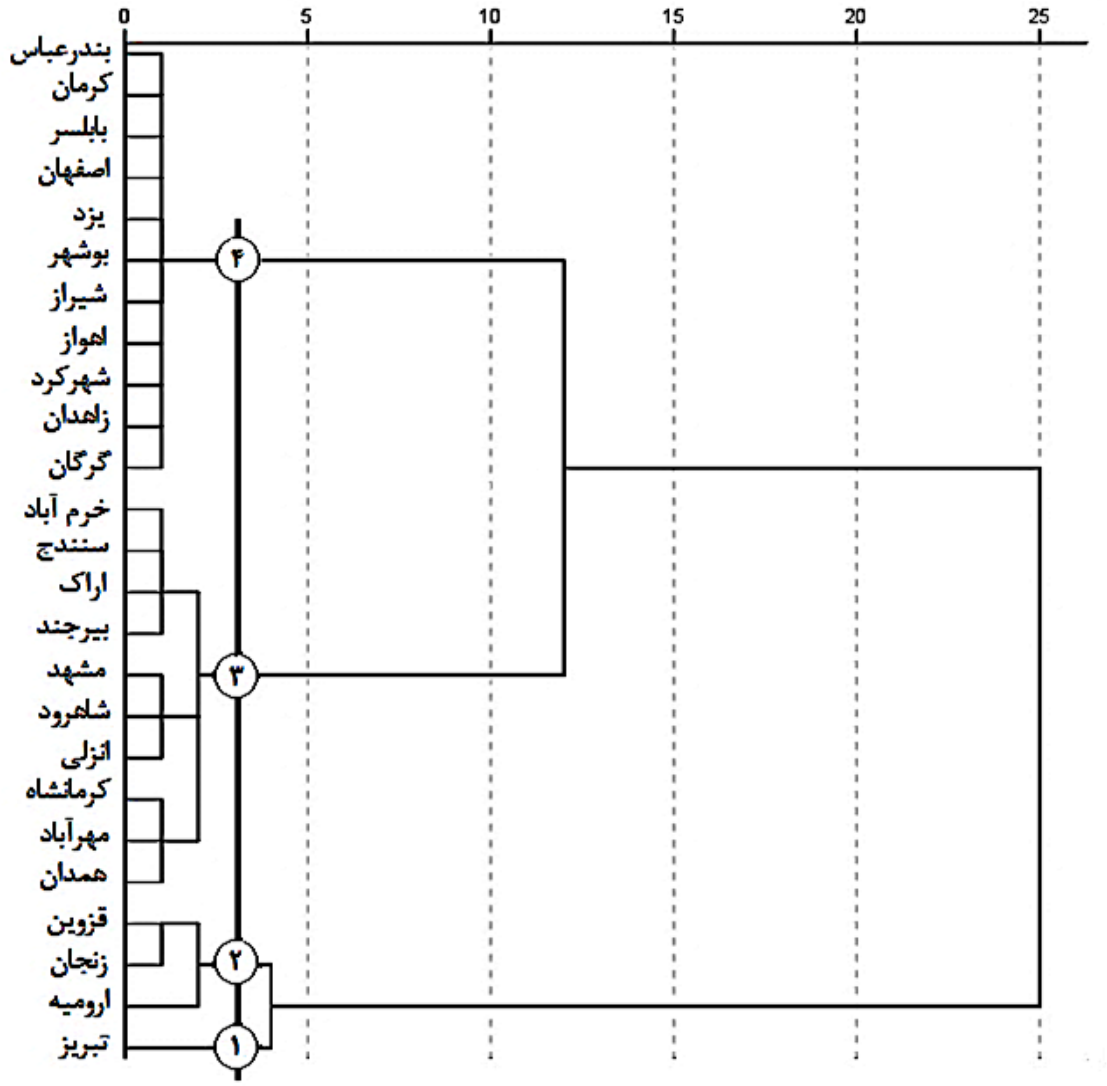


شکل ۲-برازش توزیع احتمال ویبول سه پارامتری به فراوانی وقوع توفان‌های تندری بهاره‌ی تبریز ۱۹۶-۲۰۱۰

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

ب) طبقه‌بندی مناطق مختلف کشور بر اساس هم‌زمانی وقوع توفان‌های تندری در فصل بهار

برای تحلیل خوشه‌ای فراوانی وقوع توفان‌های تندری بهاره ایران، با توجه به شکل دندروگرام حاصله و مشابهت زمانی و مکانی شرایط اقلیمی وقوع توفان‌های تندری در مناطق گوناگون کشور، نواحی که از نظر شرایط آب و هوایی وقوع توفان‌های تندری‌شان همگنی بیشتری داشت با برش چهار خوشه‌ای منطقی طبقه‌بندی شدند (شکل ۳). بر مبنای این برش ایستگاه تبریز در شمال غرب با ۱۰۳۳ بار فراوانی وقوع توفان تندری در خوشه‌ی اول قرار گرفت. پس از آن در خوشه‌ی دوم ایستگاه‌های ارومیه، زنجان و قزوین در شمال غرب کشور قرار گرفتند. در خوشه‌ی سوم ایستگاه‌های همدان، مهرآباد، کرمانشاه، انزلی، شاهرود، مشهد، بیرجند، اراک، سنندج و خرم‌آباد قرار گرفتند و ایستگاه‌های گرگان، بابلسر، زاهدان، شهرکرد، اهواز، شیراز، بوشهر، یزد، اصفهان، کرمان و بندرعباس با کمترین رخداد توفان‌های تندری در خوشه‌ی چهارم دسته‌بندی شدند که دارای کمترین فراوانی وقوع توفان‌های تندری در ایران هستند.

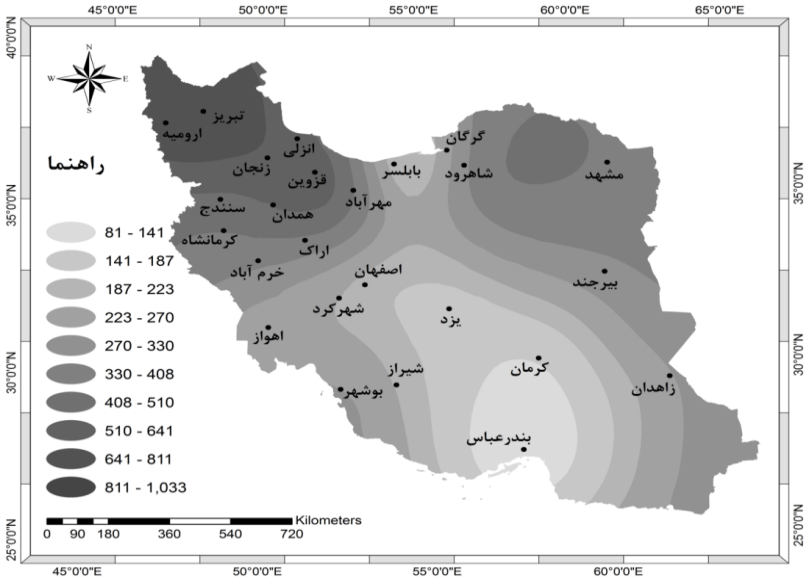


شکل ۳- درخت خوشه‌بندی منتج از فراوانی بهاره‌ی وقوع توفان‌های تندری در ایران بر مبنای روش وارد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

ج) توزیع فضایی وقوع توفان‌های تندری بهاره ایران

نقشه‌ی مجموع فراوانی رخداد توفان‌های تندری در فصل بهار در شکل ۴ درج شده است. طبقه‌بندی‌های صورت گرفته از نظر مجموع فراوانی وقوع توفان‌های تندری به صورت خودکار با پهنه‌بندی انجام شده‌ی روش زمین‌آمار کریجینگ ِسیستم اطلاعات جغرافیایی مشخص گردید که این طبقات با توجه به میان‌یابی صورت گرفته با روش مذکور، به بهترین نحوه‌ی نمایش داده‌ها و محاسبه‌ی کمترین میزان خطا و خودهمبستگی بین داده‌ها صورت گرفته است. روش زمین‌آمار کریجینگ به علت ایجاد سطوح پیوسته در میان‌یابی ــبا کمترین میزان خطای سیستماتیک، استفاده از توابع همبستگی برای شناخت ساختار فضایی داده‌ها و برآورد خطای مدلــ طبقات را طوری انتخاب می‌کند که تابع واسطه‌یابی را بهینه‌تر سازد. ملاحظه می‌شود که فراوانی وقوع توفان تندری بهاره از شمال غرب و شمال شرق به سمت شمال و از بخش‌های غرب به سمت مناطق مرکزی و جنوب کشور کاهش چشمگیری در فصل بهار دارد. تمرکز بیشتر توفان تندری در شمال غرب، به ویژه در تبریز با ۱۰۳۳ رخداد، مشاهده گردید. ایستگاه‌های ارومیه، قزوین، زنجان، مهرآباد و همدان با بیش از ۵۰۰ توفان تندری پس از تبریز بالاترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. در این شرایط، ایستگاه‌های واقع در نوار ساحلی جنوبی و شمالی کشور، همچون بابلسر و بندرعباس، با کمتر از ۱۰۰ توفان تندری حداقل فراوانی وقوع توفان‌های تندری بهاره ایران را به خود اختصاص دادند.



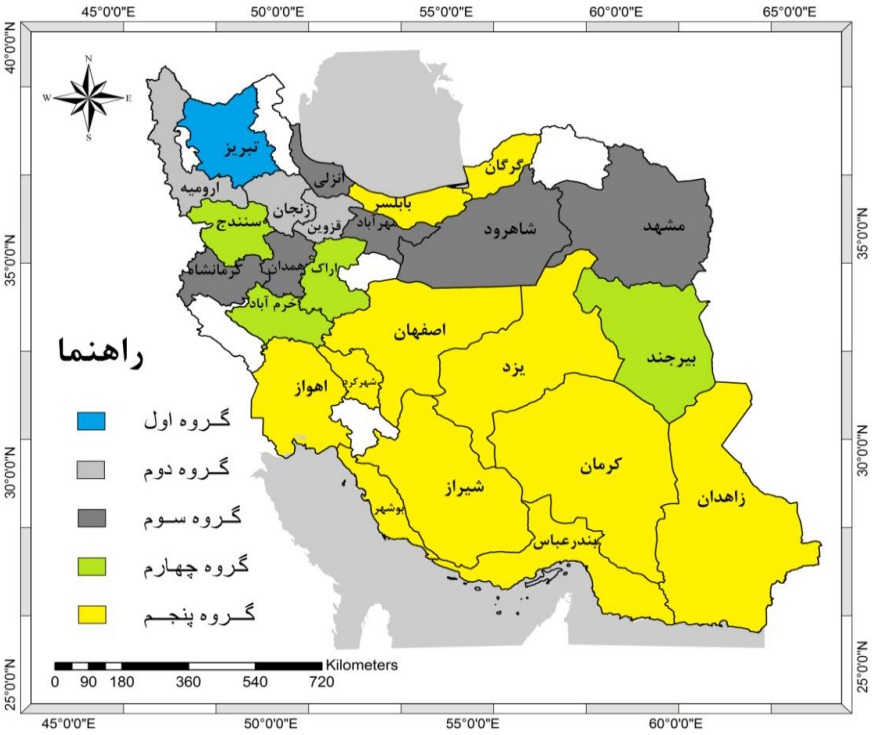
شکل ۴- توزیع فضایی مجموع فراوانی وقوع رخداد توفان تندری بهاره‌ی ایران ۱۹۶۰-۲۰۱۰

ه) پهنه‌بندی فضایی نقطه‌ای مجموع و میانگین وقوع رخداد توفان تندری بهاره‌ی ایران

در تقسیم‌بندی به‌عمل آمده در فصل بهار با روش تحلیل خوشه‌ای وارد بر اساس مجموع و میانگین فراوانی وقوع توفان‌های تندری با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی وارد با مجذور فاصله‌ی اقلیدسی بدون برش دادن خوشه‌ها، برای مشخص شدن تفاوت طبقه‌بندی‌ها و مشخص شدن طبقه‌بندی مناسب، خوشه‌ها از طبقه‌ی اول برداشت و تفسیر شد که، بر اساس آن، پنج گروه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

مطابق شکل ۵ مشخص شدند. در گروه اول، ایستگاه تبریز با بیشترین فراوانی توفان تندری (بار ۱۰۳۳) قرار دارد. در گروه دوم ایستگاه‌های ارومیه، قزوین و زنجان قرار دارند. در کل، در این بخش بیشتر از ۶۴۰ توفان تندری در فصل بهار روی می‌دهد. از بین ایستگاه‌های موجود در گروه سوم، که شامل ایستگاه‌های مهرآباد، همدان، انزلی، شاهرود، کرمانشاه و مشهد است، مهرآباد با ۵۲۰ و مشهد با ۴۴۷ توفان تندری به‌ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی را به خود اختصاص دادند. ایستگاه‌های سنندج، خرم‌آباد و اراک در غرب میانی و بیرجند در شرق کشور واقع در گروه چهارم، متوسط حدود ۳۵۰ توفان تندری را در فصل بهار داشت. کمترین توفان تندری به وقوع پیوسته در فصل بهار متعلق به گروه پنجم است. ایستگاه‌های موجود در این بخش در سواحل دریای خزر و سواحل جنوب و بخش‌های مرکزی هستند (شکل ۵).



شکل ۵-توزیع و گروه‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس میانگین و مجموع فراوانی وقوع بهاری توفان تندری ۱۹۶۰-۲۰۱۰

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به بررسی بلندمدت توفان‌های تندری ایران در فصل بهار و شناخت توزیع مکانی آن پرداخته شد. در بررسی ویژگی‌های آماری فراوانی در توفان‌های تندری فصل بهار، به این نکته‌ی مهم اشاره گردید که بیشترین فراوانی رخداد این مخاطره در دو ماه اول فصل بهار مخصوصاً ماه می (اردیبهشت) است و در ماه ژوئن از فراوانی وقوع توفان‌های تندری به طرز چشمگیری کاسته می‌شود. بررسی فراسنج‌های آمار توصیفی مشخص کرد که توزیع فراوانی توفان‌های تندری تصادفی و گسسته بوده و، بر این اساس، بهترین روش برای برازش توزیع احتمال وقوع آن توزیع احتمال ویبول سه پارامتری با فاصله‌ی اطمینان ۹۹ درصدی است. توزیع احتمال وقوع توفان‌های تندری نشان دهنده‌ی غیر خطی بودن این پدیده و اجتناب‌ناپذیر بودن آن در دوره‌های برگشت کوتاه‌مدت و دائم بودن رخداد این مخاطره در نواحی کوهستانی، خصوصاً شمال غرب و غرب کشور در فصل بهار، است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

برای مشخص شدن نحوه‌ی پراکنش مکانی توفان‌های تندری، به دلیل حجم زیاد داده‌های مورد بررسی و پراکنش ناهمگون ایستگاه‌ها، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به تقسیم‌بندی مناطق گوناگون کشور به گروه‌های همگون با بیشترین شباهت درون‌گروهی اقدام گردید. بدین منظور، بر مبنای بررسی دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی وارد برای تحلیل فراوانی وقوع ماهانه، مجموع و متوسط توفان‌های تندری با توجه به مقادیر فراوانی‌ها و مقادیر حداقل و حداکثر داده‌ها در مناطقی که از نظر شرایط اقلیمی وقوع توفان‌های تندری مشابهت زمانی و مکانی داشتند اقدام به برش خوشه‌ها گردید. نتایج خوشه‌بندی برای یافتن مکان‌های همگن از نظر هم‌زمانی و زمان وقوع توفان‌های تندری مبین وجود پنج گروه جداگانه با روند مشابه شامل شمال غرب؛ غرب؛ نیمه‌ی جنوبی؛ نواحی شمالی، میانی و شمال شرقی و نواحی شرقی و مرکزی است که در هر یک از قلمروهای مناطق پنج‌گانه یاد شده خطر وقوع توفان تندری تقریباً یکسان است.

از لحاظ توزیع مکانی رخداد توفان‌های تندری ــمشابه پژوهش صورت گرفته‌ی خورشید دوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۵)ــ حداکثر فراوانی در شمال غرب با تمرکز بر ایستگاه تبریز مشاهده شده است. پس از آن نواحی غرب و شمال شرق کشور بیشترین فراوانی را دارند و کمترین فراوانی آن در مرکز و جنوب کشور به خصوص در ایستگاه‌های یزد و بندرعباس با کمتر از ۱۴۰ توفان تندری اتفاق افتاده است. بیشتر بودن فراوانی رخداد توفان‌های تندری در شمال غرب و غرب کشور به شرایط توپوگرافی، همچون وجود کوهستان‌های مرتفع، جهت‌گیری ناهمواری‌ها، وجود رطوبت و شرایط اقلیمی ویژه این مناطق، مرتبط است. شناخت روش‌های مقابله با مخاطره‌ی توفان تندری مستلزم بررسی ماهیت وقوع، توزیع زمانی و مکانی توفان‌ها در مناطق مهم است که می‌تواند در مهیا کردن آمادگی‌های لازم کمک کند. نتایج مطالعه حاضر به لزوم نگرش منطقی و علمی به مخاطرات طبیعی، به‌ویژه توفان‌های تندری، تأکید دارد. سرانجام، می‌توان گفت با توجه به این‌که رویداد توفان‌های تندری در غرب و، به‌خصوص، شمال غرب ایران امری معمول و جزو ماهیت طبیعی اقلیم منطقه است، می‌توان با بیمه کردن محصولات کشاورزی و دادن آگاهی‌های لازم به مردم در کاهش خسارات و صدمات وارده گام برداشت.

منابع

جلالی، مسعود؛ علی‌اکبر رسولی و بهروز ساری صراف. ۱۳۸۵. توفان‌های تندری و بارش‌های ناشی از آن در محدوده‌ی شهر اهر. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، **۲۴**: ۱۸-۳۳.

حجازی زاده، زهرا. ۱۳۷۹. بررسی عوامل سینوپتیکی بارش و توفان‌های توأم با رعد و برق در غرب کشور. *مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تربیت معلم*، **۸**: ۵-۲۶.

خوشحال دستجردی، جواد و یوسف قویدل رحیمی. ۱۳۸۶. شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر توفان‌های تندری در تبریز). *مدرس علوم انسانی*، **۵۳**: ۱۰۱-۱۱۵.

علیجانی، بهلول. ۱۳۷۸. *آب و هوای ایران*. چاپ سوم. انتشارات پیام نور، تهران.

قویدل رحیمی، یوسف. ۱۳۹۰. کاربرد شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز. *فضای جغرافیایی*، **۳۴**: ۱۸۲-۲۰۸.

محمد خورشید دوست، علی و یوسف قویدل رحیمی. ۱۳۸۵. کاربست نرم‌افزار Digital Atmosphere ۲۰۰۰ در تحلیل فضایی پدیده‌های اقلیمی ایران. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، **۱۲**: ۴۸-۵۸.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]

میراحمدی، اکبر. ۱۳۹۱. بررسی ویژگی‌های آماری توفان‌های تندری در کوهرنگ بختیاری. *همایش ملی انتقال آب بین حوضه ای (چالشها و فرصتها)*.

Adelekan, I.O. ۱۹۹۸. Spatio-Temporal variation in thunderstorm rainfall over Nigeria. *International Journal of Climatology*, **۱۸**: ۱۲۷۳-۱۲۸۴.

Allen, j.t. and karoly, d.j. ۲۰۱۳. A climatology of Australian severe thunderstorm environments ۱۹۷۹–۲۰۱۱: inter-annual variability and ENSO influence. *International Journal of Climatology*, **۳۴**: ۸۱-۹۷.

Bently, M.; Mote, T. and Thebpany, R. ۲۰۰۲. Using Land Sat to identify thunderstorm change in agricultural region. *Bulletin of.American Meteorological Society*, **۸۳(۳):**۳۶۳-۳۷۶.

Bielec- Baskowska, Z. and Lupikasza, E. ۲۰۰۹. Long-term precipitation variability on thunderstorm days in Poland (۱۹۵۱–۲۰۰۰). *Atmospheric Research*, **۹۳(۱):** ۵۰۶-۵۱۵.

Bielec, Z. ۲۰۰۱, Long-term variability of thunderstorms and thunderstorm precipitation occurrence in Cracow. Poland, in the period ۱۸۹۶–۱۹۹۵. *Atmospheric Research*, **۵۶(۱–۴):** ۱۶۱-۱۷۰.

Changton, S,A. ۲۰۰۱. Thunderstorm rainfall in the conterminous united states, *Bulletin of.American Meteorological Society*, **۸۲(۹)**: ۱۹۲۵-۱۹۴۰.

Dai, A. ۲۰۰۱. Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations**.** *Journal of climate*, **۱۴ (۶)**: ۱۰۹۲-۱۱۱۱.

Dai, A. ۲۰۰۱. Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations**.** *Journal of climate*, **۱۴ (۶):** ۱۱۱۲-۱۱۲۸.

Easterling, D. R. ۱۹۸۹. Regionalization of thunderstorm rainfall in the contiguous U.S. *International Journal of Climatology*, **۹**: ۵۷۹-۵۶۷.

Easterling, R. ۲۰۰۳, Trends in U.S. climate during the twentieth century. *Consequences*, **۲**: ۳-۲.

Florin Necula, M. ۲۰۱۰. Recent changes in Thunderstorm activity in Vaslui. *Present environment and sustainable development*, **۴**: ۴۰۷-۴۱۴.

Geiby, A.; Sen,N.; Puranik,D. and Karekar, R. ۲۰۰۵. Thunderstorm identification from AMSU-B data using and artificial neural network. *Meteorological Application*, **۱۰ (۴)**: ۳۲۹-۳۳۶.

Kunz, M.; Sander,J . and Kottmeier, Ch. ۲۰۰۹. Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. *International journal of climatology*, **۲۹ (۱۵):** ۲۲۸۳–۲۲۹۷.

Nastos, P.T.; Matsangouras,I.T. and Chronis, T.G. ۲۰۱۴. Spatio-temporal analysis of lightning activity over Greece - Preliminary results derived from the recent state precision lightning network . *Atmospheric Research*, **۱۴۴**:۲۰۷-۲۱۷.

Olafasson, H. and et al. ۲۰۰۴. *Seasonal and interannual variability of thunderstorm in Island and origion of air masses in the storm*.

Osmar Pinto, Jr. ۲۰۱۵. Thunderstorm climatology of Brazil: Enso and Tropical Atlantic. *International journal of climatology*, **۳۵**:۸۷۱-۸۷۸. DOI: ۱۰.۱۰۰۲/joc.۴۰۲۲.

Rasuly, A.A. ۱۹۹۶. *Temporal and spatial study of thunderstorm rainfall in the greater Sydney region*. Doctor of Philosophy Thesis. school of Geoscience. university of Wollongong, Australia (new south wales).

Villarini, G. and Smith,J. A. ۲۰۱۳. Spatial and temporal variability of cloud-to-ground lightning over the continental U.S. during the period ۱۹۹۵–۲۰۱۰. *Atmospheric Research*, **۱۲۴**:۱۳۷-۱۴۸.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-05]