



Application of Instability Indicators in Thunderstorm Monitoring in Kerman Province

Mehdi Asadi ¹  , Hasan Haji-Mohammadi ², Mokhtar Karami ³

1. (Corresponding Author) Department of Geography Education, Farhangian University, Tehran, Iran

Email: Asadi.m@cfu.ac.ir

2. Department of Geography, Tarbiat Modares University of Tehran, Tehran, Iran

Email: has.mohamadi7@gmail.com

3. Department of Climatology, Hakim Sabzevari university, Sabzevar, Iran

Email: M.karami08@yahoo.co.uk

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received:

2 April 2024

Received in revised form:

26 May 2024

Accepted:

21 June 2024

Available online:

26 July 2024

Keywords:

Air Instability,

Thunderstorm,

Hail,

Sweet Weather,

Kerman Province.

ABSTRACT

To study the mechanisms that cause thunderstorms in Kerman province, we used daily data from 10 synoptic stations in the area. The thunderstorm event codes were extracted from stations as the current weather conditions (WW) every three hours to reach the goals. In the following, a single day as a representative was examined and analyzed to study the nature of the atmospheric structure. In the selected period, hail is due to the formation of a low-pressure chalk layer (500 hPa), low-pressure, and instability at the surface. Investigating the atmospheric patterns showed that the cause of this phenomenon in the study area is the strengthening and expansion of low-pressure systems in the East of the Red Sea and Saudi Arabia. These low-pressure systems have gained moisture through the southern seas (Persian Gulf and Oman Sea), causing instability and precipitation along their path. Also, cold air loss from the middle atmospheric layers causes unstable currents and hail. After examining atmospheric conditions through unstable indicators, we tried to track the storm and its formation in 24 hours. Results showed that the CAPE Index and the Total Index are effective tools for monitoring and forecasting thunderstorms in the area. on the other hand, the sweat index also helps expand and route unstable systems.

Citation: Asadi, M., Haji-Mohammadi, H., & Karami, M. (2024). Application of Instability Indicators in Thunderstorm Monitoring in Kerman Province. *Geographical planning of space quarterly journal*, 14 (2), 47-60.

 <http://doi.org/10.30488/gps.2021.143529.2855>



© The Author(s)

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

Thunderstorms are one of the first meteorological phenomena that attracted human attention. Due to the combination of thunderstorms with rainstorms and hailstorms and their effective role in sudden floods in agriculture, financial, and life damage, this phenomenon has always fascinated researchers. Hail is called the falling ice cubes due to intense air climb and electrical phenomena. Hail consists of ice pellets ranging from 5 to 50 mm in diameter or larger. Hail growth results from frequent and intense vertical movements of air in the cumulonimbus clouds, which causes hailstones to absorb water droplets and freeze them. A small number of hailstorms reach the ground, and many of them, even in the most suitable part of the cloud, are without hail. The formation and fall of hail occur due to warm and humid air in the lower atmosphere, the rise of accumulated clouds to high altitudes with extreme cold, and the continuation of the most unstable weather conditions. Due to the significance of hail occurrence, studies have been conducted in various countries to understand its formation and growth for prediction purposes. The study aims to identify the dominant patterns during thunderstorms in Kerman province and determine the effective systems for monitoring thunderstorms using instability indices in high bar stations in the area.

Methodology

Ten stations were used to study thunderstorms and hail in Kerman province, obtained from the Iran National Weather Organization. The statistical period for this research was from the very beginning until 2014. We used transmitted station codes to identify days with hail and thunderstorms. The listed codes (87.88, 8.9, 90, 96.99) indicate the state of the weather at the time of the storm and hail occurrence during the selected day/hour period. After the investigation, one of the extreme storms was chosen as the representative for a more detailed analysis. The selected days are April 13 and 14, 2014.

Results and discussion

Based on the frequent thunderstorms in the study area, we analyzed only the most severe and voluminous thunderstorms. Selected thunderstorms happened on 13 and 14 April 2014, affecting more than half of the province. According to the Kerman Regional Meteorological Office, each hail weighed 400 grams during the storm, and in Sirjan, Baft, Rafsanjan, and Kerman, damaged cars, broken trees, etc.

Due to the combination of thunderstorms, rain showers, and hailstorms and their significant role in causing sudden floods and resulting in agricultural, financial, and human losses, this phenomenon has always been the focus of researchers. The occurrence of hail and thunderstorms annually in various regions of the country disrupts environmental conditions, and Kerman province is also affected. This study analyzed the daily weather data from 10 synoptic stations in Kerman province to examine the synoptic and dynamic conditions associated with hail and widespread thunderstorms. The development and intensification of a low-pressure system (cold trough) at the 500-hectopascal level, coupled with the generation of low pressure and instability at the earth's surface, are the primary factors behind hail occurrences during the specified timeframe. This phenomenon is triggered by the reinforcement and enlargement of low-pressure systems situated east of the Red Sea and Saudi Arabia. When these low-pressure systems traverse the southern waters of the nation, they gather moisture, resulting in instability and precipitation along their trajectory.

Conclusion

According to the investigations carried out in this study, it can be concluded that the reason for such a widespread storm in the region was due to the formation and intensification of low pressures. The cold fronts formed by creating instability on their east side caused precipitation, and because the cold front cooled the middle layers of the atmosphere, this rain was in the form of hail and showers. The mentioned cold fronts coincided with cyclones from the southwest and west entering Iran, impacting most

regional stations. Severe instability in the middle layers of the atmosphere, strong vertical movements in cumulonimbus clouds, and cold air descending from the middle layers were the causes of the hailstorm. Systems affecting hail in Kerman province originate from the southwest and derive moisture from the Gulf of Aden, the Persian Gulf, and the Sea of Oman. These systems induce severe upward movements, instability, and temperature variations in the middle and upper atmosphere layers, resulting in hail formation and significant damage. The highly unstable systems from the southwest and high-energy zones, such as Saudi Arabia, contribute substantial energy for vertical particle movement. Thunderstorms, as extreme atmospheric events, are particularly noteworthy for their extensive impacts on diverse regions, especially in hot and humid areas.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

First author: preparation and collection of data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, drafting of the article.

The second author: supervising the steps of conducting the research, checking and controlling the results, correcting, revising, and finalizing the article.

Third author: participation in research design, research supervision, study, and revision of the article.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

کاربرد شاخص‌های ناپایداری در پایش طوفان‌های تندری در استان کرمان

مهدی اسدی^۱ ✉، حسن حاجی‌محمدی^۲، مختار کرمی^۳۱- نویسنده مسئول، گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران. Email: Asadi.m@cfu.ac.ir۲- گروه آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. Email: has.mohamadi7@gmail.com۳- گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. Email: M.karami08@yahoo.co.uk

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>به‌منظور بررسی سازوکارهای حاکم بر رخداد طوفان‌های تندری در استان کرمان از داده‌های روزانه ۱۰ ایستگاه همدید این استان، از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۴ استفاده شد. برای این منظور کدهای مربوط به رخداد طوفان‌های تندری در ایستگاه‌های منطقه که به‌صورت وضعیت هوای حاضر (WW) هر سه ساعت یک‌بار ثبت می‌شوند، استخراج گردید. در ادامه برای شناخت ماهیت ساختار جو به بررسی یک روز به‌عنوان نماینده مورد رصد و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در دوره انتخابی ریزش تگرگ در استان، در اثر تشکیل و تقویت کم‌فشار بریده (سردچال) در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و ایجاد کم‌فشار و ناپایداری در سطح زمین است. بررسی الگوهای جوی نشان داد که عامل ایجاد این پدیده در منطقه، نتیجه تقویت و گسترش سامانه‌های کم‌فشار واقع در شرق دریای سرخ و عربستان است. این سامانه‌های کم‌فشار با عبور از روی آب‌های جنوبی کشور، رطوبت کسب کرده و در مسیر خود ایجاد ناپایداری و بارش کرده است. همچنین ریزش هوای سرد از ترازهای میانی جو توسط پدیده سردچال، شرایط را برای شکل‌گیری جریان‌های ناپایدار و ریزش تگرگ فراهم می‌کند. پس از بررسی شرایط جوی به کمک شاخص‌های ناپایداری، سعی شد تا به پایش طوفان و نحوه شکل‌گیری آن در طی ۲۴ ساعت پرداخته شود. در این میان نشان داد شاخص CAPE و پس‌از آن شاخص Total Total برای پایش و پیش‌بینی طوفان‌های تندری منطقه ابزاری کارآمد محسوب می‌گردد. از طرفی شاخص Sweat نیز به نحوه گسترش سامانه‌های ناپایدار و مسیریابی آن‌ها کمک می‌نماید.</p>	<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱</p> <p>تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۰۵/۰۵</p> <p>واژگان کلیدی: ناپایداری هوا، طوفان تندری، تگرگ، سردچال، استان کرمان.</p>

استناد: اسدی، مهدی؛ حاجی محمدی، حسن و کرمی، مختار. (۱۴۰۳). کاربرد شاخص‌های ناپایداری در پایش طوفان‌های تندری در استان کرمان.

مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۴ (۲)، ۴۷-۶۰.

<http://doi.org/10.30488/gps.2021.143529.2855>

مقدمه

طوفان تندری جزء اولین پدیده‌های هواشناسی است که توجه انسان را به خود جلب نموده است. به دلیل همراهی طوفان‌های تندری با رگبارهای باران و طوفان‌های تگرگ و نقش مؤثر آن در ایجاد سیلاب‌های ناگهانی، هم از جنبه کشاورزی و هم از نظر خسارات مالی و جانی، این پدیده همواره مورد توجه محققان بوده است. تگرگ بارندگی گلوله‌های یا تکه‌های یخ است که به علت صعود بسیار شدید هوا همراه با پدیده‌های الکتریکی به وجود. تگرگ از دانه یا تکه‌های یخ به قطر ۵ تا ۵۰ میلی‌متر و گاهی بیشتر تشکیل شده است. رشد شدید تگرگ حاصل حرکات عمودی شدید و مکرر هوا در ابرهای کومولونیمبوس است و این امر باعث می‌شود که نطفه‌های تگرگ قطرات آب را به دور خود جذب کنند و سبب انجماد آن‌ها شوند (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۷: ۲۵۴). تعداد کمی از طوفان‌های تندری تگرگی به زمین می‌رسند و بسیاری از آن‌ها، حتی در مناسب‌ترین قسمت ابر، بدون تگرگ‌اند. ایجاد و ریزش تگرگ، وجود هوای گرم و مرطوب در پایین جو و صعود ابرهای انباشته با ارتفاع و سرمای زیاد توأم با تداوم شرایط حداکثر ناپایداری هواست. به دلیل اهمیت رخداد تگرگ، مطالعاتی در زمینه تشکیل و رشد آن در کشورهای مختلف جهت پیش‌بینی آن‌ها انجام گرفته است. در ارتباط با تگرگ و طوفان‌های تگرگ از تحقیقات بسیاری انجام شده که می‌توان به کار کاستا و همکارانش^(۲۰۰۱) اشاره کرد که شاخص‌های ناپایداری را برای سه طبقه مهم از طوفان‌هایی که از سال ۱۹۹۹-۱۹۹۷ در شمال ایتالیا رخ داده بود، محاسبه کردند. سیمونوف و گئورگیوف^(۲۰۰۳) بر روی طوفان‌های شدید باد و تگرگ رخ داده در صوفیه بلغارستان تحقیقی انجام داده و شاخص‌های ناپایداری برای این طوفان‌ها را محاسبه کردند. وایتمن^(۲۰۰۳) با روش تحلیل همدیدی، پدیده‌های اقلیم کوهستانی به‌ویژه طوفان‌های رعدوبرقی، تگرگ و روزهای توأم با بارش‌های سنگین را مطالعه کرد. هورین و همکاران^(۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های پردازش شده رعدوبرق به بررسی طوفان‌های تندری پرداختند. بررسی آن‌ها نشان داد که این داده‌ها تا فاصله ۱۰ کیلومتری از ایستگاه‌های هواشناسی در تشخیص طوفان تندری کاربرد دارد. ملنیکف و همکاران^(۲۰۱۵) به بررسی گسترش قائم طوفان‌های تندری با استفاده از داده‌های راداری پرداخت. نتایج نشان داد در طوفان‌هایی شدت آن نسبت بالا بوده عمق گسترش قائم به ۵٫۲ کیلومتر رسیده اما در طوفان‌ها بسیار شدید این رقم به ۶٫۷ کیلومتر می‌رسد. کسپیل و همکاران^(۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های سنجنده *TRMM* به بررسی اقلیمی طوفان‌های تندری رخ داده و وضعیت رعدوبرق‌های به وقوع پیوسته در سطح جهان کردند. نتایج نشان داد بیشینه وقوع این پدیده در آرژانتین، ناحیه مرکزی ایالات متحده، پاکستان، شرق چین و سواحل شرقی استرالیا است. هوستون و همکاران^(۲۰۱۵) به طراحی الگوریتمی با استفاده از داده‌های راداری برای پایش و پردازش طوفان‌های تندری پرداختند. در ایران نیز مطالعاتی در زمینه تگرگ و طوفان‌های تندری صورت گرفته است. قندهاری و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از مدل *MM5* بارش‌های رگباری شدید را شبیه‌سازی نموده و نفوذ زبانه پرفشار سرد سیبری از شمال شرق و همچنین تأثیر زبانه‌های کم‌فشار و گرم آفریقا بر روی جنوب غرب کشور را دلیل بارش‌های رگباری شدید در منطقه می‌داند. تاج‌بخش (۱۳۸۸) با بررسی شاخص‌های ناپایداری و آستانه عددی این شاخص‌ها به این نتیجه رسید که راهنمای مناسبی برای پیش‌بینی وقوع طوفان در منطقه تهران است. خالدی (۱۳۸۹) به این نتیجه رسید که با قرارگیری زبانه واچرخندی بر روی دریای عرب موجب فرا رفت رطوبت به سمت

1. Costa et al
2. Simonov And Gergiev
3. Whiteman
4. Huryn et al
5. Melnikov et al
6. CECIL et al
7. Houston et al

غرب کشور و جلوی ناو‌های غربی شده است همین امر سبب شده، ناپایداری‌ها همراه با رعد و بر و بارش شدید باشد. صلاحی (۱۳۸۹) در بررسی طوفان‌های تندری استان اردبیل به این نتیجه رسید که در مناطق اردبیل، مشکین‌شهر و خلخال، فراوانی وقوع این طوفان‌ها متعلق به ماه می و در منطقه پارس‌آباد متعلق به ماه ژوئن است. همچنین در مناط اردبیل، خلخال و مشکین‌شهر وقوع طوفان‌های تندری دارای روندی افزایشی و در منطقه پارس‌آباد دارای روندی کاهش‌ی بوده است. موسوی بایگی (۱۳۹۱) نشان داد شاخص هوای طوفانی از مهم‌ترین شاخص‌های برای پیش‌طوفان‌های تندری منطقه محسوب می‌شود. خزایی (۱۳۹۳) وجود ناو‌های غربی و تزریق رطوبت از دریای عمان و خلیج فارس در رخداد طوفان‌های تندری عاملی مهم به حساب می‌آید. رسولی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی توفان تندری منجر به سیل شدید ۸۲ تیرماه سال ۱۳۹۴ در البرز مرکزی پرداختند و نشان دادند که از شرایط سینوپتیکی مساعد برای وقوع طوفان تندری از جمله کم‌فشار تراز دریا، ناو تراز میانی، همگرایی رطوبت در لایه‌های پایینی است. معصوم‌پور سماکوش (۱۳۹۵) به واکاوی آماری - همدیدی طوفان‌های تندری سواحل جنوبی ایران بررسی کردند. نتایج همدیدی حاکی از نفوذ جریان‌ات غربی تا جنوب عربستان و قرارگیری ناحیه واگرایی و منطقه فرا رفت تاوایی مثبت روی منطقه مورد بررسی است که شرایط ناپایداری و صعود هوا را ایجاد می‌کند. خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی ساختار منطقه‌ای جو در زمان رخداد توفان تندری همراه با تگرگ در منطقه شمال غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد در دوره حاضر به دلیل استقرار پر ارتفاعی در منطقه شرایط برای تشکیل سردچال در داخل این سامانه به وجود آمده که شرایط را برای ناپایداری‌ها در منطقه به حداکثر خود رسانده است. با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته، هدف از این پژوهش ابتدا شناسایی الگوهای غالب در زمان رخداد طوفان تندری در استان کرمان بوده و سپس شناخت سامانه‌های تأثیرگذار به پیش آن با استفاده از شاخص‌های ناپایداری چه در ایستگاه‌های جو بالا در استان و داده‌های شبکه‌بندی شده است. همچنین در پژوهش حاضر برخلاف سایر پژوهش‌ها که تنها به بررسی داده‌های مخابره شده از ایستگاه‌های هواشناسی اکتفا می‌کردند از داده‌های جو بالا (دمای هوا (Air)، فشار تراز دریا (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل (Hgt)، نم و یژه (Shum)، سرعت قائم (Omega) مؤلفه باد مداری (Uwnd) و مؤلفه نصف‌النهاری باد (Vwnd) نیز برای بررسی دقیق‌تر رفتار شاخص‌ها و طوفان‌های تندری استفاده شد که می‌توان به‌عنوان نوآوری پژوهش در نظر گرفت.

روش پژوهش

به‌منظور بررسی طوفان‌های تندری و تگرگ‌های به وقوع پیوسته در استان کرمان از آمار ۱۰ ایستگاه همدیدی که سازمان هواشناسی کل کشور اخذ شده بود، استفاده گردید. دوره آماری در این تحقیق، از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۴ بود. برای استخراج روزهای همراه با بارش تگرگ و طوفان تندری از کدهای مخابره شده از ایستگاه‌ها استفاده گردید. به ترتیب کدهای مخابره شده ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۶، ۹۹ می‌باشند که وضعیت شرایط جوی را در زمان وقوع طوفان تندری و تگرگ در روز و ساعت موردنظر اعلام می‌کند. پس از بررسی به‌عمل آمده یک از شدیدترین طوفان‌ها به‌عنوان نماینده برای تحلیل‌های دقیق‌تر انتخاب شد. بر این اساس روزهای ۱۳ و ۱۴ فروردین ۱۳۹۳ (۲ و ۳ آوریل ۲۰۱۴) انتخاب گردید. سپس برای معرفی یک الگوی مناسب جهت آمادگی با پدیده مذکور، اقدام به بررسی شرایط جوی از روز قبل شد. این امر ابتدا با بررسی مقادیر فشار، دمای هوا و دمای نقطه شبنم در لایه‌های مختلف جو که توسط رادیو سوند اندازه‌گیری شده است. در مرحله بعد برای بررسی دقیق‌تر شرایط جوی پارامترهای دمای هوا (Air)، فشار تراز دریا (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل (Hgt)، نم و یژه (Shum)، سرعت قائم (Omega) مؤلفه باد مداری (Uwnd) و مؤلفه نصف‌النهاری باد (Vwnd) از تارنمای متعلق

به مرکز ملی و پیش‌بینی محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR) اخذ شد. برای بررسی ناپایداری در سطوح مختلف جو از شاخص‌های ناپایداری زیر استفاده گردید.

– شاخص صعود (LI)

شاخص صعود توسط گالوی^۱ (۱۹۵۶) با انجام اصلاحاتی در شاخص شوالتر معرفی شد. از این‌رو با نام شاخص گالوی شناخته می‌شود. این شاخص به شاخص صعود معروف است و بر حسب درجه سلسیوس بیان می‌شود، برای اندازه‌گیری ناپایداری جو زمانی که اختلاف بین دمای ذره بالارونده و محیط در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال موجود باشد، بکار برده می‌شود. این شاخص به شیوه شاخص شوالتر محاسبه می‌شود با این تفاوت که صعود بسته هوا به صورت بی‌دررو اشباع، از سطح تراکم صعود (LCL) مربوط به سطح زمین (رابطه ۱) صورت می‌گیرد (گالوی، ۱۹۵۶: ۵۲۸):

$$LI = T_{500} - TD \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه LI (°C) معرف شاخص بالابری برای تعیین ناپایداری، T_{500} (°C) دمای محیط در تراز ۵۰۰ میلی باری و T_{D500} (°C) دمای نقطه شبنم بسته هوا در تراز ۵۰۰ میلی باری است که به صورت بی‌درروی خشک از سطح زمین تا تراز LCL و سپس به صورت بی‌درروی مرطوب تا تراز ۵۰۰ میلی باری صعود کرده است (وایتمن، ۲۰۰۰: ۸۷).

– شاخص موجودی انرژی پتانسیل فرارفتی (CAPE)^۲

این شاخص نشان‌دهنده بیشینه انرژی جنبشی بسته هوای ناپایدار، بدون در نظر گرفتن اثر بخار آب و آب متراکم شده در اثر صعود، است. محاسبه این شاخص با فرض عدم اختلاط بسته هوا با محیط در هنگام صعود و انطباق فشار آن با فشار محلی محیط صورت می‌گیرد (Holton, 2013: 173). مقدار شاخص موجودی انرژی پتانسیل فرارفتی در حقیقت برابر مساحت ناحیه مثبت بین دمای بسته هوا و دمای محیط است که با انتگرال‌گیری عمودی از نیروی شناوری بسته هوا (رابطه ۲)، از سطح همرفت آزاد (FCL) تا سطح تعادل^۳ (EL) (خوشحال دستجردی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۳۲):

$$CAPE = g \int_{FCL}^{EL} \frac{\theta_p - \theta_E}{\theta_E} dz \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه CAPE شاخص موجودی انرژی پتانسیل فرارفتی (ژول بر کیلوگرم)، g شتاب جاذبه (متر بر مجذور ثانیه)، θ_p دمای پتانسیل بسته هوا (درجه سانتی‌گراد)، θ_E دمای پتانسیل محیط (درجه سانتی‌گراد) و dz ارتفاع صعود بسته هوا (متر) است (McIlveen, 1992: 219). به‌طور کلی مقادیر مثبت این شاخص، نشان‌دهنده وجود ناپایداری است و هر چه مقدار آن زیاد باشد اختلاف دمای بسته هوا با دمای محیط بیشتر شده و در نتیجه نیروی شناوری آن قوی‌تر بوده و بنابراین شتاب بالارو بیشتر خواهد بود (Miller, 1972: 95; Moncrieff & Green, 1972: 337).

– آب قابل بارش (PW)

بنا به تعریف، مقدار آب چگالیده شده موجود در یک ستون هوای نمناک را آب قابل بارش می‌نامند که بر حسب سانتی‌متر یا میلی‌متر بیان می‌شود. برای مثال اگر یک ستون هوای نمناک ۳ سانتی‌متر آب قابل بارش داشته باشد، بدین معنی است که در ستون هوایی با سطح مقطع یک سانتی‌متر مربع، مقدار ۳ گرم آب به صورت بخار وجود دارد که اگر به طریقی متراکم

1. Galway

2. Convective Available Potential Energy

3. Equilibrium Level

4. Precipitable Water

شود و به شکل آب تغییر شکل دهد، ارتفاع آن از کف ستون ابر بالغ بر ۳ سانتی‌متر خواهد شد. بایستی در نظر داشت که بنا به نظر مورد قبول راجع و یو، هیچ سازوکاری در طبیعت وجود ندارد که بتواند کل بخار آب موجود در هوا را به صورت باران مترامک سازد (سیمونوف و گئورگیوف، ۲۰۰۳: ۶۳۰). در واقع آب قابل بارش به صورت جرم بخار آب موجود در ستونی از هوا به سطح مقطع S از سطح زمین تا انتهای تروپوسفر یا بین هر دو سطح فشاری دلخواه در نظر گرفته می‌شود. مقدار آب قابل بارش از راه‌های متفاوت قابل محاسبه است (Manzato, 2003: 422). برای محاسبه آب قابل بارش در نقش شاخصی برای پیش‌بینی فعالیت همرفتی از رابطه ۳-۹ به شرح زیر استفاده کرده است:

$$PW = \left(\frac{1}{g} \int_{P_{CCL}}^{P_{EL}} \bar{r} dP \right) \times 10^{-1} \quad \text{رابطه ۳}$$

در معادله فوق، مقدار متوسط نسبت اختلاط بین سطوح فشاری P_{CCL} و P_{EL} (فشار در پایه و قله ابر) هستند. معادله ۳ را می‌توان به صورت معادله ۴ نیز نوشت:

$$PW = g^{-1} \int_{P_{500}}^{P_0} q dP \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه PW بر حسب گرم بر سانتی‌متر مربع، g شتاب جاذبه بر حسب متر بر مجذور ثانیه و q رطوبت ویژه P_0 . فشار سطح زمین، P_{500} فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشند. باید توجه داشت که اگر در محاسبه آب قابل بارش وارونگی دما بین دو لایه فشاری در بالای پایه ابر وجود داشته باشد، مقدار rdp برای آن لایه با علامت منفی در نظر گرفته می‌شود. چون با افزایش دما، پتانسیل پذیرش رطوبت بسته هوا افزایش می‌یابد، کمبود اشباع ایجاد می‌شود و تبخیر در اثر این افزایش دما نیز نمی‌تواند این کمبود اشباع را جبران کند.

۱- شاخص K (KINX)

مقدار این شاخص با استفاده از ارتباط زیر به دست می‌آید:

$$KINX = (T_{850} - T_{500}) + T_d - (T_{700} - T_{d700}) \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه، T و T_d به ترتیب دما و دمای نقطه شبنم (درجه سانتی‌گراد) در سطوح ذکر شده است. جمله اول آهنگ کاهش دما بین سطوح ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ۵۰۰ است که اگر یک مقدار مثبت و بزرگ باشد، نشانه‌ای از ناپایداری است. جمله دوم رطوبت در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال را بیان کرده که اگر این جمله زیاد باشد، تأثیر آن در ناپایداری زیاد است. جمله سوم (با علامت منفی) خشکی هوا را در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال اندازه گرفته که اگر مقدار درون پرنتر زیاد باشد، هوا در آن سطح خشک بوده و تأثیر این جمله در ناپایداری منفی است. بنابراین اگر جو رطوبت زیاد داشته و آهنگ کاهش دما بزرگ باشد، شاخص K نیز بزرگ بوده و احتمال وقوع طوفان تندی توده هوا زیاد است.

۲- شاخص هوای طوفانی (SWEAT)

این شاخص برای برآورد طوفان‌های سهمگین کاربرد دارد و مقدار آن با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SWEAT = 12(T_{d850}) + 20(TT - 49) + (2F_{850} + F_{500}) + 125[\sin(WD_{500} - WD_{850})] \quad \text{رابطه ۶}$$

که در آن T_{d850} دمای نقطه شبنم در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (درجه سانتی‌گراد)، F سرعت باد در سطوح ذکر شده (نات)، WD جهت باد در سطوح ذکر شده (درجه) و TT شاخص مجموع مجموع‌ها بوده و از رابطه زیر به دست می‌آید:

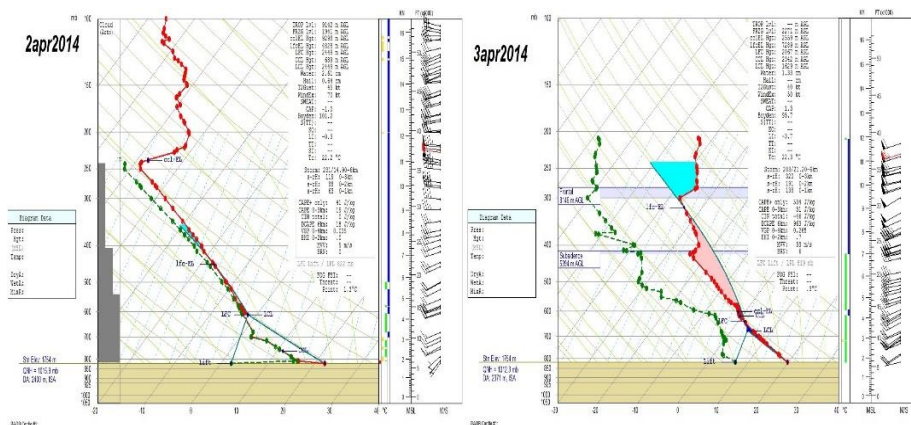
$$TT = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - T_{d500}) \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه نیز T و T_d به ترتیب دما و دمای نقطه شبنم (درجه سانتی‌گراد) در سطوح ذکر شده هستند. در مورد این شاخص، مقادیر کمتر از ۳۰۰ نشان‌دهنده ناپایداری ضعیف، ۳۰۰ تا ۳۹۹ ناپایداری متوسط، ۴۰۰ تا ۵۹۹ ناپایداری زیاد و بیشتر از ۶۰۰ ناپایداری خیلی زیاد است (McIntosh & Thom, 1969:48).

یافته‌ها

با توجه به فراوانی وقوع طوفان‌های تندری رخ داده در منطقه، بررسی همه آن‌ها امکان‌پذیر نبوده لذا شدیدترین و فراگیرترین طوفان طی دوره آماری مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. طوفان موردنظر در روز ۱۳ و ۱۴ فروردین ۱۳۹۳ به وقوع پیوست که بیش از نیمی از این استان را تحت تأثیر قرار داد. بنا به گزارش اداره کل هواشناسی استان کرمان در هنگام وقوع این طوفان تگرگ سنگینی به وزن ۴۰۰ گرم در شهرستان‌های سیرجان، بافت، رفسنجان و کرمان شروع به باریدن کرده که سبب خرد شدن شیشه اتومبیل‌ها و گاه‌آمنازل و شکستن شاخه درختان در برخی از شهرستان‌های نامبرده گردیده است. در این بین طی طوفان به وقوع پیوسته در اکثر نقاط استان بارش‌های سنگینی به وجود آمده که سبب جاری شدن سیل در نواحی کوهستانی و آب‌گرفتگی معابر در نقاط شهری شده است.

برای بررسی دقیق‌تر از نمودارهای ترمودینامیکی جهت بررسی نیمرخ قائم جو استفاده شد (شکل ۱). در نمودارهای تهیه شده مشخص شد که طی این دو روز جوی ناپایدار بر منطقه حکم فرما بوده است. به گونه‌ای که منحنی دمای هوا و نقطه شبنم به موازات یکدیگر تا تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال کشیده شده‌اند. در همین راستا ابرهای حاصل از تراز ۸۰۰ تا ۲۵۰ هکتوپاسکال تشکیل شده‌اند. در روز ۳ آوریل از شدت ناپایداری‌های تا حدودی کاسته شده به گونه‌ای که دو لایه وارونگی در لایه‌های ۴۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال به ترتیب از نوع فرونشستی و جبهه‌ای ایجاد شده ولی مقادیر بالای CAPE نشان از شناوری هوا به صورت قائم است. در جدول ۱ شاخص‌های ناپایداری جوی محاسبه شده با استفاده از این نمودارها نشان داده شده است (جدول ۱).



شکل ۱. نمودار Skew-t تهیه شده برای روزهای ۲ و ۳ آوریل ۲۰۱۴

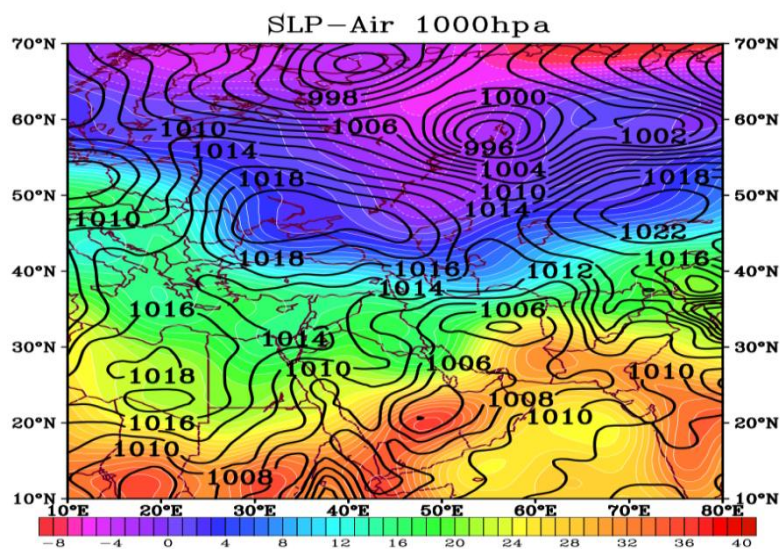
جدول ۱. مقادیر به دست آمده شاخص‌های ناپایداری

Precipitable water	Thickness	CAPE	LI	زمان (ساعت ۱۲ زولو)
۲۶/۱۶	۵۷۲۴	۱۹۷۷/۵۹	-۶/۳۵	۲ آوریل ۲۰۱۴
۱۳/۳۶	۵۷۴۳	۳۲۳/۴۶	-۲/۲۹	۳ آوریل ۲۰۱۴

بر اساس شاخص LI در روز ۲ آوریل مقادیر آن $6/35-$ بوده که در رده احتمال طوفان شدید قرار گرفته است. در روز بعد مقادیر این شاخص در طبقه احتمال وقوع طوفان قرار دارد. شاخص CAPE نیز نشان می‌دهد که در روز اول طوفان مقادیر آن ۱۹۷۷ ژول بر کیلوگرم بوده که نوید هوایی طوفانی و ناپایدار را می‌دهد؛ اما در روز دوم طوفان از مقدار آن کاسته شده است. ضخامت جو بنا به افت ژئوپتانسیل در ترازهای مذکور، در جنوب غرب ایران با کاهش روبرو بوده است که نتیجه آن گسترش جوی کژفشار بر روی ایران و به‌خصوص منطقه مورد بررسی است. این کژفشاری و کاهش ضخامت در سطوح مذکور بنا به ریزش هوای سرد عرض‌های بالاتر بوده که هنگام ورود به منطقه، هوای گرم و مرطوب جنوب ایران را وادار به صعود می‌کند. مقادیر ضخامت در روزهای ۲ و ۳ آوریل به ترتیب ۵۷۲۴ و ۵۷۴۳ ژئوپتانسیل متر رسیده است. بر اساس شاخص آب قابل بارش نیز مشخص شد که به ترتیب ۲۶ و ۱۶ اینچ در دو روز طوفانی است (جدول ۱). وجود اغتشاشات در منطقه و بالا بودن مقادیر آب قابل بارش سبب شده تا سوپرسلی در منطقه تشکیل شده و با حرکات صعودی بسیار شدیدی که در خود به وجود آورده در پهنه وسیعی بارش و در مناطق مستعد همچون شهرستان کرمان منجر به نزول تگرگ شدید و فراگیری گردد.

- وضعیت فشار تراز دریا و دمای هوا

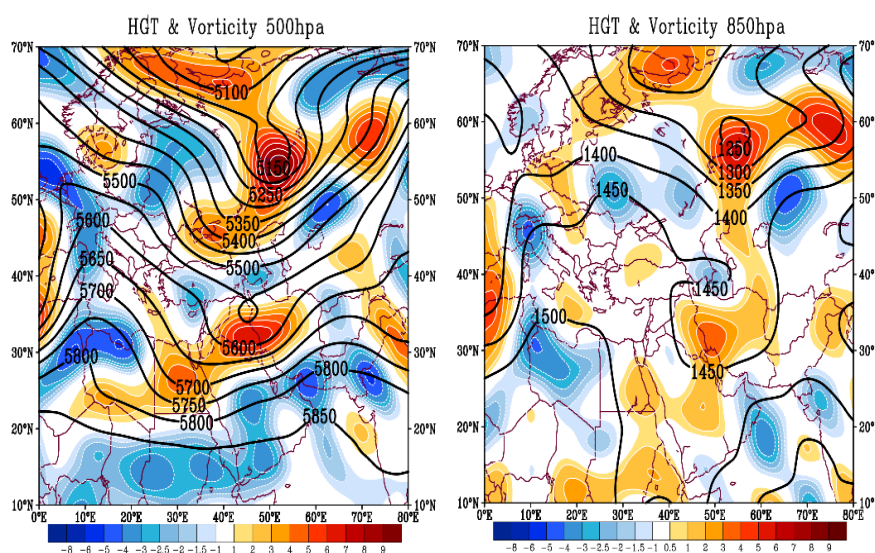
جهت بررسی الگوی فشار در سطح زمین اقدام به ترسیم نقشه فشار تراز دریا برای روزهای ۲ و ۳ آوریل ۲۰۱۴ به صورت میانگین در ساعت ۱۲ زولو شد (شکل ۲). نقشه همدیدی حضور یک کم‌فشار را در زمان موردنظر بر روی منطقه تأیید می‌کند. این کم‌فشار که زبانه‌ای از کم‌فشار سطحی تشکیل شده در شبه‌جزیره عربستان است با ورود از جنوب کشور، ناپایداری را در منطقه تشدید می‌کند. مرکز این کم‌فشار دمایی نزدیک به 30° درجه را دارا بوده و با عبور از روی دریای عمان و خلیج فارس رطوبت لازم را برای بارندگی کسب کرده است. از طرفی استقرار یک سلول پرفشار با هسته‌ای سرد در نواحی شمال غربی دریای خزر، باعث شده تا شیو تغییرات فشار افزایش یابد و با ریزش این هوای سرد، سبب صعود هوای گرم و مرطوب وارد شده از مناطق حاره شود.



شکل ۲. نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و دمای هوا در روزهای ۲ و ۳ آوریل وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی

با توجه به نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تهیه‌شده برای روز دو روز طوفانی مشخص شد که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال،

فرود عمیق با محور شمالی-جنوبی بر روی خاورمیانه صورت پذیرفته که سبب شده هوا سرد عرض‌های بالاتر، به سمت مناطق گرم عرض‌های پایین سرازیر گردد. محور این فرود بر روی خلیج فارس بوده که سبب چرخندگی مثبت در منطقه موردنظر و انتقال رطوبت به سمت ایران مرکزی شده است. این در حالی است که در فرود موردنظر، یک فرود موج دیگری بر روی دریای سرخ قرار گرفته که با تلفیق این امواج شرایط جو در خاورمیانه به صورت باروکلینیک شده و در نتیجه با ریزش‌های جوی همراه شده است که نقش دریای سرخ در تأمین رطوبت ریزش‌های جوی ایران در پژوهش کیانیان و همکاران (۱۳۹۵) نیز اشاره شده است. با بررسی نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشخص شد که ناپایداری در سطوح پایین‌تر نیز رخ داده به گونه‌ای که با فرود صورت گرفته در تراز موردنظر ناپایداری شدیدی در غرب خلیج فارس صورت پذیرفته که تا شرق و شمال شرق کشور کشیده شده است. پس مشخص شد که در هنگام وقوع تگرگ فراگیر در استان کرمان تنها عوامل محلی در به وقوع پیوستن آن دخیل نیستند، بلکه این پدیده رابطه مستقیمی با الگوهای سطوح فوقانی جو کاملاً مرتبط است (شکل ۳).

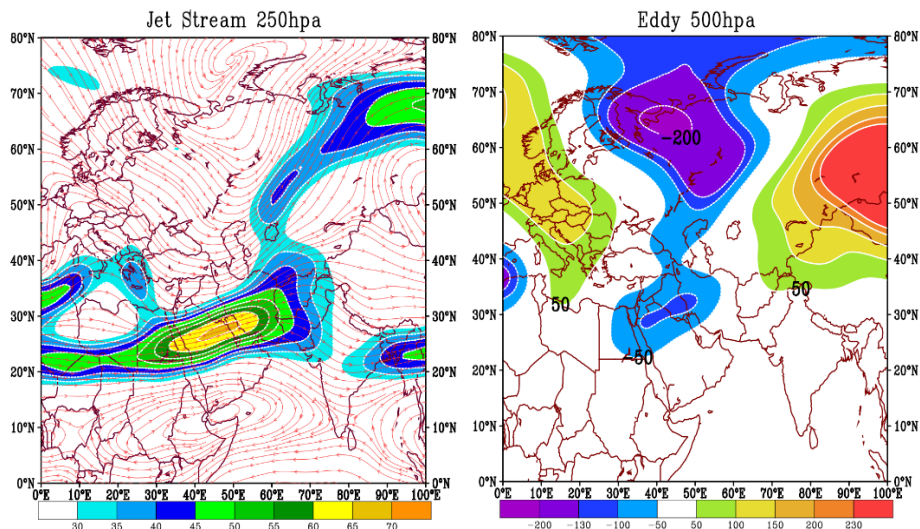


شکل ۳. نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ و تراز ۸۵۰ برای روزهای ۲ و ۳ آوریل

– وضعیت رودباد و پیچانه‌ها

با بررسی وضعیت رودباد در زمان وقوع طوفان، مشاهده شد که هسته بیشینه سرعت بر روی خلیج فارس قرار گرفته که سرعت آن بیش از ۳۵ متر بر ثانیه است. جهت جریان رودباد بر روی منطقه به صورت جنوب غرب-شمال شرق است که قسمتی از هسته فعالیت رودباد بر روی شبه‌جزیره عربستان و نیمه دیگر آن تا شرق ایران کشیده شده است. قرارگیری هسته همگرایی بر روی خلیج فارس و قسمت واگرایی آن بر روی ایران مرکزی سبب شده تا ناپایداری در منطقه افزایش یابد. با تحلیل وضعیت پیچانه‌ها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرارگیری دو مرکز کم‌فشار، یکی در روسیه و دیگری بر روی خاورمیانه که به ترتیب قدرت هسته مرکزی آن‌ها ۲۰۰- و ۷۵- ژئوپتانسیل متر بوده که به واسطه این مراکز قوی آب‌وهوای منطقه ایران و منطقه خاورمیانه تحت تأثیر قرار گرفته است. با استقرار منحنی‌های منفی پیچانه بر روی اکثر نواحی ایران، شرایط ناپایداری شدیدی بر روی منطقه حاکم شده و با ایجاد تاوایی مثبت بر روی این نواحی، باعث صعود هوا، واگرایی شدید در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شده است. حاکمیت جریان پادساعت‌گرد بر روی منطقه، شرایط را از نظر دینامیکی برای صعود هوا فراهم ساخته است. این حالت، باعث تشدید شرایط کژفشاری بر روی ناحیه شده و هوای منقلبی را برای ایران

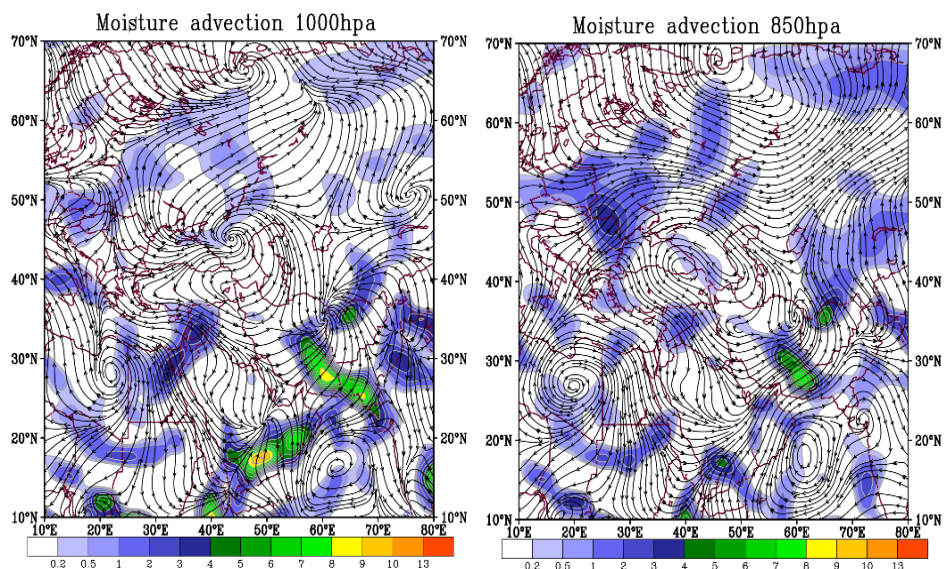
به ارمغان آورده است که باعث تولید بارش در اکثر نقاط کشور و منطقه مورد مطالعه شده است (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه وضعیت رودباد ۲۵۰ و پیچانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای ۲ و ۳ آوریل

– وضعیت وزش رطوبت

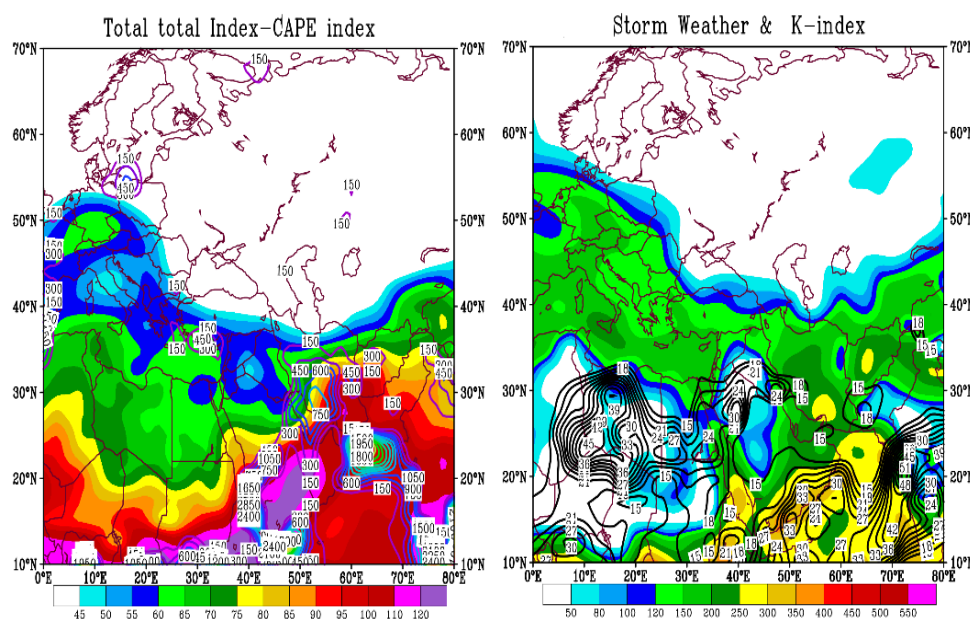
شکل ۵ وزش رطوبت را در سطح زمین و تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. در مناطق شرق و جنوب شرق کشور یک هسته همگرایی رطوبت مشاهده می‌شود که منبع آن دریای عمان و خلیج فارس است که سبب شده تا رطوبت مورد نیاز طوفان به منطقه تزریق شده و نم لازم برای بارندگی در نواحی مورد بررسی تأمین کند. مقادیر فرا رفت رطوبت در مرکز هسته همگرا به بیش از ۱۰ گرم بر کیلوگرم می‌رسد که این وضعیت در تراز ۸۵۰ به کمتر از ۹ گرم بر کیلوگرم رسیده است. ورود جریانات جنوبی به ایران مرکزی و همگرا شدن آن در شرق ایران به وضوح اثر دریای عمان و خلیج فارس را در تأمین رطوبت طوفان‌های تندری نشان می‌دهد.



شکل ۵. نقشه فرا رفت رطوبت در سطح زمین و تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روزهای ۲ و ۳ آوریل

– وضعیت شاخص‌های ناپایداری

مقادیر CAPE در دوره موردنظر با تفکیک $2,5 \times 2,5$ درجه مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/علوم جو اخذ شد. در بررسی وضعیت شاخص‌های ناپایداری مشخص شد که مقادیر این شاخص در زمان رویداد تگرگ فراگیر در منطقه به بیش از ۷۵۰ ژول بر کیلوگرم رسیده است که به موازات آن مقادیر شاخص Sweat نیز بر روی منطقه به بیش از ۳۰۰ رسیده که نوید هوای طوفانی را می‌دهد. مقادیر K نیز نشان می‌دهد بیشینه ناپایداری‌ها بر روی شمال عربستان بوده که تا نواحی جنوب غربی ایران کشیده شده است. این کشیدگی که منشأ آن مناطق حاره بوده و با عبور از مناطق مازاد انرژی به‌مانند صحرای عربستان و افزایش چگالی بسته هوا و تزریق رطوبت به داخل آن در حین عبور از روی خلیج فارس شرایط را برای تشکیل سوپر سل در منطقه فراهم نموده است (شکل ۶).



شکل ۶. وضعیت شاخص‌های ناپایداری در روزهای ۲ و ۳ آوریل

بحث

به دلیل همراهی طوفان‌های تندری با رگبارهای باران و طوفان‌های تگرگ و نقش مؤثر آن در ایجاد سیلاب‌های ناگهانی، هم از جنبه کشاورزی و هم از نظر خسارات مالی و جانی، این پدیده همواره موردتوجه محققان بوده است. ریزش تگرگ و طوفان‌های تندری همه‌ساله در نقاط مختلف کشور سبب اختلال در شرایط محیطی می‌گردد که استان کرمان از این قاعده مستثنا نیست. در این تحقیق، جهت بررسی شرایط سینوپتیکی و دینامیکی پدیده تگرگ و طوفان تندری فراگیر در استان کرمان از داده‌های روزانه وضعیت هوا ۱۰ ایستگاه سینوپتیک که از کدهای مخابره شده از این ایستگاه‌ها حاصل می‌شود، مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده مرکز (NCEP/NCAR) داده‌های مورد بررسی از جمله ارتفاع ژئوپتانسیل (Hgt)، نم ویژه (Shum)، مؤلفه باد مداری (Uwnd) و مؤلفه باد نصف‌النهاری (Vwnd) دریافت و نقشه‌های مربوطه تهیه گردید. تشکیل و تقویت کم‌فشار بریده (سردچال) در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و ایجاد کم‌فشار و ناپایداری در سطح زمین عامل اصلی ریزش تگرگ در دوره انتخابی است. عامل ایجاد این پدیده در منطقه، نتیجه تقویت و گسترش سامانه‌های کم‌فشار واقع در شرق دریای سرخ و عربستان است. این سامانه‌های کم‌فشار با عبور از روی آب‌های

جنوبی کشور، رطوبت کسب کرده و در مسیر خود ایجاد ناپایداری و بارش کرده است. همچنین ریزش هوای سرد از ترازهای میانی جو توسط پدیده سردچال، شرایط را برای شکل‌گیری جریان‌های ناپایدار و ریزش تگرگ فراهم می‌کند. نحوه عملکرد این سامانه در پژوهش‌های عساکره و همکاران (۱۳۹۵) و حلییان (۱۳۹۴) نیز به این گونه بیان شده است. این بیشینه انرژی با استفاده از شاخص‌های ناپایداری به صورت پهنه‌ای برای گستره وسیعی محاسبه شده و مشخص گردید. از طرفی در بررسی تگرگ‌های فراگیر شمال غرب توسط خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۱) به تأثیر کم‌فشارهای وارد شده از جنوب غرب خاورمیانه به مناطق شمال غربی در زمان رخداد تگرگ و طوفان تندری اشاره شده است. نتایج نشان داد شاخص‌های CAPE، TOTAL TOTAL و SWEAT به ترتیب در پیش‌بینی و پایش طوفان‌های تندری منطقه ابزاری کارآمد محسوب می‌شوند. به گونه‌ای که شاخص CAPE برای محاسبه بیشینه انرژی موجود در بسته هوا و نحوه شکل‌گیری سوپرسلول‌ها در منطقه و دو شاخص TOTAL TOTAL و SWEAT در نحوه گسترش و ورود سامانه‌های ناپایدار در منطقه می‌توان مورد استفاده قرار گیرند، از این نتایج پژوهش مذکور با پژوهش حاضر منطبق است. همچنین در این راستا قویدل (۱۳۹۰) نیز با استفاده از شاخص‌های مختلف ناپایداری به تحلیل و پیش‌بینی طوفان تندری پرداخت و دریافت که شاخص شوالتر ابزاری کارآمد در پیش‌بینی این پدیده است، که نتایج آن منطبق بر پژوهش حاضر است.

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده در این مطالعه می‌توان چنین نتیجه گرفت که دلیل به وجود آمدن چنین طوفان فراگیر در منطقه بر اثر تشکیل و تشدید کم‌فشارهای بریده (سردچال) بوده است. سردچال‌های تشکیل شده با ایجاد ناپایداری در سمت شرق خود باعث ایجاد بارش شده و چون پدیده سردچال لایه‌های میانی جو را سرد کرده، این بارش به صورت تگرگ و رگبار بوده است. سردچال‌های مذکور با سیکلون‌های لایه‌های زیرین که از جنوب غرب و غرب وارد ایران شده و بیشتر ایستگاه‌های منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، هماهنگ هستند. علت بارش تگرگ ناپایداری شدید در سطوح میانی جو و حرکات عمودی شدید در ابرهای کومولونیمبوس و ریزش هوای سرد از لایه‌های میانی جو بوده است. سامانه‌های تأثیرگذار در بارش تگرگ در استان کرمان از طرف جنوب غرب وارد کشور شده و رطوبت خود را از خلیج عدن، خلیج فارس و دریای عمان دریافت می‌کنند و با ایجاد حرکات صعودی و ناپایداری شدید و اختلاف شدید دما در لایه‌های میانی و بالایی جو، باعث رخداد تگرگ و ایجاد خسارات فراوان می‌شوند. ورود سامانه‌های بسیار ناپایدار از سمت جنوب غرب و مناطق پرنرژی به مانند عربستان سبب شده تا انرژی فراوانی برای جنبش ذرات در راستای قائم فراهم گردد. به طور کلی می‌توان گفت که از بین پدیده‌های حدی جوی، طوفان‌های تندری با توجه به تأثیرات گسترده‌ای که در مناطق مختلف به خصوص مناطق گرم و مرطوب به جا می‌گذارند، مورد توجه ویژه بوده است. طوفان‌های تندری تهدید بزرگی برای زندگی و مایملک انسان بوده و سالیانه چندین هزار نفر بر اثر آن جان خود را از دست می‌دهند. لذا به دلیل همراهی طوفان‌های تندری با رگبارهای باران، برف و توفان تگرگ و نقش مؤثر آن در ایجاد سیل‌های ناگهانی، هم از نظر خسارت مالی در بخش‌های مختلف به خصوص بخش‌های شهری و کشاورزی و هم از نظر تلفات جانی، بررسی ابعاد و تحلیل رفتارهای این مخاطره اهمیت زیادی پیدا می‌کند. از این رو می‌توان از نتایج پژوهش حاضر در بحث مربوط به آمایش فضا بهره برده و با مکان‌یابی‌های دقیق شهری، روستایی و کشاورزی گامی بلند را در نیل به اهداف آمایشی برداشت و از خسارت‌های ناشی از طوفان‌های تندری که به معنای واقعی باعث انهدام طرح‌های آمایشی می‌گردند جلوگیری کرد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله
 نویسنده دوم: نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی سازی مقاله
 نویسنده سوم: مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسنده از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

- تاج‌بخش، سحر؛ غفاریان، پروین و میرزایی، ابراهیم. (۱۳۸۸). روشی برای پیش‌بینی رخداد طوفان‌های تندرگی با طرح دو بررسی موردی. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۵(۴)، ۱۴۷-۱۶۶. <https://doi.org/10.1001.1.2538371.1388.35.4.10.3>
- حلبیان، امیرحسین. (۱۳۹۴). شناسایی الگوهای گردشی بارش‌های شدید موجد سیل در منطقه فارس. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۸(۱)، ۳۱-۴۶.
- خالدی، شهریار؛ خوش‌اخلاق، فرامرز و خزایی، مهدی. (۱۳۸۹). تحلیل هم‌مدیدی طوفان‌های تندرگی سیلاب ساز استان کرمانشاه. *مجله چشم‌انداز جغرافیایی*، ۵(۱۳)، ۲۱-۴۱.
- خزایی، مهدی؛ مدیری، احسان و مدیری، مهدی. (۱۳۹۳). تحلیل هم‌مدیدی طوفان‌های تندرگی مخاطره‌آمیز اصفهان. *نشریه دانش مخاطرات*، ۱(۲)، ۲۰۳-۲۱۵. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2014.53120>
- خورشید دوست، علی‌محمد؛ اسدی، مهدی و حاجی محمدی، حسن. (۱۳۹۶). بررسی ساختار منطقه‌ای جو در زمان رخداد توفان تندرگی همراه با تگرگ از ۱۶ تا ۱۸ جولای ۲۰۱۶ مورد مطالعه: شمال غرب ایران. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۴(۲)، ۳۷-۵۰.
- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ محمدی، حسین و شمسی‌پور، علی‌اکبر. (۱۳۹۱). واکاوی هم‌مدید بارش تگرگ فراگیر در شمال غرب ایران، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱(۲)، ۵۵-۶۹. <https://doi.org/10.22067/geo.v1i2.16264>
- خوشحال دستجردی، جواد؛ نظری، عبدالقدیر و عبدی، ابوطالب. (۱۳۹۵). تحلیل ترمودینامیک - هم‌مدید رخداد تگرگ روز ۲۰ مهرماه ۱۳۸۹ در شهر گرگان. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۲۲(۶)، ۲۲۵-۲۴۴.
- رسولی، علی‌اکبر؛ خورشید دوست، علی محمد و فخاری‌واحد، مجتبی. (۱۳۹۵). بررسی شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی توفان تندرگی منجر به سیل شدید ۸۲ تیرماه سال ۱۳۹۴ در البرز مرکزی. *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۵(۲)، ۱۲۷-۱۴۲. <https://doi.org/10.22067/geo.v5i2.51392>
- صلاحی، برومند. (۱۳۸۹). بررسی ویژگی‌های آماری و هم‌مدیدی طوفان‌های تندرگی استان اردبیل. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۴۷(۱۲)، ۱۲۹-۱۴۲.

- عساکره، حسین؛ رضایی، شیما و قائمی، هوشنگ. (۱۳۹۵). بررسی مکانیسم گسترش و شدت کم‌فشار دریای سرخ. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۶(۲۱)، ۷۷-۹۰.
- قندهاری، شهرزاد؛ مشکواتی، امیرحسین؛ مزرعه‌فراهانی، مجید و جعفری، سمیه. (۱۳۸۷). بررسی عملکرد موردی الگوی میان‌مقیاس MM5 در شبیه‌سازی بارش‌های رگباری حاصل از سلول‌های همرفتی. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱(۶)، ۴۱-۵۸. <https://doi.org/10.22067/geography.v6i10.4269>
- قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۹۰). کاربرد شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکارسازی تحلیل دینامیک طوفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز. *فضای جغرافیایی*، ۱۱(۳)، ۱۸۲-۲۰۸.
- کاوایی، محمدرضا و علیجانی، بهلول. (۱۳۸۷). *مبانی آب و هواشناسی*. تهران: انتشارات سمت.
- کیانیان، محمدکیا؛ صالح پورجم، امین؛ حاجی محمدی، حسن و رسولی، فهیمه. (۱۳۹۵). بررسی و ارتباط خشک‌سالی و ترسالی‌های غرب ایران با الگوهای سینوپتیکی جو. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۶(۲۲)، ۱۷۵-۱۹۲.
- معصوم‌پورسماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی و رحیمی، مجتبی. (۱۳۹۵). واکاوی آماری - همدیدی توفان‌های تندری سواحل جنوبی ایران. *نشریه فیزیک زمین و فضا*، ۴۲(۳)، ۶۹۷-۷۰۸. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2016.58912>
- موسوی‌بایگی، محمد و اشرف، بتول. (۱۳۹۱). مطالعه وضعیت ناپایداری هوا و الگوهای سینوپتیکی مؤثر بر وقوع طوفان‌های گردو خاک مشهد. *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱۰(۱)، ۲۷-۴۳. <https://doi.org/10.22067/geography.v10i18.17370>

References

- Asakreh, H., Rezaei, Sh., & Ghaemi, H. (2016). Review mechanism of expansion and low pressure Red Sea. *Geographical Planning of Space*, 6(21), 77-90 [In Persian]
- Cecil, D. J., Buechler, D. E., & Blakeslee, R. J. (2015). TRMM LIS climatology of thunderstorm occurrence and conditional lightning flash rates. *Journal of Climate*, 28(16), 6536-6547. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0124.1>
- Costa, S., Mezzasalma, P., Levizzani, V., Alberoni, P. P., & Nanni, S. (2001). Deep convection over Northern Italy: synoptic and thermodynamic analysis. *Atmospheric Research*, 56(1-4), 73-88. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(00\)00091-0](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(00)00091-0)
- Galway, J. G. (1956). The lifted index as a predictor of latent instability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 37(10), 528-529. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-37.10.528>
- Ghandhari, S., Meshkati, A. H., Mazra'e Farahani, M., & Ja'fari, S. (2008). The study of case operation MMS Model to simulate rain resulted from convection. *Journal of Geography and Regional Development*, 6(1), 41-58. <https://doi.org/10.22067/geography.v6i10.4269> [In Persian].
- Ghavidel Rahimi, Y. (2011). Applications of the instability indices for detection and dynamic analysis of 25 April 2010 thunderstorm in Tabriz. *Geographic Space*, 11(34), 182-208 [In Persian].
- Halabian, A. H. (2016). Recognition the circulation patterns of flood generating heavy precipitations on the Fars region. *Geographical Planning of Space*, 5(18), 31-46 [In Persian].
- Holton, J. R., & Hakim, G. J. (2013). *An introduction to dynamic meteorology* (Vol. 88). Academic press.
- Houston, A. L., Lock, N. A., Lahowetz, J., Barjenbruch, B. L., Limpert, G., & Oppermann, C. (2015). Thunderstorm Observation by Radar (ThOR): An algorithm to develop a climatology of thunderstorms. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 32(5), 961-981. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-14-00118.1>
- Hury, S., Gough, W., Butler, K., & Mohsin, T. (2015). An evaluation of thunderstorm observations in Southern Ontario using automated lightning detection data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54(9), 1837-1846. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0089.1>
- Kavyani, M. R., & Alijani B. (2005). *The Foundations of climatology*. Tehran: Samt. [In Persian].
- Kayanian, M., Saleh Pourjam, A., Haji Mohammadi, H., & Rasouli, F. (2017). Review and relationship between Western Iranian Wet years and drought and atmospheric synoptic patterns. *Geographical Planning of Space*, 6(22), 175-192 [In Persian].

- Khaledi, Sh., Khosh Akhlagh, F., & Khazaei, M. (2010). Synoptic analysis of flood-producing thunderstorms in Kermanshah Province. *Journal of Geographical Landscape*, 5(13), 21-41 [In Persian].
- Khazaei, M., Modiri, E., & Modiri, M. (2014). Synoptic Analysis of Hazardous T hunderstorms in Isfahan. *Environmental Management Hazards*, 1(2), 203-215. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2014.53120> [In Persian].
- Khorshiddoust, A. M., Asadi, M., & Hajimohammadi, H. (2017). The Study of regional structure of atmosphere during the thunderstorm hail event on 16 to 18 July 2016 Case study: North West of Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4 (2), 37-50 [In Persian].
- Khoshakhlagh, F., Mohammadi, H., Shamsipour, A., & Oftadegan Khuzani, A. (2012). The statistical and synoptic analysis on widespread hailstorm events in northwest of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 1(2), 55-69. <https://doi.org/10.22067/geo.v1i2.16264> [In Persian].
- Khoshhal-dastjerdi, J., nazari, A., & abdi, A. (2017). Thermodynamic analysis- hail isometropia in 12 October 2010 in Gorgan city. *Geographical Planning of Space*, 6(22), 225-244 [In Persian].
- Manzato, A. (2003). A climatology of instability indices derived from Friuli Venezia Giulia soundings, using three different methods. *Atmospheric research*, 67, 417-454. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(03\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(03)00058-9)
- Masoompour Samakosh, J., Miri, M., & Rahimi, M. (2016). Statistical-synoptic analysis of thunderstorm in the Southern Coast of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 42(3), 697-708. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2016.58912> [In Persian].
- McIlveen, R. (1998). *Fundamentals of weather and climate*. Psychology Press.
- McIntosh, D. H., & Thom, A. S. (1969). *Essentials of meteorology*. wykeham publications (London) LTD.
- Melnikov, V., Zrnić, D. S., Burgess, D. W., & Mansell, E. R. (2015). Vertical extent of thunderstorm inflows revealed by polarimetric radar. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 32(10), 1860-1865. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-15-0096.1>
- Miller, R. C. (1975). *Notes on analysis and severe-storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central* (Vol. 200). AWS.
- Moncrieff, M. W., & Green, J. S. A. (1972). The propagation and transfer properties of steady convective overturning in shear. *Journal of the Royal Meteorological Society*, 98(416), 336-352. <https://doi.org/10.1002/qj.49709841607>
- Mousavi Baigi, M., & Ashraf, B. (2012). The Study of Effective Air Instability Conditions and Synoptic Patterns on Occurrence of Dust Storms. *Journal of Geography and Regional Development*, 10(1), 27-42. <https://doi.org/10.22067/geography.v10i18.17370> [In Persian].
- Rasuly, A. A., Khorshid Dust, A. M., & Fakhari Vahed, M. (2016). Investigation of Synoptic and Thermodynamic Conditions of the Thunderstorm Leading to Severe Flooding in Central Alborz on July 19, 2015. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 5(2), 127-142. <https://doi.org/10.22067/geo.v5i2.51392> [In Persian].
- Salahi, B. (2010). Statistical and Synoptic Analysis of Characteristics of Thunderstorms in Ardabil Province. *Physical Geography Research*, 42(72), 129-142 [In Persian].
- Simeonov, P., & Georgiev, C. G. (2003). Severe wind/hail storms over Bulgaria in 1999–2001 period: synoptic-and meso-scale factors for generation. *Atmospheric Research*, 67, 629-643. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(03\)00077-2](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(03)00077-2)
- Tajbakhsh, S., Ghaffarian, P., & Mirzaei, E. (2010). Two case studies to introduce a method for thunderstorm forecasting. *Journal of the Earth and Space Physics*, 35(4), 147-166. <https://doi.org/10.1001.1.2538371.1388.35.4.10.3> [In Persian].
- Whiteman, C. D. (2000). *Mountain meteorology: fundamentals and applications*. Oxford University Press.