

## تحلیل همدیدی توفان‌های تندری مخاطره‌آمیز اصفهان



مهدی خزایی\*

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران

احسان مدیری (Ehsan.modiri@gmail.com)

کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

مهدی مدیری (Mmodiri@ut.ac.ir)

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

( تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۱۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۹ )

### چکیده

توفان‌های تندری از جمله پدیده‌های جوی محسوب می‌شوند که در برخی از فصول، به‌ویژه فصول انتقالی پاییز و بهار در عرض‌های میانی بسیار روی می‌دهند. این توفان‌ها یکی از مخاطرات جوی محسوب می‌شوند که همه‌ساله خسارات فراوانی را به بخش‌های کشاورزی، باغات و غیره وارد می‌سازند. شناخت سازوکار، تکوین و توسعه این توفان‌ها کمک شایانی در جهت مقابله و یا کنترل آنها می‌کند. در این پژوهش به بررسی توفان‌های تندری شدید اصفهان در یک بازه زمانی نوزده‌ساله (۱۹۹۰-۲۰۰۸) پرداخته شده است. در ابتدا کدهای مربوط به توفان تندری که بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر داشته‌اند استخراج و سپس با دریافت داده‌های فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی‌باری در روز بارش از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی آمریکا، نقشه‌های مورد نیاز در محیط نرم‌افزاری Grads ترسیم و الگوهای موجد بارش شناسایی شد. در این پژوهش دو الگوی کلی برای بارش‌های تندری اصفهان شناسایی شد. در الگوی اول (۱۲ نوامبر ۱۹۹۳) در فشار تراز دریا زبانه‌وار چرخندی که از سمت شرق گسترش یافته با عبور از شمال دریای عمان و خلیج فارس، موجب فرارفت رطوبت به سمت منطقه تحقیق شده و در تراز ۸۵۰ میلی‌باری، چرخندی با پربند ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی منطقه قرار گرفته است. در تراز ۵۰۰ میلی‌باری هم منطقه تحقیق کاملاً در جلوه‌ناوه عمیق غربی قرار گرفته که علاوه بر تأمین رطوبت، ناپایداری را تا ترازهای بالایی تشدید کرده است. در الگوی دوم (۲۶ آوریل ۲۰۰۶) مرکز کم‌فشار بزرگی با فشار ۱۰۰۸ میلی‌باری بر روی کشور قرار گرفته است. جهت جریانات در این سامانه به گونه‌ای است که هوای مرطوب را به سمت کشور شارش می‌دهد و در تراز ۸۵۰ میلی‌باری منطقه تحقیق کاملاً در جلوه‌ناوه عمیق غربی قرار گرفته است که علاوه بر فرارفت رطوبت خلیج فارس به مرکز کشور، ناپایداری را در این تراز هم تشدید کرده است و در تراز ۵۰۰ میلی‌باری، همچنان ناوه‌های عمیق غربی با عبور از کشور و منطقه تحقیق، ناپایداری را تا ترازهای فوقانی فراهم کرده است.

**واژه‌های کلیدی:** ارتفاع ژئوپتانسیل، اصفهان، توفان تندری، سامانه‌های سینوپتیک، مخاطرات جوی.

## مقدمه

مخاطره را می‌توان پدیده یا واقعه‌ای دانست که رخداد آن برای فرد، جامعه و محیط زیان جدی داشته باشد؛ ویژگی یک مخاطره از طریق برد مکانی، اندازه، فراوانی، احتمال وقوع و همچنین جمعیتی که تحت تأثیر قرار می‌دهد، تشخیص داده می‌شود [۱۷]. اثر بلایای محیطی، هر دو مؤلفه طبیعی و انسانی را دارند. مثلاً پدیده‌هایی همچون رخداد سیل ممکن است بر اثر نوسانات اقلیمی، مانند افزایش فراوانی توفان، فعالیت‌های انسان مانند زهکشی زمین و تخریب و نابودی جنگل تشدید شود [۱۵]. بارش‌های تندری از جمله مخاطرات جوی است که در هنگام وقوع، خسارات فراوانی را به محصولات کشاورزی وارد می‌سازد. بنابراین شناخت سازوکار، تکوین و توسعه این پدیده در جهت کاهش خسارات وارد به محصولات کشاورزی، باغ‌ها و ... ضروری است. عملکرد همزمان این توفان‌ها با رگبارهای باران، برف، تگرگ و نقش مؤثر آن در ایجاد سیل‌های ناگهانی هم از جنبه کشاورزی هم از نظر خسارات مالی و جانی همواره مورد توجه محققان بوده است. پدیده تگرگ تنها به وسیله توفان تندری ایجاد می‌گردد و خسارت اصلی تگرگ به اموال به‌ویژه محصولات کشاورزی است [۱۶]. در منطقه اصفهان پدیده تگرگ به‌وسیله توفان‌های تندری یک امر معمول است که در فصول انتقالی به‌ویژه فصل بهار به وقوع می‌پیوندد. رخداد پدیده تگرگ به‌ویژه در ماه‌های آوریل و می خسارات فراوانی به سردرختی‌ها و مزارع وارد می‌سازد. در این پژوهش به بررسی سازوکار رخداد این توفان‌های مخرب در منطقه اصفهان پرداخته می‌شود. در این زمینه، مطالعاتی در ارتباط با این توفان‌های کوتاه‌مدت در کشورهای مختلف انجام گرفته است که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود.

توفان‌های تندری اغلب بر اثر گرم شدن زیاد سطح زمین، در داخل توده‌های هوا یا در جبهه‌های هوا، به‌ویژه در جبهه سرد به‌وجود می‌آیند. در هر دو نوع تندر، باید توده هوای گرم و مرطوب با رطوبت نسبی بیش از ۷۵ درصد و ناپایداری کافی وجود داشته باشد و ارتفاع سطح تراکم نیز باید آن‌قدر کم باشد که ضخامت لایه ابر به بیش از ۳۰۰۰ متر برسد [۱۴]. برآوردها نشان می‌دهد که روزانه بیش از ۵۰ هزار توفان تندری و سالانه بیش از ۱۸ میلیون توفان تندری در سطح کره زمین به‌وقوع می‌پیوندد. وجود هوای گرم و مرطوب در منطقه استوا سبب شده از هر سه روز، یک روز همراه با توفان تندری باشد [۱۹]. عمر این توفان‌ها، خیلی کوتاه و توسعه و بسط و اضمحلال آنها سریع است. همچنین ایجاد و تکوین آنها به‌تنهایی توسط یک عامل جوی امکان‌پذیر نیست، زیرا ترکیبی از عوامل مختلف سبب تکوین و توسعه این پدیده جوی می‌شود [۱۲]. بارندگی سنگین همراه با رعدوبرق از ابر تندری ناشی می‌شود. دلایل ایجاد

چنین بارندگی سنگینی در یک مدل ابر، در صورتی می‌تواند بررسی شود که فرایندهای خردفیزیکی به‌طور صحیح در نظر گرفته شوند [۴].

احتمال رخداد توفان‌های تندری به سه عامل وابسته است:

۱. هوای مرطوب در مجاورت سطح زمین وجود داشته باشد، مثلاً نم مخلوط بیشتر از ۷ گرم بر کیلوگرم باشد؛
۲. در لایه‌های میانی تروپوسفر ناپایداری وجود داشته باشد؛
۳. توسعه این توفان‌ها به‌وسیله گرمایش سطحی یا هم‌رسی و ترکیب چندین ابر کومه‌ای یا یک جبهه صورت گیرد [۲۲].

این توفان‌ها مقدار زیادی از انرژی را از طریق تراکم بخار آب به سطوح بالایی وردایست منتقل می‌کنند و بدین طریق است که ابرها امکان گسترش تا سطوح بالایی وردایست را پیدا می‌کنند [۲۵]. در سطح جهانی حداکثر فراوانی رخداد توفان‌های تندری بین ساعت ۱۲ تا ۲۱ به وقت محلی و حداقل آنها در ساعت ۳ بامداد اتفاق می‌افتد [۲۰].

رابرت<sup>۱</sup> و همکاران [۴] توفان‌های تندری شدید در آمریکا را بررسی کرده‌اند. آنها با بررسی مدل‌های عددی شبیه‌سازی شده پی بردند که جو عرض‌های بالایی به‌دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای گرم‌تر شده و به‌موجب آن ناپایداری‌های ناشی از آن هم بیشتر شده و سبب شده فعالیت‌های هم‌رفتی هم در این نواحی افزایش پیدا کند.

پاتانایک<sup>۲</sup> با بررسی تغییرپذیری دوره فعالیت توفان‌ها در شمال اقیانوس هند در یک دوره ۱۱۳ ساله (۲۰۰۳-۱۸۹۱)، بیشینه فراوانی رخداد توفان‌ها را در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر و برعکس فراوانی اندک رخداد این توفان‌ها را در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، آگوست و سپتامبر مشخص کرده است. این تغییرپذیری ناشی از تغییرپذیری دمای سطح آب بر روی این منطقه است [۲۳]. فراوانی رخداد توفان‌های تندری حاره‌ای در کشور بنگلادش نشان می‌دهد که فراوان‌ترین و شدیدترین رخداد این توفان‌ها در طی دوره بین‌موسمی یعنی در ماه‌های آوریل و می، اکتبر و نوامبر به‌وقوع می‌پیوندد [۲۱].

بررسی‌های به‌نسبت زیادی در زمینه توفان‌های تندری کشور انجام گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

بارش‌های رعدوبرقی در منطقه شمال غرب کشور، اغلب در فصول بهار و تابستان و طی ساعات بعدازظهر و اوایل شب اتفاق می‌افتد. مدل‌های شبیه‌سازی‌شده نظریه احتمال، تأثیرات

1. Robert  
2. Pattanaik

مشترک سیستم‌های جوی سینوپتیک و عوامل فیزیوگرافیک بر توزیع بارش‌های شدید و به تبع آن، وقوع سیلاب‌های مخرب را تقویت می‌کند [۷]. این بارش‌ها اغلب در جنوب غرب منطقه تحقیق و کوهستان‌ها فعال است و در نواحی پست داخلی کمتر رخ می‌دهد [۲]. همچنین بررسی توفان‌های تندری در محدوده شهرستان اهر نشان می‌دهد که بارش‌های تندری این ناحیه در دوره گرم سال یا متأثر از سامانه‌های تندری توده هوایی هستند که در خود ناحیه در اثر تابش مستقیم خورشید به وجود می‌آیند یا با عبور هوای سرد بر روی سطوح گرم و افزایش دما، ناپایدار شده و به طور محلی موجب بارندگی می‌شوند و در طی فصول انتقالی به‌ویژه فصل سرد، عبور جبهه سرد در مقیاس سینوپتیک از روی منطقه سبب ریزش بارش‌های تندری به صورت گسترده می‌شوند [۳]. صادقی حسینی و رضائیان [۹]. با بررسی شاخص‌های ناپایداری و پتانسیل بارورسازی ابرهای همرفتی اصفهان مشخص کردند که از بین شاخص‌های آب قابل بارش، شولتر، K و انرژی پتانسیل در دسترس همرفتی، بهترین شاخص آب قابل بارش است. میرموسوی و اکبرزاده [۱۸] به مطالعه شاخص‌های ناپایداری در تشکیل تگرگ در ایستگاه هواشناسی تبریز پرداخته‌اند. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که در این ناحیه هر چه سطح یخبندان کمتر از ۳۰۰۰ متر باشد، احتمال وقوع تگرگ کمتر و هر چه فاصله سطح یخبندان تا قله ابر زیاد باشد، احتمال وقوع تگرگ بیشتر خواهد شد. بیشترین فراوانی رخداد توفان‌های تندری در تبریز در مقیاس زمانی ماهانه در اردیبهشت و در بازه فصلی بهار است [۷].

تاجبخش و همکاران [۱] دو مورد از توفان‌های تندری تهران را بررسی کرده‌اند. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که شاخص‌های صعود، به‌ویژه  $LI$ ،  $KI$ ،  $Sweat$  و  $Cape$  و آستانه‌های عددی این شاخص‌ها، راهنمای مناسبی برای پیش‌بینی وقوع توفان در منطقه تهران است.

بررسی توفان‌های تندری استان اردبیل نشان می‌دهد که در مناطق اردبیل، مشکین‌شهر و خلخال، فراوانی وقوع این توفان‌ها متعلق به ماه می و در منطقه پارس‌آباد متعلق به ماه ژوئن است. همچنین در مناطق اردبیل، خلخال و مشکین‌شهر وقوع توفان‌های تندری دارای روندی افزایشی و در منطقه پارس‌آباد دارای روندی کاهشی بوده است [۱۰]. مطالعه توفان‌های تندری سیلاب‌ساز استان کرمانشاه نشان می‌دهد که در بیشتر توفان‌ها از ۲۴ ساعت قبل از وقوع بارش، زبانه‌واچرخندی بر روی دریای عرب قرار گرفته که موجب فرارفت رطوبت به سمت غرب کشور و جلوی ناوهای غربی شده است همین امر سبب شده، ناپایداری‌ها همراه با رعد و برق و بارش شدید باشد [۵]. بررسی رخداد توفان‌های تندری نیمه غربی ایران در مقیاس سالانه نشان می‌دهد که فراوانی این توفان‌ها از شمال به سمت جنوب کاهش می‌یابد و در مجموع رخداد فصلی و سالانه این توفان‌ها دارای روند افزایشی است [۸].

بررسی توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ در شهر تبریز نشان می‌دهد که از بین شاخص‌های ناپایداری (Cape، CIN، SI، Ki، TTI، Li، SoI، Sweat و PW) شاخص شوآلتر یا Si نتایج بهتری نسبت به دیگر شاخص‌ها به‌دست آورده است [۱۳]. اصفهان یکی از مناطق مهم کشور در بخش کشاورزی است که همه‌ساله پدیده توفان تندری به‌ویژه در فصل بهار خساراتی را به بخش‌های کشاورزی و باغ‌های آن وارد می‌سازد. تا کنون مطالعات اندکی در مورد پدیده توفان تندری در اصفهان صورت گرفته است. تحقیق حاضر می‌تواند به شناخت سازوکار تکوین این توفان‌ها در این ناحیه از کشور کمک کند.

### مواد و داده‌ها

برای بررسی توفان‌های تندری شدید و مخاطره‌آمیز اصفهان، ابتدا داده‌های مربوط به پدیده‌های خاص در یک دوره آماری نوزده‌ساله (۲۰۰۸-۱۹۹۰) برای ایستگاه اصفهان از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. سپس با استخراج کدهای اختصاص‌یافته از طرف سازمان هواشناسی جهانی که شامل کدهای ۲۹، ۹۷ - ۹۱ و ۹۹ است، توفان‌های تندری که بیش از ۱۰ میلی‌متر بارش داشته‌اند استخراج شد. همچنین داده‌های فشار در تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی‌باری در روز وقوع بارش از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده آمریکا استخراج شد. نقشه‌های روزهای بارشی مورد نظر در محیط نرم‌افزار Grads ترسیم و الگوهایی که به بارش‌های شدید در اصفهان منجر شده، شناسایی و بررسی شد. بررسی داده‌های بارش نشان می‌دهد که هفت نمونه توفان تندری با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در دوره آماری پیش‌گفته رخ داده است. با ترسیم و بررسی نقشه‌ها مشخص شد که توفان‌های تندری شدید اصفهان از دو الگوی کلی تبعیت کرده است. در این بررسی، دو نمونه بارش ۱۲ نوامبر ۱۹۹۳ و ۲۶ آوریل ۲۰۰۶ انتخاب و به تفصیل بررسی می‌شود. داده‌های جو بالای اصفهان در روزهای بارشی مورد نظر، ثبت نشده یا ناقص بوده است، بدین دلیل شاخص‌های ناپایداری که شرایط ناپایداری در لایه‌های میانی جو را نشان می‌دهد بررسی نشده و تنها اسکویوتی هر یک از دو الگوی مورد بررسی در روزهای بارشی تحلیل شده است.

جدول ۱. مختصات ایستگاه سینوپتیک اصفهان

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع بر حسب متر
۵۱ ۴۰	۳۲ ۳۷	۱۵۵۰/۴

جدول ۲. مقادیر بارش در ساعات وقوع توفان تندری در ایستگاه سینوپتیک اصفهان طی دوره آماری (۱۹۹۰-۲۰۰۸)

ردیف	روز	ماه	سال آماري	بارش (میلی متر)	ساعت و کد وقوع پدیده
۱	۱۲	نوامبر	۱۹۹۳	۳۷	۰۶ (کد ۹۷)
۲	۷	اکتبر	۱۹۹۴	۱۴	۱۵ (کد ۹۵)
۳	۴	مارس	۱۹۹۶	۲۱	۰۰ (کد ۹۵)
۴	۷	می	۱۹۹۶	۱۱/۸	۱۲ (کد ۹۶)
۵	۳	آوریل	۲۰۰۲	۱۶	۰۰ (کد ۹۵)
۶	۲۶	آوریل	۲۰۰۶	۲۳	۰۶ (کد ۹۷)
۷	۱۷	می	۲۰۰۷	۲۱	۱۵ (کد ۹۶)

کد ۹۵- رعدوبرق همراه با باران یا برف، با شدتی ملایم یا متوسط.

کد ۹۶- رعدوبرق همراه با تگرگ، با شدت ملایم یا متوسط.

کد ۹۷- رعدوبرق همراه با باران یا برف، به صورت شدید.

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، از هفت توفان تندری شدید، دو مورد با بارش تگرگ همراه بوده (۷ می ۱۹۹۶ و ۱۷ می ۲۰۰۷) و در دو مورد دیگر، رعدوبرق با بارش شدید (۱۲ نوامبر ۱۹۹۳ و ۲۶ آوریل ۲۰۰۶) و در سه مورد دیگر، رعدوبرق همراه با بارش ملایم و متوسط گزارش شده است. بنابراین با توجه به اینکه بیشتر این توفان ها در فصل بهار (می و آوریل) به وقوع می پیوندند، در این زمان که فصل رویش محصولات زراعی، باغی و ... است، حساسیت زیادی به بارش های شدید، به ویژه پدیده تگرگ وجود دارد. بدین منظور در این پژوهش به بررسی سازوکار و الگوهای موجد این توفان های مخرب که علت اصلی پدیده تگرگ و همچنین بارش های شدید در فصل بهار است، پرداخته می شود.

### بحث و نتایج

پدیده رعدوبرق (توفان تندری) هر ساله موجب خسارات جانی و مالی در نقاط مختلف ایران می شود. از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶ (به استثنای سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴) ۷۹ توفان تندری مخرب گزارش شده است که خسارات جانی و مالی داشتند، به طوری که در دوره آماری پیش گفته 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 گزارش شده در طی چهارده سال یادشده، به طور متوسط در هر سال در حدود ۶ تن بر اثر این پدیده در سطح کشور جان خود را از دست داده اند. در طول

دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶، منطقه اصفهان، بعد از ایذه خوزستان، بیجار و بندر گناوه، یکی از مناطق پرمخاطره از لحاظ رخداد توفان تندری بوده است [۱۱]. در این پژوهش به تعیین الگوهای جوی رخداد این توفان‌های مخاطره‌آمیز در منطقه اصفهان پرداخته شده است. ایستگاه اصفهان در دوره آماری بررسی شده (۲۰۰۸-۱۹۹۰) هفت بارش تندری بیش از ۱۰ میلی‌متر را تجربه کرده است. با بررسی نقشه‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی‌باری، هفت توفان تندری شناسایی شد، این هفت توفان از دو الگوی کلی پیروی کرده‌اند که در اینجا برای نمونه، دو توفان تندری ۱۲ نوامبر ۱۹۹۳ و ۲۶ آوریل ۲۰۰۶ بررسی شده است.

#### الگوی نوع اول (توفان تندری ۱۲ نوامبر ۱۹۹۳)

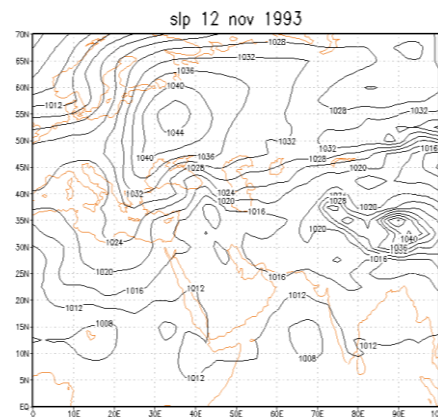
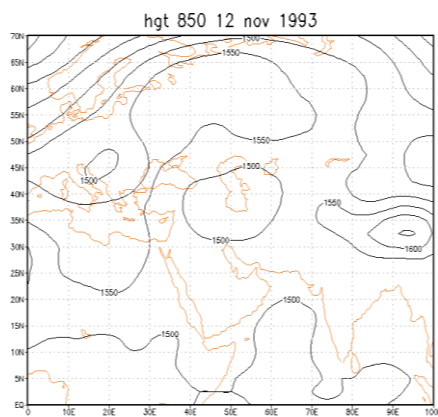
شکل ۱. الف شرایط همدیدی حاکم بر فشار تراز دریا را نشان می‌دهد. مرکز واچرخند بسیار قوی با فشار مرکزی بیشتر از ۱۰۴۰ میلی‌باری در طول جغرافیایی ۹۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی شکل گرفته است. زبانه این واچرخند با فشار ۱۰۱۶ میلی‌باری در جهت ساعتگرد با عبور از قسمت‌های شمالی دریای عمان و تنگه هرمز هوای به نسبت سرد و مرطوب را به نواحی جنوبی، منطقه تحقیق، شرق و شمال شرق کشور تزریق می‌کند و سپس با جهت شرقی - غربی، تا شمال غرب کشور ادامه می‌یابد و با جهت شمال شرقی - جنوب غربی از کشور خارج می‌شود.

شکل ۱. ب نشان می‌دهد که در فشار تراز ۸۵۰ میلی‌باری، چرخندی با یک منحنی هم‌فشار بسته با فشار ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر تمامی کشور به جز نواحی جنوبی و جنوب شرقی کشور را در بر گرفته است. با توجه به اینکه ضلع شمالی این سامانه بر روی دریای خزر قرار گرفته است، موجب فرارفت جریان‌های به نسبت سرد و مرطوب این دریا به سمت شمال غرب، غرب، مرکز و شمال شرق کشور شده است.

شکل ۱. پ شرایط حاکم بر تراز ۵۰۰ میلی‌باری را نشان می‌دهد. نقشه این تراز با فشار تراز ۸۵۰ میلی‌باری هماهنگی دارد. در این تراز چرخندی با سه منحنی پربندی بسته با فشار مرکزی ۵۴۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی دریای سیاه بسته شده است، این چرخند نسبت به چرخند تراز ۸۵۰ میلی‌باری، قدری در جهت غرب و شمال غربی آن واقع شده است. این چرخند با حرکت پادساعتگرد خود هوای سرد عرض‌های بالاتر را به درون ناوه‌های غربی تزریق کرده و سبب عمیق‌تر شدن آنها شده است. همین امر سبب شده این ناوه‌ها مسیر جنوبی‌تری را بپیمایند، به طوری که این ناوه‌ها با عبور از مدیترانه مرکزی و شرقی، تمامی کشور به جز نیمه جنوب شرقی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. منطقه تحقیق در این تراز در جلو پربند ناوه‌های ۵۶۴۰ تا ۵۷۲۰

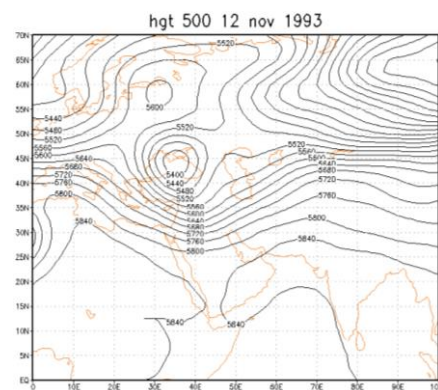
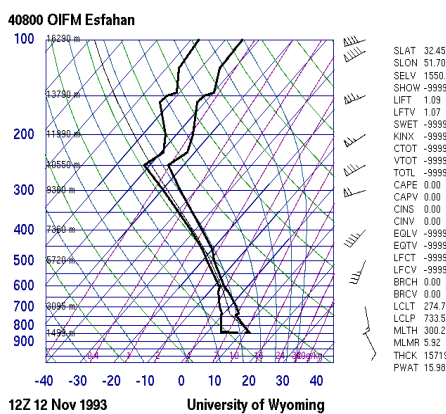
ژئوپتانسیل متر قرار گرفته است. به همین دلیل است که ناپایداری‌های صورت گرفته در این روز بسیار شدید و همراه با تندر و بارش شدید به مقدار ۳۷ میلی‌متر بوده است.

شکل ۱. ت نمودار اسکیوتی روز ۱۲ نوامبر ۱۹۹۳ در ساعت ۱۲ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار ملاحظه می‌شود، منحنی‌های دما و دمای نقطه شبنم از تراز ۸۵۰ میلی‌باری بسیار به هم نزدیک شده است، به طوری که این دو منحنی در جهت قائم به موازات هم حرکت کرده و در تراز ۶۰۰ میلی‌باری یکدیگر را قطع کرده‌اند. در این تراز بیشترین چگالش رخ داده است؛ با این حال تا تراز ۵۰۰ و حتی ۴۰۰ میلی‌باری همچنان مقادیر دما و نقطه شبنم به هم نزدیک‌اند که نشان‌دهنده جوی سرشار از رطوبت در این روز است.



شکل ۱. ب. فشار تراز ۸۵۰ میلی‌باری در روز ۱۲ نوامبر ۱۹۹۳

شکل ۱. الف. فشار سطح دریا در روز ۱۲ نوامبر ۱۹۹۳



شکل ۱. ت. نمودار اسکیوتی روز ۱۲ نوامبر ۱۹۹۳ ساعت ۱۲

شکل ۱. پ. فشار تراز ۵۰۰ میلی‌باری در روز ۱۲ نوامبر ۱۹۹۳



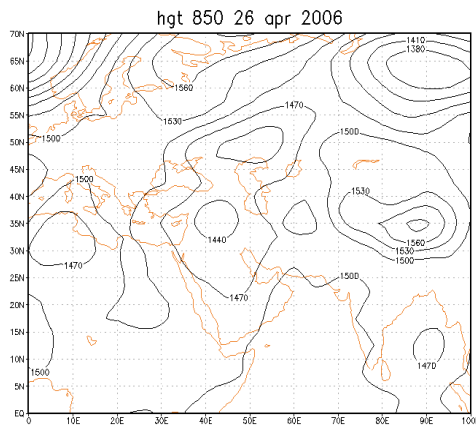
**الگوی نوع دوم (توفان تندری ۲۶ آوریل ۲۰۰۶)**

شکل ۲. الف شرایط همدید حاکم بر فشار تراز دریا را در روز بارش (۲۶ آوریل ۲۰۰۶) نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود سامانه کم‌فشار بزرگی با فشار ۱۰۰۸ میلی‌باری جنوب و جنوب غربی آسیا را فرا گرفته است. این سامانه کم‌فشار تمامی کشور به جز نواحی شمالی، شمال غرب و بخش‌های محدودی از نواحی مرکزی را در بر گرفته است. حرکت پادساعتگرد این سامانه سبب ضلع شمالی آن با جهت شمالی - جنوبی با عبور از شرق دریای خزر، منطقه تحقیق را تحت تأثیر قرار دهد.

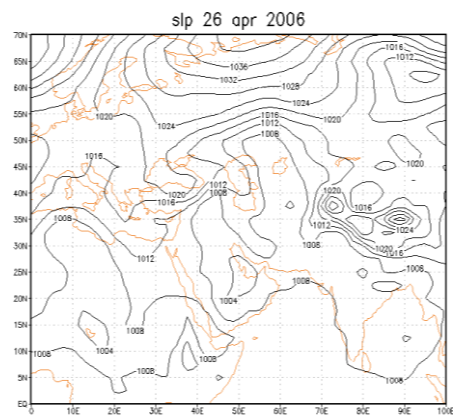
شکل ۲. ب نشان می‌دهد که نقشه فشار تراز ۸۵۰ میلی‌باری با نقشه تراز دریا هماهنگی دارد. چرخندی با دو منحنی هم‌فشار بسته با فشار ۱۴۴۰ ژئوپتانسیل متر بر روی جنوب ترکیه و شمال دریای خزر بسته شده است. منحنی بیرونی این چرخند با فشار ۱۴۷۰ ژئوپتانسیل متر با حرکت پادساعتگرد خود هوای مرطوب دریای سیاه، مدیترانه شرقی و خلیج فارس را به سمت منطقه تحقیق تزیق می‌کند. همچنین در این تراز منطقه تحقیق کاملاً در جلو چرخند پیش‌گفته قرار گرفته و شرایط لازم برای ناپایداری شدید فراهم شده است.

شکل ۲. پ شرایط همدیدی حاکم در تراز ۵۰۰ میلی‌باری را نشان می‌دهد. نقشه این تراز هم با نقشه تراز ۸۵۰ میلی‌باری و نقشه فشار تراز دریا در هماهنگی کامل است. در این تراز چرخندی با دو منحنی پربندی بسته با فشار مرکزی ۵۴۸۰ ژئوپتانسیل متر بر روی دریای سیاه بسته شده که نسبت به چرخند تراز ۸۵۰ میلی‌باری اندکی جهت غربی‌تر یافته است. محور ناوه‌های عمیق غربی در این تراز فشاری، بر روی قسمت‌های مرکزی و شمالی عربستان واقع شده و جلوی ناوه تمامی کشور به جز جنوب شرقی را فرا گرفته است. جهت جریانات در این تراز به گونه‌ای است که علاوه بر تشدید ناپایداری، سبب فرارفت هوای مرطوب مدیترانه شرقی، دریای سرخ و خلیج فارس به سمت کشور و منطقه تحقیق شده است. همین امر سبب شده ناپایداری‌ها، همراه با رعدوبرق و بارش شدید به مقدار ۲۳ میلی‌متر در منطقه اصفهان رخ دهد.

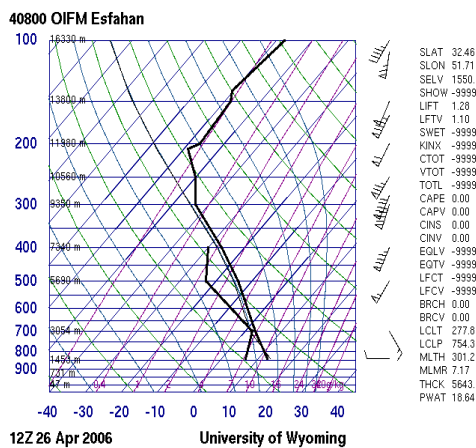
شکل ۲. ت نمودار اسکیوتی روز ۲۶ آوریل ۲۰۰۶ در ساعت ۱۲ را نشان می‌دهد. در این روز منحنی‌های دما و دمای نقطه شبنم در تراز ۷۰۰ میلی‌باری (۳۰۵۴ متر) یکدیگر را قطع می‌کنند؛ یعنی در این روز بیشترین چگالش رطوبت در این تراز رخ داده و شناوری بسته هوا مثبت بوده و در جهت قائم بسته هوا صعود کرده است. البته این دو منحنی بعد از دور شدن از تراز فشاری پیش‌گفته، دوباره در نزدیکی محدوده ۴۰۰ میلی‌باری به یکدیگر نزدیک شده‌اند که احتمالاً نشان از دو اوج بارشی در این روز بوده است.



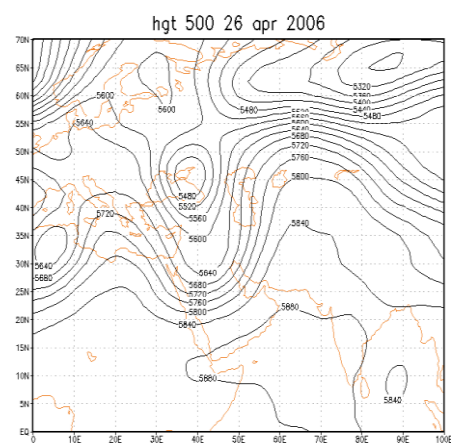
شکل ۲.ب. فشار تراز ۸۵۰ میلی‌باری در روز ۲۶ آوریل



شکل ۲.الف. فشار تراز دریا در روز ۲۶ آوریل ۲۰۰۶



شکل ۲.ت. نمودار اسکائیوتی روز ۲۶ آوریل ۲۰۰۶ ساعت ۱۲



شکل ۲.پ. فشار تراز ۵۰۰ میلی‌باری در روز ۲۶ آوریل ۲۰۰۶

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی توفان‌های تندری شدید و پرمخاطره اصفهان پرداخته شده است. همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، فراوانی توفان‌های تندری شدید در فصول انتقالی به‌ویژه فصل بهار مشاهده شده است. با توجه به جدول ۱، دو مورد از توفان‌ها با رخداد تگرگ (۷ می ۱۹۹۶ و ۱۷ می ۲۰۰۷) و دو مورد دیگر همراه با رعدوبرق و بارش شدید گزارش شده

است (۱۲ نوامبر ۱۹۹۳ و ۲۶ آوریل ۲۰۰۶). بنابراین با توجه به اینکه در این فصل، بسیاری از محصولات زراعی، باغی و غیره کشت می‌شود، ضروری است تمهیدات لازم به‌منظور کاهش مخاطرات ناشی از این توفان‌ها صورت گیرد. در این بررسی دو الگوی کلی در رخداد توفان‌های تندری پرمخاطره اصفهان شناسایی شد:

در الگوی اول (۱۲ نوامبر ۱۹۹۳) زبانه‌واچرخندی با منحنی هم‌فشار ۱۰۱۶ میلی‌باری با حرکت به‌سوی غرب، با عبور از روی دریای عمان و خلیج فارس رطوبت را به سمت منطقه تحقیق تزریق می‌کند و در تراز ۸۵۰ میلی‌باری، چرخندی با یک منحنی بسته با ارتفاع ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی منطقه قرار گرفته است و در تراز ۵۰۰ میلی‌باری هم غرب و مرکز کشور کاملاً در جلوی ناهای عمیق غربی قرار گرفته که سبب شده ناپایداری‌های رخ داده همراه با رعدوبرق و بارش شدید باشد.

در الگوی دوم (۲۶ آوریل ۲۰۰۶) سامانه کم‌فشار بزرگی با فشار ۱۰۰۸ میلی‌باری بر روی کشور قرار گرفته است که علاوه بر تأمین رطوبت سبب ناپایداری هوا شده است. همچنین در فشار تراز ۸۵۰ میلی‌باری، چرخندی با پربند بیرونی ۱۴۷۰ ژئوپتانسیل متر با حرکت پادساعتگرد خود علاوه بر ناپایداری شدید در این تراز، با عبور از روی خلیج فارس سبب فرارفت رطوبت به سمت منطقه تحقیق شده است و در تراز ۵۰۰ میلی‌باری هم تمامی کشور به‌جز جنوب شرق، در جلوی ناهای عمیق غربی واقع شده است. همین امر سبب شده ناپایداری‌ها تا ترازهای میانی جو کاملاً گسترش یابد. به همین دلیل است که در رخداد بارش‌های تندری، علاوه بر فرارفت رطوبت در فشار تراز دریا و ۸۵۰ میلی‌باری، صعود هوا نیز در هر سه تراز به‌ویژه ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی‌باری کاملاً مشهود باشد. به همین دلیل، ناپایداری‌های رخ داده در اصفهان همراه با رعدوبرق و بارش شدید بوده است.

### منابع

- [۱]. تاجبخش، سحر؛ غفاریان، پروین؛ میرزایی، ابراهیم (۱۳۸۸). روشی برای پیش‌بینی رخداد توفان‌های تندری با طرح دو بررسی موردی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۴: ۱۶۶-۱۴۷.
- [۲]. جلالی، اورج (۱۳۸۵). تحلیل زمانی - مکانی بارش‌های رعدوبرقی منطقه شمال غرب کشور، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تبریز.

- [۳]. جلالی، اورج؛ رسولی، علی اکبر؛ ساری صراف، بهروز (۱۳۸۵). توفان‌های تندری و بارش‌های ناشی از آن در محدوده شهر اهر، نشریه دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز: ۱۹-۳۳.
- [۴]. جوانمرد، سهیلا؛ بداق جمالی، جواد (۱۳۸۱). پارامترسازی فرایندهای خردفیزیکی و دینامیکی بارش در مدل ابرتندری، مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد ۳، شماره ۳، زمستان ۱۳۸۱: ۱۸۵-۱۹۸.
- [۵]. خالدی، شهریار؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ خزایی، مهدی (۱۳۸۹). تحلیل همدیدی توفان‌های تندری سیلاب‌ساز استان کرمانشاه، مجله چشم‌انداز جغرافیایی، سال پنجم، شماره ۱۳: ۲۱-۴۱.
- [۶]. خوشحال دستجردی، جواد؛ قوبدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶). شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر توفان‌های تندری در تبریز)، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ویژه‌نامه جغرافیا: ۱۱۵-۱۰۱.
- [۷]. رسولی، علی اکبر؛ بوداق جمالی، جواد؛ جلالی، اورج (۱۳۸۵). توزیع زمانی بارش‌های رعدوبرقی منطقه شمال غرب کشور، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان: ۱۷۰-۱۵۵.
- [۸]. رسولی، علی اکبر؛ جوان، خدیجه (۱۳۹۱). تحلیل روند وقوع توفان‌های رعدوبرقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون‌های ناپارامتری، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۳۸: ۱۲۶-۱۱۱.
- [۹]. صادقی حسینی، سید علی رضا؛ رضائیان، مهتاب (۱۳۸۵). بررسی تعدادی از شاخص‌های ناپایداری و پتانسیل بارورسازی ابرهای همرفتی منطقه اصفهان، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شماره ۲: ۹۸-۸۳.
- [۱۰]. صلاحی، برومند (۱۳۸۹). بررسی ویژگی‌های آماری و همدیدی توفان‌های تندری استان اردبیل، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۲، ۱۴۱-۱۲۹.
- [۱۱]. فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۹۲). مخاطرات اقلیمی ایران، تهران: انتشارات سمت.
- [۱۲]. قائمی، هوشنگ؛ عدل، محمود (بی تا). ناپایداری و توفان‌های رعد و برق، انتشارات آموزش سازمان هواشناسی.
- [۱۳]. قوبدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰). کاربرد شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال یازدهم، شماره ۳۴: ۲۰۸-۱۸۲.

- [۱۴]. کاویانی، محمدرضا؛ علیجانی، بهلول (۱۳۸۸). مبانی آب و هواشناسی، تهران: انتشارات سمت، چاپ پانزدهم.
- [۱۵]. کیت، اسمیت (۱۳۸۲). مخاطرات محیطی، ترجمه ابراهیم مقیمی و شاپور گودرزی‌نژاد، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۶]. محمدی، حسین (۱۳۸۷). مخاطرات جوی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۷]. مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۳). دانش مخاطرات برای زندگی با کیفیت بهتر و محیط پایدارتر، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۸]. میرموسوی، سید حسین؛ اکبرزاده، یونس (۱۳۸۷). «مطالعه شاخص‌های ناپایداری در تشکیل تگرگ در ایستگاه هواشناسی تبریز» مجله فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۲۵: ۹۵-۱۰۸.

- [19]. Ahrens, Donald. C (2009) *Meteorology Today: An introduction to Weather, climate, and the Environment*, 9th Ed.P.
- [20]. Barry, Roger G. Chorley, Richard J (2010) *Atmosphere, Weather and Climate*, Routledge, London and New York, Nine editions.
- [21]. Choi, Edmund C.C and Hidayat, Ferry A(2002) gust factor for thunderstorm and non-thunderstorm wind, *journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 90, 1683-1696.
- [22]. Linacre Edward and geerts, Bart (2003) *climates and weather explained* London and New York.
- [23]. Pattanaik. D, R.(2005). Variability of oceanic and Atmospheric Conditions During active and inactive periods of storms over the Indian region, *international journal of climatology*, No25, p: 1523
- [24]. Robert , c, Balling,jr, Randall's. (2003). *Compilation and Discussion of Trends in severe storms in the United State*, natural hazard, No29 .pp.103\_ 110
- [25]. Terry, James P. (2007) *tropical cyclones climatology and impacts in the south pacific*.