نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و یکم، شماره ۶۲، پاییز ۱۴۰۰

بررسی ترمودینامیک توفان‌های تندری در جنوب غربی ایران

دریافت مقاله: ۹۸/۷/۱۲ **پذیرش نهایی**: ۹۸/۱۲/۱

صفحات: ۴۵۷-۴۳۵

عسل فلک: دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، واحد علوم و حقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
Email: asalfalak@yahoo.com
رضا برنا: دانشیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران[1].
Email: borrnnarreza@yahoo.com
فریده اسدیان: واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
Email: faarideh_asaadiaan@yahoo.com

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های زمانی - مکانی و سینوپتیکی رخداد توفان تندری در جنوب غرب ایران با استفاده از شاخص‌های ناپایداری طی یک دوره آماری ۳۰ ساله یعنی ۱۹۸۵-۲۰۱۵ نگارش یافت. داده-ها و روش‌ها بر این قرار بوده است که پس از دریافت داده‌های هواشناسی از جمله بارش و دما ونم نسبی و رطوبت و... با استفاده از نرم‌افزار گردس نقشه‌های مورد نظر ترسیم شد. نتایج حاصل از تحلیل فراوانی توفان‌های تندری ثبت شده در منطقه بیانگر آن بود که ایستگاه دزفول با ۴۷۹ مورد طی دوره مورد مطالعه بیشترین فراوانی و رامهرمز با ۲۵۲ روز کمترین فراوانی رخداد توفان تندری را داشته‌اند. از لحاظ توزیع فصلی نیز بیشترین فراوانی توفان‌ها مربوط به فصل بهار با ۳۹درصد بوده است. در مقیاس ماهانه نیز نتایج بیانگر آن بود که ماه فروردین با ۲۱ درصد و مرداد ماه تنها ۲ مورد، کمترین فراوانی روزهای توأم با پدیده توفان تندری مشاهده شده است. از لحاظ توزیع فراوانی کدهای مربوط به توفان تندری نیز نتایج بیانگر آن بود که بیشترین فراوانی رخدادهای توفان تندری مربوط به مشاهده برق بدون شنیدن صدای رعد با ۲۱ درصد بوده است. نتایج تحلیل سینوپتیک بیانگر آن بود که در غالب روزها وجود یک ناوه (در سطح ۵۰۰) یا کم فشار (در سطح زمین) در غرب منطقه مورد مطالعه یعنی شرق دریای مدیترانه که زبانه‌های آن به صورت پادساعتگرد، از روی دریای سرخ و خلیج فارس وارد منطقه جنوب و جنوب‌غرب و غرب ایران شده بودند و از طرف دیگر یک پربند یا سیستم پرفشار روی خلیج عدن در شرق منطقه مورد مطالعه به صورت ساعت گرد باعث تزریق رطوبت به ویژه در تراز ۸۵۰ میلی بار به منطقه مورد مطالعه شده است. تعامل دو سیستم مذکور در غالب روزها، باعث تزریق رطوبت از سه منبع دریای مدیترانه، دریای سرخ و سپس خلیج فارس به سیستم‌های صعودی منطقه شده است. حرکت پادساعتگرد کم فشار حاکم در شرق مدیترانه، به همراه حرکت ساعتگرد پرفشار روی خلیج عدن، باعث تزریق رطوبت در ترازهای ۸۵۰ تا ۷۰۰ به منطقه شده است.

کلید واژگان: سینوپتیک، تحلیل، توفان‌های تندری، جنوب غرب ایران، همگرایی دریای سرخ

---

۱. **نویسنده مسئول:** تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه جغرافیا

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

مقدمه

شاید بتوان توفان تندری را جزء اولین پدیده‌های هواشناسی دانست که توجه انسان را به خود جلب نموده است. یک توفان رعدوبرق ماشین ترمودینامیکی است که در آن انرژی پتانسیل از گرمای نهان حاصل از تراکم در شرایط رطوبتی یا ناپایداری جابه جایی قائم هوا به سرعت به انرژی جنبشی تبدیل می شود . به دلیل همراهی توفان تندری با رگبارهای باران، برف و تگرگ و نقش مؤثر آن در ایجاد سیل های ناگهانی، هم از جنبه کشاورزی هم از نظرخسارات مالی وجانی این پدیده همواره مورد توجه محققان بوده است. این پدیده یکی از بلایای طبیعی است که خسارات جانی و مالی از جمله کشته شدن و زخمی شدن انسان‌ها، از بین رفتن دام‌ها، صدمه به محصولات کشاورزی، تخریب زیر ساخت‌های حمل و نقل و... را به بار می‌آورد. پدیده مذکور با وجود این‌که می‌تواند آب مورد نیاز گیاهان و آب مورد نیاز رودخانه ها را تأمین کند، اما در بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی خسارت زیادی وارد می‌کند. از دیگر اثرات شدید بارش‌های تندر فرسایش شدید خاک، آسیب به محصولات کشاورزی، تخریب زیر ساخت حمل و نقل جاده‌ای، تلفات جانی و مختل شدن ارتباطات برقی و مخابراتی و... را می‌توان اشاره کرد. (امیدوار،۱۳۹۲). توفان تندری جزء پدیده‌های مخرب اقلیمی محسوب می‌شود که همه‌ساله خسارت جبران‌ناپذیری را به‌صورت تگرگ، بارش‌های سیل‌آسا و رعدوبرق به تأسیسات، مزارع و منازل وارد می‌کند (لشگری و آقاسی، ۲۱۵:۱۳۹۱). این پدیده معمولاً یا بر اثر گرم شدن سطح زمین و صعود سریع توده‌های هوای بالای آن و یا در امتداد و به همراه جبهه‌های هوا، به‌ویژه در جبهه‌های سرد ظهور می‌کنند(کاویانی و علیجانی، ۱۱۰:۱۳۷۵). تمام خصوصیات بارز یک توفان تندری مانند: رؤیت برق، صدای رعد، وزش باد شدید، نزول تگرگ و بارش‌های رگباری خفیف تا بسیار شدید، حاصل تولید و چرخه حیات سلول‌های همرفتی کوچک و بزرگ در جو زمین است (علیزاده و همکاران، ۱۶۵:۱۳۸۰). این پدیده، نوعی از توفان است که عموماً با ابرهای همرفتی (ابرهای کومه‌ای) و معمولاً با سیلاب‌های لحظه‌ای و گاهی تگرگ و باد شدید همراه هستند (رسولی وهمکاران، ۱۳۹۶) ابرهای مربوط به توفان‌های تندری در بیشتر مناطق مشاهده می‌شوند، اما درصد کوچکی از این توفان‌های همرفتی، تولید شرایط هوای سخت را می‌کنند که شامل تورنادو، تگرگ با قطر بیش از ۱۵میلی‌متر و بادهای شدید با سرعت بیش از ۱۶متر بر ثانیه می‌شود. به علاوه درصد بیشتری از این توفان‌های همرفتی می‌توانند باعث ایجاد بارش‌های سیل‌آسا شوند. توفان‌های تندری می‌توانند در زمانی کوتاه رطوبت زیادی را با دبی بالا در منطقه کوچکی تخلیه کرده و ایجاد رواناب‌های سیل‌آسا کنند. بنابراین جنبه مخاطره آمیز بودن این بارش‌های رگباری ناشی از توفان‌های تندری در کنار باد شدید، ایجاد سیلاب‌های ناگهانی می‌باشد. اگر این سیلاب‌ها در مناطق شهری یا روستایی یا مناطق کشاورزی و باغات رخ دهند خسارت‌های اقتصادی و جانی به همراه خواهند داشت. اساساً حرکات عمودی در جو کلید بیشتر خصوصیات سیستم‌های همرفتی است. از این‌رو پیش نیاز اولیه برای تشکیل توفان‌های تندری رطوبت بالا، دمای بالا، جو ناپایدار، ساختار مناسب بادهای تراز بالا و سازوکار صعودی برای شروع فعالیت‌های همرفتی است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

به دلیل اهمیت رخداد این پدیده در مناطق مختلف در سال‌های اخیر تحقیقات فراوانی از جنبه‌های مختلف در این زمینه صورت پذیرفته تا هم از جنبه‌های هوا شناختی و هم از نظر رفتاری پدیده توفان تندری مورد کاوش قرار گیرد.

وایتمن (۲۰۰۳) با روش تحلیل همدیدی، پدیده‌های اقلیم کوهستانی به ویژه توفان‌های رعدوبرقی، تگرگ و روزهای توأم با بارش‌های سنگین را مطالعه کرد. همچنین استرلینگ در همان سال، از توفان‌های تندری به عنوان معضل مهم آمریکا در قرن بیستم یاد کرده و پیامدهای محیطی و اقتصادی ناشی از توفان‌های تندری و پدیده‌های مربوط به آن(تگرگ، سیل و باد شدید) را بر اقتصاد قشر کشاورز آمریکا بررسی کرده است. آدام و همکاران (۲۰۰۹) توسعه توفان تندری را در آفریقای جنوبی ناشی از گرادیان شدید دما و فشار و دمای نقطه شبنم می‌دانند. که مدل ۶ ETA و ۳ ساعته و همچنین استفاده از آنالیز میان مقیاس داده‌های راداری می-تواند زمان واقعی توسعه و جابه جایی توفان تندری را پیش‌بینی نماید. لوگینوف و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای تغییرات توفان‌های تندری و خصوصیات شکل‌گیری آن‌ها در بلاروس مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که در نواحی کوهستانی رخداد این پدیده بیش از سایر نواحی بوده است. لین لین 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 پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که پراکنش رخداد این پدیده در ماه می به سمت شمال کشیده می‌شود و در ماه سپتامبر به سمت جنوب عقب‌نشینی می‌کند. تغییرات فضایی و زمانی صاعقه‌های ابر به زمین بر روی قاره آمریکای شمالی در طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ نشان داد که فعالیت‌های شدید صاعقه‌ای بر روی قسمت‌های مرکزی آمریکا و همچنین بر روی قسمت‌های غربی کوهستان‌های آپالاش و بیشترین تناوب و تکرار از روزهای مهم وقوع صاعقه در روزهای تابستانی اتفاق می‌افتد. کالو و پاسکال (۲۰۱۰) با استفاده از مدل‌ها و طرح‌ها به بررسی توفان همرفتی بر روی دریای مدیترانه پرداخته‌اند. فراوانی توفان تندری را در منطقه کاتالونیا در اواخر بهار و تابستان به کوهستان محلی و تأثیرات دریایی نسبت داده‌اند. همچنین، کوهستان در ایجاد منطقه همگرایی محلی و کانالیزه کردن نسیم‌های دریایی نقش دارد. چارلز و دالسون (۲۰۱۲) به ارائه روش‌های علمی برای پیش‌بینی‌های بسیار کوتاه توفان‌های شدید آمریکا پرداخته‌اند. آن‌ها معتقدند که توجه به همه‌ی عوامل ایجاد وقایع هوایی ویژه و شدید باعث تمرکز و دقت بیشتری در فرایند پیش بینی می‌شود. مطالعه پنیتو و همکاران(۲۰۱۳) با عنوان تغییرات بلند مدت روزهای رعد و برق در جنوب شرقی برزیل انجام شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که توفان‌های سائوپائولو و کامپیاس افزایش داشته است و ریودوژانیرو نیز فاقد روند افزایشی بوده و به طور کلی افزایش فعالیت توفان‌های تندری در این مناطق با رخداد النینو و لانینا در ارتباط است. تجزیه و تحلیل اولیه ارائه شده بر روی تغییرات موقت و فضایی صاعقه‌های ثبت‌شده در یونان در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ نشان داد که از نظر زمانی بیشترین توفان‌های تندری در فصل پاییز به وقوع می‌پیوندد. فصول تابستان و بهار نیز در رده بعدی قرار دارند. پریتری و همکاران (۲۰۱۴) محاسباتی با دو مدل عددی مختلف که یکی مدل ایزونتروپیک جریان هوا بر روی آلپ و اطراف آلپ و دیگری یک مدل ابری برای توسعه توفان و یک خط توفانی می‌باشد به مطالعه‌ی سیمای شروع همرفت و سیر تکامل آن در دماغه آلپ شمالی پرداخته‌اند. قویدل و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی پهنه‌بندی ایران از نظر وقوع

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

توفان‌های تندری پرداخته‌اند. آن‌ها ۲۵ ایستگاه هواشناسی را انتخاب کرده و داده‌های بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ را استخراج کرده و به پهنه‌بندی وقوع این پدیده در ایران به کمک نرم افزار GIS و با روش سلسله مراتبی پرداخته‌اند.

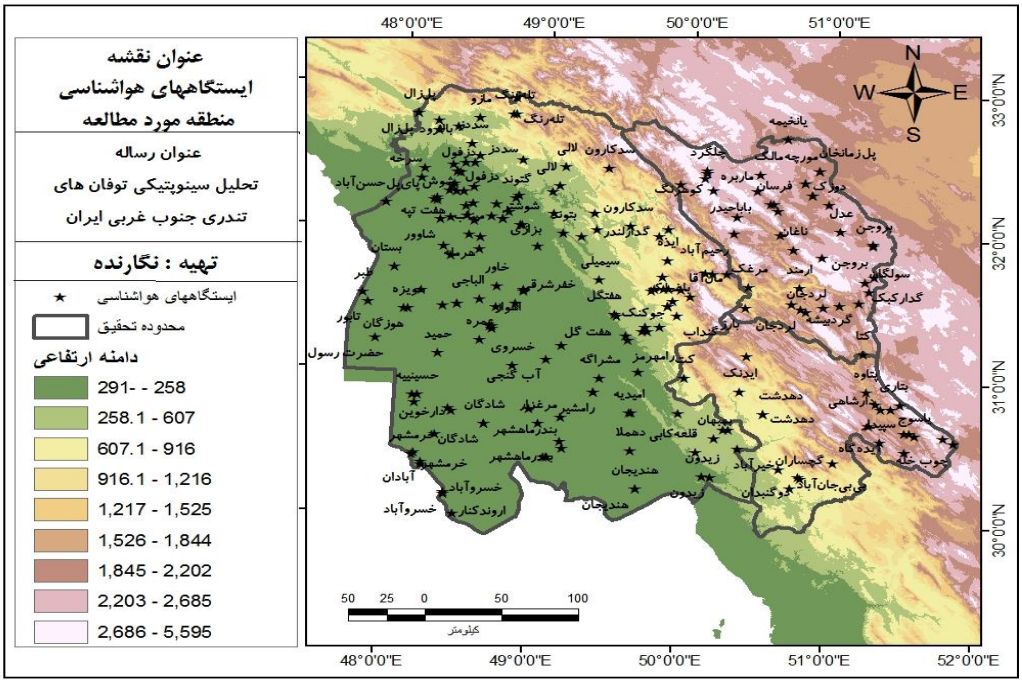
در ایران نیز تحقیقاتی در این باره صورت گرفته از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به کار حقیقت کاشانی(۱۳۸۹) اشاره کرد که با بررسی تکرار توفان‌ها در یک منطقه و بررسی‌های انجام شده در ایستگاه‌های مختلف از نظر فصل و فعالیت توفان تندری و با توجه به این‌که علت تشکیل توفان تندری دو عامل رطوبت و همرفت در نظر گرفته شده، دلیل انحراف توفان تندری، صرف نظر از تغییر روش دیده بانی به تغییر اقلیم نسبت داده شده است که یا به صورت طبیعی دوره‌ای می‌باشد و یا تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی موجب کاهش یا افزایش فرکانس توفان تندری می‌گردد. قویدل و همکاران (۱۳۹۳) به روند تغییرات زمانی مخاطره‌ی توفان تندری در ایران پرداخته‌اند. آن‌ها ۲۵ ایستگاه هواشناسی در کشور را در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ استفاده نموده‌اند. نواحی مختلف ایران در مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد بیشترین وقوع این پدیده در ماه‌های می و آوریل می‌باشد و در بازه‌های فصلی اوج فعالیت این توفان در بهار و پاییز می‌باشد. برومند و عالی جهان(۱۳۹۴) به بررسی تحلیل توفان‌های تندری در دشت اردبیل طی بازه‌ی بیست ساله ۱۹۹۲-۲۰۱۲ پرداخته‌اند. آن‌ها از روش سلسله مراتبی با فاصله‌ی اقلیدوسی استفاده نموده و ۴ الگو استخراج نموده‌اند که عوامل ایجاد توفان‌های تندری را بر این منطقه نشان می‌دهد. فلاح قالهری و شاکری(۱۳۹۴) به شناسایی روند تغییرات فراوانی وقوع توفان‌های تندری در ایران پرداخته و دریافتند بیشترین مقدار روند مربوط به ایستگاه‌های یزد و کاشان می‌باشد که هر دو در حاشیه کویر مرکزی ایران واقع شده‌اند. به عبارت دیگر، بیشترین میزان تغییرپذیری مثبت نسبت به میانگین بلند مدت در این دو شهر رخ داده است. با توجه به وجود جهش در داده‌های توفان تندری همچنین وضعیت روند در نمودارها مشخص می‌شود که وجود روند برای پارامتر مذکور در اکثر ایستگاه‌ها از تغییرات ناگهانی ناشی شده است. همچنین نتایج نشان داد روند تغییرات در امتداد عرض جغرافیایی شدیدتر از طول جغرافیایی است. رسولی و همکاران(۱۳۹۵) به بررسی شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی توفان‌های تندری پرداختند، که منجر به سیل شدید ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ که در این توفان خسارات مالی و جانی فراوانی شده بود. نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط سینوپتیکی مساعد برای وقوع توفان تندری از جمله کم فشار تراز دریا ناوه تراز میانی، همگرایی رطوبت و وجود رطوبت در لایه‌های پایینی جو وجو دارد. عزیزی و همکاران(۱۳۹۶)، درتحقیقی با عنوان تحلیل فضایی توفان‌های تندری در گستره کشور ایران نتیجه گرفتند که بیشترین توفان‌های تندری سالانه در شمال غرب ایران رخ می‌دهد و کمترین میزان آن بر نواحی مرکزی و شرقی کشور منطبق است. همچنین طبق تحلیل‌های فصلی، با این‌که بیشترین میزان پراکندگی ایستگاه‌ها در ارتفاع ۸۰۰ تا ۱۳۰۰ متری قرار دارد، اما حداکثر وقوع این پدیده در فصول مختلف ایستگاه‌ها از ارتفاع صفر تا ۲۲۰۰ متری تغییر دارد. نتیجه کلی نشان می‌دهد که عامل ارتفاع، همبستگی کمی با وقوع پدیده توفان تندری داشته و بیشترین همبستگی مربوط به عامل عرض جغرافیایی است. با توجه به اهمیت بالای وقوع توفان تندری و عواقب ناشی از آن در جنوب غرب ایران، هدف این تحقیق بررسی تحلیل سینوپتیک توفان‌های تندری در مناطق جنوب غربی ایران و میزان اثر پذیری آن می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

به منظور دستیابی به اهداف این پژوه از ۱۳ ایستگاه هواشناسی در ۳ استان چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان در دوره آماری ۳۰ ساله یعنی از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفت. در گام اول فراوانی این رخدادهای حدی در مقیاس‌های زمانی ماهانه ساعتی تا فصلی براساس یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۵) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله بعد توزیع فضایی فراوانی رخدادهای گردوغبار در سطح منطقه با استفاده از نقشه‌های درون‌یابی شده ارائه می‌گردد. در نهایت ویژگی‌های ترمودینامیکی چند نمونه تیپیک از رخدادهای توفان‌های تندری فراگیر ثبت شده (که حداقل در ۵۰ درصد از ایستگاه‌های منطقه ثبت شده باشد) از طریق شاخص‌های ترمودینامیکی توفان تندری شامل شاخص‌های K، L، S، شولتر، شاخص تامپسون و شاخص مجموع مجموع‌ها(TT) ویژگی‌های ترمودینامیکی این رخدادهای توفان تندری فراگیر در منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد و در نهایت ویژگی‌های همدیدی این رخدادهای با استفاده از داده‌های پایگاه ECMWF بررسی می‌شود.



شکل(۱). موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

جدول (۱). موقعیت ایستگاه‌های انتخابی منطقه مورد مطالعه

استان کهگیلویه و بویراحمد			
نام ایستگاه	ارتفاع ایستگاه	سال تاسیس	طول دوره آماری
دوگنبدان	۷۲۶,۰متر	۱۹۸۵	۳۰سال
یاسوج	۱۸۱۶,۳متر	۱۹۸۷	۳۰سال
استان چهارمحال و بختیاری			
نام ایستگاه	ارتفاع ایستگاه	سال تاسیس	طول دوره آماری
شهرکرد	۲۰۴۸,۹متر	۱۹۵۵	۳۰سال
کوهرنگ	۲۲۸۵,۰متر	۱۹۸۷	۳۰سال
استان خوزستان			
نام ایستگاه	ارتفاع ایستگاه	سال تاسیس	طول دوره آماری
آبادان	6.6متر	۱۹۵۱	۳۰سال
امیدیه-آغاجاری	۲۷,۰متر	۱۹۸۴	۳۰سال
امیدیه-پایگاه	۳۴,۹متر	۱۹۸۳	۳۰سال
اهواز	۲۲,۵متر	۱۹۵۱	۳۰سال
بستان	۷,۷متر	۱۹۸۶	۳۰سال
دزفول	۱۴۳,۰متر	۱۹۶۱	۳۰سال
رامهرمز	۱۵۰,۵متر	۱۹۸۷	۳۰سال
صفی دزفول	۸۲,۹متر	۱۹۸۷	۳۰سال
مسجد سلیمان	۳۲۰,۵متر	۱۹۸۵	۳۰سال
بندرماهشهر	۶,۲متر	۱۹۸۷	۳۰سال

داده و روش کار

در بخش تحلیلی توزیع فضایی فراوانی رخدادهای گردوغبار در سطح منطقه، با استفاده از نقشه‌های درون‌یابی شده که ارائه شده است و ویژگی‌های همدید چند نمونه تیپیک از رخدادهای توفان‌های تندری که ثبت شده است از طریق شاخص‌های ترمودینامیکی توفان تندری استفاده گردیده است.

برای تحلیل شرایط سینوپتیک منطقه از داده‌های فشار، ارتفاع ژئوپتانسیل، رطوبت ویژه، مؤلفه‌های نصف-النهاری و مداری باد، برای ترازهای پایینی و میانی جو که از سازمان هواشناسی اخذ گردید استفاده شد. برای تحلیل ترمودینامیکی رخدادهای توفان تندری نیز از آن‌جا که از بین ایستگاه‌های مورد بررسی تنها ایستگاه سینوپتیک اهواز دارای داده‌های جو بالا (داده‌های دیدبانی شده توسط رادیوسوند) می‌باشد لذا داده‌های جو بالا که برای محاسبه شاخص‌های ترمودینامیکی مورد نیاز هستند، تنها برای ایستگاه اهواز وجود دارند و سایر ایستگاه‌های منطقه مجهز به رادیوسوند نبوده و لذا اطلاعات جو بالا برای آن‌ها وجود ندارد. بنابراین به دلیل این محدودیت تنها روزهایی انتخاب گردید که علاوه بر سایر ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه حتما در ایستگاه سینوپتیک اهواز نیز دیدبانی شده باشد. جدول(۲).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

جدول(۲). تعداد روزهای انتخاب شده توأم با توفان تندری (کدهای دیدبانی توفان تندری) با تأکید بر این‌که حتما در ایستگاه اهواز هم ثبت شده باشند(به دلیل وجود داده‌های رادیوسوند تنها برای ایستگاه اهواز)

تاریخ	معادل شمسی	ساعت دیدبانی
۲۵ نوامبر ۱۹۹۴	۴ آذر ۱۳۷۳	۱۲
۲۸ ژانویه ۲۰۰۳	۸ بهمن ۱۳۸۱	۰۹
۷ژانویه ۲۰۰۴	۱۷ دی ۱۳۸۲	۱۲
۱۱ مارس ۲۰۰۵	۲۱ اسفند ۱۳۸۳	۱۵
۳۰ آپریل ۲۰۰۹	۱۰اردیبهشت ۱۳۸۸	۱۸
۵ آپریل ۲۰۱۳	۱۶ فروردین ۱۳۹۲	۱۸

نتایج

تحلیل فراوانی رخدادهای توفان تندری

در این بخش اقدام به تحلیل فراوانی رخدادهای توفان تندری در مقیاس زمانی ساعتی تا سالانه می‌گردد. در جدول(۳) کدهای مربوط به توفان تندری ارائه شده است. از میان کدهای مرتبط با توفان تندری که ۸ کد می‌باشد، کدهای اصلی مربوط به پدیده توفان تندری کدهای ۹۵ تا ۹۹ بوده است که در این تحقیق تنها فراوانی این کدها در ایستگاه‌های منطقه بررسی شده است.

جدول(۳). کدهای مربوط به توفان تندری ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه

کد	شرح
۱۳	برق دیده شده ولی صدای رعد به گوش نرسد
۱۷	رعد و برق - بدون بارندگی در ساعت دیده بانی
۲۹	رعد و برق - با بارندگی و یا بدون بارندگی - طی ساعت گذشته
۹۵	رعد و برق ملایم یا متوسط توام با باران یا برف و یا مختلط برف و باران در وقت دیده بانی (بدون
۹۶	رعد و برق ملایم یا متوسط توام با تگرگ در وقت دیده بانی
۹۷	رعد و برق شدید توام با باران یا برف و یا مخلوط برف و باران در وقت دیده بانی (بدون تگرگ).
۹۸	رعد و برق توام با طوفان گرد و خاک و یا طوفان شن در هنگام دیده بانی
۹۹	رعد و برق شدید توام با تگرگ در وقت دیده بانی

فراوانی سالانه

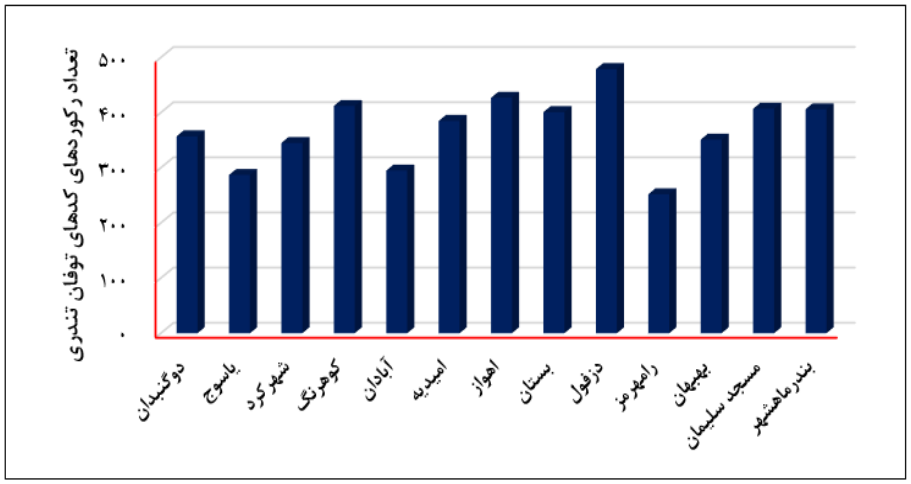
در جدول(۴) تعداد روزهای توام با پدیده توفان تندری در ایستگاه‌های مورد مطالعه منطقه طی دوره ۳۰ ساله مورد بررسی یعنی (۱۹۸۵-۲۰۱۵) که همه ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای پایه آماری مشترکی بوده‌اند، ارائه شده است. لازم به ذکر است، در این جدول تنها مجموع کدهای اصلی توفان تندری یعنی کدهای ۹۵ تا ۹۹ و ۱۳، ۱۷، ۲۹ ارائه شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

جدول(۴). مجموع تعداد رکوردهای کدهای مربوط به پدیده توفان تندری طی دوره آماری۱۹۸۵-۲۰۱۵

استان	ایستگاه‌های سینوپتیک اصلی	مجموع تعداد روزهای توام با پدیده توفان تندری طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۵
کهگیلویه و بویراحمد	دوگنبدان	۳۵۷
	یاسوج	۲۸۷
چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	۳۴۵
	کوهرنگ	۴۱۲
خوزستان	آبادان	۲۹۵
	امیدیه	۳۸۵
	اهواز	۴۲۷
	بستان	۴۰۱
	دزفول	۴۷۹
	رامهرمز	۲۵۲
	بهبهان	۳۵۱
	مسجد سلیمان	۴۰۷
	بندرماهشهر	۴۰۶

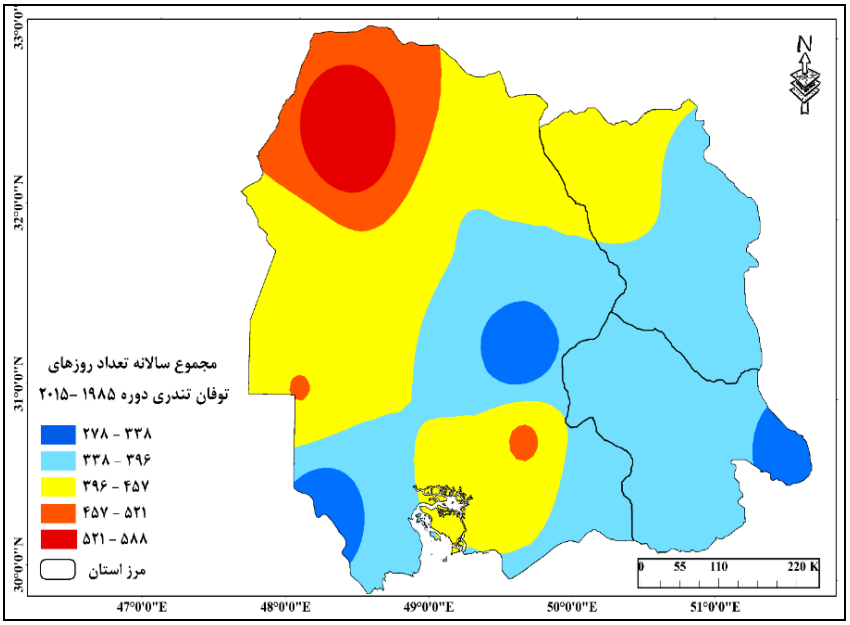
همان‌طور که در شکل(۲) مشاهده می‌گردد، ایستگاه دزفول با ثبت کردن ۴۷۹ پدیده توفان تندری طی دوره آماری ۳۰ ساله بیشترین تعداد رخدادهای توفان تندری را در منطقه داشته است و بعد از آن ایستگاه‌های اهواز و سپس کوهرنگ بوده‌اند که به ترتیب۴۲۷ و ۴۱۲ مشاهده توفان تندری (کدهای ۹۹-۹۵ و ۱۳، ۱۷، ۲۹) را داشته‌اند. کمترین تعداد رخداد پدیده توفان تندری در ایستگاه رامهرمز و سپس آبادان بوده است که در این ایستگاه‌ها به ترتیب طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۵ ، ۲۵۲ و ۲۵۹ روز توأم با پدیده توفان تندری وجود داشته است.



شکل(۲). نمودار فراوانی ایستگاهی تعداد روزهای توام با پدیده توفان تندری طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

در شکل(۳) توزیع فضایی تعداد رخدادهای توفان تندری سالانه(مجموع سالانه دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۵) در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، به طور کلی بخش‌های شمالی استان خوزستان به ویژه در شهرستان‌های دزفول و نیز شهرستان کوهرنگ در چهارمحال و بختیاری طی دوره مورد بررسی بیش از ۵۲۰ رخداد توأم با توفان تندری(اعم از انواع کدهای توفان تندری) داشته‌اند در حالی که بخش‌های جنوبی و شرقی منطقه به طور نسبی تعداد کمتری فراوانی توفان تندری داشته‌اند.



شکل(۳). نقشه توزیع فضایی فراوانی سالانه تعداد روزهای توام با پدیده توفان تندری طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۵

فراوانی فصلی

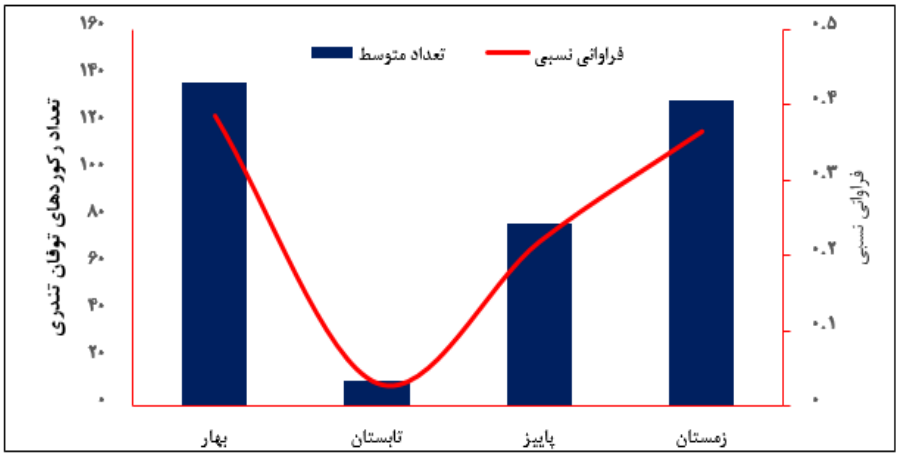
در جدول(۵) توزیع فصلی تعداد روزهای توأم با توفان تندری که از میانگین ماهانه تعداد رزوهای توأم با پدیده توفان تندری ثبت شده همه ایستگاه‌های منطقه به دست آمده است، ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، طی فصل بهار براساس دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۵ به طور متوسط(میانگین فضایی ایستگاه‌های منطقه) به طور متوسط در منطقه ۱۳۷ روز توأم با پدیده توفان تندری(کدهای۹۹-۹۵ و ۱۳، ۱۷، ۲۹) ثبت شده است. در حالی که در فصل تابستان به طور متوسط در منطقه تنها ۱۰ روز توأم با توفان تندری ثبت شده است. در فصل پاییز نیز همان‌طور که در جداول(۲ تا ۴) مشاهده می‌گردد، طی دوره أماری ۲۰۱۵-۱۹۹۰، ۷۷ روز توأم با پدیده توفان تندری (میانگین تعداد روزهای ثبت شده توأم با پدیده توفان تندری در هر کدام از ایستگاه‌ها) ثبت شده است. در نهایت در فصل زمستان نیز ۱۲۵ روز توأم با پدیده توفان تندری در سطح منطقه ثبت شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

جدول(۵). میانگین فصلی تعداد رکوردهای کدهای مربوط به پدیده توفان تندری طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۵

فصل	تعداد متوسط	فراوانی نسبی
بهار	۱۳۷	۰/۳۹
تابستان	۱۰	۰/۰۳
پاییز	۷۷	۰/۲۲
زمستان	۱۲۵	۰/۳۵

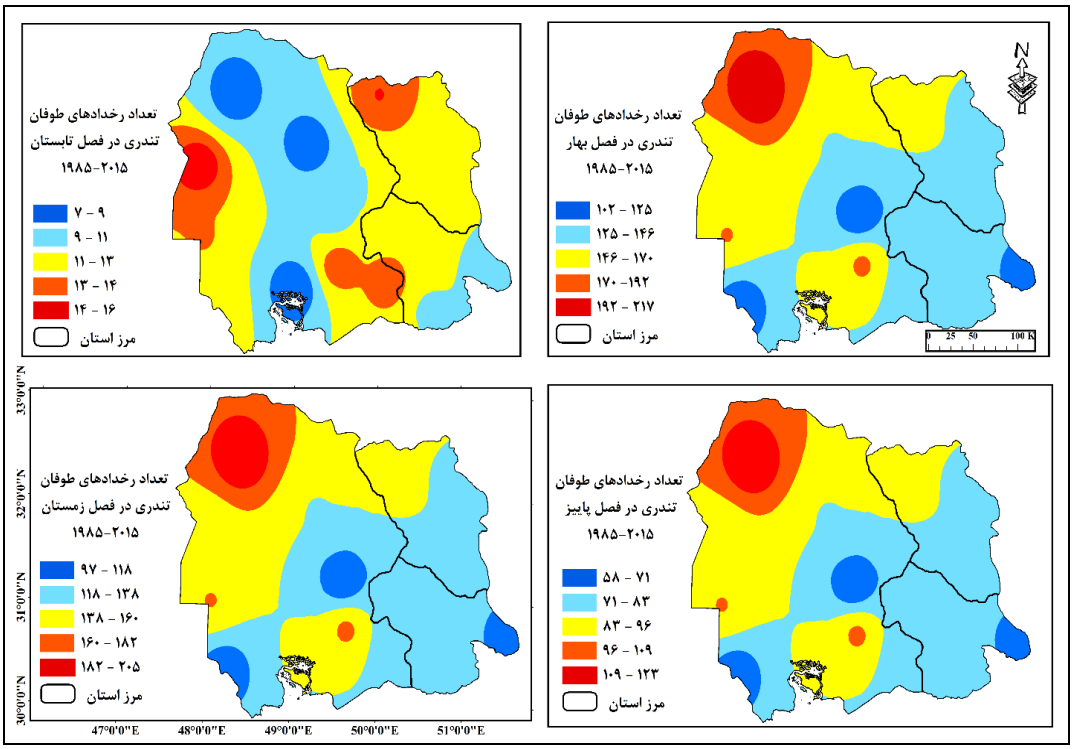
همان‌طور که در شکل(۴) مشاهده می‌گردد، به طور متوسط از تعداد کل پدیده‌های گردوغبار سالانه در سطح منطقه، ۰/۳۹ آن مربوط به فصل بهار بوده است و بعد از آن فصل زمستان ۰/۳۵ از کل روزهای توأم با پدیده گرد و غبار را به خود اختصاص داده است. فصل تابستان نیز که کمترین تعداد روزهای توأم با توفان تندری را داشته است، کمتر از ۰/۰۳ از تعداد کل روزهای توأم با توفان تندری را به خود اختصاص داده است.



شکل(۴). نمودارفراوانی فصلی تعداد روزهای توام با پدیده توفان تندری طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۵

الگوی فصلی توزیع فضایی تعداد روزهای توأم با توفان تندری در شکل(۵) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در سه فصل بهار، پاییز و زمستان، الگوی توزیع فضایی فراوانی تعداد رخدادهای توأم با گردوغبار، نسبتاً مشابه بوده است و نواحی شمالی منطقه دارای فراوانی بیشتری از توفان‌های تندری بوده است در حالی که در فصل تابستان اولاً تعداد رخدادهای توفان تندری به صورت معنی داری کاهش پیدا کرده است و دوماً نواحی شرقی و غربی منطقه دارای فراوانی بیشتری نسبت به نواحی شمالی بوده‌اند.

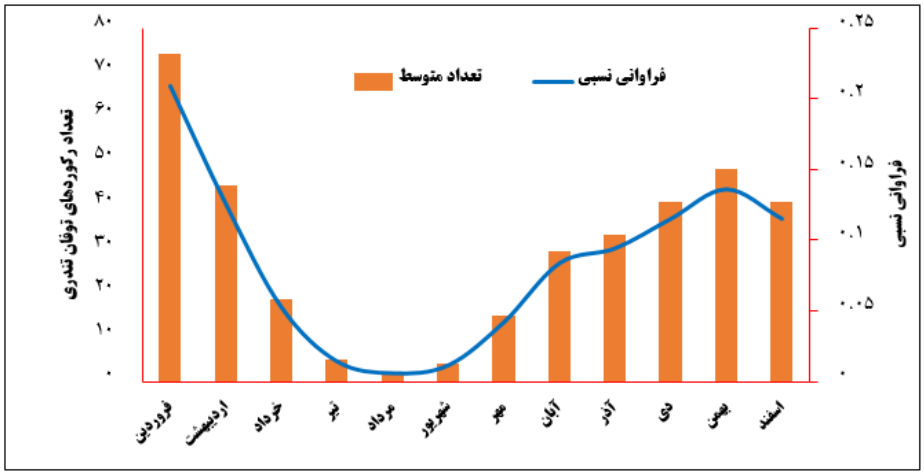
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]



شکل(۵). نقشه توزیع فضایی فراوانی فصلی تعداد روزهای توام با پدیده توفان تندری طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۵

در شکل(۶) فراوانی ماهانه تعداد متوسط روزهای توأم با پدیده توفان تندری در سطح منطقه ارائه شده است. فراوانی متوسط ماهانه از میانگین تعداد پدیده‌های توفان تندری ثبت شده در کل ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه به دست آمد. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌گردد، ماه فروردین بیشترین تعداد روزهای توام با پدیده توفان تندری را در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. در این ماه طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۵، تعداد ۷۵ روز توأم با پدیده کدهای توفان تندری (کدهای ۹۹-۹۵ و ۱۳، ۱۷، ۲۹) که برابر ۰/۲۱ از تعداد کل پدیده‌های ثبت شده توفان تندری طی سال در منطقه است، ثبت شده است. دومین ماه با فراوانی بالای پدیده توفان تندری ماه بهمن بوده است که در این ماه طی دوره آماری مورد مطالعه یعنی ۱۹۸۵-۲۰۱۵ تعداد ۴۸ روز توأم با پدیده توفان تندری در منطقه ثبت شده است که برابر ۰/۱۴ از کل فراوانی سالانه روزهای توأم با پدیده توفان تندری بوده است. کمترین فراوانی روزهای توأم با پدیده توفان تندری مربوط به ماه مرداد و سپس تیر و شهریور بوده است در ماه مرداد طی دوره آماری مورد بررسی تنها ۲ مورد پدیده توفان تندری در منطقه مشاهده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]



شکل(۶). نمودارفراوانی ماهانه تعداد روزهای توام با پدیده توفان تندری طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۵

تحلیل سینوپتیکی و دینامیکی رخدادهای توفان تندری منطقه

سری زمانی مورد بررسی این تحقیق، دوره آماری ۳۰ ساله(۱۹۸۵-۲۰۱۵) بوده است. این دوره آماری برای ایستگاه‌هایی که پایه مشترک آماری در این دوره داشتند، یعنی ۱۳ ایستگاه سینوپتیک منطقه، بوده است. کدهای مشاهداتی مربوط به انواع توفان تندری در ۱۳ ایستگاه مورد بررسی طی دوره آماری مذکور مورد بررسی قرار گرفت. از بین تعداد فراوانی از رخدادهای توفان تندری برای هر ایستگاه، نکات مهمی مشاهده گردید. از بین تعداد فراوانی رخداد توفان تندری (شامل همه کدهای مورد بررسی) هیچ نمونه توفان تندری مشاهده نگردید که در همه ایستگاه‌های مورد بررسی به صورت همزمان در یک دیدبانی یا حتی در یک روز ثبت شده باشد. بنابراین شرایط ترمودینامیکی مولد توفان تندری در منطقه مورد بررسی یکسان نمی‌باشد. نکته مهم دیگر این است که از بین ایستگاه‌های مورد بررسی تنها ایستگاه سینوپتیک اهواز دارای داده‌های جو بالا(داده‌های دیدبانی شده توسط رادیوسوند) می‌باشد لذا داده‌های جو بالا که برای محاسبه شاخص‌های ترمودینامیکی مورد نیاز هستند، تنها برای ایستگاه اهواز وجود دارند و سایر ایستگاه‌های منطقه مجهز به رادیوسوند نبوده و لذا اطلاعات جو بالا برای آن‌ها وجود ندارد. بنابراین به دلیل این محدودیت تنها روزهایی انتخاب گردید علاوه بر سایر ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه حتماً در ایستگاه سینوپتیک اهواز نیز دیدبانی شده باشد. با این قید (لزوم مشاهده کد توفان تندری در ایستگاه اهواز) تعداد ۸ روز نمونه تیپیک توفان تندری انتخاب گردید جداول(۴ تا ۶). برای تحلیل شرایط سینوپتیکی ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰ و تراز سطح زمین، این روزها، از داده‌های شبکه‌بندی شده ۲/۵ درجه پایگاه جوی اقیانوسی ایالات متحده(NOAA) استفاده گردید. ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ میلی‌بار، فشار سطح زمین، وزش رطوبتی(شامل مؤلفه‌های کامپوزیت باد مداری و نصف النهاری، و رطوبت ویژه) و امگای تراز ۸۵۰ میلی‌بار (حرکات قایم تراز ۸۵۰ میلی‌بار) برای تحلیل شرایط سینوپتیک رخدادهای توفان تندری برای روزهای مذکور مورد بررسی قرار گرفت جدول(۶).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

جدول(۶). تعداد روزهای انتخاب شده توام با توفان تندری (کدهای دیدبانی توفان تندری) با تأکید بر این‌که حتما در ایستگاه اهواز هم ثبت شده باشند(به دلیل وجود داده‌های رادیوسوند تنها برای ایستگاه اهواز)

تاریخ	معادل شمسی	ساعت دیدبانی
۲۵ نوامبر ۱۹۹۴	۴ آذر ۱۳۷۳	۱۲
۲۸ ژانویه ۲۰۰۳	۸ بهمن ۱۳۸۱	۰۹
۷ژانویه ۲۰۰۴	۱۷ دی ۱۳۸۲	۱۲
۱۱ مارس ۲۰۰۵	۲۱ اسفند ۱۳۸۳	۱۵
۱۲ ژانویه ۲۰۰۶	۲۲ دی ۱۳۸۴	۱۲
۱۴آپریل ۲۰۰۷	۲۵ فروردین ۱۳۸۶	۱۵
۳۰ آپریل ۲۰۰۹	۱۰ اردیبهشت ۱۳۸۸	۱۸
۵ آپریل ۲۰۱۳	۱۶ فروردین ۱۳۹۲	۱۸

برای بررسی ویژگی‌های ترمودینامیکی لایه‌های بالای هوا، از شاخص‌های ناپایداری مربوط به توزیع دما و رطوبت در لایه‌های زیرین تروپوسفر استفاده گردید. این داده‌ها با استفاده از مشاهدات رادیوسوند، برای ایستگاه جو بالای اهواز با استفاده از داده‌های پایگاه جو بالای دانشگاه وایومینگ، مورد بررسی قرار گرفت. اکثر شاخص‌ها رابطه‌ای بین دماهای پایین و لایه‌های بالاتر تروپوسفر و یا این که اختلاف بین دمای نقطه شبنم لایه‌های زیر با لایه‌های سطوح اواسط ورد سپهر می‌باشند. استفاده از شاخص‌های ناپایداری جهت پیش بینی توفان‌های تندری توده هوا می‌باشند که امروزه در جهان مورد توجه بسیاری از هواشناسان قرار گرفته‌اند. در این تحقیق از ۵ شاخص ترمودینامیکی تحت عناوین شاخص K، شاخص LI، شاخص شولتر(SI)، شاخص مجموع مجموع‌ها(TT) و در نهایت شاخص تامپسون(TI) استفاده گردید. در ادامه به تحلیل سینوپتیکی و دینامیکی اوضاع جوی ۲ روز به عنوان نمونه روزهای توام با توفان تندری در منطقه پرداخته می‌شود.

روز ۲ مارس ۱۹۹۶

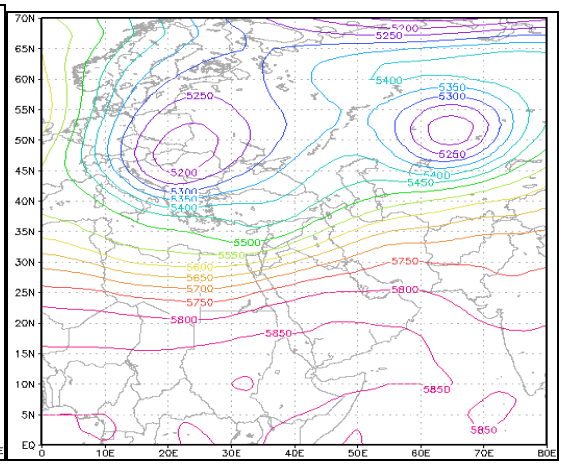
شکل(۷) نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای روز ۲ مارس ۱۹۹۶ نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌شود یک مرکز کم ارتفاع بسته شده با ارتفاع مرکزی ۵۲۵۰ ژپوپتانسیل متر در مرکز اروپا و یک مرکز کم ارتفاع دیگر با ارتفاع مرکزی ۵۲۰۰ ژئوپتانسیل متر در شمال دریاچه آرال مستقر شده است که موجب تشکیل یک فراز مانع در ایران شده‌اند که محور آن از شمال دریای خزر تا نواحی جنوب ایران کشیده شده است که به دلیل وجود این فراز مانع ایران دوقسمت شده است یعنی غرب ایران در پشت فراز مانع قرار گرفته است و شرایط را برای ناپایداری و پدیده توفان تندری فراهم کرده است.

شکل(۸) نقشه تراز دریا را برای روز ۲ مارس ۱۹۹۶ نشان می‌دهد همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، یک کم فشار بسته با فشار مرکزی ۱۰۰۷/۵ بر روی شمال دریاچه آرال قرار دارد و در شرق افغانستان نیز یک مرکز کم فشار بسته قرار دارد که زبانه‌های این دو کم فشار بیشتر نواحی مرکزی و جنوبی ایران را در برگرفته است در جنوب کشور عراق نیز یک کم فشار بسته با فشار مرکزی ۱۰۰۷ هکتوپاسکال وجود دارد که به حرکت

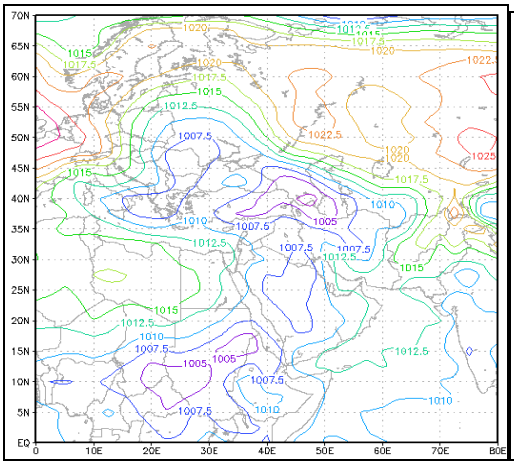
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

پادساعتگرد خود باد را از مناطق جنوب وارد ایران و منطقه مطالعاتی جنوب غرب کرده و شرایط مناسبی را برای ناپایداری و صعود فراهم می‌کند.

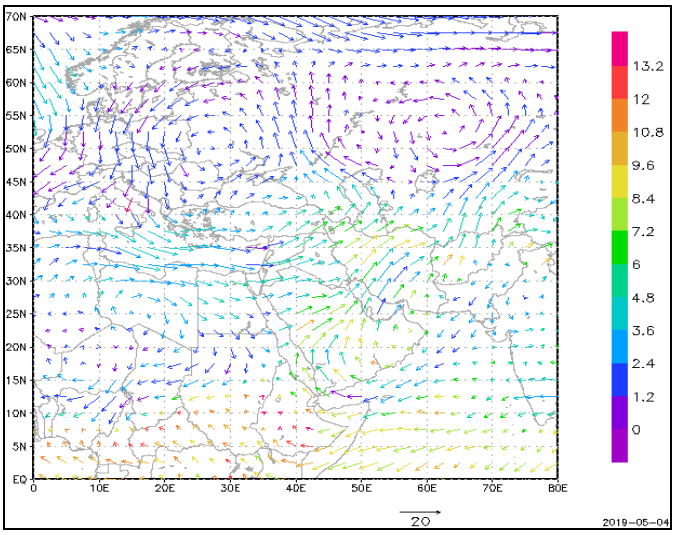
شکل(۹) نقشه وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲ مارس ۱۹۹۶ نشان می‌دهد در این روز در جنوب کشور عراق نیز یک کم فشار بسته وجود دارد که به حرکت پادساعتگرد خود باد را از مناطق جنوب وارد ایران و منطقه مطالعاتی جنوب غرب کرده به موازات حرکت خود، رطوبت را از خلیج عدن، دریای سرخ و خلیج فارس را به مناطق جنوب غرب و غرب ایران تزریق کرده و شرایط مناسبی را برای ناپایداری و صعود فراهم می‌کند.



شکل(۷). نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲ مارس ۱۹۹۶



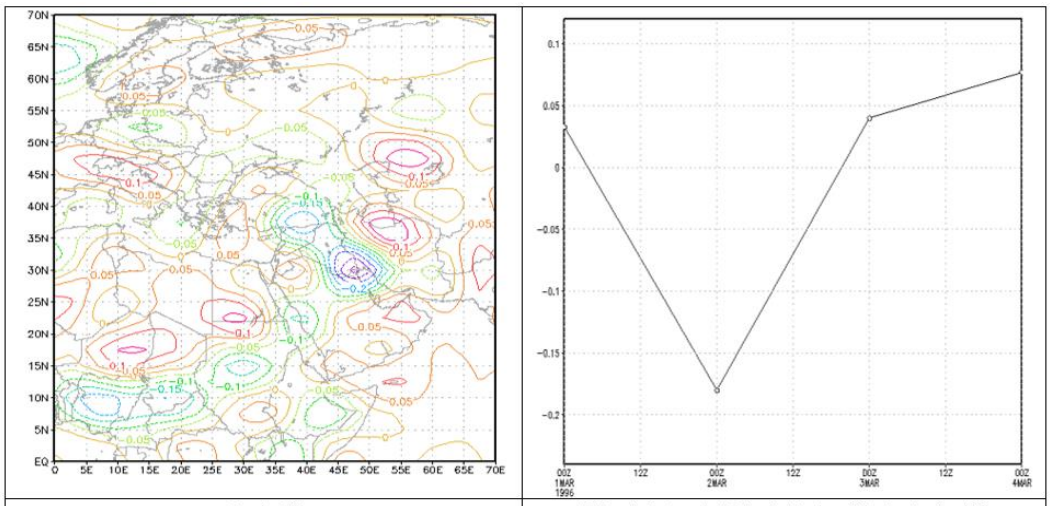
شکل(۸). نقشه تراز دریا روز ۲ مارس ۱۹۹۶



شکل(۹). نقشه وزش رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲ مارس ۱۹۹۶

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

شکل (۱۰ (چپ)) نقشه امگای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز۲ مارس ۱۹۹۶ نشان می‌دهد در این روز ناپایداری در جنوب غرب ایران و خلیج فارس وجود دارد همان‌طورکه مشاهده می‌شود، جنوب‌غربی غرب ایران و شمال خلیج فارس یک هسته صعود تشکیل شده که دلیلی بر وجود ناپایداری در بخش‌های جنوب غربی کشور است به طوری‌که در تمامی نواحی جنوب غرب ایران هسته‌های صعود هوا استقرار یافته این هسته‌های صعود وجود ناپایداری شدید را در روز۲ مارس ۱۹۹۶ در منطقه مورد مطالعه تأیید می‌کنند. شکل (۱۰ (راست)) دیاگرام هاف مولر زمانی امگای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (روز ۱ -۴ مارس ۱۹۹۶) را ارائه کرده است همان‌طوری که دیده می‌شود بر اساس دیاگرام هاف مولر مشاهده می‌شود که در روز۲ مارس ۱۹۹۶ در ساعت ۳/۳۰ به وقت محلی(۰۰ به وقت UTC) به بیشترین مقدار منفی خود(۰/۲- پاسکال برثانیه صعود در تراز ۸۵۰ میلی بار) رسیده است که دلیلی بر وجود ناپایداری و صعود هوا در تراز ۸۵۰ میلی بار در منطقه مطالعاتی جنوب غرب ایران می‌باشد.



شکل (۱۰) توزیع شاخص دینامیکی امگای تراز۸۵۰ هکتوپاسکال

نتایج حاصل از محاسبه هریک از شاخص‌های آشکارسازی و سنجش توفان تندری برای روز ۲ مارس ۱۹۹۶ در جداول(۴ تا ۸) ارائه شده است. با توجه به مندرجات جدول(۷) شاخص KI که نشان می‌دهد حرکات همرفتی یکی از ملزومات و نشانه‌های وقوع توفان تندری است در ایستگاه اهواز در ساعت ۳/۳۰ عدد ۳۲/۶ را نشان می دهد که وقوع توفان تندری بین ۶۰ تا ۸۰ درصد بوده است. بر اساس محاسبات انجام گرفته شاخص TTI (مجموع مجموع‌ها) در ساعت ۳/۳۰ برابر با ۴۹/۶ بوده که نشانگر حرکات بالاروی همرفتی در حد امکان وقوع توفان تندری بوده است.

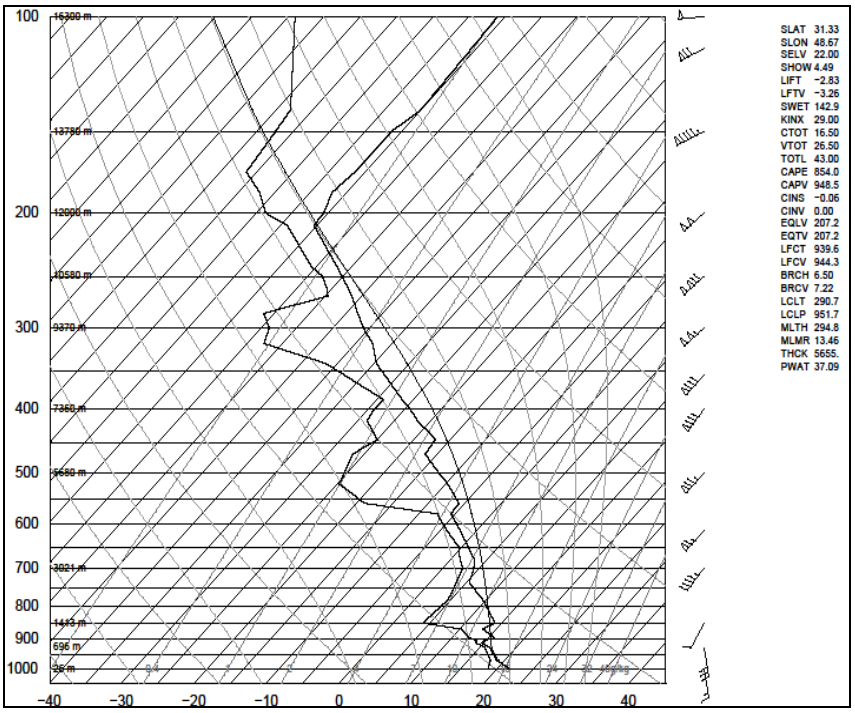
یکی از نشانه‌های وقوع یا احتمال وقوع توفان تندری وجود و تشدید حرکات بالارونده است که با شاخص LI قابل سنجش است. کم شدن اختلاف دمای بسته هوا با دمای نقطه شبنم در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۳/۳۰ نشانه ای بر احتمال وقوع ناپایداری در جو بوده است و نزول دمای هوای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به کمتر از دمای نقطه شبنم نشان دهنده وقوع ناپایداری در جو است. مقدار عددی این شاخص برای ایستگاه جو بالای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

اهواز که با استفاده از داده‌های اندازه گیری شده توسط رادیوسوند ایستگاه جو بالای اهواز به دست آمده است برابر ۱- بوده است که در واقع آستانه ناپایداری و وقوع توفان تندری می‌باشد. شاخص مجموع مجموع‌ها نیز که یکی دیگر از شاخص‌های مورد استفاده برای بررسی ناپایداری هوا در منطقه می‌باشد نیز همان‌طور که در جدول(۷) مشاهده می‌گردد، برابر ۴۹/۶ بوده است که شانس وقوع توفان تندری را متوسط تا کم نشان می‌دهد. اما شاخص تامپسون همان‌طور که مشاهده می‌شود، برابر ۲۲ بوده که ایجاد توفان تندری را محتمل نشان می-دهد.

جدول(۷). برآورد شاخص های وقوع و شدت توفان تندری برای ۲ مارس ۱۹۹۶(محاسبه شده براساس داده های رادیوسوند ایستگاه جوبالای اهواز)

	ساعت دیدبانی	مقدار شاخص	توضیحات
شاخص K	۱۲UTC(۳/۳۰ به وقت محلی)	۳۲/۶	پیش بینی رعد و برق در برخی نواحی
شاخص LI	۱۲UTC(۳/۳۰ به وقت محلی)	-۲/۸	احتمال وقوع توفان
شاخص شولتر(SI)	۱۲UTC(۳/۳۰ به وقت محلی)	-۱	آستانه ناپایداری
شاخص مجموع مجموع ها(TT)	۱۲UTC(۳/۳۰ به وقت محلی)	۴۹/۶	شانس وقوع توفان شدید متوسط تا کم است
شاخص تامپسون(TI)	۱۲UTC(۳/۳۰ به وقت محلی)	۲۲	وجود توفان تندری



شکل(۱۱). نمودار ترمودینامیکی (اسکیوتی) جو بالای اهواز ۲ مارس ۱۹۹۶

(محاسبه شده براساس داده های رادیوسوند ایستگاه جوبالای اهواز)

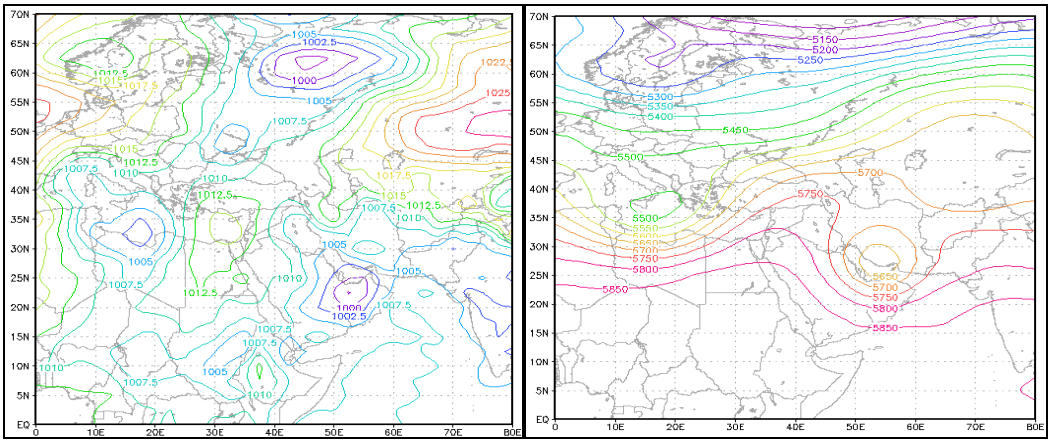
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

روز ۵ آپریل ۲۰۱۳

شکل(۱۲) شرایط سینوپتیکی حاکم در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۵ آپریل۲۰۱۳ را نشان می‌دهد با توجه به نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۵ آپریل سال ۲۰۱۳ مرکز کم ارتفاعی با ارتفاع مرکزی ۵۶۵۰ ژئوپتانسیل متر بر روی جنوب و جنوب‌غرب ایران (نصف النهار ۵۵ شرقی و مدار ۳۵ درجه شمالی) مستقر شده است گرادیان ارتفاع ناوه مذکور ۲۰۰ ژئوپتانسیل متر است که مرکز آن همان‌طوری که گفته شد بر روی جنوب و جنوب‌غرب ایران (خلیج فارس) بر قرارگرفته و ارتفاع ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متر آن تا جنوب دریای سرخ امتداد یافته است. با توجه به محل قرارگیری این ناوه امواج غربی در این روز دو شاخه شده که یک شاخه آن شمالی بوده و به طرف روسیه و سیبری منحرف شده و بخش جنوبی آن به عرض‌های پایین کشیده شده است و با توجه به کشیده شدن یک شاخه از این امواج غربی به عرض‌های جنوبی کشور، که رطوبت زیادی را از خلیج فارس و منابع آبی جنوب کسب کرده و باعث ایجاد ناپایداری و بارش در مناطق جنوبی و جنوب غرب ایران شده است همچنین بیشترین افت فشار همراه با ناپایداری شدید هوا را در استان‌های خوزستان، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد را به همراه داشته است که ریزش هوای سرد در تراز۵۰۰ هکتوپاسکال(تراز میانی جو)، در تبدیل بارش به تگرگ مؤثر واقع شده است.

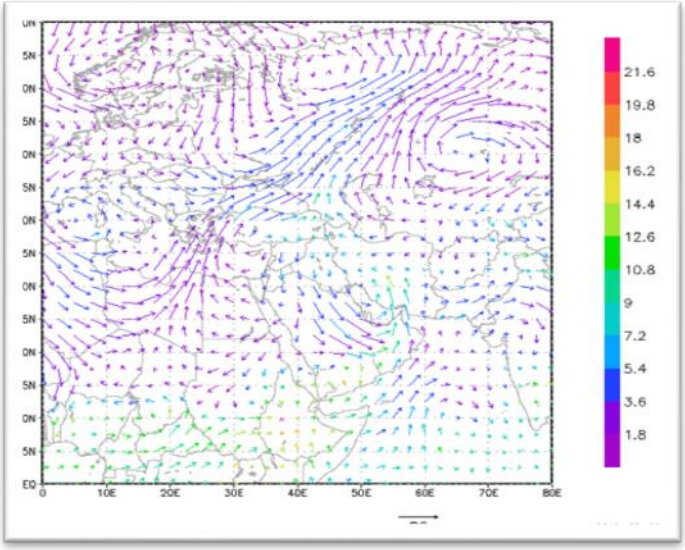
شکل(۱۳) نقشه فشار تراز دریا در روز ۵ آپریل ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد همان‌طوری که در شکل(۱۳) دیده می-شود مرکز پرفشاری با فشار مرکزی ۱۰۱۴ هکتوپاسکال بر روی شرق دریای مدیترانه و شمال دریای سرخ و یک مرکز کم‌فشار نیز بر روی شمال دریای خزر با فشار مرکزی ۹۹۹ هکتوپاسکال مستقر شده (نصف‌النهار ۴۵ درجه شرقی و مدار ۶۰ درجه شمالی) و ارتفاع آن تا نواحی مرکزی دریای خزر کشیده شده و هوای سرد را به مرکز ایران تزریق می‌کند. استقرار همین پرفشار باعث شده تا جریانات جنوبی نتوانند به خوبی وارد منطقه مورد مطالعه شوند. در نتیجه به جز نواحی جنوب شرق کشور بیشتر قسمت‌های کشور دارای هوایی پایدار و بدون بارش می‌باشد. همچنین در این روز مرکز کم فشار ۱۰۰۰هکتوپاسکال بر روی خلیج فارس شکل گرفته و پربند آن تا نواحی جنوب غربی کشور امتداد یافته و باعث ایجاد ناپایداری شده که نشان می‌دهد که جبهه در حال عبور از روی استان‌های جنوب غربی می‌باشد. با عبور جبهه سرد احتمال رگبار شدید و رعدوبرق را در نواجی جنوب غرب ایران به همراه دارد در این روز و چون هوای سرد از عرض‌های بالا به منطقه مورد مطالعه تزریق شده، بارش به صورت تگرگ اتفاق افتاده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]



شکل(۱۲). نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۵ آپریل سال ۲۰۱۳ شکل(۱۳). نقشه فشار تراز دریا در روز ۵ آپریل ۲۰۱۳

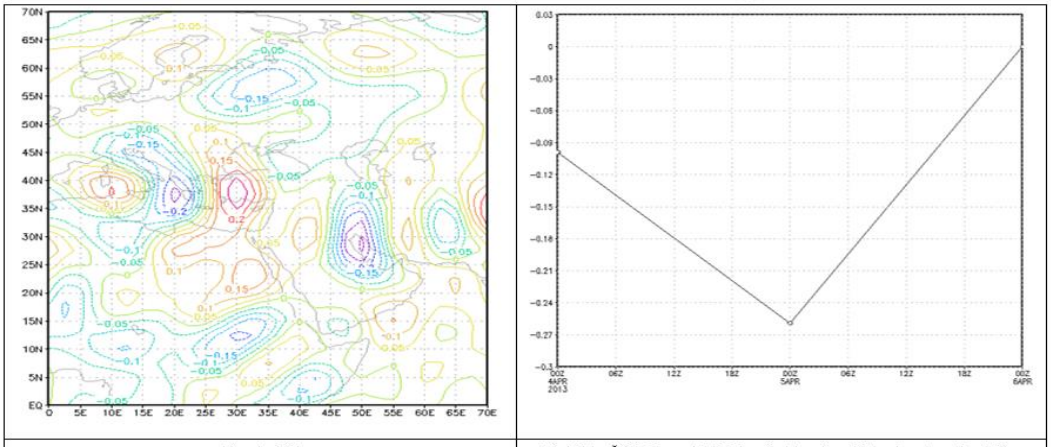
شکل(۱۴) وزش رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود استقرار یک آنتی‌سیکلون بر روی خلیج عدن دیده می‌شود که با حرکت آنتی‌سیکلونی خود رطوبت دریای عمان، دریای سرخ و خلیج‌فارس را به مناطق جنوب غرب و غرب ایران تزریق کرده که تشدید ناپایداری را در منطقه مطالعاتی(جنوب‌غرب ایران) به همراه دارد. وجود چرخندگی مثبت واقع در شمال دریای سرخ، با حرکت پادساعتگرد رطوبت دریای سرخ و خلیج‌فارس را به غرب ایران انتقال داده که به موازات حرکت شرق سوی چرخندها و واچرخندها، زبانه‌های مرطوب نیز به سمت ایران منتقل می‌کند و ناپایداری شدیدی را در منطقه مطالعاتی جنوب‌غرب ایران (خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری) به وجود آورده است. بنابراین تأمین رطوبت در تراز ۸۵۰ میلی بار از دریای مدیترانه، به مقدار کمتر از دریای سرخ و از خلیج فارس و به ویژه دریای عمان بوده است.



شکل(۱۴). نقشه وزش رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۵ آپریل ۲۰۱۳

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

شکل(۱۵) (چپ) نقشه امگای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۵ اپریل ۲۰۱۳ نشان می‌دهد در این روز ناپایداری را در بخش‌های غربی فرود ایجاد شده در نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روز مذکور نشان می‌دهد همان‌طورکه مشاهده می‌شود، نقشه امگا از فرود ایجاد شده تبعیت می‌کند به طوری که نوار غربی ایران و شمال خلیج فارس یک هسته صعود تشکیل شده (۰/۱- پاسکال بر ثانیه صعود در تراز ۸۵۰ میلی بار)که دلیلی بر وجود ناپایداری در بخش‌های غربی و جنوب غربی کشور است به طوری‌که در تمامی نواحی غرب ایران هسته‌های صعود هوا استقرار یافته این هسته‌های صعود وجود ناپایداری شدید را در روز ۵ آپریل ۲۰۱۳ در منطقه مورد مطالعه تأیید می‌کنند. شکل(۱۵) (راست) دیاگرام هاف مولر زمانی امگای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(از روز ۴ تا ۶ آپریل۲۰۱۳) را ارائه کرده است. همان‌طوری که دیده می‌شود بر اساس دیاگرام هاف مولر مشاهده می‌شود که در روز ۵ آپریل سال ۲۰۱۳ در ساعت ۳/۳۰ به وقت محلی(۰۰ به وقت UTC) شاخص امگای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به بیشترین مقدار منفی خود (۰/۲۷- پاسکال در ثانیه صعود در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در موقعیت ایستگاه اهواز)رسیده است که دلیلی بر وجود ناپایداری و صعود هوا در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل(۱۵). توزیع شاخص دینامیکی امگای تراز۸۵۰ هکتوپاسکال

نتایج حاصل از محاسبه هریک از شاخص‌های آشکارسازی و سنجش توفان تندری برای روز ۵ آپریل سال ۲۰۱۳ در جدول(۸) ارائه شده است. با توجه به مندرجات جدول(۸) شاخص KI که نشان می‌دهد حرکات همرفتی یکی از ملزومات و نشانه‌های وقوع توفان تندری است در ایستگاه اهواز در ساعت ۳/۳۰ بین ۴۰ تا ۶۰ درصد بوده است. بر اساس محاسبات انجام گرفته شاخص TTI (مجموع مجموع ها) در ساعت ۳/۳۰ برابر با ۴۷/۳ بوده که نشانگر حرکات بالاروی همرفتی در حد امکان وقوع توفان تندری بوده است. یکی از نشانه‌های وقوع یا احتمال وقوع توفان تندری وجود و تشدید حرکات بالارونده است که با شاخص LI قابل سنجش است. کم شدن اختلاف دمای بسته هوا با دمای نقطه شبنم در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۳/۳۰ نشانه‌ای بر احتمال وقوع ناپایداری در جو بوده است و نزول دمای هوای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به کمتر از دمای نقطه

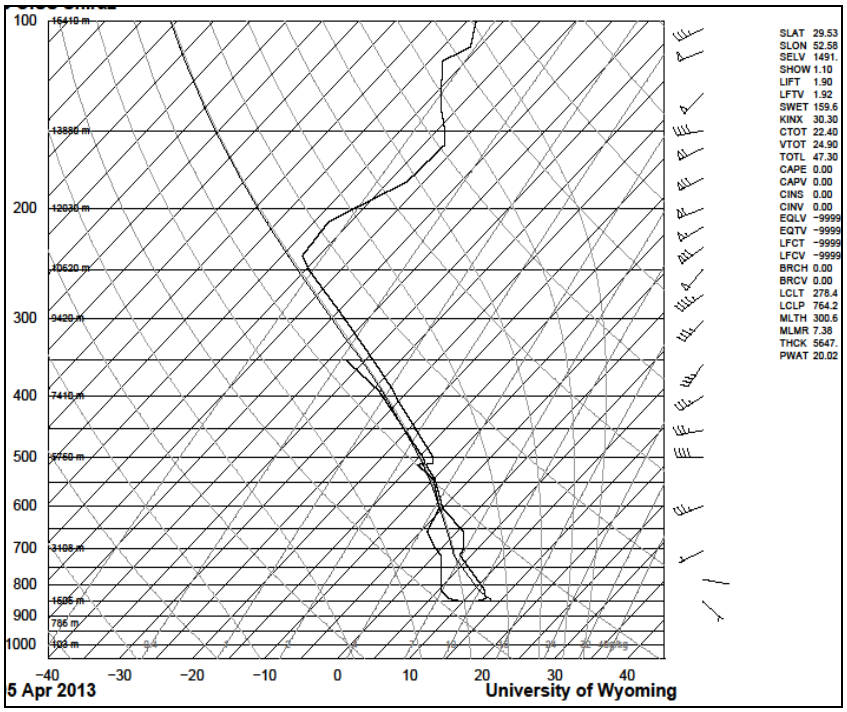
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

شبنم نشان دهنده وقوع ناپایداری در جو است. در این روز مشاهده گردید که شاخص LI برابر ۱/۹- بوده است که نشان دهنده امکان وقوع رگبار باران است.

جدول(۸). برآورد شاخص های وقوع و شدت توفان تندری برای روز ۵ آپریل ۲۰۱۳ محاسبه شده با استفاده از مشاهدات رادوسوند ایستگاه جوبالای اهواز)

شاخص‌های ناپایداری	ساعت دیدبانی	مقدار شاخص	توضیحات
شاخص K	۱۲UTC(۳/۳۰ به وقت محلی)	۳۰/۳	پیش بینی رعد و برق
شاخص LI	۱۲UTC(۳/۳۰ به وقت محلی)	-۱/۹	احتمال وقوع رگبار و بارش
شاخص شولتر(SI)	۱۲UTC(۳/۳۰ به وقت محلی)	۱/۱	رگبارهای سبک
شاخص مجموع مجموع ها(TTI)	۱۲UTC(۳/۳۰ به وقت محلی)	۴۷/۳	امکان توفان تندری وجود دارد
شاخص تامپسون(TI)	۱۲UTC(۳/۳۰ به وقت محلی)	۲۴	وجود توفان تندری

شکل(۱۶) نمودار ترمودینامیکی (Skew-t) جو بالای اهواز ۵ آپریل ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد بر اساس نمودار ترمودینامیکی این روز نزدیک شدن منحنی دمای نقطه شبنم(رطوبت) به منحنی دما به ویژه از تراز ۷۵۰ به بالا نشان دهنده افزایش ناپایداری و وجود رطوبت زیاد و همچنین وجود جریانات جنوبی در لایه میانی و پایین جو در منطقه است.



شکل(۱۶). نمودار ترمودینامیکی (اسکیوتی) جو بالای اهواز ۵ آپریل ۲۰۱۳

(مشاهدات رادیوسوند ایستگاه جو بالای اهواز

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف تحلیل آماری و سینوپتیکی و ترمودینامیکی توفان‌های تندری حادث شده در جنوب‌غرب کشور نگارش یافته است. نتایج حاصل از تحلیل فراوانی توفان‌های تندری ثبت شده در منطقه بیانگر آن بود که ایستگاه دزفول با ثبت کردن ۴۷۹ پدیده توفان تندری طی دوره اماری ۳۰ ساله بیشترین تعداد رخدادهای توفان تندری را در منطقه داشته است و بعد از آن ایستگاه‌های اهواز و سپس کوهرنگ بوده‌اند که به ترتیب ۴۲۷ و ۴۱۲ مشاهده توفان تندری (کدهای ۹۹-۹۵ و ۱۳، ۱۷، ۲۹) را داشته‌اند. کمترین تعداد رخداد پدیده توفان تندری در ایستگاه رامهرمز و سپس آبادان بوده است که در این ایستگاه‌ها به ترتیب طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۵ ، ۲۵۲ و ۲۵۹ روز توأم با پدیده توفان تندری وجود داشته است. از لحاظ توزیع فصلی توفان تندری در سطح منطقه نیز نتایج نشان داد که به طور متوسط از تعداد کل پدیده‌های گردوغبار سالانه در سطح منطقه، ۰/۳۹ آن مربوط به فصل بهار بوده است و بعد از آن فصل زمستان ۰/۳۵ از کل روزهای توأم با پدیده گرد وغبار را به خود اختصاص داده است. فصل تابستان نیز که کمترین تعداد روزهای توأم با توفان تندری را داشته است، کمتر از ۰/۰۳ از تعداد کل روزهای توأم با توفان تندری را به خود اختصاص داده است.

در مقیاس ماهانه نیز نتایج بیانگر آن بود که ماه فروردین بیشترین تعداد روزهای توام با پدیده توفان تندری را در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است که ۷۵ روز توأم با پدیده توفان تندری برابر ۰/۲۱ از تعداد کل پدیده‌های ثبت شده توفان تندری طی سال در منطقه است. کمترین فراوانی روزهای توأم با پدیده توفان تندری مربوط به ماه مرداد و سپس تیر و شهریور بوده است در ماه مرداد طی دوره آماری مورد بررسی تنها ۲ مورد پدیده توفان تندری در منطقه مشاهده شده است. از لحاظ توزیع فراوانی کدهای مربوط به توفان تندری نیز نتایج بیانگر آن بود که بیشترین فراوانی رخدادهای توفان تندری که برابر ۱۰۹۰ رخداد (۰/۲۱ کل فراوانی رخدادهای توفان تندری) مربوط به کد ۱۳ (تنها مشاهده برق بدون شنیدن صدای رعد) بوده است. کد ۹۹ (رعد و برق شدید توام با تگرک) در بین کدهای مربوط به توفان تندری طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۰ در منطقه مورد بررسی تنها ۳۱۱ بار ثبت شده است که برابر ۰/۰۶ از کل فراوانی رخدادهای توفان تندری منطقه بوده است.

نتایج تحلیل سینوپتیک بیان‌گر آن بود که در روزهای انتخاب شده توفان تندری عموما دو الگوی عمومی تأمین کننده پارامتر رطوبت و صعود که شروط لازم برای ایجاد یک رخداد توفان تندری است را فراهم کرده‌اند. در غالب روزها وجود یک ناوه(در سطح ۵۰۰) یا کم‌فشار(در سطح زمین) در غرب منطقه مورد مطالعه یعنی شرق دریای مدیترانه که زبانه‌های آن به صورت پادساعتگرد، از روی دریای سرخ و خلیج‌فارس وارد منطقه جنوب و جنوب‌غرب و غرب ایران شده بودند، و از طرف دیگر یک پربند یا سیستم پرفشار روی خلیج عدن در شرق منطقه مورد مطالعه به صورت ساعت گرد باعث تزریق رطوبت به ویژه در تراز ۸۵۰ میلی‌بار به منطقه مورد مطالعه شده است. تعامل دو سیستم مذکور در غالب روزها، باعث تزریق رطوبت از سه منبع دریای مدیترانه، دریای سرخ و سپس خلیج فارس به سیستم‌های صعودی منطقه شده است. حرکت پادساعتگرد کم فشار حاکم در شرق مدیترانه، به همراه حرکت ساعتگرد پرفشار روی خلیج عدن، باعث وزش رطوبت در ترازهای ۸۵۰ تا ۷۰۰ به منطقه شده است. توپوگرافی متنوع منطقه به ویژه تلاقی دشت خوزستان با ناهمواری-

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

های غرب این استان که پتانسیل ایجاد توفان تندری را در منطقه تشدید کرده است. این توپوگرافی باعث تشدید فرایند همرفت اوروگرافیک یا همرفت ناشی از ناهمواری‌ها شده و عوامل صعود ناشی از قرار گرفتن منطقه در جلو محور ناوه مسقر روی شرق مدیترانه، سازوکار این ناپایداری‌های محلی را فراهم کرده است.

منابع

امیدوار، کمال.(۱۳۹۲). **مخاطرات محیطی ایران**، نشر دانشگاه یزد، چاپ اول.

عزیزی قاسم، گرامی محمدصالح، شریفی لیلا. (۱۳۹۶). **تحلیل فضایی توفان‌های تندری در گستره کشور ایران**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. **۱۷ (۴۷)** :۲۵۷-۲۴۱.

حقیقت کاشانی، خسرو. (۱۳۷۹). **فرکانس توفان تندری در ایران**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

فلاح قالهری، غلامرضا و فهیمه شاکری. (۱۳۹۴)، **شناسایی روند تغییرات فراوانی وقوع توفان‌های تندری در ایران**. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۱۵**(۳۸): ۹۷-۱۱۷.

قویدل رحیمی، یوسف، باغبانان، پرستو، فرج زاده اصل، منوچهر.(۱۳۹۳). **روند تغییرات زمانی مخاطره توفان تندری در ایران**، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۹، شماره ۲، صفحه ۱۸۵ تا ۲۰۹.

لشگری، حسن و نوشین آقاسی. (۱۳۹۱). **تحلیل سینوپتیکی توفان‌های تندری تبریز در فاصله زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۶**، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، **۴۵**: ۲۰۳-۲۳۴.

رسولی، علی اکبر، جوان، خدیجه. (۱۳۹۱). **تحلیل روند وقوع توفان‌های رعدوبرقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون‌های ناپارامتری**. فضای جغرافیایی، **۱۲(۳۸)**: ۱۱۱-۱۲۶.

علیزاده، امین، کمالی، غلامعلی، موسوی، فرهاد، موسوی بایگی، محمد.(۱۳۸۰).**کتاب هوا و اقلیم‌شناسی**، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی.

علیجانی، بهلول، جعفرپور، زین‌العابدین، علی‌اکبر بیدختی، عباسعلی، مفیدی، عباس. (۱۳۸۶). **تحلیل سینوپتیکی الگوهای گردشی بارش‌های موسمی جولای ۱۹۹۴ در ایران**. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۷(۱۰)**: ۳۸-۷.

Charles. A,. C, A, Doswell. (1993): **Scietific Appoches for very short range forecasting of severe convective storms in the United States of America** .Internet.

Adam, BF, Coning, Ede.. Bantiz, L. (1999): **A servere weather event on 29 desember 1997: synoptic and mesoscale pre.**

Callo, A and Pascual, R. (2005). **Diagnosis and modeling of a summer convective storm Mediterranean Pyrencs**.

Periteri, Maria. Ulrich, Wolfgang. Smith, Rogerk. (1999): **Genesis condition for thunderstorm growth and the development of a squall line in the northern Alpine foreland**.

Pinto, O. Jr., I.R.C.A. Pinto & M.A.S. Ferro, 2013. **A Study of the Long-Term Variability of Thunderstorm Days in Southeast Brazil**", Journal of Geophysical Research: Atmospheres, **118(11):** 5231-5246.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]

[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]

Rasuly,A.A, (2004), **eremporal and spatial study of Thunderstorm Rainfall in the Greater Sydney Region, International Conference on Storms(5-9 July),** Australia.
Whitman, C.D. (2003). Mountain Meteorology, Oxford University Press.
Lin-Lin.Zheng, Jian-Hua. Sun, Jie.Wei. 2010. **Thunder events in China, 980-2008**.1-20.
Loginov,v.F,Volchek,A.A,Shpoka,I. N,2010"**Estimation of the Role of Various Factors in Thunderstorm Formation on the Territory of Belarus** "Russian Meteorology and Hydrology.**35(3):** 175-181.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.43.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.435]