

دو فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی، سال ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱

F. khalesi

فریده خالصی، کارشناس ارشد آب و هواشناسی همدید

E-mail: khalesifa@yahoo.com

پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۵

وصول: ۱۳۹۳/۹/۲۳

صن: ۶۰-۴۷

## واکاوی زمانی توفان‌های تندری در ایران

### چکیده

توفان‌های تندری یکی از پدیده‌های آب و هوایی هستند، که به دلیل همراهی با تندر، آذرخش، جست‌باد و بارش شدید افزون بر پیامدهای مثبتی که می‌توانند داشته باشند، موجب آسیب‌های فراوانی در نقاط مختلف دنیا می‌شوند. موقعیت جغرافیایی فلات ایران در عرض‌های جغرافیایی میانی باعث ورود سامانه‌های برون حاره، جنب‌حاره و حاره‌ای در زمان‌های خاصی می‌شود. ورود برخی از این سامانه‌ها فراوانی رخداد این پدیده را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این به دلیل تغییر دمای سطح زمین در طول شبانه‌روز فراوانی رخداد این پدیده در ساعات‌های خاصی به شدت کاهش و یا افزایش می‌یابد. بنابراین واکاوی زمانی توفان‌های تندری، می‌تواند کمک شایانی در جهت بهبود پیش‌بینی پدیده باشد. بدین منظور، داده‌های ساعتی هوای حاضر (WW) مربوط به توفان‌های تندری بدون بارش یا همراه با بارش (کدهای ۱۷ و ۲۹)، توفان تندری ملایم و آرام و بدون تگرگ اما در برخی اوقات همراه با برف و باران و توفان تندری ملایم و آرام، همراه با تگرگ (کدهای ۹۵ و ۹۶)، توفان تندری متلاطم، بدون تگرگ اما همراه با باران و برف و توفان تندری سنگین، همراه با تگرگ (کدهای ۹۷ و ۹۹) و توفان تندری ترکیبی از شن و گرد و غبار (کدهای ۹۸) برای ۴۶ ایستگاه همدید تهیه گردید. این داده‌ها مربوط به یک دوره‌ی آماری ۲۳ ساله (۱۳۸۸-۱۳۶۵) می‌باشد. فراوانی رخداد این پدیده در مقیاس ماهانه و ساعتی محاسبه گردید. نتایج این محاسبات نشان داد که بیش‌ترین فراوانی رخداد کدهای ۱۷ و ۲۹ مربوط به خردادماه ساعت ۰۳:۳۰ محلی، کدهای ۹۵ و ۹۶ مربوط به اردیبهشت‌ماه ساعت ۱۵:۳۰ محلی، کدهای ۹۷ و ۹۹ مربوط به خردادماه ساعت ۰۳:۳۰ محلی و کدهای ۹۸ مربوط به مهرماه ساعت ۱۸:۳۰ محلی می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** واکاوی زمانی، توفان تندری، ایران

### طرح مسئله

توفان‌های تندری در شرایط گرمایی ویژه‌ای رخ می‌دهند. بنابراین در ساعات ویژه‌ای از روز یا روزهای ویژه‌ای از سال فراوانی رخداد آن‌ها افزایش می‌یابد. در این پژوهش به دنبال پاسخگویی به این پرسش هستیم که در ایران چه ساعتی از روز و چه روزهایی از سال برای رخداد پدیده‌ی توفان‌های تندری مناسب‌تر است؟

## پیشینه پژوهش

توفان‌های تندری یکی از مخاطرات هواشناسی محسوب می‌شوند که اکثر اوقات به دلیل ناگهانی بودن رخداد پدیده، آسیب‌های جبران ناپذیر جانی و مالی در زمینه‌ی مناطق مسکونی، ساخت‌وسازها، زمین‌ها و فراورده‌های کشاورزی، مناطق جنگلی، دامپروری و حیات وحش و... وارد کرده است. مثلاً آسیب‌های ناشی از توفان تندری در استان خوزستان در طول دوره‌ی مطالعاتی (۲۰۰۶-۲۰۰۱) مرگ ۲۳ نفر بوده است (عسگری و محبی، ۱۳۸۹، ۱۱۱).

این توفان‌ها هر روز ۵۰۰۰۰ بار در سراسر جهان رخ می‌دهند و سالانه عددی حدود ۱۸۰۰۰۰۰۰ را به خود اختصاص می‌دهند (آرنس، ۲۰۰۵). توفان‌های تندری افزون بر جنبه‌های خطرناکی که دارد دارای زیبایی‌های منحصر به فرد و برکات فراوانی نیز می‌باشد. بارش‌های حاصل از آن می‌تواند منبع مهمی در تأمین آب کشاورزی و آب پشت سدها باشد. و علاوه بر آن باعث گردش آب در طبیعت، ترازمندی انرژی گرمایی زمین، و برقراری انرژی الکتریکی بین هواسپهر و زمین می‌شود (چانگون، ۲۰۰۱). طبق تعریف انجمن هواشناسی ایالات متحده‌ی آمریکا توفان تندری یک توفان محلی است که همواره از ابرهای کومولونیمبوس ناشی می‌شود و همواره با آذرخش و تندر همراه است.

فلات ایران هم به دلیل قرارگیری در عرض‌های میانی محل ورود سامانه‌های برون‌حاره، جنب‌حاره و حاره‌ای در زمان‌های خاصی می‌باشند که ورود برخی از این سامانه‌ها فراوانی رخداد این پدیده را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین به دلیل تغییر دمای سطح زمین در طول شبانه‌روز فراوانی رخداد این پدیده در ساعت‌های خاصی به ویژه در ساعت‌های پس از نیمروز افزایش می‌یابد. در این پژوهش کوشش شده است به شناخت چستی این پدیده و پدیده‌های ناشی از آن (گردبادها، توفان‌های شدید، آذرخش و تندر، تگرگ و بارش‌های شدید) که امری لازم و ضروری جهت برنامه‌ریزی‌های محیطی کشور است، پرداخته شود. با بررسی چگونگی پراکنش زمانی این پدیده در مناطق آسیب‌پذیر کشور، امید است بتوان کمک شایانی در کاهش آسیب‌های احتمالی کرد.

در زمینه‌ی واکاوی زمانی پدیده‌ی توفان‌های تندری پژوهش‌های نسبتاً فراوانی در جهان و ایران انجام گرفته است. به نظر می‌رسد اولین بار چانگون و همکاران (۱۹۸۴) به واکاوی مکانی-زمانی روزهای تندری در جهان پرداخته باشند. هدف اصلی پژوهش ایشان که از داده‌های بلندمدت (۱۹۸۰-۱۹۰۱) استفاده شده است، توصیف نوسان‌های فصلی و سالانه بوده است.

لین‌لین<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۰) به کمک داده‌های ۵۱۷ ایستگاه هواشناسی در سراسر چین به بررسی پراکنش جغرافیایی، تغییرات ده‌ساله و پراکنش سالانه و فصلی روزهای تندری پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که پراکنش رخداد این پدیده در فصول مختلف متفاوت است به طوری که در ماه می (اردیبهشت‌ماه) به سمت شمال کشیده می‌شود و در ماه سپتامبر (شهریورماه) به سمت جنوب عقب‌نشینی می‌کند. مهی و میلر<sup>۴</sup> (۲۰۱۰)، به کمک داده‌های رادار و داده‌های سطح زمین در داکوتای شمالی، در پی شناسایی ویژگی‌های آب‌وهواشناسی توفان‌های تندری بودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که حداکثر فعالیت توفان تندری در خرداد ماه و تیرماه در بعدازظهر و اوایل صبح می‌باشد.

۱- C.Donald Ahrens

۲- Changnon

۳- Linlin

۴- Mohee & Miller

دیویس<sup>۵</sup>(۲۰۱۲)، تغییرات روزانه‌ی توفان‌های تندری را در فرودگاه هیشرو لندن بررسی کرد. نتایج پژوهش‌های وی نشان می‌دهد که اکثر توفان‌های تندری در بعدازظهرها و فقط در بعضی مواقع نیمه‌های شب رخ می‌دهد. بررسی سال به سال فراوانی توفان‌های تندری یک چرخه‌ی دوسالانه را نشان می‌دهد که رابطه‌ی ضعیفی با چرخه‌ی خورشیدی دارد. به دلیل افزایش آسیب‌های ناشی از توفان‌های تندری در پرو هوا (بخشی از کشور رومانی) میک<sup>۶</sup>(۲۰۱۱) به توصیف ماهیت این پدیده و علل رخداد آن پرداخته است. در این پژوهش ۵ ایستگاه هواشناسی انتخاب شده است و پراکنش زمانی-مکانی پدیده جستجو شده است. بیش‌ترین رخداد آن در ماه ژوئن (خرداد) برآورد شده است. مسعودیان(۱۳۸۷،۱۴۱)، چهارقلمرو گسترده جهت توفان‌های تندری شناسایی کرده است. این پژوهشگر دلیل افزایش روزهای تندری در بهار را افزایش گرمایش سطحی و همرفت محلی می‌داند. خوشحال و قویدل (۱۳۸۶،۱۰۱) پدیده‌ی توفان‌های تندری را به عنوان بخشی از ماهیت اقلیم تبریز و کل شمال‌غرب ایران معرفی کرده‌اند که هر ساله آسیب‌های فراوان اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی را متوجه کشاورزان و دامداران می‌کند. در این پژوهش به کمک روش واکاوی خوشه‌ای مشخص شد که ماه می (اردیبهشت) و فصل بهار دارای بیش‌ترین فراوانی رخداد توفان‌های تندری هستند. صلاحی (۱۳۸۹،۱۲۹) نیز به بررسی ویژگی‌های آماری و همدید توفان‌های تندری در استان اردبیل پرداخته است. در این پژوهش نیز بیش‌ترین رخداد توفان‌های تندری متعلق به ماه می (اردیبهشت‌ماه) می‌باشد. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی توفان‌های تندری در غرب کشور با رویکرد کاهش آسیب‌های فراورده‌های کشاورزی در ایستگاه کرمانشاه به عنوان نماینده‌ی غرب ایران پرداخته‌اند. تغییرات بلند مدت پدیده بیانگر روند افزایشی در رخداد پدیده می‌باشد. این پژوهشگران بر این باورند که در ساعات بعدازظهر و اوایل شب احتمال رخداد آن زیاد است. میراحمدی (۱۳۹۱، ۱) به شناسایی ویژگی‌های آماری توفان‌های تندری در کوه‌رنگ بختیاری پرداخته است. بیش‌ترین رخداد این توفان‌ها فصل بهار و ماه آوریل (فروردین) می‌باشد. مدل‌های خطی و چندجمله‌ای نشان دادند که رخداد توفان‌های تندری در ایستگاه مربوطه روند کاهشی دارند. با توجه به پیشینه‌ی پژوهش، مشاهده می‌شود که پژوهش‌های صورت گرفته در کشور در زمینه‌ی توفان‌های تندری بیش‌تر به صورت موردی بوده و پژوهش جامعی صورت نگرفته است. بنابراین هدف این پژوهش واکاوی زمانی توفان‌های تندری در سراسر کشور و تبیین ویژگی‌های این پدیده به کمک آمار ایستگاه‌های همدید کشور می‌باشد.

## داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های بلند مدت ساعتی هوای حاضر (ww) مربوط به پدیده‌ی توفان‌های تندری بهره برده‌ایم. این داده‌ها که به صورت کد ثبت می‌شود از سازمان هواشناسی دریافت شده، و شرح کدهای مورد نظر در این پژوهش در جدول ۱ آمده است. این داده‌ها مربوط به یک دوره‌ی آماری ۲۳ ساله یعنی از سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۶۵ و مربوط به ۴۶ ایستگاه همدید از سراسر ایران است (نگاره‌ی ۱).

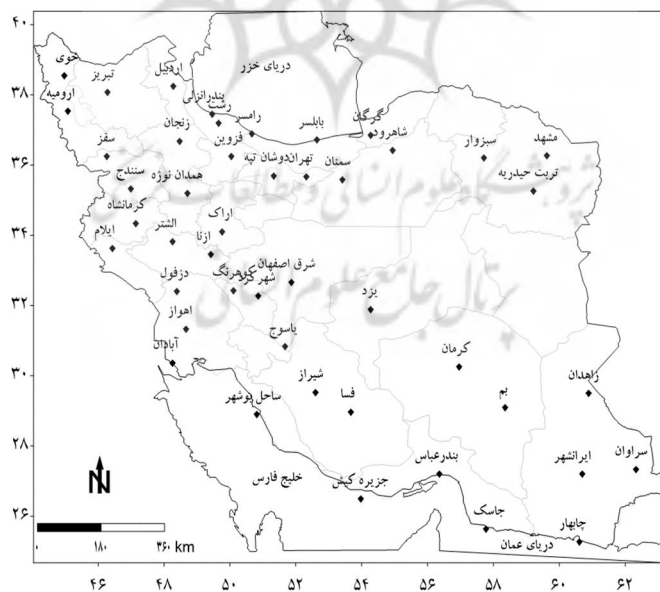
۵- Davis

۶- Mic

داده‌های هوای حاضر (ww) در هشت آرایه به تعداد ساعات دیده‌بانی تنظیم گردید. ستون‌های این آرایه معرف ایستگاه‌ها یعنی ۴۶ ستون و سطرهای آن معرف روزهای دیدبانی یعنی ۸۴۰۱ سطر می‌باشد. تنظیم این داده‌ها در نرم افزار متلب و محاسبه‌ی فراوانی کدها با استفاده از روش‌های آماری صورت گرفته است. به این صورت که فراوانی رخداد کدهای مربوط به توفان تندری در مقیاس‌های زمانی ساعتی و ماهانه در نرم افزار متلب محاسبه شده است. نتایج حاصل از محاسبات با استفاده از نرم افزار اکسل و سرفر به صورت نمودارهای فراوانی و نقشه‌های طبقه‌بندی شده به نمایش در آمده است.

جدول ۱) شرح کدهای مربوط به پدیده‌ی توفان تندری که در زمان دیدبانی رخ داده است.

کد پدیده	تعریف کدها
کد ۱۷	توفان تندری بدون بارش
کد ۲۹	توفان تندری بدون بارش یا همراه با بارش
کد ۹۵	توفان تندری، ملایم و آرام و بدون تگرگ اما در بعضی اوقات همراه با برف و باران
کد ۹۶	توفان تندری، ملایم و آرام، همراه با تگرگ
کد ۹۷	توفان تندری متلاطم، بدون تگرگ اما همراه با باران و برف
کد ۹۸	توفان تندری ترکیبی از شن و گرد و غبار
کد ۹۹	توفان تندری سنگین، همراه با تگرگ



نگاره‌ی ۱) پراکندگی ایستگاه‌ها جهت واکاوی زمانی در طول دوره‌ی آماری (۱۳۶۵-۱۳۸۸)

## بحث

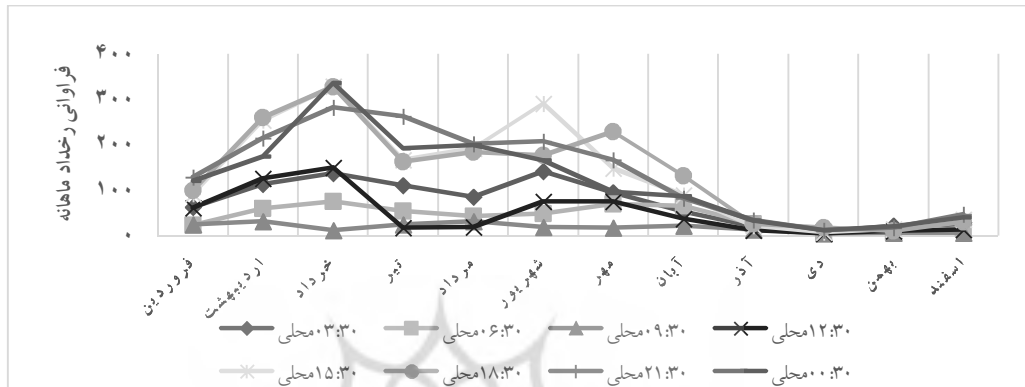
از آنجایی که هر کدام از کدهای مربوط به توفان تندری بیانگر حالت خاصی از پدیده می‌باشد، به همین منظور فراوانی رخداد کدهای مربوط به توفان تندری در مقیاس‌های زمانی ساعتی و ماهانه هر کدام از کدهای مشابه در طول دوره‌ی آماری ۲۳ ساله به صورت جداگانه محاسبه شده است.

کدهای شماره ۱۷ و ۲۹ (کد ۱۷: توفان تندری بدون بارش کد ۲۹: توفان تندری همراه با بارش و یا بدون بارش) این دو کد از توفان تندری نماینده‌ی توفان‌های تندری معمولی می‌باشند که از شدت و سرعت بالایی برخوردار نمی‌باشند و در صورتی که جو از نم‌نسبی بالایی برخوردار باشد می‌تواند همراه با بارش باشد و در غیر این صورت بدون بارش هستند. نگاره‌ی ۲ نشان می‌دهد که تمرکز پدیده در ساعت‌های مختلف خردادماه و شهریورماه بوده است و بیش‌ترین فراوانی مربوط به ساعت ۰۰:۳۰ محلی خردادماه با فراوانی ۳۳۶ بار در طول دوره‌ی آماری و سپس مربوط به ساعت‌های ۱۸:۳۰ و ۱۵:۳۰ همان ماه می‌باشد. به طور کلی از آذرماه تا فروردین‌ماه و در ساعت ۰۹:۳۰ محلی به دلیل کاهش شدید دمای سطح زمین میزان رخداد پدیده به کم‌ترین مقدار خود رسیده است. این امر بیانگر متغیر بودن میزان پایداری جو در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز می‌باشد. علاوه بر این در شب‌ها و روزهای ابری که ابرها جلو دریافت انرژی تابشی توسط زمین را می‌گیرند، پدیده‌ی همرفت نیز به حداقل می‌رسد.

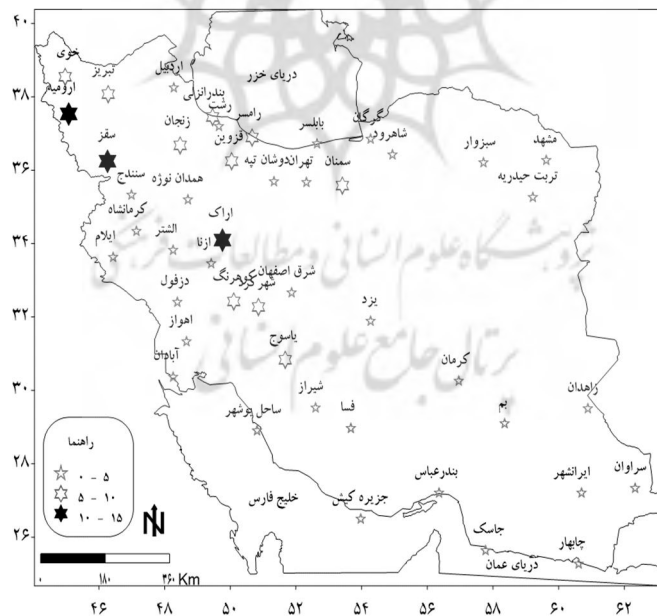
در خردادماه به دلیل واقع شدن در فصل گذار، دامنه‌های آفتابگیر در مناطق کوهستانی، انرژی تابشی بیشتری دریافت می‌کنند؛ زیرا در بهار و پاییز زاویه‌ی تابش آفتاب بر دامنه‌های یاد شده تندتر از زمین‌های مسطح است. این اختلاف دما به ناپایداری هوای روی دامنه می‌انجامد و سبب صعود آن می‌شود. این فرایند که به همرفت دامنه‌ای معروف است ویژه‌ی دامنه‌های آفتابگیر در نواحی برون حاره است (کاویانی، علیجانی، ۱۳۸۷: ۲۴۶). افزون بر این در خردادماه سامانه‌ی پرفشار پویشی جنب‌حاره هنوز به طور کامل فعال نشده است که همین باعث می‌شود هوا بهتر امکان صعود پیدا کند. البته به دلیل کاهش نم‌نسبی در اواخر بهار صعود هوا یا بدون بارش و یا با بارش بسیار کمی همراه است. برای آگاهی از ایستگاه‌های دارای فراوان‌ترین رخداد کدهای ۱۷ و ۲۹ در ساعت ۰۰:۳۰ خردادماه، نقشه‌ی مربوط به آن ترسیم شده است (نگاره‌ی ۳). در این نقشه ایستگاه‌های اورمیه، سقز و اراک در درجه‌ی اول و سپس ایستگاه‌های خوی، تبریز، بندر انزلی، رامسر، زنجان، سمنان، شاهرود، شهرکرد، کوه‌رنگ و یاسوج از بیش‌ترین فراوانی‌ها برخوردار می‌باشند.

شهریور دومین ماهی است که در ساعت ۱۵:۳۰ محلی با فراوانی رخداد ۲۹۱ بار در طول دوره‌ی آماری از بیش‌ترین فراوانی برخوردار می‌باشد. در اواخر تابستان و از شمال به سمت جنوب کشور از شدت فعالیت سامانه‌ی پرفشار پویشی کاسته می‌شود و به همین دلیل امکان صعود در شهریورماه نسبت به بقیه‌ی ماه‌های تابستان فراهم‌تر است. نگاره‌ی ۴ بیانگر این موضوع است که این پدیده غالباً در ایستگاه‌های ازنا، سمنان و شاهرود مشاهده می‌شود. ازنا به لحاظ قرارگیری در موقعیت دره‌ای، در طول روز از تابش خورشید بهره‌مند می‌شود. تابش دیواره‌های دره را گرم نموده و آن‌ها هم به نوبه‌ی خود هوای مجاور خود را گرم می‌نمایند. این هوا از هوای هم‌ارتفاع خود بر فراز دره رقیق‌تر گردیده و صعود می‌نماید که به عنوان نسیم دره شناخته می‌شود. این بادها در اوایل صبح وزیدن گرفته و در میانه‌ی روز به حداکثر سرعت خود می‌رسند که در صورت وجود رطوبت باعث شکل‌گیری ابرهای کومولوس و توفان تندری می‌گردند.

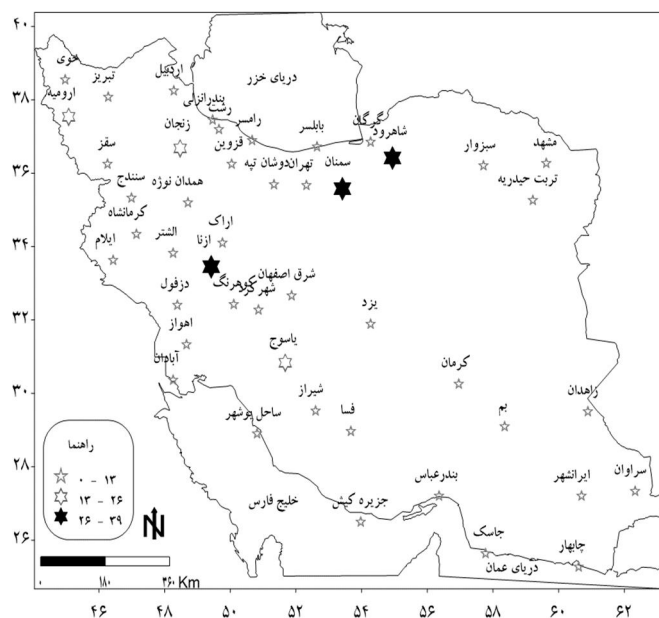
ایستگاه‌های سمنان و شاهرود نیز به لحاظ موقعیت جغرافیایی ویژه‌ای که دارند از فراوانی نسبتاً بالایی برخوردارند. این ایستگاه‌ها از سمت شمال به ارتفاعات البرز جنوبی و از سمت جنوب به دشت کویر مرکزی محدود شده است که قسمت شمالی ایستگاه‌ها به دلیل مجاورت با مناطق ساحلی شمال کشور از رطوبت نسبتاً بالایی نسبت به مناطق جنوبی آن برخوردار می‌باشد و امکان رخداد ناپایداری‌ها در این قسمت از ایستگاه‌ها افزایش می‌یابد. فراوانی رخداد دو کد ۱۷ و ۲۹ از توفان تندری از آذرماه تا فروردین‌ماه و از تیرماه تا شهریورماه و در ساعت ۰۰:۳۰ محلی بسیار کاهش می‌یابد و در خردادماه و ساعت‌های بعد از ظهر فراوانی آن به بالاترین میزان خود می‌رسد.



نگاره‌ی (۲) پراکنش ماهانه‌ی کدهای ۱۷ و ۲۹



نگاره‌ی (۳) نقشه‌ی پراکنش فراوانی کدهای ۱۷ و ۲۹ در ساعت ۰۰:۳۰ خردادماه



نگاره‌ی (۴) نقشه‌ی پراکنش فراوانی کدهای ۱۷ و ۲۹ در ساعت ۱۵:۳۰ شهریورماه

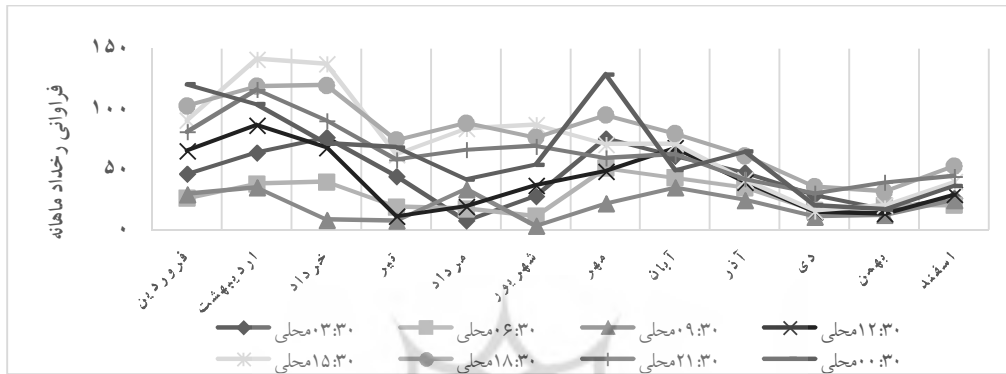
کدهای ۹۶، ۹۵ (کد۹۵: توفان تندری، ملایم و آرام و بدون تگرگ اما در بعضی اوقات همراه با برف و باران، کد۹۶: توفان تندری، ملایم و آرام، همراه با تگرگ)

توفان‌های تندری افزون بر وزش بادهای شدید، ممکن است موجب بارش برف و باران و یا تگرگ نیز شوند. در واقع با قرار گرفتن ابرهای جوششی در بالای تراز یخبندان، ذرات ابر بیش‌تر رشد کرده، سنگین‌تر شده تا جایی که جریان‌های صعودی دیگر توان شناورسازی آن‌ها را نخواهند داشت و شروع به ریزش می‌کنند. بارش باران از ابرهای کومولوس و کومولونیمبوس غالباً به صورت رگبار می‌باشد. رگبار از قطرات درشت تشکیل شده که به طور پراکنده و کوتاه مدت می‌بارند و به سرعت بارش آن‌ها قطع می‌شود. بارش برف از این نوع ابرها نیز مانند بارش رگبار اغلب کوتاه مدت، مشوش و پراکنده بوده و مقدار آن نیز اندک می‌باشد. بارش تگرگ هم ممکن است به سه شکل تگرگ‌نرم، تگرگ‌ریز و تگرگ ظاهر شود.

نگاره‌ی ۵ نشان می‌دهد که فراوانی این پدیده در ساعت‌های اولیه‌ی صبح و در فصول تابستان و زمستان بسیار کاهش و در فصول بهار و پاییز نسبتاً افزایش می‌یابد. بیش‌ترین فراوانی رخداد این پدیده مربوط به اردیبهشت‌ماه ساعت ۱۵:۳۰ محلی به میزان ۱۴۱ بار و سپس در خردادماه به میزان ۱۳۷ بار در همان ساعت و سپس در مهرماه ساعت ۰۰:۳۰ محلی به میزان ۱۲۸ بار می‌باشد. نکته‌ی قابل توجهی که در مورد این نگاره وجود دارد این است که میزان رخداد این دو کد در زمستان هرچند ناچیز می‌باشد اما هرگز به صفر نرسیده است و می‌توان این گونه بیان نمود که انتظار رخداد کدهای ۹۵ و ۹۶ در زمستان بیش از دیگر کدها می‌باشد. ماهیت این توفان‌ها در اواخر پاییز و اوایل زمستان غالباً جبهه‌ای بوده و همراه با فرارفت هوای گرم در نیمه‌ی پایینی هوا سپهر می‌باشد (عسگری، محبی، ۱۳۸۹). فرایند تشکیل توفان‌های تندری به واسطه‌ی جبهه‌ی سرد به این صورت می‌باشد که در خط جبهه‌ی هوای سرد به زیر هوای گرم خزیده و موجب می‌شود تا هوای گرم صعود کند. دقیقاً شبیه به نیرویی که توسط پارو ایجاد شده و موجب بالا رفتن برف بر روی

سراسیمی پارو می‌شود. هوای مرطوب و ناپایدار مشروط به محض صعود، چگالش یافته و یک رشته از ابرهای کومولوس را شکل می‌دهد. ابرها معمولاً خیلی جلوتر از جبهه قابل مشاهده می‌باشند و در خط جبهه نوار نسبتاً باریکی از توفان، تندر و آذرخش، بارش‌های رگباری و جست‌باد ایجاد می‌کنند (آرنس، ۲۰۰۵).

طبق نگاره‌ی ۶ که مربوط به اردیبهشت‌ماه ساعت ۱۵:۳۰ محلی می‌باشد ایستگاه ازنا در درجه‌ی اول و سپس ایستگاه‌های سندج، کرمانشاه، زنجان و کوه‌رنگ از بیشترین فراوانی‌ها برخوردارند. عامل ارتفاع، نقش رطوبتی دریای عرب و چرخندهای مدیترانه‌ای دلیل اصلی این ناپایداری‌ها و بارش‌ها در این ایستگاه‌ها می‌باشد.



نگاره‌ی ۵) پراکنش ماهانه‌ی کدهای ۹۵ و ۹۶

کدهایی که تا کنون در مورد آن‌ها بحث شد، نماینده‌ی توفان تندری ملایم آرام می‌باشد اما سه کد باقی‌مانده نماینده‌ی توفان‌های تندری متلاطم و سنگین می‌باشد که میزان رخداد آن‌ها در ایران بسیار اندک می‌باشد.

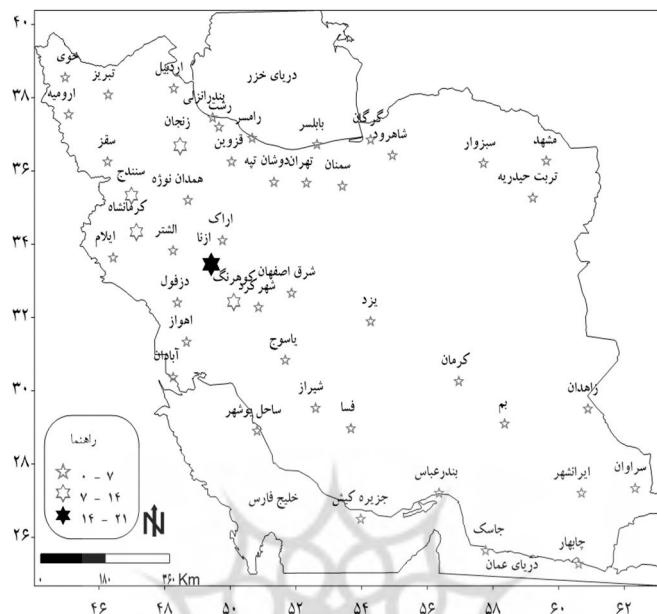
کدهای ۹۹، ۹۷ (کد ۹۷: توفان تندری متلاطم، بدون تگرگ اما همراه با باران و برف و کد ۹۹: توفان تندری سنگین، همراه با تگرگ)

احتمال تشدید یک توفان تندری، به عمر توفان بستگی دارد و با گذشت زمان نیز افزایش می‌یابد. هرچه توفان از عمر طولانی‌تری برخوردار باشد، احتمال اینکه پدیده‌های شدیدتری مانند تگرگ‌های سنگین، حرکت‌های پایین رونده، نزول شدید هوا و پیچندها را به همراه آورد، بیش‌تر خواهد بود (آرنس، ۲۰۰۵). افزایش عمر یک توفان تندری به نحوه‌ی چینش باد وابسته است. چینش شدید باد موجبات چرخش افقی توفان را فراهم می‌آورد و در حین تمایل به سمت جریان بالارونده، باعث چرخش آن خواهد شد. در این شرایط است که ممکن است توفان تندری رشد نموده، بزرگ‌تر شود و چرخه‌ی حیات آن طولانی‌تر گردد و به توفان شدید یا چند یاخته‌ای تبدیل شود.

طبق نگاره‌ی ۷ بیش‌ترین فراوانی رخداد این دو کد مربوط به فصل بهار به ویژه خردادماه ساعت ۳:۳۰ بامداد به میزان ۴۶ بار می‌باشد که با توجه به نقشه‌ی بدست آمده از فراوانی رخداد در این ساعت ایستگاه‌های کوه‌رنگ و تربت‌حیدریه از بیش‌ترین فراوانی‌ها برخوردار می‌باشند (نگاره‌ی ۸). پس از فصل بهار بیش‌ترین فراوانی مربوط به مهرماه ساعت ۱۸:۳۰ محلی به میزان ۱۶ بار می‌باشد که با توجه به نقشه‌ی مربوط به این ساعت بیش‌ترین فراوانی مربوط به ایستگاه‌های



یزد، کوهرنگ و تربت حیدریه می‌باشد نگاره‌ی ۹). نکته‌ی دیگر در مورد نگاره‌ی ۷، این که این پدیده در تیرماه ساعت ۲۱:۳۰ از فراوانی رخداد نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشد.

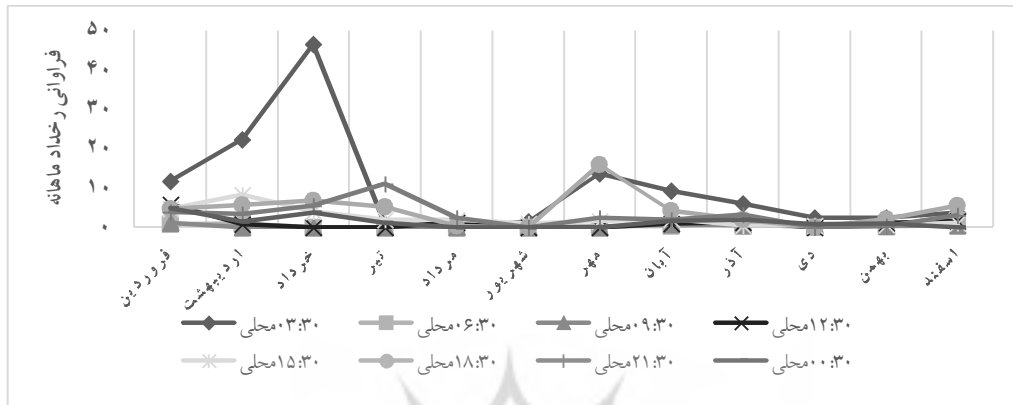


نگاره‌ی ۶) نقشه‌ی پراکنش فراوانی کدهای ۹۵ و ۹۶ در ساعت ۱۵:۳۰ شهریورماه

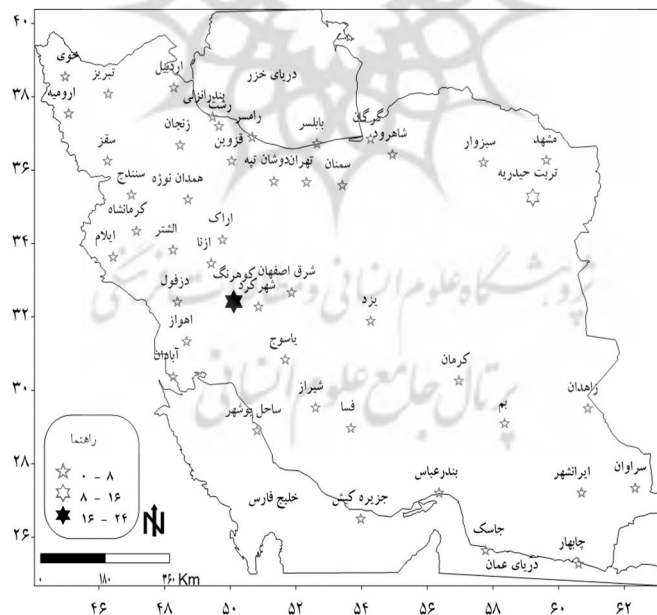
استان چهارمحال و بختیاری به سبب وجود ارتفاعات برفگیر قابل توجهی که دارد و همچنین استقرار ذخایر عظیم آبی، وجود رودخانه‌ها و نیز ورود جریان‌های مرطوب از شرایط نسبتاً مناسبی به لحاظ رطوبت جوی برخوردار می‌باشد. ایستگاه کوهرنگ با ارتفاعی تقریباً معادل ۲۳۶۵ متر از تراز دریا در شمال غرب این استان واقع شده است و از نظر جغرافیای طبیعی و عناصر آب و هوایی تشکیل دهنده آن از شرایط مناسبی برای رخداد توفان‌های تندری متلاطم نسبت به بقیه‌ی ایستگاه‌ها برخوردار می‌باشد. متوسط رطوبت هوا در این ایستگاه ۴۶ درصد و میانگین دمای هوا برابر با ۹/۲ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد. با افزایش دما در اواخر فصل بهار و تابستان اختلاف دما بین مناطق مرتفع و دامنه‌ها گسترش می‌یابد که افزایش سرعت وزش باد و پدیده‌ی همرفت را به دنبال دارد. طبق آمار سازمان هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری شدیدترین باد وزیده شده در استان نیز مربوط به ایستگاه کوهرنگ بوده و برابر با ۲۸ متر در ثانیه می‌باشد (تارنمای هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری). بنابراین همه‌ی عوامل ذکر شده باعث شده است شدیدترین ناپایداری‌ها در این ایستگاه رخ دهد.

ایستگاه تربت حیدریه که در مرکز استان خراسان رضوی واقع شده است، دارای بیشترین سرعت وزش باد طی دوره‌ی آماری بلند مدت و برابر با ۲۸ متر در ثانیه می‌باشد. توده‌هوای پر فشار سبیری از اوایل فصل پاییز تا اواخر فصل بهار از شمال شرق کشور وارد شده و گاه کل استان خراسان رضوی را طی این مدت پوشش می‌دهد. در اثر برخورد این توده‌ها با توده‌های مدیترانه‌ای که از غرب می‌رسد جبهه‌ی گسترده‌ای به وجود آمده و تأثیراتش به صورت رگبار و تندر و آذرخش در نوار جنوبی استان می‌باشد (تارنمای هواشناسی استان خراسان رضوی).

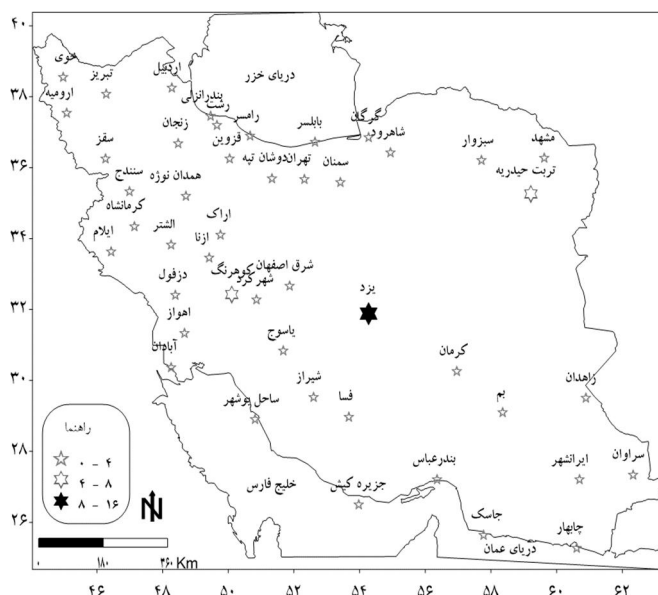
ایستگاه یزد دارای بیشترین فراوانی رخداد در مهرماه ساعت ۱۸:۳۰ محلی می‌باشد. در آغاز دوره‌ی سرد سال و انتقال فصل (از مهرماه به بعد) با وزش بادهای شدید که در پی تغییرات سریع فشار و دما رخ می‌دهد، ناپایداری‌های جوئی در این منطقه افزایش می‌یابد و از طرف دیگر با توجه به این که این منطقه از اطراف به وسیله ارتفاعات محدود می‌شود این امر موجب افزایش تلاطم گردیده و صورت وجود رطوبت کافی موجب بارش نیز می‌گردد.



نگاره ۷) پراکنش ماهانه‌ی کدهای ۹۷ و ۹۹



نگاره ۸) نقشه‌ی پراکنش فراوانی کدهای ۹۷ و ۹۹ در ساعت ۰۳:۳۰ خردادماه



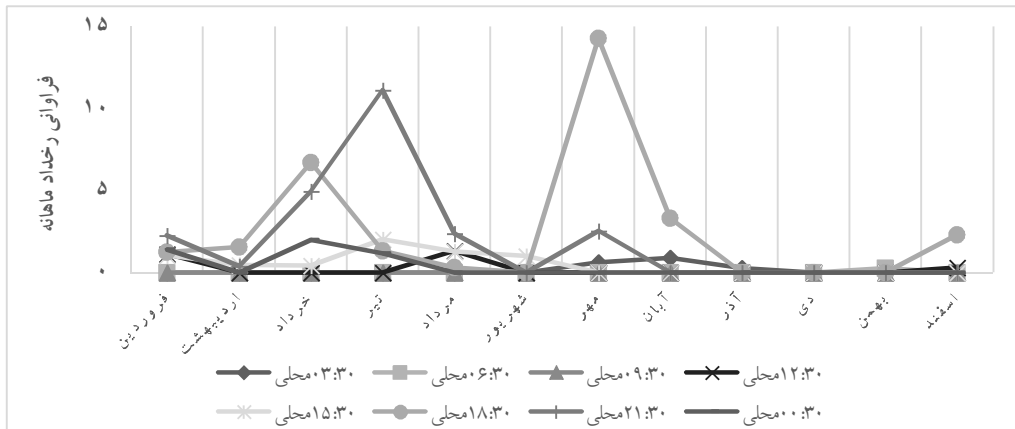
نگاره‌ی ۹) نقشه‌ی پراکنش فراوانی کدهای ۹۵ و ۹۶ در ساعت ۱۸:۳۰ مهرماه

کد شماره ۹۸ (توفان تندری ترکیبی از شن و گرد و غبار)

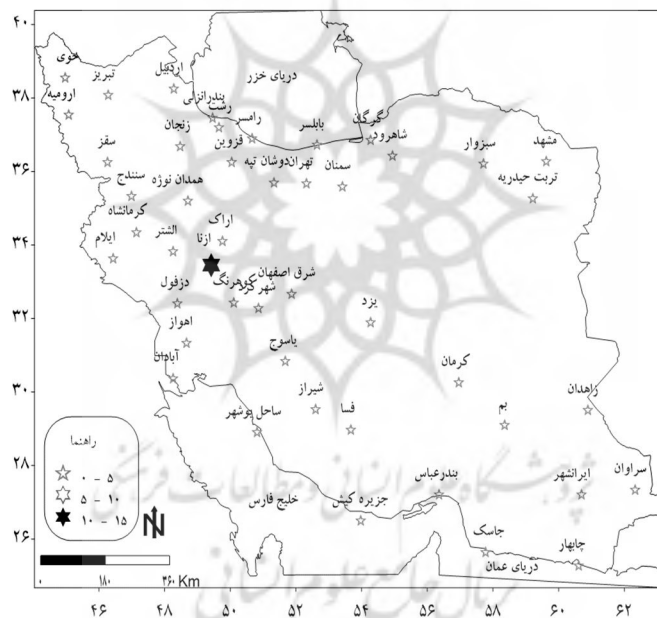
توفان‌های گردوغبار در مناطق خشکی که بادهای شدید بتوانند ذرات ریز غبار را از روی زمین جدا کرده و به آسمان ببرند، تشکیل می‌شوند. توفان شن در نواحی بیابانی و کویری که غالباً پوشیده از شن‌های روان می‌باشد گرمایش سطح زمین سبب ناپایداری و صعود شن‌ها توسط باد می‌گردد. سرعت حرکت این توفان‌ها ممکن است به بیش از ۹۰ کیلومتر در ساعت برسد و دید افقی را تا صفر کیلومتر کاهش دهد. این سامانه‌ها غالباً از رطوبت بسیار کمی برخوردارند و همین باعث شده همراه با گرد و غبار و بدون بارش باشند.

فراوانی رخداد این نوع توفان در ایران بسیار نادر است و غالباً در ماه‌های خرداد، تیر و مهر مشاهده می‌شود. طبق نگاره‌ی ۱۰ بیش‌ترین فراوانی رخداد این کد متعلق به مهرماه ساعت ۱۸:۳۰ محلی به میزان ۱۴ بار در ایستگاه ازنا می‌باشد (نگاره‌ی ۱۱). دومین فراوانی مربوط به تیرماه ساعت ۲۱:۳۰ محلی به میزان ۱۱ بار در ایستگاه تربت‌حیدریه می‌باشد (نگاره‌ی ۱۲).

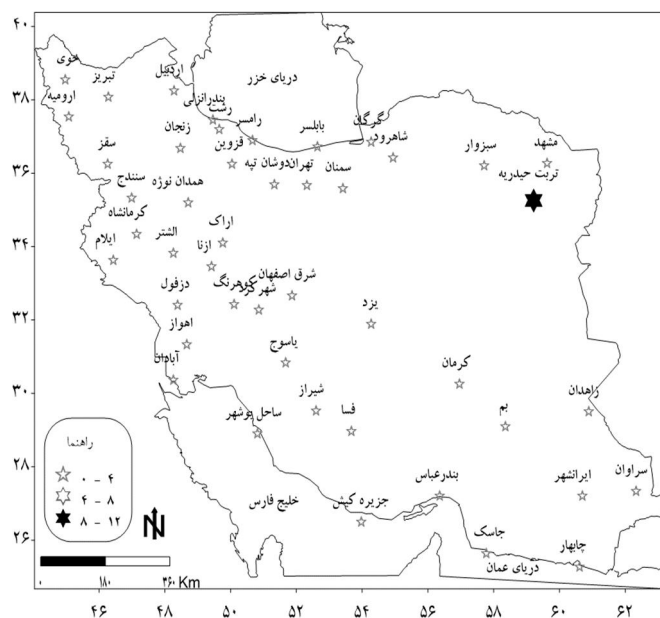
نکته‌ی قابل توجهی که در نگاره‌ی مربوط به پراکنش ماهانه‌ی کدهای ۹۷، ۹۹ و ۹۸ بیشتر مشاهده می‌گردد، افزایش توفان تندری در ساعت ۲۱:۳۰ محلی تیرماه می‌باشد. این احتمال وجود دارد که در زمان رخداد این توفان‌ها در تیرماه سامانه‌ی پرفشار پویشی هنوز به اوج فعالیت خود نرسیده است و هوا پس از ناپایداری فرصت صعود پیدا کرده و در ساعت ۲۱:۳۰ محلی این ناپایداری‌ها به اوج خود رسیده است.



نگاره‌ی ۱۰) پراکنش ماهانه‌ی کد ۹۸



نگاره‌ی ۱۱) نقشه‌ی پراکنش فراوانی کد ۹۸ در ساعت ۱۸:۳۰ مهرماه



نگاره‌ی ۱۲) نقشه‌ی پراکنش فراوانی کد ۹۸ در ساعت ۲۱:۳۰ تیرماه

## یافته‌ها

در این پژوهش فراوانی رخداد کدهای مربوط به توفان تندری در مقیاس‌های زمانی ساعتی و ماهانه در دوره‌ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۶۵ به کمک داده‌های ۴۶ ایستگاه همدید بررسی شد. این بررسی نشان داد چرخه‌ی دما در مقیاس‌های زمانی گوناگون، نقش بزرگی در فراوانی رخداد پدیده‌ی توفان تندری بازی می‌کند؛ به گونه‌ای که بیش‌ترین فراوانی رخداد پدیده به دلیل حاکمیت فرایند همرفت دامنه‌ای در فصل بهار مربوط به فصل بهار و در مقیاس ساعتی مربوط به ساعت‌های بعدازظهر می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی فراوانی کدها به طور جداگانه نیز نشان داد که بیش‌ترین فراوانی کدهای ۱۷ و ۲۹ (توفان‌های تندری بدون بارش یا همراه با بارش) مربوط به خردادماه ساعت ۰۰:۳۰ محلی، کدهای ۹۵ و ۹۶ (توفان تندری ملایم و آرام و بدون تگرگ اما در بعضی اوقات همراه با برف و باران و توفان تندری ملایم و آرام، همراه با تگرگ) مربوط به اردیبهشت‌ماه ساعت ۱۵:۳۰ محلی، کدهای ۹۷ و ۹۹ (توفان تندری متلاطم، بدون تگرگ اما همراه با باران و برف و توفان تندری سنگین، همراه با تگرگ) مربوط به خردادماه ساعت ۰۳:۳۰ محلی و کد ۹۸ (توفان تندری ترکیبی از شن و گرد و غبار) مربوط به مهرماه ساعت ۱۸:۳۰ محلی می‌باشد.

## منابع

- ۱- آرنس، دونالد. (۲۰۰۵). هواشناسی نوین مقدمه‌ای بر هوا، اقلیم و محیط، ترجمه محمدرضا بابایی ویرایش هشتم، انتشارات آبیژ.
  - ۲- خوشحال، جواد؛ قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۸۶). «شناسایی ویژگیهای سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر توفانهای تندری در تبریز)»، فصلنامه مدرس علوم انسانی، صص ۱۱۴-۱۰۱.
  - ۳- صلاحی، برومند. (۱۳۸۹). «بررسی ویژگی‌های آماری و همدیدی توفان‌های تندری استان اردبیل»، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ش ۷۲، صص ۱۴۱-۱۲۹.
  - ۴- عسگری، احمد؛ محبی، فرشته. (۱۳۸۹). «مطالعه آماری-همدیدی توفان‌های تندری در استان خوزستان»، چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، صص ۱۱۹-۱۱۱.
  - ۵- کاویانی، محمدرضا؛ علیجانی، بهلول. (۱۳۸۷). مبانی آب و هواشناسی، چاپ چهاردهم، انتشارات سمت، ص ۵۸۲.
  - ۶- محمدی، فرشته؛ صلاحی؛ برومند؛ همتی، رسول. (۱۳۹۱). «بررسی توفان‌های تندری غرب کشور با رویکرد کاهش خسارات محصولات کشاورزی»، همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک.
  - ۷- مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۳۹۰). آب و هوای ایران، انتشارات شریعی توس مشهد، چاپ اول، ص ۲۸۸.
  - ۸- میراحمدی، اکبر. (۱۳۹۱). «بررسی ویژگی‌های آماری توفان‌های تندری در کوه‌رنگ بختیاری»، همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای (چالش‌ها و فرصت‌ها)، صص ۱-۶.
  - 10- Changnon. Stanley A. (2001). Thunderstorm rainfall in the conterminous United States, American meteorological society. Vol. 82. No. 9: 1925-1940
  - 11- Changnon, Stanley A. Chin Fei Hsu. Jr. (1984) Temporal distributions of global thunder days, State water survey division. 1-76
  - 12- Davis. N. E.. (2012). Diurnal variation of thunder at Heathrow airport, London, Weather. 24: 66-72
  - 13- Lin-Lin. Zheng, Jian-Hua. Sun, Jie. Wei. (2010). Thunder events in China: 1980-2008. 1-20
  - 14- Mic. Loredana-Elena. (2011). Thunderstorms phenomena in the Prahova's corridor, outstanding climatic hazards, Riscuri si catastrofe. Vol. 9, No. 1: 133-145
  - 15- Mohee. Faizul M, Miller. Craig. (2010). Climatology of thunderstorm for North Dakota, 2002-06, Meteology and climatology. 49: 1881-189
- 16- <http://www.chaharmahalmet.ir>
- 17- <http://www.razavimet.gov.ir/tabid/1102/Default.aspx>