فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و دوم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۶، شماره پیاپی ۱۲۶

سیّده محبوبه موسوی، دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد **S. M. Moosavi**
دکتر آذر زرّین، استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد **Dr.A. Zarrin**
دکتر عبّاس مفیدی، استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد **Dr.A. Mofidi**
سیّده فاطمه حسینی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد **S. F. Hosseini**
zarrin@um.ac.ir

بررسی ارتباط بین فراوانی وقوع توفان‌های تندری و روند دما در شهر مشهد

دریافت مقاله: ۹۶/۴/۲۴ پذیرش نهایی: ۹۶/۷/۲۷

DOI:10.18869/acadpub.geores.32.3.74

چکیده

هدف پژوهش حاضر بررسی رابطهٔ فراوانی وقوع توفان‌های تندری در شهر مشهد و روند میانگین دما می‌باشد. برای این منظور از داده‌های میانگین ماهانه و سالانهٔ فراوانی وقوع توفان‌های تندری و میانگین ماهانه و سالانهٔ دما در طی شصت سال (۲۰۱۰-۱۹۵۱ میلادی) استفاده شد. با بهره‌گیری از داده‌های مذکور مشخص شد که حداکثر فراوانی رخداد توفان تندری در شهر مشهد در ماه می (فصل بهار) اتّفاق افتاده است و حداکثر میانگین ماهانهٔ دما در دورهٔ موردبررسی، متعلّق به ماه جولای است. نتایج بررسی و تحلیل داده‌ها و نمودارها نشان داد که میانگین سالانهٔ دما با وجود تغییرپذیری نسبی، افزایش محسوسی داشته است. همچنین میانگین سالانهٔ فراوانی رخداد توفان‌های تندری در شهر مشهد نیز با وجود افت و خیزهای زیاد، به طور کلی روند افزایشی دارد. در نهایت مشخص شد بین میانگین سالانهٔ دما و فراوانی رخداد توفان‌های تندری در منطقهٔ موردمطالعه، همبستگی و ارتباط مستقیم وجود دارد؛ بدین معنی که با افزایش میانگین دما، تعداد وقوع توفان‌های تندری نیز افزایش‌یافته است. همچنین نتیجهٔ شبیه‌سازی یک مورد توفان تندری بر روی منطقه توسط مدل وُرف[1] نشان داد که این مدل توانایی قابل قبولی در پیش‌بینی و نمایش توفان‌های مذکور دارد و خروجی‌های مدل قابل اعتماد هستند. البته هر چه پارامترهایی مانند قدرت تفکیک انتخاب‌شده مقدار بیشتر و بهتری داشته باشند، ارزش و دقّت خروجی‌های مدل نیز قابل ملاحظه‌تر خواهد بود. بر همین اساس می‌توان از قابلیت این مدل برای پیش‌بینی رخداد توفان‌های تندری در آینده نیز استفاده نمود.

واژگان کلیدی: توفان تندری، روند دما، مشهد، مدل وُرف (WRF)

مقدمه

توفان تندری ازجمله پدیده‌های هواشناسی است که در اغلب نقاط دنیا مشاهده می‌شود. این رخداد طبیعی در عین دارا بودن مزایایی ازجمله در پی داشتن بارش در بیشتر موارد و جذابیت بصری به دلیل همراه داشتن آذرخش، جزو شدیدترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی است که همه ساله علاوه بر خسارات شدید در بخش‌های مختلف اقتصادی، باعث تلفات انسانی نیز می‌گردد. دلیل

1 WRF: Weather Research and Forecasting Model

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]

نام‌گذاری پدیدهٔ مذکور نشأت گرفته از ماهیت مخاطره‌آمیز و آسیب‌رسان آن و هم‌چنین تظاهرات جوّی خاصی است که همراه آن رخ می‌دهند که شامل: رعدوبرق (صاعقه، آذرخش)، تگرگ، رگبارهای شدید و سیل‌آسا، وزش بادهای شدید می‌باشند. در سال‌های اخیر با گسترش شهرنشینی و دست‌اندازی انسان به‌نظام طبیعت، میزان آسیب‌پذیری جوامع انسانی از مخاطرات طبیعی افزایش‌یافته است. توفان‌های تندری یکی از مخاطرات هواشناسی محسوب می‌شوند که اکثر اوقات به دلیل ناگهانی بودن رخداد پدیده، آسیب‌های جبران ناپذیر جانی و مالی درزمینهٔ مناطق مسکونی، ساخت‌وسازها، زمین‌ها و فرآورده‌های کشاورزی، مناطق جنگلی، دام‌پروری و حیات وحش و... وارد کرده‌اند (خالصی، ۱۳۹۳: ۴۸). به‌صورت کلی به دلیل همراهی توفان تندری با رگبارهای باران و برف و تگرگ و نقش مؤثر آن در ایجاد سیل‌های ناگهانی، هم از جنبهٔ کشاورزی و هم از نظر خسارات جانی و مالی، این پدیده همواره مورد توجّه محققان بوده است (لشگری، حجتی، ۱۳۹۱: ۱۴). پدیدهٔ توفان تندری، هر ساله موجب خسارات جانی و مالی در نقاط مختلف ایران می‌شود. از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶ (به‌استثنای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴)، ۷۹ مورد توفان تندری مخرّب گزارش‌شده است که خسارات جانی و مالی داشته‌اند؛ به‌طوری‌که در دورهٔ آماری پیش‌گفته، بر اثر این پدیده در سطح کشور، ۹۴ تن کشته و ۱۳ تن زخمی شدند و به ۱۳۹ خانه خسارت وارد شد. با توجه به آمار گزارش‌شده در طی چهارده سال، به طور متوسّط در هر سال در حدود ۶ تن بر اثر این رخداد در سطح کشور جان خود را از دست داده‌اند (خزایی، ۱۳۹۳: ۲۰۸). در ایران، روزهای تندری (همراه با توفان تندری و آذرخش که نمایندهٔ ناپایداری‌های شدید است) چندان فراوان نیست و میانگین سالانهٔ آن به ده روز هم نمی‌رسد؛ ولی در برخی مناطق مانند شمال غرب کشور، تندر شاخصهٔ اقلیم بوده و این منطقه به‌عنوان اولین قلمرو تندری کشور ایران با میانگین ۵۰ روز و بیشتر، شناخته می‌شود (فرجی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۲).

در منطقهٔ شمال شرق کشور باوجود محدود بودن نسبی رخداد، توفان‌های تندری یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد سیلاب‌های خطرساز هستند. با توجّه به اقلیم غالب نسبتاً گرم و خشک و شکل زمین‌شناختی خاص این مناطق، در صورت وقوع بارش‌های سنگین و شدید تولیدشده توسط این توفان‌ها -که زمینه‌ساز وقوع سیلاب‌های لحظه‌ای[1] می‌باشند- وارد آمدن خسارات فراوان به بخش‌های کشاورزی و مسکونی بسیار محتمل خواهد بود. به‌عنوان یک نمونهٔ شاخص این رخداد در شهر مشهد، می‌توان از توفان تندری و رگبار بی‌سابقهٔ یک دههٔ اخیر، مورّخ ۱۷ اردیبهشت ۱۳۹۴ نام برد. این توفان گسترده، ۴۷۱ مورد آب‌گرفتگی در استان را رقم زد؛ ۳۲۹ منزل و ۱۴۲ خیابان شهر دچار آبگرفتگی شدند و ۵۳۹ شکستگی و سقوط درخت، ۲ مصدوم و ۱۱ نجات‌یافته در مشهد داشت. در مدّت تقریباً یک ساعت و نیم و به استناد آمار هواشناسی خراسان رضوی، به طور متوسّط حدود ۱۵/۸ میلی‌متر باران بارید. سرعت وزش باد در مشهد در برخی ساعات شب، به ۹۰ کیلومتر در ساعت هم رسید (سایت خبرگزاری تابناک، ۱۳۹۴/۲/۱۹).

تاکنون تحقیقات و پژوهش‌های متنوّعی برای درک ویژگی‌ها و مکانیسم رخداد توفان‌های تندری انجام‌شده است. موارد زیر از آن جمله‌اند: بیل‌تافت[2] (۱۹۷۴) در تحقیق خود به بررسی پتانسیل توفان تندری در ابرهای کومولونیمبوس در شمال اروپا پرداخته است. وی در این پژوهش با بررسی ابرهای مذکور در جبههٔ سرد با کمک آزمون‌های آماری ازجمله آزمون «کای دو» نشان داد که برخی از انواع آن‌ها از توسعه و گسترش کافی برای ایجاد توفان تندری برخوردار نیستند. بلواشتاین[3] و همکاران (۱۹۸۳) با بررسی همدیدی و مشاهدهٔ عینی توفان‌های تندری شدید امّا کم بارش در دشت‌های جنوبی آمریکا که در تصاویر راداری قابل‌شناسایی نیستند و بررسی دقیق ۱۱ مورد از آن‌ها نشان دادند که الزاماً این رخداد همراه با ریزش هوای سرد نخواهد بود. پرلر[4] و

[1] Flash Floods
[2] Biltoft
[3] Bluestein
[4] Perler, Marchand,

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.29252/georesearch.32.3.74]

مارکاند (۲۰۰۹) در پژوهشی با نگرشی جدید بر مدل‌های ارتقا، از یک الگوریتم انطباقی برای طبقه بندی خروجی فرایند شناسایی پتانسیل توفان‌های تندری استفاده کردند. هم‌چنین در پژوهشی دیگر دو[1] و همکاران (۲۰۱۵) با در نظر گرفتن ویژگی‌های اقلیمی شهر بیجینگ چین تحت تأثیر توفان‌های تندری تابستانی، جزیرهٔ گرمایی این شهر و مشخصات آن را در طی وقوع این توفان‌ها بررسی کردند. نتایج نشان داد برای ماه‌های گرم سال، میانگین دمای شبانهٔ جزیرهٔ گرمایی این شهر مقادیر بیشتری نسبت به میانگین دمای روزانه دارد و بر اساس محاسبات، پارامترهایی مانند نم ویژه در این منطقه مقادیر کمتری نسبت به نواحی اطراف شهر را نشان می‌دهند. در ادامه بیان شد همانند تأثیرپذیری بادهای ورودی به شهر و تغییر جهت و چند شاخه شدن جهت وزش آن‌ها به دلیل نقش بناهای مرتفع شهری، مسیر حرکت توفان‌های تندری تابستانه نیز تحت تأثیر این عامل قرار می‌گیرد.

دریکی از اولین مطالعات انجام‌شده بر روی توفان‌های تندری در ایران، علیجانی (۱۳۷۴) بیان کرده است که حداکثر فراوانی توفان‌های رعدوبرق در شمال غربی ایران اتفاق می‌افتد. ایشان محل بیشینهٔ روزهای توأم با این توفان‌ها را منطقهٔ کوهستانی غرب کشور می‌داند. در ادامه چنین بیان کرده است که از نظر توزیع زمانی بیشترین فراوانی توفان‌های رعدوبرق در ماه اردیبهشت و از نظر توزیع مکانی، بیشترین فراوانی در ارتفاعات آذربایجان، کردستان و خراسان رخ می‌دهد، سپس تعداد آن‌ها به‌طرف جنوب کاسته شده و به حداقل خود در سواحل جنوبی و دشت لوت می‌رسد. جلالی و همکاران (۱۳۸۵) در پژوهشی به بررسی تغییرات بلندمدت فراوانی و میزان بارش‌های توفان‌های تندری در شهر اهر در استان آذربایجان شرقی پرداخته‌اند. ایشان با تحلیل بارش‌های دورهٔ آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۰ به‌وسیلهٔ روش‌های آماری ازجمله روش ریاضی-گرافیکی NRM که میزان تغییرات معنی‌دار درروند بارش سالانه را نشان می‌دهد، به این نتیجه رسیدند که اغلب بارش‌های ذکرشده در فصول بهار و تابستان و در ساعات عصر و اوایل شب اتفاق می‌افتند. همچنین ایشان دریافتند که بارش‌های سیل‌آسا در یک زمان خاص می‌تواند حاصل همکاری چند سامانهٔ تندری باشد.

در پژوهش دیگری خوشحال دستجردی و قویدل رحیمی (۱۳۸۶) با استفاده از آمار فراوانی وقوع توفان‌های تندری در تبریز به بررسی ویژگی‌های این پدیده پرداخته‌اند. در این پژوهش با به کار گرفتن روش‌های تحلیل آماری ازجمله تحلیل روند خطّی و تحلیل خوشه‌ای فراوانی و نیز با استفاده از مدل گرافیک جریان، وقوع توفان‌ها در طی سال طبقه‌بندی‌شده‌اند. بر همین اساس چنین نتیجه گرفته شد که ماه می و فصل بهار به ترتیب دارای بیشترین فراوانی وقوع ماهانه و فصلی هستند. در ادامه، ثنایی نژاد و همکاران (۱۳۸۹) به‌منظور بهبود پیش‌بینی پدیده‌های همرفتی محلی، به تحلیل سینوپتیکی-دینامیکی توفان و تگرگ روز ۶ مرداد ۱۳۸۸ در شهر مشهد پرداخته‌اند. ایشان با استفاده از داده‌های جوّ بالا که توسط رادیوسوند برداشت‌شده‌اند، نمودار ترمودینامیکی اسکیوتی[2] را برای دو روز ۲۸ و ۲۹ جولای (ششم و هفتم مرداد ماه) رسم و شاخص‌های ناپایداری را محاسبه نمودند. سپس با بررسی نقشه‌های سینوپتیکی ترازهای سطح زمین و ۵۰۰ هکتوپاسکال و پارامترهایی مانند فشار، رطوبت و دما نشان دادند با استقرار یک مرکز کم‌فشار بر روی مرکز کشور و یک پرفشار بر فراز دریای خزر و در نتیجه ایجاد گرادیان فشاری شدید در این نواحی، شرایط برای ایجاد ناپایداری فراهم‌شده است. هاشمی دوین و الهی گل (۱۳۹۱) با تحلیل و بررسی سه توفان تندری سال ۲۰۱۱ در شهر بجنورد با استفاده از داده‌های سودار، نشان دادند که در هنگام وقوع این توفان‌ها، پارامترهای جوّی دچار تغییرات کاملاً واضحی می‌گردند، ازجمله: کاهش ۳ تا ۱۳ درجه‌ای دما، تغییر ۶۰ تا ۸۰ درجه‌ای جهت باد و ... . در ادامه، خالصی (۱۳۹۳) در پژوهش خود

[1] Dou et al
[2] Skew-T

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]

با استفاده از داده‌های ساعتی ۴۶ ایستگاه سینوپتیک کشور در دورهٔ آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸ فراوانی رخداد این توفان‌ها را موردبررسی قرارداد و چنین بیان کرد که حداکثر فراوانی رخداد پدیده در فصل بهار و در مقیاس ساعتی در ساعات بعدازظهر اتّفاق می‌افتد. در بررسی دیگری که توسّط قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۴) انجام شد، روند تغییرات زمانی مخاطرهٔ توفان‌های تندری در کشور ایران مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. در این پژوهش با استفاده از داده‌های آماری سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ و همچنین با بهره‌گیری از روش‌های آماری، روند تغییرات بررسی و سه ناحیهٔ اقلیمی شناسایی شد. در این پژوهش مشخص شد بیشترین فراوانی وقوع در ماه‌های می، آوریل، ژوئن و اکتبر، یعنی در فصول بهار و پاییز و کمترین فراوانی در فصل تابستان قرار دارد. همچنین در نهایت مشخص شد روند تغییرات کلی در تمام بازه‌های موردبررسی به‌صورت محسوسی به شکل افزایشی است.

با توجّه به پژوهش‌های انجام‌شده می‌توان گفت تاکنون مطالعهٔ شاخصی در مورد ارتباط فراوانی رخداد توفان تندری و روند دما به خصوص برای شهر مشهد انجام نگرفته است. نظر به این که یکی از دو پارامتر اساسی مولّد این پدیدهٔ خسارت‌بار، دماهای بالا می‌باشد و با عنایت به گسترش شهرنشینی و افزایش جمعیت شهر مشهد که خود منجر به تشدید افزایش دمای جزیرهٔ گرمایی شهر می‌گردد، ضرورت انجام این تحقیق اثبات می‌شود. در مقالهٔ پیش رو تلاش می‌شود به سؤالاتی از این قبیل پاسخ داده شود که روند وقوع توفان‌های تندری در شهر مشهد چگونه است؟ و آیا این مورد با دما ارتباطی دارد؟ با توجّه به معلومات قبلی می‌توان گفت سِیر وقوع توفان‌های تندری در شهر مشهد صعودی بوده و این روند با افزایش دما، ارتباط مستقیم دارد. بر همین مبنا در این پژوهش تلاش شده است رابطهٔ فراوانی وقوع توفان‌های تندری و روند دما در شهر مشهد شناسایی شود تا در صورت وجود ارتباط و سیر صعودی رخداد توفان در طی زمان، با هشدار به دستگاه‌های مسئول و مرتبط، ضرورت انجام اقدامات و پیش‌بینی‌های لازم جهت آمادگی برای روبه‌رو شدن با این پدیدهٔ جوّی و خسارات ناشی از آن در سطح شهر اثبات گردد.

روش تحقیق

توفان‌های تندری زمینه‌ساز چندین سازوکار مثبت طبیعی هستند که تبادل انرژی الکتریکی بین جوّ و زمین و هم‌چنین به جریان انداختن چرخهٔ طبیعی هیدرولوژی از آن جمله می‌باشند. بااین‌حال به دلیل ساختار و ماهیت خاص رخداد مورد اشاره، همواره جنبه‌های منفی و خطرساز آن به‌عنوان اولین ویژگی به ذهن متبادر می‌گردد. مطابق تعریف سازمان هواشناسی جهانی[1] روز همراه با تندر، روزی است که حداقل یک‌بار صدای رعد شنیده‌شده و درخشش برق مشاهده شود. بارش تندری نیز بارشی است که هنگام وقوع پدیدهٔ تندر نازل شود (جلالی، جهانی، ۱۳۸۷: ۴۱). توفان‌های رعدوبرق از نظر پیدایش و توسعه در کرهٔ زمین در انواع مختلفی مشاهده می‌گردند که از آن میان می‌توان توفان‌های رعدوبرق توده هوا، توفان‌های رعدوبرق جبهه‌ای و باد توفانی را نام برد (جعفر پور، ۱۳۸۶: ۹۸). توفان‌های رعدوبرق توده هوا (همرفتی) اغلب در هنگام بعدازظهر به علّت مقدار بیشینهٔ ناپایداری در لایهٔ مرزی جو، ناشی از گرم شدن سطح زمین و در فصولی که میزان رطوبت سطح زمین بالا باشد (برای مثال بهار و اوایل تابستان) رخ می‌دهند (علی اکبری بیدختی و همکاران، ۱۳۸۳: ۹۷). توفان‌های تندری جبهه‌ای در هوای گرمی که بر روی شیب جبههٔ سرد سیکلون صعود می‌کند، تشکیل می‌شوند. اگر هوا در ابتدا ناپایدار باشد، ممکن است این اثر باعث شود که هوا تا ارتفاع زیادی بالا رود. توفان‌های جبهه‌ای ممکن است در هر زمان و هر فصلی اتّفاق بیافتند، اما در بعدازظهرهای تابستان که گرم شدن شدید هوا سبب ناپایداری هوای گرم در جلو جبههٔ سرد می‌شود، معمول‌تر است (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۵۰). به طور کلی یک توفان تندری در پاسخ به واداشت‌های بزرگ مقیاس و متوسط مقیاس اتمسفر رخ می‌دهد و برای توسعه و گسترش یک توفان معمولاً به هوای گرم و مرطوب

[1] WMO

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]

در ترازهای زیرین و هوای سرد و خشک در ترازهای بالایی جو، به‌اضافهٔ یک اختلاط بزرگ مقیاس مناسب نیاز است (Tajbakhsh et al, 2012 : 405) پژوهش حاضر بر مبنای اطلاعات فوق انجام‌شده است.

منطقه موردمطالعه

شهر مشهد مرکز شهرستانی به همین نام در استان خراسان رضوی است که به لحاظ موقعیت در حدود ۵۹ تا ۶۰ درجهٔ طول شرقی و ۳۵ تا ۳۶ درجهٔ عرض شمالی قرارگرفته و از شمال به شهرستان کلات، از شمال غرب به درگز، از غرب به چناران و نیشابور و از شرق به سرخس و تربت جام محدود می‌گردد. این شهر در انتهای جنوبی دشت توس واقع‌شده و جزئی از حوضهٔ آبریز کشف رود محسوب می‌گردد. رشته کوه هزارمسجد در شمال شرقی و رشته کوه بینالود در غرب و جنوب غربی آن قرار دارند. مهم‌ترین رشته‌کوهی که با جهت شمال غربی- جنوب شرقی این ناحیه را در برمی‌گیرد اژدر کوه با ارتفاع تقریبی ۳۰۰۰ متر است. وسعت کل حوضهٔ آبریز کشف رود ۱۶۵۰۰ کیلومتر مربع است که حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع آن دشت است، و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند. بلند ترین نقطه در قلّهٔ بینالود واقع است و حدود ۳۳۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. پایین‌ترین نقطه در محل خروجی حوضه (پل خاتون) قرارگرفته و ۵۸۰ متر از سطح دریا بلندتر است. از نظر آب و هوایی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ کشف رود دارای اقلیمی خشک تا نیمه‌خشک است. مقادیر متوسّط سالانهٔ نزولات جوّی آن بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر و متوسّط دمای هوا در ایستگاه هواشناسی مشهد ۱۳٫۵ درجهٔ سانتی‌گراد گزارش‌شده است. متوسّط حداقل و حداکثر دما در سردترین ماه سال، دی، ۴٫۷ درجهٔ سانتی‌گراد و متوسّط حداکثر آن در گرم‌ترین ماه سال، تیر، ۳۳٫۹ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد. متوسّط حداقل دمای هوا در ۳ ماه سال زیر صفر است. تعداد روزهای یخبندان در طول سال به طور متوسّط ۱۰۰ روز می‌باشد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۳: ۹ -۸).

داده‌ها و روش انجام کار

پژوهش حاضر از نوع بنیادی می‌باشد و برای بررسی موضوع تحقیق حاضر، با استفاده از روش‌های توصیفی و آماری به تجزیه‌وتحلیل داده‌ها پرداخته‌شده است. بدین منظور، ابتدا داده‌های فراوانی روزهای همراه با توفان تندری و همچنین میانگین ماهانهٔ دما در شهر مشهد برای دورهٔ آماری ۶۰ سالهٔ ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ میلادی، از سایت سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. سپس نتایج به‌دست‌آمده مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. مراحل انجام کار به این صورت است که ابتدا با استفاده از داده‌های موجود، نمودارهای میانگین ماهانهٔ دما، تغییرات میانگین سالانهٔ دما، میانگین ماهانهٔ فراوانی رخداد توفان‌های تندری و تغییرات سالانهٔ فراوانی رخداد توفان‌های تندری رسم گردید. در ادامه به‌منظور نمایش همبستگی و روند تغییرات دو عامل در ارتباط باهم نمودار مقایسه‌ای فراوانی رخداد توفان تندری و روند دما در شهر مشهد ترسیم شد و با استفاده از همین نمودار به نتیجه‌گیری پرداخته شد.

همچنین در انتها با بهره‌گیری از مدل وُرف نسخهٔ ۳,۶,۱ که یک مدل مقیاس منطقه‌ای پیش‌بینی عددی جو است، شبیه‌سازی و نمایش رخداد یک توفان تندری منتخب انجام گرفت. توفان مورد اشاره در روز نهم ماه می سال ۲۰۱۱ میلادی به وقوع پیوسته است. به دلیل تأثیرپذیری ناحیهٔ وسیعی از استان خراسان رضوی و هم‌چنین شدّت وقوع توفان و میزان بارش نسبتاً قابل توجّه، مورد فوق برای شبیه‌سازی برگزیده شد. به طور کلی با استفاده از مدل می‌توان برای یک منطقهٔ محدود، خروجی باکیفیت بالا تولید کرد. روش کار مدل‌های اقلیمی بر اساس ریزمقیاس نمایی است که روشی برای استخراج داده‌های باقدرت تفکیک بالا از داده‌های باقدرت تفکیک پایین می‌باشد. مدل وُرف می‌تواند برای شبیه‌سازی در مقیاس مکانی چند صد متر تا چند کیلومتر و مقیاس زمانی چند ساعت تا چند روز به کار رود. مدل فوق کاربردهای متعدّدی دارد؛ ازجمله: پیش‌بینی اوضاع جوّی، توفان‌های تندری، آلودگی هوا و بررسی

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]

مسائل هیدرولوژیکی. مدل وُرف حاصل کار گروهی و جمعی شامل مرکز ملی پژوهش‌های جوّی[۱] ، مدیریت ملّی جوّی و اقیانوسی[۲] ، مرکز ملّی پیش‌بینی‌های محیطی[۳]، آزمایشگاه سامانه‌های پیش‌بینی[۴]، آژانس هوایی نیروی هوایی آمریکا[۵]، آزمایشگاه تحقیقات ناوبری، دانشگاه اوکلاهاما و مدیریت هوانوردی ملّی[۶] است. مدل وُرف به پژوهشگران اجازه می‌دهد تا شبیه‌سازی‌هایی را انجام دهند که هم منعکس‌کنندهٔ داده‌های واقعی است و هم شرایط آرمانی را در برمی‌گیرد. از طریق این مدل، پیش‌بینی و عملیات آن بسیار انعطاف‌پذیر و محاسبات کارآمد است؛ ضمن این که از داده‌ها و گزینه‌های فیزیکی و عددی پیشرفته‌ای نیز بهره می‌گیرد (شمسی‌پور، ۱۳۹۳: ۲۰۳-۲۰۲). داده‌های موردنیاز برای اجرای این مدل شامل داده‌های شرایط مرزی اوّلیه و داده‌های شرایط مرزی ثانویه می‌باشند. شرایط مرزی اوّلیه، نمایشگر متغیّرهای سطح زمین است و شرایط مرزی ثانویه شامل داده‌های هواشناسی با گام زمانی ۶ ساعته می‌باشد که این داده‌ها در اینترنت [۷] در دسترس می‌باشند.

در پژوهش حاضر به‌منظور سنجش توانایی مدل وُرف در نمایش توفان‌های تندری، مدل با دو قدرت تفکیک ۱۵ و ۵ کیلومتر و دو دامین اصطلاحاً تودرتو به اجرا گذاشته شد. در این مورد از یک ویژگی مهم مدل وُرف استفاده‌شده است که به کاربر اجازه می‌دهد به‌صورت هم‌زمان برای دامین اصلی و دامین‌های کوچکتر فقط یک‌بار اجرای مدل داشته باشد. این فرایند، لانه‌گزینی[۸] نامیده می‌شود. برای این شبیه‌سازی، هستهٔ ARW[۹] مدل به کار گرفته شد. از ویژگی‌های این هسته قابلیت دوگانهٔ تفسیر رخداد و پیش‌بینی وقوع سیستم‌های متوسّط مقیاس در تحقیقات پیشرفتهٔ علوم جوّی می‌باشد (Singh et al, 2015 : 15) جزئیات و اطلاعات بیشتر از اجرای مدل در این پژوهش در جدول ۱ به نمایش گذاشته‌شده است.

جدول ۱- جزئیات اجرای مدل وُرف برای یک مورد توفان تندری با دو قدرت تفکیک ۱۵ و ۵ کیلومتر (ساعت ۱۸ به‌وقت گرینویچ، روز ۹ می ۲۰۱۱)

عناوین	دامین ۱ (بزرگ)	دامین ۲ (کوچک)
سیستم تصویر	lambert	lambert
قدرت تفکیک افقی	۱۵ کیلومتر	۵ کیلومتر
عرض جغرافیایی	۲۸,۸۸ – ۴۲,۵۳	۳۰,۰۶ – ۳۷,۳۱
طول جغرافیایی	۴۸,۶۲ – ۶۷,۴۷	۵۱,۵۷ – ۶۴,۲۸
تعداد ترازهای قائم	۲۷	۲۷
تعداد نقطه- شبکه		
e-we	۱۰۰	۹۲
e-sn	۲۲۰	۱۵۱
گام زمانی داده‌های هواشناسی	۶ ساعته	۶ ساعته

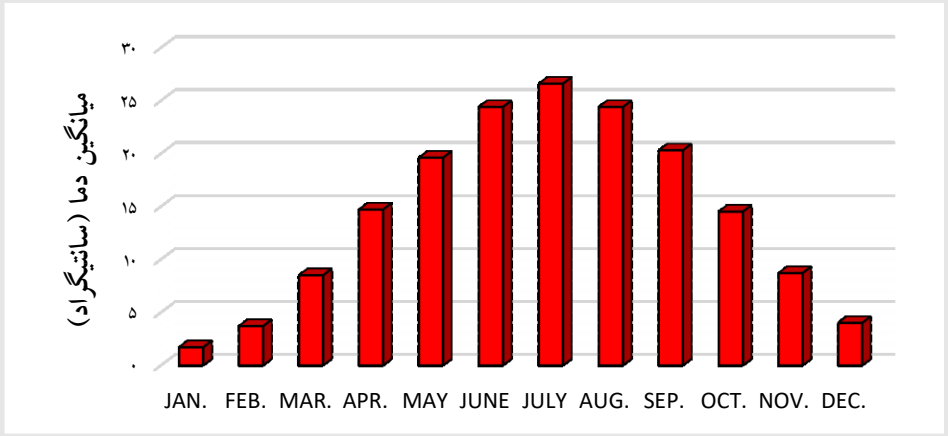
[1] NCAR: National Center of Atmospheric Research
[2] NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
[3] NCEP :National Center for Environment Prediction
[4] FSL: Forecast System Laboratory
[5] AFWA:Air Force Weather Agency
[6] FAA: Federal Aviation Administration
[7] http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/download/free-data.html
[8] Nesting
[9] Advanced Research WRF

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.29252/georesearch.32.3.74]

نتایج

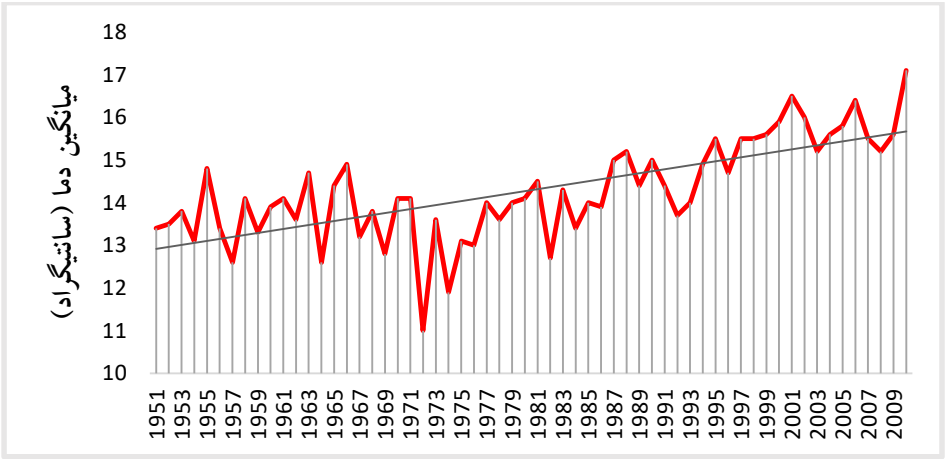
یافته‌های توصیفی

ابتدا با استفاده از داده‌ها، نمودار میانگین ماهانهٔ دما در دورهٔ مورد نظر رسم شد. چنان که در شکل ۱مشاهده می‌شود حداکثر میانگین دما در طی شصت سال، در ماه جولای به ثبت رسیده است. در تقویم شمسی، ماه جولای مطابق با ۱۱ تیر تا ۱۰ مرداد می‌باشدکه در اغلب سال‌ها، حداکثر دماهای ثبت‌شده در فصل تابستان در همین بازهٔ زمانی رخ‌داده‌اند.



شکل ۱- نمودار میانگین ماهانهٔ دمای شهر مشهد در طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۵۱

سپس با استفاده از نمودار خطّی، تغییرات میانگین سالانهٔ دما در دورهٔ آماری موردبررسی رسم شده است. در این نمودار، روند افزایشی ملایمی به خصوص در دو دههٔ اخیر(سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۲) مشاهده می‌شود و میانگین سالانهٔ دما از ۱۳/۴ درجهٔ سانتی‌گراد در سال ۱۹۵۱ به ۱۷/۱ درجهٔ سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۰ میلادی رسیده است. این افزایش ۴ درجه‌ای در میانگین دما بسیار قابل تأمّل می‌باشد (شکل ۲).

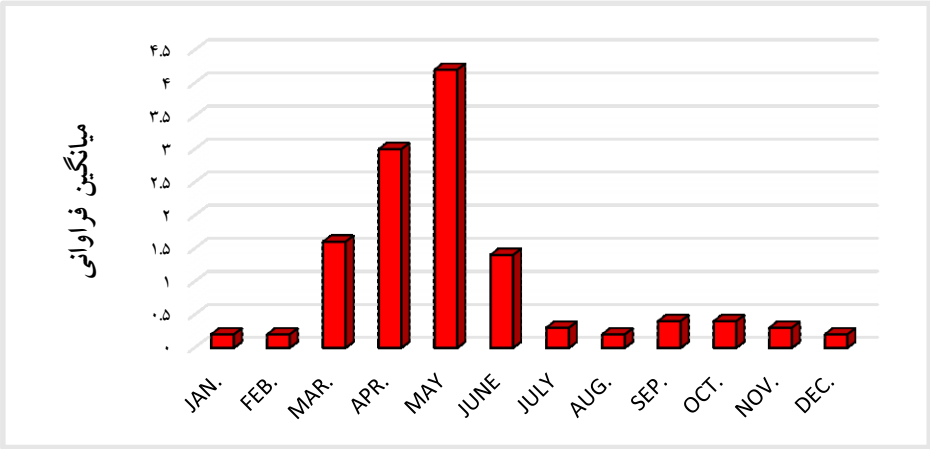


شکل ۲- نمودار تغییرات میانگین سالانهٔ دمای شهر مشهد به همراه خط روند، سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۵۱

در ادامه، میانگین ماهانهٔ فراوانی رخداد توفان‌های تندری در منطقه به‌وسیلهٔ نمودار نشان داده‌شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود بیشینهٔ فراوانی رخداد با رقم میانگین ۴/۲ در ماه می (مطابق با ۱۱ اردیبهشت تا ده خردادماه) واقع‌شده است. دلیل این امر را

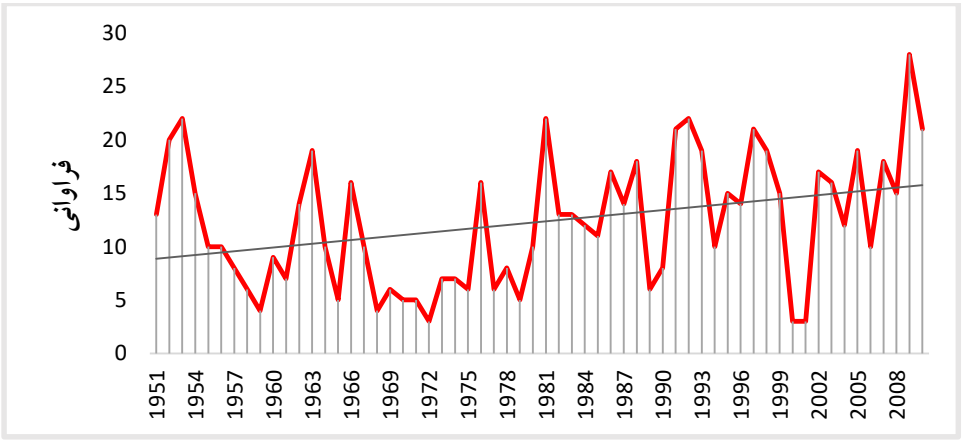
[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]

می‌توان چنین بیان کرد که همراهی گرمای روزهای بهاری و وجود رطوبت کافی و در نتیجه وقوع جریان‌های همرفتی محلی ناشی از این عوامل، موجب می‌شود فراوانی این رخداد در این ماه به اوج خود برسد (شکل ۳).



شکل ۳- میانگین ماهانهٔ فراوانی توفان تندری شهر مشهد در طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۵۱

سپس به‌وسیلهٔ نمودار خطّی، تغییرات سالانهٔ فراوانی رخداد در دورهٔ موردبررسی رسم شد. علی رغم وجود افت و خیزهای فراوان در طی سال‌های متمادی و به طور خاص پس از کاهش شدید تعداد رخداد توفان در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ میلادی به سه مورد در سال، یک سِیر افزایشی محسوس در نمودار مشاهده می‌شود. نکتهٔ جالب در این مورد، افزایش ناگهانی تعداد رخداد توفان تندری در سال ۲۰۰۹ میلادی (۱۳۸۸ شمسی) به رقم قابل توجّه ۲۸ مورد در سال می‌باشد که لااقل در طی شش دههٔ اخیر کاملاً بی‌سابقه است (شکل ۴).



شکل ٤- تغییرات سالانهٔ فراوانی توفان تندری شهر مشهد به همراه خط روند، سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۵۱

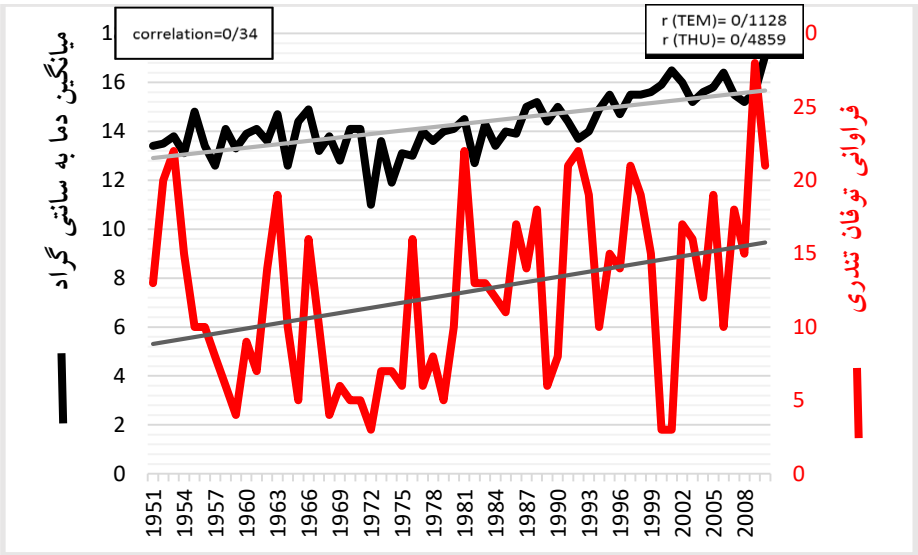
یافته‌های استنباطی

در انتها به‌منظور اثبات فرضیات ، نمودار مقایسه‌ای فراوانی رخداد توفان تندری (نمودار میله‌ای) و روند دما (نمودار خطّی) شهر مشهد رسم گردید. هم‌چنین برای بررسی بیشتر خطّ روند هر دو عامل نیز قرار داده‌شده است. چنان که مشاهده می‌شود سِیر صعودی میانگین سالانهٔ دما در مدّت شصت سال به‌صورت تقریبی با سِیر افزایشی میانگین سالانهٔ فراوانی توفان‌های تندری هماهنگی و ارتباط

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.29252/georesearch.32.3.74]

مستقیم دارد (شکل ۵). در این مورد ضریب همبستگی دو عامل موردبررسی نیز محاسبه‌شده است. بر همین اساس عدد ۰,۳۴ مقدار همبستگی نسبتاً قابل ملاحظه‌ای را به نمایش می‌گذارد.



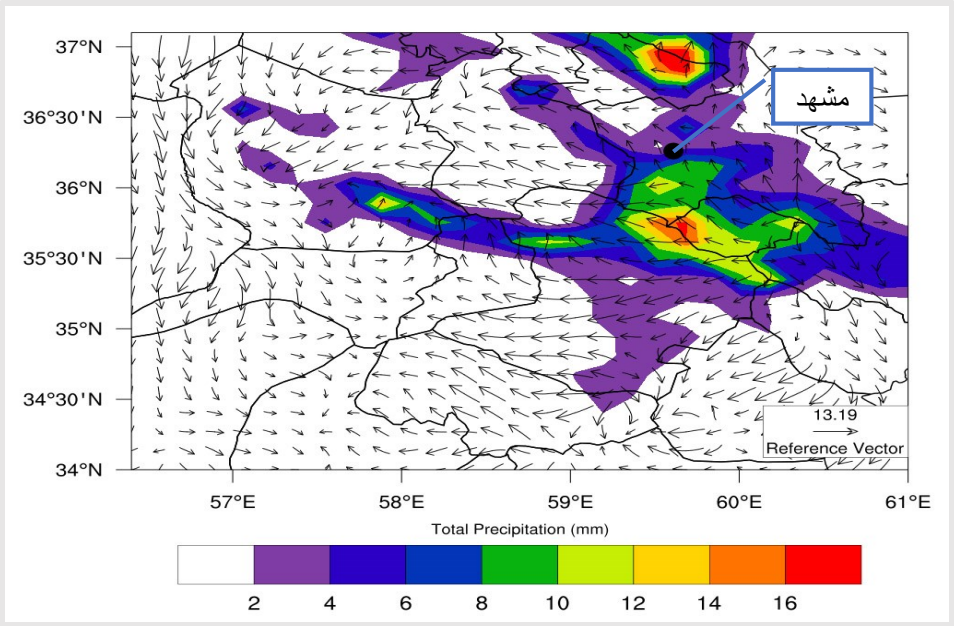
شکل ۵- نمودار مقایسهٔ همبستگی میانگین سالانهٔ فراوانی توفان تندری (میله‌ای) و روند تغییرات میانگین سالانهٔ دمای شهر مشهد (خطّی) به همراه خطوط روند در طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۵۱

شبیه‌سازی یک مورد توفان تندری منتخب و اجرای مدل وُرف

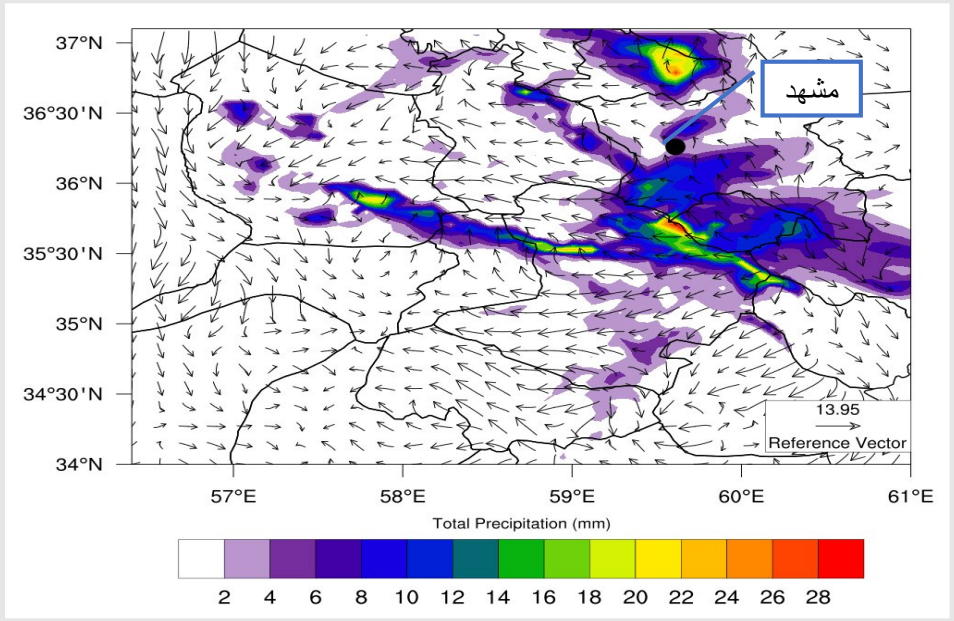
به‌منظور سنجش توانایی مدل مقیاس منطقه‌ای وُرف در نمایش رخداد توفان‌های تندری منطقه، یک مورد توفان به‌عنوان نمونه انتخاب و اجرا شد. توفان مورد اشاره در روز نهم ماه می سال ۲۰۱۱ میلادی به وقوع پیوسته است و در طی آن ناحیهٔ وسیعی از استان خراسان رضوی تحت تأثیر قرار گرفت. در این روز ایستگاه هواشناسی سبزوار در ساعت ۱۲، کد ۹۹ (توفان رعد سنگین همراه با تگرگ در زمان مشاهده) و ایستگاه‌های مشهد و تربت حیدریه در ساعت ۱۸ همان روز، کد ۹۵ (توفان رعد سبک تا متوسّط همراه با باران یا برف در زمان مشاهده، ولی بدون تگرگ) را گزارش نموده‌اند. همچنین میزان بارش ثبت‌شده در این روز بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی، برای ایستگاه سبزوار ۱۴,۰۱ میلی‌متر، مشهد ۲ میلی‌متر و تربت حیدریه ۳ میلی‌متر می‌باشد. بر این اساس مدل با دو قدرت تفکیک ۱۵ و ۵ کیلومتر اجرا و نتایج تحلیل گردید (شکل ۶ و ۷).

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]



شکل ٦- خروجی اجرای مدل با قدرت تفکیک ۱۵ کیلومتر- نمایش میزان بارش (سایه رنگ) به میلی‌متر و بردار باد در ساعت ۱۸ روز ۹ می ۲۰۱۱

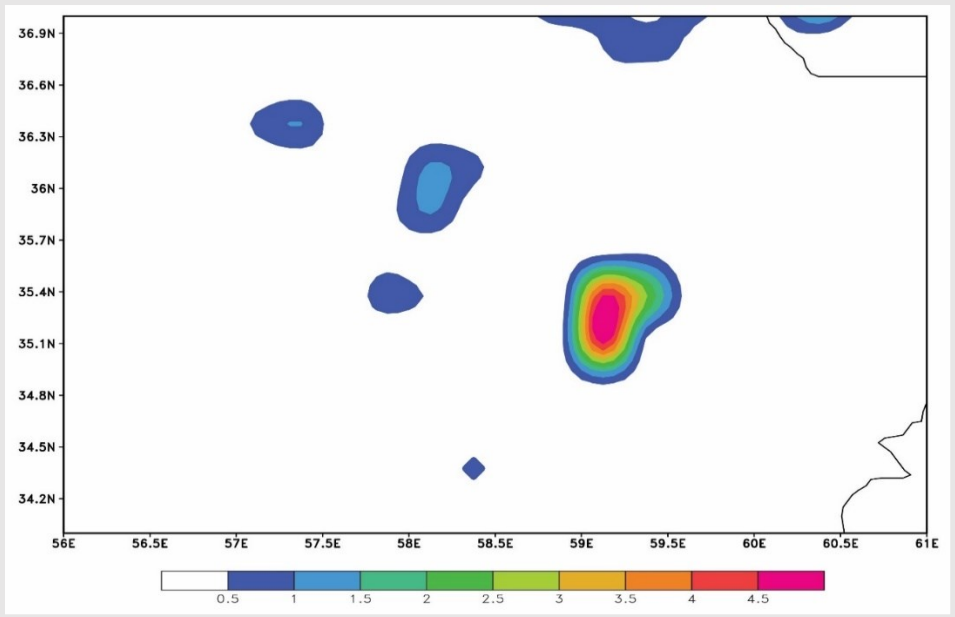


شکل ۷- خروجی اجرای مدل با قدرت تفکیک ۵ کیلومتر- نمایش میزان بارش (سایه رنگ) به میلی‌متر و بردار باد در ساعت ۱۸ روز ۹ می ۲۰۱۱

هم‌چنین با هدف مقایسهٔ نتایج خروجی اجرای مدل با واقعیت موجود، میزان و محل وقوع بارش با استفاده از داده‌های ماهوارهٔ TRMM به نمایش گذاشته‌شده است (شکل ۸). محدودهٔ انتخابی، همان منطقهٔ مورد نظر در اجرای مدل WRF (شمال شرق کشور- محدودهٔ استان خراسان رضوی) می‌باشد. چنان که مشاهده می‌شود نتایج نمایش داده‌شده توسّط مدل با تقریب خوبی با مکان واقعی ثبت بارش توسّط ماهواره همسان است (حداکثر بارش ثبت‌شده: بین ۵۹ تا ۶۰ درجهٔ طول شرقی). میزان بارش (به میلی‌متر) نیز تقریباً به میزان واقعی بارش نزدیک است.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]



شکل ۸- میزان ثبت‌شدهٔ بارش در محدودهٔ موردبررسی با استفاده از داده‌های ماهوارهٔ TRMM

با توجّه به نتایج مشاهده می‌شود مدل ورف توانایی نسبتاً خوبی را برای نمایش و شبیه‌سازی توفان‌های تندری دارا می‌باشد و خروجی‌های مدل قابل اعتماد هستند. البته لازم به ذکر است هر چه پارامترهایی مانند قدرت تفکیک انتخاب‌شده مقدار بیشتر و بهتری داشته باشند، ارزش و دقّت خروجی‌های مدل نیز قابل ملاحظه‌تر خواهد بود. هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده به دیگر عوامل مانند وسعت منطقهٔ تحت پوشش پدیده و نیز دقّت داده‌های ورودی بستگی خواهند داشت. بر همین اساس می‌توان از قابلیت این مدل برای پیش‌بینی رخداد توفان تندری نیز استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر باهدف بررسی رابطهٔ فراوانی وقوع توفان‌های تندری در شهر مشهد و روند میانگین دما صورت گرفته است؛ بنابراین برای دستیابی به هدف تحقیق از داده‌های میانگین ماهانه و سالانهٔ فراوانی وقوع توفان‌های تندری و میانگین ماهانه و سالانهٔ دما در طی شصت سال (۲۰۱۰-۱۹۵۱ میلادی) استفاده شد و نمودارهای مربوطه رسم گردیدند. نتایج بررسی و تحلیل داده‌ها و نمودارها نشان می‌دهد که میانگین سالانهٔ دما در شهر مشهد باوجود تغییرپذیری نسبی در طی دورهٔ موردبررسی، افزایش محسوسی دارد؛ به‌طوری‌که در طی ۶۰ سال حدود ۴ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش داشته است. همچنین میانگین سالانهٔ فراوانی رخداد توفان‌های تندری در این منطقه نیز با وجود اُفت و خیزهای زیاد، به طور کلی روند افزایشی دارد. حداکثر فراوانی وقوع این توفان‌ها با ۲۸ مورد در سال ۲۰۰۹ میلادی، (۱۳۸۸ شمسی) واقع‌شده است که منطبق با شیب افزایشی در نمودار میانگین دما می‌باشد.

یافته‌ها بیانگر آن است که بین میانگین سالانهٔ دما و فراوانی رخداد توفان‌های تندری در منطقهٔ موردمطالعه، همبستگی و ارتباط مستقیم وجود دارد؛ بدین معنی که با افزایش میانگین دما، فراوانی رخداد توفان نیز افزایش‌یافته است. بر همین مبنا فرضیات موردبررسی این پژوهش به اثبات می‌رسند. البته برای فهم دلایل و سازوکارهای این همبستگی نیاز به تحلیل و بررسی دیگر پارامترها و نیز مطالعهٔ الگوهای جوّی مؤثر بر موارد فوق وجود دارد که در آینده به این موضوعات پرداخته خواهد شد.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]

چنان که در این پژوهش مشخص شد باگذشت زمان هم تعداد رخداد توفان تندری و هم شدّت و میزان آسیب‌رسانی این رخداد، متأثّر از بالا رفتن دما و پدیدهٔ گرمایش جهانی افزایش می‌یابد. با عنایت به مطالعات انجام‌شده و اثبات روند صعودی میانگین دما در شهر مشهد و در نتیجه افزایش احتمال رخداد توفان‌های تندری شدید که در اغلب موارد باعث ایجاد خسارات مالی و حتّی جانی می‌گردد، انجام اقدامات و پیش‌بینی‌های لازم توسط دستگاه‌های مسئول و مدیران و برنامه‌ریزان شهری، جهت آمادگی برای روبه‌رو شدن با این پدیدهٔ جوّی و خسارات ناشی از آن در سطح شهر ضروری به نظر می‌رسد.

در نهایت به‌منظور سنجش توانایی مدل مقیاس منطقه‌ای وُرف در نمایش رخداد توفان‌های تندری منطقه، یک مورد توفان به‌عنوان نمونه انتخاب و مدل با دو قدرت تفکیک ۱۵ و ۵ کیلومتر اجرا گردید. هم‌چنین با هدف مقایسهٔ خروجی اجرای مدل با واقعیت موجود، میزان و محل وقوع بارش ثبت‌شده توسط ماهوارهٔ TRMM نیز به نمایش گذاشته شد. در انتها مشخص شد نتایج خروجی مدل به طور تقریبی با مکان واقعی و میزان ثبت‌شدهٔ بارش توسّط ماهواره یکسان است. بر این اساس می‌توان گفت مدل وُرف از توانایی نسبتاً خوبی برای نمایش و شبیه‌سازی توفان‌های تندری برخوردار می‌باشد و خروجی‌های مدل قابل اعتماد هستند. البته هر چه پارامترهایی مانند قدرت تفکیک انتخاب‌شده مقدار بیشتر و بهتری داشته باشند، ارزش و دقّت خروجی‌های مدل نیز قابل ملاحظه‌تر خواهد بود. هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده به عواملی مانند وسعت منطقهٔ تحت پوشش پدیده و نیز دقّت داده‌های ورودی به مدل بستگی خواهند داشت.

یکی از راه‌کارهای عملی و علمی به‌منظور آمادگی برای روبه‌رو شدن با این نوع توفان‌ها، استفاده از مدل‌های اقلیمی با قابلیت پیش‌بینی پدیده‌های جوّی می‌باشد. از آن جا که در کلان‌شهر مشهد تنها یک ایستگاه هواشناسی اصلی (فرودگاه) موجود است و با توجّه به این که پدیده‌ای مثل توفان تندری ممکن است در مقیاس کوچکی اتّفاق بیفتد (به‌عنوان مثال در منطقهٔ شمال غرب شهر رخداد توفان حادث شود و در منطقهٔ جنوب شرق شهر، اوضاع جوّی کاملاً پایدار باشد)، بنابراین استفاده از مدل‌ها و شبیه‌سازی‌ها به دلیل قابلیت تعمیم نتایج، گزینهٔ مناسبی به نظر می‌رسد. با توجّه به نتیجهٔ قابل قبولی که در شبیه‌سازی یک مورد توفان تندری توسّط مدل وُرف به دست آمد پیشنهاد می‌گردد که از این مدل با قدرت تفکیک بالا استفاده شود تا بتوان توفان‌های تندری شهر مشهد و پیرامون آن را پیش‌بینی نمود.

تقدیر و تشکر

از سازمان هواشناسی و مسئول محترم وقت بخش خدمات ماشینی، جناب آقای میررضایی به دلیل ارسال داده‌های هواشناسی موردنیاز برای انجام این پژوهش تشکّر و قدردانی می‌گردد. هم‌چنین از دانشجوی فرهیخته و ارجمند، سرکار خانم نرگس صالح‌آبادی نیز به خاطر کمک و نقش بسیار ارزنده در انجام این تحقیق، به خصوص در بخش اجرای مدل سپاسگزاری می‌شود.

منابع و مآخذ

- ثنایی نژاد، سیّد حسین، صالحی، حسن، بابائیان، ایمان (۱۳۸۹)، تحلیل سینوپتیکی و دینامیکی پدیده‌های همرفتی محلی به‌منظور بهبود پیش‌بینی آن‌ها (مطالعهٔ موردی توفان و تگرگ مورخهٔ ۶ مرداد ۱۳۸۸ در مشهد)، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، مؤسسهٔ ژئوفیزیک.
- جعفرپور، ابراهیم (۱۳۸۶)، مبانی اقلیم‌شناسی، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ هشتم.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]

- جلالی، اورج، رسولی، علی اکبر، ساری صرّاف، بهروز (۱۳۸۵)، توفان‌های تندری و بارش‌های ناشی از آن در محدودهٔ شهر اهر، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۲۴، صص ۳۳ -۱۸.
- جلالی، اورج، جهانی، مقصود (۱۳۸۷)، بررسی پراکنش مکانی بارش‌های تندری شمال غرب ایران، مجلّهٔ فضای جغرافیایی، سال هشتم، شماره ۲۳، صص ۵۸ -۳۵.
- خالصی، فریده (۱۳۹۳)، واکاوی زمانی توفان‌های تندری در ایران، دو فصلنامهٔ آب و هواشناسی کاربردی، سال ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱، صص ۶۰ -۴۷.
- خزایی، مهدی، مدیری، احسان، مدیری، مهدی (۱۳۹۳)، تحلیل همدیدی توفان‌های تندری مخاطره‌آمیز اصفهان، نشریهٔ دانش مخاطرات، دوره ۱، شماره ۲، صص ۲۱۵ -۲۰۳.
- خوشحال دستجردی، جواد، قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶)، شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقهٔ شمال غرب ایران (مطالعه موردی: خطر توفان‌های تندری تبریز)، مجله مدرّس علوم انسانی، شماره ۵۳، صص ۱۱۶-۱۰۱.
- سایت خبرگزاری تابناک، [Homepage: tabnakrazavi.ir]، عنوان خبر: «اطلاعیهٔ هواشناسی اخطار بود نه هشدار! آخرین آمارها ازآب‌گرفتگی و سیل شدید مشهد»، تاریخ انتشار: ۱۹ اردیبهشت ۱۳۹۴- ساعت ۰۸: ۰۴، [http://tabnakrazavi.ir/fa/news/32637/…]، تاریخ مشاهده: پنجشنبه ۲۲ بهمن ۱۳۹۴.
- شمسی پور، علی اکبر (۱۳۹۳)، مدل‌سازی آب و هوایی- نظریه و روش، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوّم.
- صادقی، سلیمان، مفیدی، عباس، جهانشیری، مهین، دوستان، رضا (۱۳۹۳)، نقش الگوهای گردش مقیاس منطقه‌ای جو بر وقوع روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد، مجلّهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۰، صص ۳۵ -۱.
- علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی، بیوک، ندا، ثقفی، محمد (۱۳۸۳)، بررسی ساختار چند جریان جستناک توفان‌های همرفتی تهران با استفاده از داده‌های سودار، نشریهٔ فیزیک زمین و فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، جلد ۳۰، شماره ۲، صص ۱۱۳ -۹۳.
- علیجانی، بهلول (۱۳۷۴)، آب‌وهوای ایران، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ اوّل.
- علیزاده، امین، کمالی، غلامعلی، موسوی، فرهاد، موسوی بایگی، محمد (۱۳۹۱)، هوا و اقلیم‌شناسی، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ پانزدهم.
- قویدل رحیمی، یوسف، باغبانان، پرستو، فرج زاده اصل، منوچهر (۱۳۹۴)، روند تغییرات زمانی مخاطرهٔ توفان‌های تندری در ایران، مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره نوزدهم، شماره ۲، صص ۲۰۲ -۱۸۵.
- فرجی، عبدالله، دوستکامیان، مهدی، صفری، زهرا (۱۳۹۴)، واکاوی همدیدی الگوهای زمانی و مکانی بارش‌های تندری (مطالعهٔ موردی: استان زنجان)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال چهارم، شماره ۱۴، صص ۶۶ -۴۱.
- لشکری، حسن، حجّتی، زهرا (۱۳۹۱)، تحلیل سینوپتیکی- دینامیکی توفان‌های تندری در جنوب غرب کشور، فصلنامه اطّلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره بیست و یکم، شماره ۸۲، صص ۲۱ -۱۴.
- هاشمی دوین، مهری، الهی گل، مهدی(۱۳۹۱)، تحلیل چند توفان تندری بجنورد با استفاده از داده‌های سودار، چهاردهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، دانشگاه بیرجند.
- Biltoft, C. A. (1974), Thunderstorm Potential of Cold Air Cumulonimbi, Journal of Applied Meteorology, Vol. 13, pp. 22-26.
- Bluestein, H. B., Parks, C. R. (1983), A Synoptic and Photographic Climatology of Low-Precipitation Sever Thunderstorm in the Southern Plains, Monthly Weather Review, Vol. 111, pp. 2034-2046.
- Dou, J., Wang, Y., Bornstein, R., Miao, S. (2015), Observed Spatial Characteristics of Beijing Urban Climate Impacts on Summer Thunderstorms, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol. 54, pp. 94-105, DOI: 10.1175/JAMC-D-13-0355.1.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]

- Perler, D., Marchand, O. (2009), A Study in Weather Model Output Post processing Using the Boosting Method for Thunderstorm Detection, Weather and Forecasting, Vol. 24, pp. 211-222, DOI: 10.1175/2008WAF2007047.1.
- Singh, J., Gairola, A., Dos, S. (2015), Numerical Simulation of a Severe Thunderstorm over Delhi Using WRF Model, International Journal of Scientific and Research Publications, Vol. 5, pp. 1-6.
- Tajbakhsh, S., Gafarian, P., Sahraian, F. (2012), Instability Indices and Forecasting Thunderstorms: the Case of 30 April 2009, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 12, pp. 403-413. DOI: 10.5194/nhess-12-403-2012.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.29252/geores.32.3.74]