

## واکاوی همدیدی - ترمودینامیک توفان‌های تندری تهران

مهدی مدیری

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

مهدی خزایی<sup>۱</sup>

کارشناس ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

احسان مدیری

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

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۱۲

### چکیده

در این پژوهش به بررسی توفان‌های تندری شدید تهران طی یک دوره آماری ۱۱ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۰) پرداخته شده است. به منظور بررسی شرایط سینوپتیکی که در تهران موجب بارش‌های تندری شدید شده است، داده‌های مربوط به پدیده‌های خاص (کدهای ۹۵ تا ۹۹) ایستگاه سینوپتیک تهران (فرودگاه) در یک دوره آماری ۱۱ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۰) (۱۳۷۸-۱۳۸۸) استخراج گردید. همچنین داده‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی باری در روز بارش از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR سازمان ملی جو و اقیانوس شناسی آمریکا استخراج گردید و نقشه‌های تراز‌های فوق‌الذکر در محیط نرم افزار GRADS ترسیم گردید. با بررسی نقشه‌های سینوپتیکی فشار تراز دریا، ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی باری دو الگوی کلی (۱۹ ژانویه ۲۰۰۵ و ۵ فوریه ۲۰۱۰) برای ایجاد توفان‌های تندری همراه با بارش شدید تشخیص داده شد. در این پژوهش همچنین از شاخص‌های ناپایداری  $LCL$ ،  $K$ ،  $SI$  استفاده شده است. در الگوی اول (۱۹ ژانویه ۲۰۰۵) در فشار تراز دریا و اچرخندی با حرکت غرب سوی خود هوای گرم و مرطوب دریای عمان و خلیج فارس را با سمت نواحی جنوبی، شرق و شمال شرق کشور شارش داده و در تراز‌های ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی باری، منطقه مورد مطالعه در زیر و جلوی ناوه‌های فوق‌الذکر قرار گرفته و ناپایداری‌ها تا این تراز‌ها گسترش یافته است. در الگوی نوع دوم (۵ فوریه ۲۰۱۰) در فشار تراز دریا و ۸۵۰ میلی باری چرخندی قوی بر روی نیمه مرکزی و شمالی کشور قرار گرفته که با حرکت پادساعتگرد خود موجب تشدید ناپایداری تا این تراز شده است و در تراز ۵۰۰ میلی باری منطقه مورد مطالعه کاملاً در جلوی ناوه‌های غربی واقع شده و سبب گشته ناپایداری‌ها همراه با بارش شدید و تندر همراه گردد. همچنین مقدار شاخص  $SI$  بین حداقل  $-۰.۹۷$  تا حداکثر  $۷.۷۶$  درجه سانی گراد بوده و مقدار شاخص  $K$  بین  $۱۷.۸$  و تا حداکثر  $۳۳.۲$  درجه سانی گراد بوده است. کمترین مقدار شاخص  $SI$  در روزهای مطالعاتی نمونه مربوط به ۱۰ آوریل ۲۰۱۰ بوده که مقدار آن  $-۰.۹۷$  درجه سلسیوس است که مقدار شاخص منفی این پارامتر از شرایط مناسب ناپایداری در این روز حکایت دارد همچنین مقدار شاخص  $K$  در این روز  $۳۳.۲$  درجه سانی گراد بوده که نشان دهنده رطوبت کافی در دسترس برای وقوع عمل تراکم و ایجاد بارش بوده است مقدار پایین شاخص  $SI$  و مقدار بالای شاخص  $K$  نشان دهنده ناپایداری شدید در این روز است.

**کلید واژه‌ها:** بارش‌های تندری، شاخص‌های ناپایداری، ایستگاه هواشناسی تهران

## مقدمه

پدیده بارش های تندری از جمله مخاطرات جوی محسوب می شود که در هنگام وقوع، خسارات فراوانی را به محصولات کشاورزی وارد می سازد. بنابراین پیش بینی این پدیده در جهت کاهش خسارات وارده به محصولات کشاورزی، باغات و ... ضروری می باشد. عملکرد همزمان این توفان ها با رگبارهای باران، برف و تگرگ و نقش موثر آن در ایجاد سیل های ناگهانی هم از جنبه کشاورزی هم از نظر خسارات مالی و جانی همواره مورد توجه محققان بوده است. به دلیل اهمیت این نوع توفان های کوتاه مدت مطالعاتی در زمینه ی مکانیسم تشکیل و رشد آن در کشورهای مختلف جهت پیش بینی این توفان ها انجام گرفته است.

مشخصه اصلی توفان های تندری به وسیله صدای رعد و آذرخش تعیین می شود (Humphreys, 1914, p 517) در آند شرقی در مناطقی از آرژانتین، نقاط بسیار گرمی وجود دارد که سبب رخداد همرفت های شدیدی می شود. خسارات ناشی از این همرفت ها بسیار زیادتر از دیگر عرض های جغرافیایی است (Sanchez, et al., 2008, p36). رخداد توفان های تندری حاره ای در سنگاپور در طی فصل بین موسمی یعنی آوریل و می و اکتبر تا نوامبر بسیار فراوان است؛ این توفان ها در این بازه زمانی بادهای بسیار شدیدی را در این کشور ایجاد می کنند (Choi and Hidayat, 2002, pp1683-84) در دریای مدیترانه همرفت های عمیقی شکل می گیرد. معمولا این سیستم های همرفتی متاثر از ناهمواری های ساحلی هستند، برخی از توفان های تندری شدید در این ناحیه، توسعه و بلوغ شان در سرتاسر دریای مدیترانه صورت می گیرد (Cohuet, et al., 2010, pp: 1-18).

برخی از محققین در جهت شناسایی مناطق ناپایدار جو به ابداع شاخص هایی پرداخته اند که شدت ناپایداری را در جو مشخص می کند. از جمله محققینی مانند شوآلتر<sup>۱</sup> در شاخص Si (۱۹۵۳)، گالوی<sup>۲</sup> در شاخص Li (۱۹۵۶)، جرج در شاخص K (۱۹۶۰)، میلر<sup>۳</sup> در شاخص TT (۱۹۶۷)، بایندر<sup>۴</sup> در شاخص اسویت (۱۹۷۰) و بلنکاردر در شاخص کیپ (۱۹۹۸) تلاش در جهت شناسایی و تبیین مناطق ناپایدار جو داشته اند. شاخص ناپایداری Tq که بر اساس دما و دمای نقطه شبنم در تراز ۸۵۰ میلی باری و دمای ۷۰۰ میلی باری به دست می آید برای شناسایی همرفت های عمیق نیوزلند به کار گرفته شده است، این شاخص برای نشان دادن ناپایداری مناسب و در سطح معناداری ۲ درصد مورد تایید قرار گرفته است (Henry, 1999, pp246- 254).

در زمینه توفان های تندری و شاخص های ناپایداری مطالعاتی هم در کشور صورت گرفته است که می توان به برخی از آن ها از جمله موارد ذیل اشاره کرد: بررسی تعدادی از شاخص های ناپایداری و پتانسیل بارورسازی ابرهای همرفتی منطقه اصفهان نشان می دهد که از بین شاخص های K، Si، Pwc و Cape بهترین شاخص برای پیش بینی مقدار بارش و فعالیت های همرفتی شدید در اصفهان، شاخص Pwc است (صادقی حسینی و رضائیان، ۱۳۸۴، ص ۸۳).

<sup>1</sup> - Showalter, A. K., 1953

<sup>2</sup> - Galway, J. G., 1956

<sup>3</sup> - Miller, R. C., 1967

<sup>4</sup> - Bidner, A., 1970

بارش‌های تندری منطقه اهر در دوره گرم سال هم متأثر از سامانه‌های تندری توده هوا و هم سامانه‌های جبهه‌ای هستند و در طی فصل سرد سال عبور جبهه سرد در مقیاس سینوپتیک از روی منطقه سبب ریزش بارش‌های تندری به صورت گسترده می‌شوند (جلالی و دیگران، ۱۳۸۵: ۳۱). رسولی و دیگران به بررسی بارش‌های تندری شمال غرب کشور طی دوره سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۰۲ پرداخته‌اند. نتایج مطالعات ایشان نشان می‌دهد که بارش‌های مذکور اغلب در فصول بهار و تابستان و طی ساعات بعدظهر و اوایل شب و عمدتاً به دلیل تأثیر مشترک سامانه‌های سینوپتیک و عوامل فیزیوگرافیک اتفاق می‌افتد (همان: ۱۵۵).

بیشترین فراوانی ماهانه توفان‌های تندری در تبریز در ماه می و در بازه فصلی متعلق به فصل بهار است. این توفان‌ها در بیشتر مواقع با تگرگ، رگبارهای سنگین و سیل آسا همراه هستند که هر ساله خسارات فراوان اقتصادی - اجتماعی و زیست محیطی را متوجه مردم به ویژه کشاورزان و دامداران می‌کند. همچنین توزیع احتمال وقوع توفان‌های تندری تبریز، مبین اجتناب ناپذیر بودن وقوع آن‌ها به ویژه در دوره‌های برگشت کوتاه مدت است (خوشحال دشتجردی و قویدل رحیمی، ۱۳۸۶: ۱۰۱). بررسی شاخص‌های ناپایداری در تشکیل تگرگ در ایستگاه هواشناسی تبریز نشان می‌دهد که هر اندازه سطح یخبندان کمتر از ۳۰۰۰ متر باشد، احتمال وقوع تگرگ کمتر و هر چقدر فاصله سطح یخبندان تا قله ابر زیاد باشد، احتمال وقوع تگرگ بیشتر خواهد بود (میرموسوی و اکبرزاده، ۱۳۸۷، ص ۹۶).

از مهم‌ترین شاخص‌های بزرگ مقیاس وقوع توفان‌های تندری می‌توان به گرادیان شدید فشار در سطح زمین، خشک بودن لایه میانی جو و ابرهای کومه‌ای باران‌زا که کم و بیش مشابه دیگر ناپایداری‌های جوی است اشاره کرد. در بررسی دو مورد از توفان‌های تندری ۱۳ می ۲۰۰۷ و ۵ ژوئن ۲۰۰۷ در ایستگاه مهرآباد تهران نشان می‌دهد که شاخص‌های LI، KI، SWEAT و CAPE و آستانه‌های عددی این شاخص‌ها راهنمای مناسبی برای پیش‌بینی وقوع توفان در منطقه تهران است (تاج‌بخش و دیگران، ۱۳۸۸: ۱۶۵). همچنین به منظور ارزیابی و تحلیل دینامیک توفان تندری ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ کاربرد شاخص‌های ناپایداری از قبیل LI، TTI، SI، KI، CIN، CAPE، SI و شاخص PW استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که شاخص شوآلتر یا SI نسبت به شاخص‌های دیگر نتایج بهتری نسبت به سایر شاخص‌ها به دست آورده است. همچنین تشدید ناپایداری جوی و حرکات قائم و همرفتی در سه تراز ۶۵۰، ۷۰۰ و ۷۵۰ میلی باری در روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ با بارش ۱۷.۵ میلیمتری که همراه با تگرگ بوده به علت ناپایداری شدید و بر اثر ورود جبهه هوای سرد و عوامل سینوپتیک انجام گرفته است (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰: ۱۸۲ و ۱۸۳).

در مطالعه دیگری در ارتباط با توفان‌های تندری اردبیل نشان می‌دهد که احتمال وقوع این توفان‌ها در تمامی ماه‌های فصل بهار بسیار شدت می‌گیرد به طوری که توفان‌های تندری این ایستگاه اغلب همراه با تگرگ، صاعقه و بارش سنگین است (صلاحی، ۱۳۸۹: ۱۳۹). رخداد توفان‌های تندری شدید در برخی از مناطق کشور به ویژه در نواحی شمال غرب و غرب، به فراوانی دیده می‌شود. از آن جمله می‌توان به بارش‌های تندری سیلاب‌ساز استان کرمانشاه اشاره کرد که تماماً همراه با رعد و برق بوده که بیشتر منبع اصلی رطوبت خود را از دریای عرب و خلیج فارس بدست می‌آورند (خالدی و دیگران، ۱۳۸۹: ۳۹).

## مواد و روش

در این مطالعه داده‌های مربوط به پدیده‌های خاص در دوره آماری ۱۱ ساله ۲۰۰۰ - ۲۰۱۰ (۱۳۷۸ - ۱۳۸۸) برای ایستگاه تهران (فرودگاه) از سازمان هواشناسی کشور دریافت و با استخراج کدهای اختصاص یافته از طرف سازمان هواشناسی جهانی که شامل کدهای ۹۹-۹۵ می‌باشد، توفان‌های تندی که بیش از ۱۵ میلیمتر بارش داشته‌اند استخراج گردید. سپس داده‌های فشار تراز دریا، ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی باری را در روزهای بارشی مورد نظر از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR سازمان ملی جو و اقیانوس شناسی آمریکا استخراج گردید و نقشه‌های تراز‌های پیش‌گفته در محیط نرم افزار GRADS ترسیم گردید و الگوهایی که منجر به بارش شدید در این استان شده‌است شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در این پژوهش از داده‌های جو بالای ایستگاه هواشناسی تهران (فرودگاه) استفاده شده‌است. داده‌های جو بالا در روزهای بارشی مورد نظر در ساعت ۰۰:۰۰ و ۱۲:۰۰ GMT انتخاب شده‌است. همچنین داده‌های رادیوسوند از قبیل دما T و دمای نقطه شبنم Td برای سطوح فشار ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ hpa استخراج گردید. همچنین با استفاده از شاخص‌های ناپایداری LCL، SI و K ناپایداری‌هایی که موجب بارش در ایستگاه هواشناسی تهران (فرودگاه) شده‌اند مورد بررسی قرار گرفته‌است. در پایان یک نمونه از نمودار اسکویوتی در روزهای بارشی مورد نظر مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

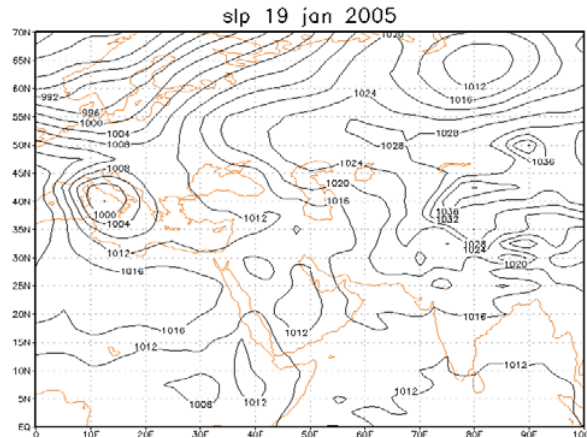
موقعیت ایستگاه سینوپتیک تهران (فرودگاه مهرآباد)

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع بر حسب متر
۴۸ ۳۲	۳۴ ۵۲	۱۷۴۱/۵

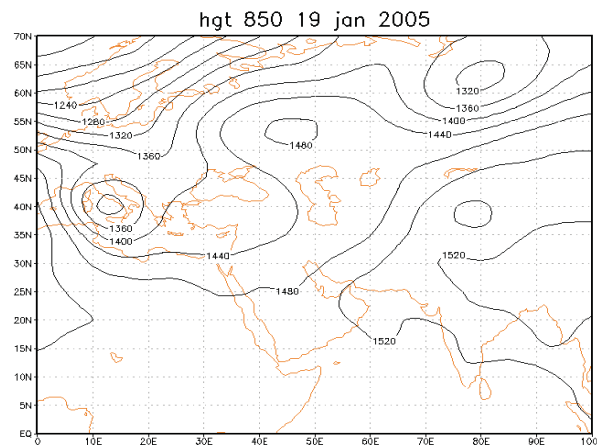
## یافته‌های پژوهش

در ایستگاه هواشناسی مهرآباد، طی یک دوره آماری ۱۱ (۲۰۰۰-۲۰۱۰) ۱۰ مورد بارش تندی بالای ۱۵ میلی متر رخ داده‌است. با ترسیم نقشه‌ای نقشه‌های فشار تراز دریا، ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی باری، در روزهای بارشی مورد نظر دو الگوی کلی (چرخندی و واچرخندی) برای بارش‌های تندی رخ داده در این ایستگاه شناسایی گردید، تمام بارش‌های ماه آوریل و دو نمونه از بارش ماه فوریه و مارس هم از الگوی چرخندی پیروی کرده‌است، در این مقاله بارش ۵ فوریه ۲۰۱۰ به عنوان نماینده الگوی چرخندی مورد بررسی قرار گرفته‌است. بارش‌های تندی در الگوی واچرخندی در ماه‌های دسامبر، ژانویه و مارس رخ داده، که در این پژوهش ۱۹ ژانویه ۲۰۰۵ به عنوان نماینده الگوی واچرخندی مورد بررسی قرار گرفته‌است.

الگوی نوع اول (واچرخندی)



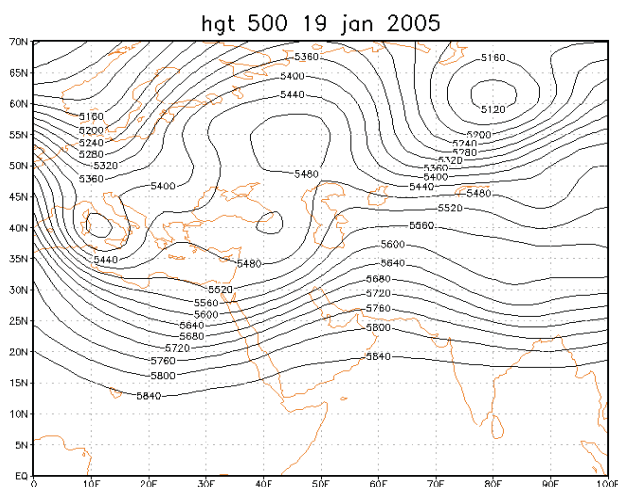
شکل (الف) نقشه فشار تراز دریا (۱۹ ژانویه ۲۰۰۵)



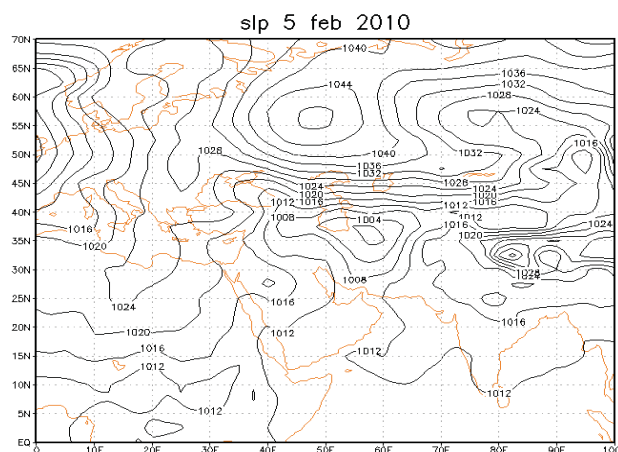
شکل (ب) نقشه فشار تراز ۸۵۰ میلی باری (۱۹ ژانویه ۲۰۰۵)

شکل الف نقشه فشار تراز را در روز بارش (۱۹ ژانویه ۲۰۰۵) نشان می دهد. در این روز زبانه واچرخندی با فشار ۱۰۱۶ میلی باری که از سمت شرق گسترش یافته است با حرکت ساعتگرد خود با عبور از روی آب های گرم دریای عرب و خلیج فارس، رطوبت را به نواحی جنوبی، شرق و شمال شرق کشور شارش می دهد.

شکل ب نقشه تراز ۸۵۰ میلی باری را در روز بارش (۱۹ ژانویه ۲۰۰۵) نشان می دهد. در این تراز منحنی پربندی ۱۴۴۰ ژئوپتانسیل متر با عبور از شرق دریای مدیترانه، شمال غرب کشور را تحت تاثیر قرار می دهد. همچنین ناوه دیگری با پربند ۱۴۸۰ ژئوپتانسیل متر با عبور از قسمت های شمالی دریای سرخ و شمال خلیج فارس، علاوه بر فرارفت رطوبتی، موجب ناپایداری در قسمت های جنوب غربی، نواحی مرکزی و شرق کشور شده است. در این تراز منطقه مورد مطالعه در بین دو ناوه فوق الذکر قرار گرفته و موجب ناپایداری در این تراز شده است.



شکل (الف) نقشه فشار تراز ۵۰۰ میلی باری (۱۹ ژانویه ۲۰۰۵)

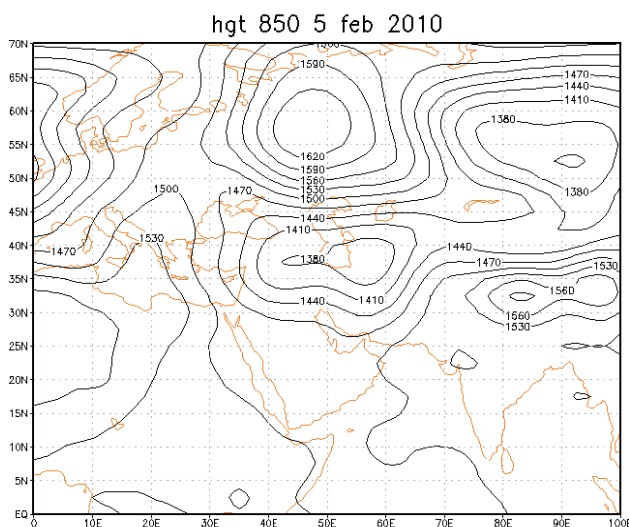


شکل (ب) نقشه فشار تراز دریا (۵ فوریه ۲۰۱۰)

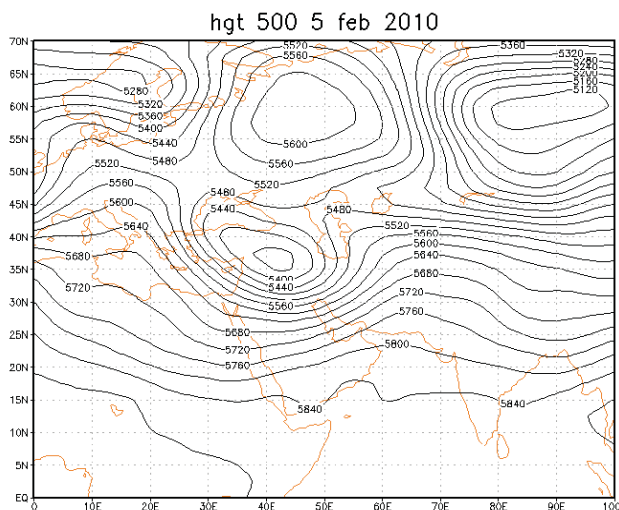
شکل الف نقشه تراز ۵۰۰ میلی باری را در روز بارش (۱۹ ژانویه ۲۰۰۵) نشان می دهد. در این تراز محور ناوه ای نسبتاً عمیق بر روی شمال شرق آفریقا تشکیل شده است. همانطور که ملاحظه می شود جنوب غرب، غرب و شمال غرب کشور در جلوی ناوه پیش گفته قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در این تراز در زیر ناوه ای با منحنی ۵۵۶۰ ژئوپتانسیل متر قرار گرفته است. این امر سبب شده است ناپایداری ها تا این تراز گسترش یافته و سبب رخداد بارش شوند.

### الگوی نوع دوم (الگوی چرخندی)

شکل ب نقشه فشار تراز دریا را در روز بارش (۵ فوریه ۲۰۱۰) نشان می دهد. در این روز چرخندی با سه منحنی هم فشار بسته با فشار ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۸ میلی باری بر روی کشور تشکیل شده است. منحنی هم فشار ۱۰۰۰ میلی باری بر روی شمال شرق کشور قرار گرفته است. منحنی ۱۰۰۴ میلی باری این سامانه با حرکت پادساعتگرد خود با عبور از جنوب دریای خزر، هوای نسبتاً مرطوب این دریا را به سمت منطقه مورد مطالعه و مرکز کشور شارش می دهد.



شکل (الف) نقشه فشار تراز ۸۵۰ میلی باری (۵ فوریه ۲۰۱۰)



شکل (ب) نقشه فشار تراز ۵۰۰ میلی باری (۵ فوریه ۲۰۱۰)

شکل الف نقشه فشار تراز ۸۵۰ میلی باری را در روز بارش (۵ فوریه ۲۰۱۰) نشان می دهد. نقشه این تراز، با نقشه تراز دریا در هماهنگی است به طوری که در این تراز همچنان چرخندی با دو منحنی پربندی بسته با فشار مرکزی ۱۳۸۰ ژئوپتانسیل متر بر روی نواحی شمالی کشور و نواحی جنوبی دریای خزر بسته شده است. همانطور که نقشه این تراز نشان می دهد چرخند پیش گفته با حرکت پادساعتگرد خود با عبور از روی دریای خزر، علاوه بر تامین رطوبت، موجب ناپایداری در این تراز بر روی شمال غرب، غرب و منطقه مورد مطالعه شده است.

شکل ب نقشه فشار تراز ۵۰۰ میلی باری را در روز بارش (۵ فوریه ۲۰۱۰) نشان می دهد. نقشه این تراز هم با نقشه فشار تراز ۸۵۰ میلی باری و نقشه فشار تراز دریا در هماهنگی است. در این روز مرکز چرخند کمی عقب تر از تراز ۸۵۰ میلی باری قرار گرفته است به طوری که چرخند مشاهده شده با سه منحنی پربندی بسته بر روی شمال عراق و جنوب ترکیه بسته شده است. زبانه این چرخند با ۵۴۴۰ ژئوپتانسیل متر با حرکت پادساعتگرد خود با عبور از دریای سیاه رطوبت را به نواحی شمال غرب کشور شارش می دهد. همچنین این چرخند با ریزش هوای نسبتاً

سرد به درون ناوه غربی، علاوه بر عمیق تر کردن آن سبب شده ناوه مسیر جنوبی تری را ببیماید. در این تراز منطقه مورد مطالعه در زیر ناوه ای با پربند ۵۴۸۰ ژئوپتانسیل متر واقع شده است. این ناوه ناپایداری را در این روز تا این تراز گسترش داده است.

### شاخص های ناپایداری مورد بررسی

از شاخص های ارزیابی پایداری که به شاخص های ناپایداری معروفند می توان میزان ناپایداری بالقوه در توفان تندی را بدست آورد. در این مطالعه شاخص های  $LCL$ ،  $SI$  و  $K$  مورد بررسی قرار می گیرد. سطح تراکم هوای بالا رونده ( $LCL$ )<sup>۱</sup>

سطح تراکم هوای بالا رونده سطحی است که به وسیله انتقال عمودی بسته هوای مرطوب و غیر اشباع در یک سطح فشاری معین بدست می آید در  $LCL$  رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد است و در اینجا پایه ابر تشکیل می شود. شاخص شوآلتر<sup>۲</sup> ( $SI$ )

این شاخص که بر مفهوم ناپایداری پتانسیل پایه گذاری شده است بر رابطه بین دمای خشک و نقطه شبنم ۸۵۰ میلی بلری و دمای خشک ۵۰۰ میلی باری پایه گذاری شده است. هر اندازه کمیت این شاخص کوچک تر باشد شدت ناپایداری بیشتر خواهد بود. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می شود

جدول ۱: ارتباط بین شاخص  $SI$  و شدت توفان تندی

شاخص $SI$	احتمال وقوع توفان تندی
تا -۲	ناپایداری ضعیف
-۳ تا -۵	ناپایداری متوسط
$\geq -6$	ناپایداری شدید

### شاخص ناپایداری $K$ <sup>۳</sup>

برای محاسبه این شاخص از سه تراز ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال استفاده می شود. این شاخص توفان تندی را بر پایه آهنگ کاهش دما، محتوای رطوبتی جو پایین و گسترش قائم لایه مرطوب اندازه گیری می کند. مقدار شاخص  $K$  با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$K = (t850 - t500) + Td850 - (T700 - Td700)$$

جدول ۲: ارتباط شاخص  $K$  با احتمال وقوع توفان تندی

شاخص $K$	احتمال وقوع توفان تندی به درصد
$< 15$	نزدیک ۰
۱۵ - ۲۰	۲۰
۲۱ - ۲۵	۲۰ - ۴۰
۲۶ - ۳۰	۴۰ - ۶۰
۳۱ - ۳۵	۶۰ - ۸۰
۳۶ - ۴۰	۸۰ - ۹۰
$> 40$	نزدیک ۱۰۰

<sup>۱</sup> Lifting Condensation Level

<sup>۲</sup> Showalter Index

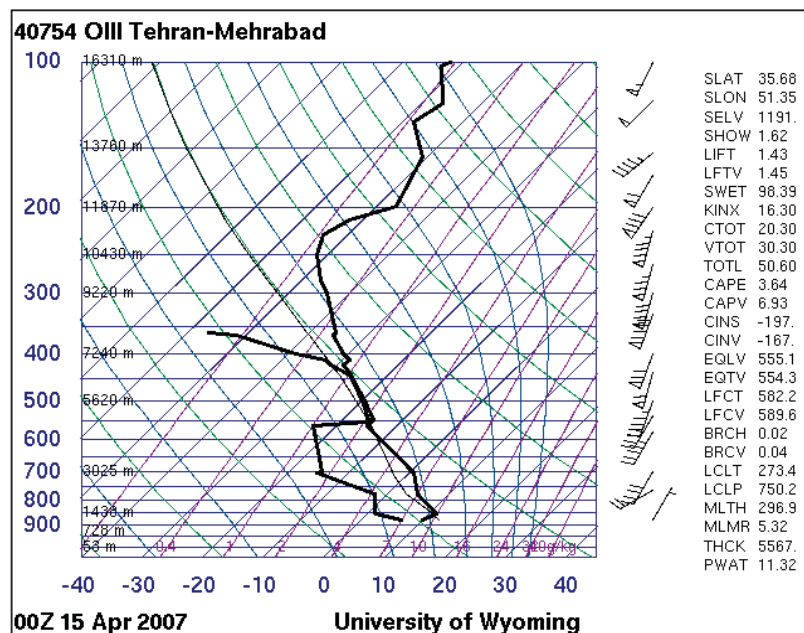
<sup>۳</sup> K Index



جدول ۳: مقادیر شاخص های ناپایداری در ایستگاه هواشناسی تهران - فرودگاه (۲۰۱۰-۲۰۰۰)

سال	ماه	روز	بارندگی بر حسب میلی متر	سطح تراکم هوای بالارونده (LCL)	شاخص (SI)	شاخص (K)
2002	April	3	38	783.20	5.83	25.90
2003	March	26	22	735.38	2.81	28.60
2004	March	20	25	805.17	4.09	23.50
2005	January	19	17.8	822.32	6.45	21.70
2006	April	27	22.5	812.37	1.41	32.10
2007	April	15	34	726.48	-0.90	32.20
2007	December	8	19.9	828.30	2.17	30.80
2008	December	1	19	828.85	3.47	28.00
2010	April	10	24	752.57	-0.97	33.20
2010	February	5	16.8	704.43	1.53	20.20

با توجه به جدول فوق مشاهده می شود که سطح تراکم هوای صعود کننده (LCL) بین ۸۲۸.۸۵ تا ۷۰۴.۴۳ میلی باریواقع شده است. با توجه به جدول فوق مقدار شاخص SI بین ۰.۹۷- تا ۵.۸۳ درجه سانتی گراد بوده است. و مقدار شاخص K بین ۲۰.۲۰ تا ۳۳.۲۰ درجه سانتی گراد بوده است. ملاحظه می شود که معمولا با کاهش مقدار شاخص SI که ناپایداری را نشان می دهد مقدار شاخص K که مقدار رطوبت را نشان می دهد افزایش یافته و شرایط مناسب را برای وقوع بارش فراهم می کند. در بیشتر موارد با مقدار شاخص SI منفی، حتی با مقادیر کوچک K و یا برعکس با افزایش مقدار K حتی با افزایش مقدار شاخص SI باز هم احتمال وقوع ناپایداری و ایجاد بارش زیاد است.



شکل ۱: نمودار اسکویوتی در روز ۱۵ آوریل ۲۰۰۷ (بر گرفته از سایت دانشگاه وایومینگ)

همانطور که در نمودار فوق مشاهده می‌شود منحنی دمای نقطه شبنم و دمای محیط در تراز ۵۵۰ میلی باری یکدیگر را قطع و تا تراز ۴۴۰ میلی باری مماس بر یکدیگر بوده‌اند بنابراین بیشترین چگالش رطوبت در فاصله بین تراز ۵۵۰ تا ۴۴۰ میلی باری رخ داده و ناپایداری شدید از تراز ۵۵۰ میلی باری شروع شده و تا تراز ۴۴۰ میلی باری ادامه یافته و بعد از آن با فاصله گرفتن دو منحنی دمای محیط و دمای نقطه شبنم ناپایداری هم تمام می‌شود.

### نتیجه گیری

با بررسی نقشه های فشار تراز دریا، ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی باری طی یک دوره آماری ۱۱ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۰) دو الگوی کلی برای بارش های تندی ایستگاه هواشناسی تهران شناسایی گردید. در الگوی نوع اول (۱۹ ژانویه ۲۰۰۵) زبانه و اچرخندی که از سمت شرق گسترش یافته بود موجب فرارفت رطوبت دریای عرب و خلیج فارس به سمت نواحی جنوبی، شرق و شمال شرق کشور شده است. و در تراز های ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی باری منطقه مورد مطالعه در جلوی ناوه های پیشگفته قرار گرفته و موجب شده ناپایداری های صورت گرفته همراه با بارش شدید و تندر باشد. در الگوی نوع دوم (۵ فوریه ۲۰۱۰) در فشار تراز دریا و ۸۵۰ میلی باری چرخندی قوی بر روی قسمت های مرکزی و شمالی کشور قرار گرفته است که سبب تامین رطوبت و تشدید ناپایداری تا این تراز شده است و در تراز ۵۰۰ میلی باری منطقه مورد مطالعه کاملاً در جلوی ناوه های غربی واقع شده و سبب تشدید ناپایداری تا این تراز شده است.

همچنین با بررسی شاخص های ناپایداری و ساعات وقوع این پدیده، مشاهده می‌شود که با توجه به شدت ناپایداری، حداکثر ۱۲ تا ۱۸ ساعت بعد را می‌توانند نشان دهند. اگر مقدار  $K$  کم باشد (حدود ۲۰) و مقدار  $Si$  زیاد باشد (بیشتر از ۳) آنگاه نقشه های اسکیتی ساعت ۰۰ بارشی را که امکان وقوع داشته باشد حداکثر تا ۱۸ ساعت بعد را نشان می‌دهد. اما در مواقعی که ناپایداری شدید باشد، یعنی مقدار  $K$  زیاد (بیشتر از ۳۰) و مقدار  $Si$  کمتر از ۳ به ویژه اگر به سمت اعداد منفی سوق پیدا کند، احتمال وقوع بارش در ۱۸ ساعت بعد هم وجود دارد.

با بررسی شاخص های  $K$  و  $Si$  در ایستگاه مهرآباد تهران مشخص شد که در بیشتر مواقع بارندگی ها هنگامی رخ می‌دهد که شاخص  $K$  که میزان رطوبت را نشان می‌دهد زیاد بوده و شاخص  $Si$  که صعود هوا را نشان می‌دهد کم بوده، بنابراین عملکرد این دو شاخص در یک جهت بوده و شرایط مناسب را برای بارندگی فراهم کرده‌اند. در هر صورت بهتر است دو شاخص  $K$  و  $Si$  را با هم به کار برد، به طوری که هر اندازه مقدار  $Si$  کمتر باشد، کوچک بودن  $K$  را جبران کرده و بر عکس هر چقدر مقدار  $SI$  بیشتر باشد، زیاد بودن  $K$  آن را جبران می‌نماید. اما در صورتی که مقدار  $K$  کم و مقدار  $Si$  نیز زیاد باشد شرایط پایداری ایجاد می‌شود.

### منابع

- تاج بخش، سحر؛ غفاریان، سحر، میرزایی، ابراهیم (۱۳۸۸). روشی برای پیش بینی توفان های تندی با طرح دو بررسی موردی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۴، صص ۱۴۷-۱۶۶.
- جلالی، اورج؛ رسولی، علی اکبر؛ ساری صراف، بهروز (۱۳۸۵). توفان های تندی و بارش های ناشی از آن در محدوده شهرستان اهر، نشریه دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، صص ۱۸-۳۳.

- خالدی، شهریار؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ خزایی، مهدی (۱۳۸۹). تحلیل همدیدی توفان های تندری سیلاب ساز استان کرمانشاه، *مجله چشم انداز جغرافیایی*، سال پنجم، شماره سیزدهم، صص ۲۱ - ۳۹.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶). شناسایی ویژگی های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر توفان های تندری در تبریز) *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، ویژه نامه جغرافیا، صص ۱۰۱-۱۱۵.
- قویدل رحیمی، یوسف (۳۸۹). کاربرد شاخص های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز، *فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی*، سال یازدهم، شماره ۳۴، صص ۱۸۲-۲۰۸.
- رسولی، علی اکبر؛ بوداق جمالی، جواد؛ جلالی، اورج (۱۳۸۵). توزیع زمانی بارش های رعدو برقی منطقه شمال غرب کشور، *مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان*، صص ۱۵۵-۱۷۰.
- صادقی حسینی، سید علی رضا؛ رضائیان، مهتاب (۱۳۸۴). بررسی تعدادی از شاخص های ناپایداری و پتانسیل بارورسازی ابرهای همرفتی منطقه اصفهان، *مجله فیزیک زمین و فضا*، جلد ۳۲، شماره ۲، صص ۸۳-۹۸.
- صلاحی، برومند (۱۳۸۹). بررسی ویژگی های آماری و همدیدی توفان های تندری استان اردبیل، *فصلنامه پژوهش های جغرافیای طبیعی*، شماره ۷۲، صص ۱۲۹-۱۴۱.
- میرموسوی، سید حسین؛ اکبرزاده یونس، (۱۳۸۷). مطالعه شاخص های ناپایداری در تشکیل تگرگ در ایستگاه هواشناسی تبریز، *مجله فضای جغرافیایی*

- Bidner, A., 1970: The Air Force Global Weather Central severe weather threat
- Galway, J. G., 1956: The lifted index as a predictor of latent instability.
- George, J. J., 1960: Weather Forecasting for Aeronautics. New York, Academic
- Henry, normal (1999), a static stability index for Low - Topped Convection, *Journal of weather and forecasting*, volume 15, 246- 254
- Miller, R. C, 1967: Notes on analysis and severe storm forecasting procedures Of the Military Weather Warning Center. Tech. Report 200, AWS, USAF. [Headquarters, AWS, Scott AFB, 1L 62225]
- Showalter, A. K., 1953: A stability index for thunderstorm forecasting.(SWEAT) index- A preliminary report. *Air Weather Service Aerospace Science Review*. AWS RP 105-2, No. 70-3, 2-5.
- Humphreys, W.j. (1914), the thunderstorm and its phenomenon, *journal of the Franklin institute*, Clxxviii, No5, pp 517-560
- Sanchez, J.L. Lopez, L. Buston, C. Marcos, J.L. Carcia-Ortega (2008), short-term forecast of thunderstorms in Argentina, *Atmospheric Research* 88, pp:36-45.
- Choi. C. C, Edmund, Hidayat, Ferry. A (2002) Gust factors for thunderstorm and non thunderstorm Wind, *journal of Wind Engineering and Aerodynamics* 90, pp 1683-1696
- Cohuet, J. B. Romero, R. Homar, V. Ducrocq, V. Ramis, C. (2010) initiation of a severe Thunderstorm over the Mediterranean Sea, *Atmospheric Research*, pp: 1-18.