



Examining Trends of the Intensity of Mediterranean-Red Sea Cyclones

Hossein Asakereh¹ , Roya Poorkarim² , Abdollah Faraji³ , Mahmood Khosravi⁴ 

1- (Corresponding Author) Department of Geography, Faculty of Human Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Email: asakereh@znu.ac.ir

2- Department of Geography, Faculty of Human Sciences, Zanjan University, Zanjan, Iran

Email: roya_poorkarim@znu.ac.ir

3- Department of Geography, Faculty of Human Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Email: abfaraji@znu.ac.ir

4- Department of Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Zahedan, Zahedan, Iran

Email: khosravi@gep.usb.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

1 August 2023

Received in revised form:

26 October 2023

Accepted:

28 November 2023

Available online:

23 December 2023

Keywords:

Cyclone Intensity,
Mediterranean-Red Sea
Combined Cyclones,
Geopotential Height,
Geopotential Height
Gradient, Iran.

ABSTRACT

Among the cyclones that affect the sometimes-widespread rainfall in Iran are the merging systems of the Mediterranean and Red Seas. Therefore, it is very important to obtain the changes in the intensity of the geopotential height and the geopotential height shift of the Mediterranean-Red Sea convection patterns as one of the factors of the manifestations of these gyres, as well as the precipitation in some areas of Iran. To carry out this research, the data of geopotential height level of 1000 hectopascals related to the European Center for Medium-term Atmospheric Forecasting and ERA-Entrim version were used as a six-hour observation during the period of 1979-2018. To investigate the presence of jumps and fluctuations in the intensity of the Mediterranean-Red Sea cyclone centers during the statistical period, the Alexanderson index, known as the Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) index, was used. A non-parametric chi-square statistic was exerted to verify and investigate the significance of the trend between geopotential height data and geopotential height tilt data. The parametric linear regression method was used to analyze and model the long-term trend. The findings of the present research indicate the increase of geopotential height in the place of the formation of the circulation centers of the Mediterranean Sea, as well as the decrease of the pressure gradient in the average annual values, which will probably lead to a decrease in instability and precipitation in the affected areas. The geopotential height shift data of the Mediterranean Sea had a significant jump in 1996, which divided the time series into two periods before and after the jump. The results indicate an upward trend in these two time periods, but the second period, with a gentler slope, has increased compared to the previous period.

Cite this article: Asakereh, H., Poorkarim, R., Faraji, A., & Khosravi, M. (2023). Examining Trends of the Intensity of Mediterranean-Red Sea Cyclones. *Physical Geography Research Quarterly*, 55 (4), 27-44.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.363162.1007785>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Mediterranean Sea and Red Sea cyclones are a type of extratropical-tropical merge system that can influence precipitation over Iran. These combined Mediterranean-Red Sea cyclones form concurrently over the Mediterranean and Red Sea basins. They may sometimes merge as they track eastward, bringing precipitation to Iran (particularly southern and southwestern Iran). Changes in these merged cyclone systems are likely linked to shifts in Iran's precipitation climatology. Examining trends in the intensity of Mediterranean-Red Sea cyclones can thus provide insights into changes in Iran's precipitation patterns. This study investigates trends in the intensity of combined Mediterranean-Red Sea cyclonic systems and their relationship to precipitation over Iran. Cyclone intensity is assessed using geopotential height data at the 1000 hPa level over 40 years. Statistical tests, including chi-square and linear regression analysis, are applied to the geopotential height time series to detect significant trends. The focus is on examining changes in geopotential height slopes and trends that may indicate cyclone intensity changes. This research aims to improve understanding of how Mediterranean-Red Sea cyclones change and identify their impacts on Iran's precipitation climatology. The results can aid in tracking precipitation changes and projecting future climate scenarios for the region. The intensity trends may also provide broader insights into how climate change influences global cyclone behavior.

Materials and methods

To examine the changes in intensity of atmospheric systems and geopotential height, as well as the geopotential height shift of Mediterranean-Red Sea cyclones from 1979 to 2018, geopotential height data at the 1000 hPa level were utilized. The study area encompassed coordinates ranging from -10° E to 120° E and 0° N to 80° N, with a spatial resolution of $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$. This area consisted of 321×521 pixels, totaling 167,241 pixels. The Mediterranean and Red Sea cyclones, which are extratropical-tropical systems that

occasionally merge and influence precipitation in Iran, were investigated. Statistical tests, such as chi-square and linear regression analysis, were conducted on the geopotential height time series for each pixel within the studied region to identify significant trends. The primary focus was analyzing changes in geopotential height slopes and trends, which could indicate cyclone intensity alterations.

Results and Discussion

This section presents the findings and discussion on the changes observed in monthly geopotential height intensity and geopotential height gradient of Mediterranean-Red Sea cyclones. In the Mediterranean Sea, an upward trend was observed in the geopotential height intensity, while a downward trend was observed in the geopotential height gradient. The increase in geopotential height over the circulation centers of the Mediterranean Sea and the decrease in pressure gradient are likely to result in reduced atmospheric instability and precipitation in the region. These results align with Darende's (2013) and Skleris et al. (2012) findings. Contrasting the Mediterranean Sea, the analysis of the Red Sea data revealed a downward trend in geopotential height and an upward trend in geopotential height intensity, indicating an increase in instability. This finding is consistent with the results of Asakereh and Khani (2021). No statistically significant trends were observed in the annual averages of geopotential height and geopotential height gradient in the Red Sea. However, the annual averages of both geopotential height and its gradient in the Mediterranean Sea exhibited a decreasing trend. A notable shift in the Mediterranean geopotential height occurred in 1996, dividing it into two distinct phases. Both phases showed an upward trend, albeit with a gentler slope in the second phase. The annual trend of geopotential height in the Mediterranean Sea revealed a decreasing pattern, which has been previously documented in studies by Alpert (1994, 2004).

Conclusion

These studies suggest that while this reduction in geopotential height has taken

place, cyclone tracks have shifted towards northern latitudes, resulting in increased drought and decreased precipitation in regions influenced by these cyclones, including Iran. The studies also acknowledge that changes in high-pressure systems near the tropics and alterations in cyclone direction contribute to variations in dry seasons and reduced precipitation. Further investigation of long-term changes in the geopotential height of the Mediterranean Sea identified three distinct phases in the time series: 1988-1979, 2005-1989, and 2006-2018. The decreasing trend in Mediterranean Sea cyclones persists until the final years of the period, indicating a potential cause for the reduction in atmospheric instability. The Kolmogorov-Smirnov statistical test was employed to determine the appropriate statistical test (parametric or non-parametric) for comparing means and variances across different periods. The parametric tests (one-sample t-test) and the one-way variance test confirmed the normal distribution of the data. Furthermore, no statistically significant trends were observed when examining the geopotential height intensity and gradient of two-day continuities of Mediterranean-Red Sea cyclones.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

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

واکاوی روند تغییرات شدت چرخندهای توأمان مدیترانه-دریای سرخ

حسین عساکره^۱✉، رویا پورکریم^۲، عبدالله فرجی^۳، محمود خسروی^۴

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: asakereh@znu.ac.ir

۲- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: roya_poorkarim@znu.ac.ir

۳- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: abfaraji@znu.ac.ir

۴- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: khosravi@gp.usb.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

از چرخندهای مؤثر بر بارش‌های بعضاً فراگیر ایران زمین، سامانه‌های ادغامی دریای مدیترانه و دریای سرخ می‌باشند. از این رو دستیابی به روند تغییرات شدت ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل هم‌زمان با الگوهای توأمان مدیترانه-دریای سرخ به‌عنوان یکی از عوامل نموده‌های این چرخندها و نیز بارش برخی نواحی ایران زمین، از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. برای انجام این پژوهش از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مربوط به مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی و نسخه ERA-Entrim به‌صورت دیده‌بانی شش‌ساعته طی بازه زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۸ استفاده شد. برای بررسی وجود جهش و نوسانات در شدت مراکز چرخندی توأمان مدیترانه-دریای سرخ در طی دوره آماری از نمایه الکساندرسون موسوم به نمایه آزمون همگنی استاندارد نرمال (SNHT) استفاده گردید. به‌منظور واری و بررسی معنی‌داری روند بین داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل، آماره ناپارامتری خی‌دو به کار گرفته شد. به‌منظور تحلیل و الگوسازی روند بلندمدت از روش پارامتری رگرسیون خطی بهره گرفته شد. یافته‌های پژوهش حاضر بیان‌گر افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل در محل شکل‌گیری مراکز چرخندی دریای مدیترانه و همچنین کاهش شیو فشار در مقادیر متوسط سالانه می‌باشد که احتمالاً منجر به کاهش ناپایداری و بارش در مناطق تحت تأثیر خواهد شد. داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه در سال ۱۹۹۶ یک جهش معنی‌دار داشت که سری زمانی را به دو مقطع زمانی قبل و بعد از جهش تقسیم کرد، نتایج نمایانگر روند صعودی در این دو مقطع زمانی است، اما دوره دوم نسبت به دوره قبل با شیب ملایم‌تری افزایش پیدا کرده است.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۵/۱۰

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۰۸/۰۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۹/۰۷

تاریخ چاپ:

۱۴۰۲/۱۰/۰۲

واژگان کلیدی:

شدت چرخند،

چرخندهای ترکیبی مدیترانه-دریای

سرخ،

ارتفاع ژئوپتانسیل،

شیو ارتفاع ژئوپتانسیل،

ایران.

استناد: عساکره، حسین؛ پورکریم، رویا؛ فرجی، عبدالله و خسروی، محمود. (۱۴۰۲). واکاوی روند تغییرات شدت چرخندهای توأمان مدیترانه-دریای سرخ. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۵ (۴)، ۲۷-۴۴.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.363162.1007785>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

© نویسندگان



مقدمه

موقعیت جغرافیایی ایران از بسترهای تعامل سامانه‌های گردشی برون حاره (نظیر چرخندهای مدیترانه) و حاره‌ای (نظیر سامانه سودانی - دریای سرخ) است (مصطفائی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۶). در این میان چرخندهای عرض‌های میانه مهم‌ترین نمود را در ارتباط با آمیزش افقی و عمودی بزرگ‌مقیاس جوی، تعدیل اقلیمی و برهم‌کنش هوا سپهر - آب‌سپهر عرضه می‌کنند (Lionel et al., 2006:325-372) و بیشترین ریزش‌های جوی را به همراه دارند (حجازی‌زاده و صداقت، ۱۳۸۸: ۱۴).

از سامانه‌های برون حاره - حاره که بعضاً به شکل توأم بر بارش‌های فراگیر ایران تأثیر می‌گذارند، می‌توان به چرخندهای دریای مدیترانه و دریای سرخ اشاره نمود. چرخندهای توأم مدیترانه-دریای سرخ، چرخندهایی هستند که به‌طور هم‌زمان روی دریای سرخ و دریای مدیترانه شکل گرفته‌اند و بعضاً باهم ادغام می‌شوند و نیز در مسیر گذر، موجبات بارش در ایران را مهیا می‌سازند. چرخندهای غرب مدیترانه می‌توانند به‌صورت ادغامی با کم‌فشار سودان از سمت غرب وارد کشور شده، بعضاً تا آذربایجان و شمال غرب کشور کشیده می‌شوند (لشکری، ۱۳۸۱: ۱۲۳). گاهی ناوه ناحیه مدیترانه شرقی تا روی دریای سرخ و در بعضی موارد بر پهنه‌های فراخ‌تری گسترش می‌یابد. این چرخندها منبع قابل‌توجه بارش به‌ویژه در پاییز و ماه‌های بهار در مدیترانه شرقی می‌باشند (Krichak et al., 1997). مطالعات پرشماری در مورد چرخندهای دریای مدیترانه (نوری و ایلدرمی، ۱۳۹۰؛ Tolika et al., 2006)، ناوه دریای سرخ (لشکری، ۱۳۷۹؛ لشکری، ۱۳۸۲: ۱-۱۸ و لشکری، ۱۳۸۴؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸۴: ۴۳ و مفیدی و زرین، ۱۳۸۴: ۱۱۴؛ عساکره و قائمی، ۱۳۹۴: ۷۷) و ادغام این دو سامانه (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Katrin et al., 2014؛ Amarouche & Akpinar., 2021؛ ایرانی نژاد و همکاران، ۱۳۸۸؛ زاپا و همکاران، ۲۰۱۴؛ Xoplaki et al. 2004؛ عساکره و خانی تملیه، ۱۴۰۱: ۱۵۱) انجام شده است.

ترکیب و ادغام سامانه‌های کم‌فشار دریای مدیترانه و ناوه دریای سرخ بعضاً با وقوع بارش به‌ویژه در جنوب و جنوب غرب ایران همراه است. حمیدیان‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، در پژوهشی سه‌الگویی، کم‌فشار سودانی، کم‌فشارهای ادغامی مدیترانه‌ای - سودانی و کم‌فشارهای مدیترانه‌ای را در بارش‌های سنگین ایران مؤثر دانسته‌اند. از این‌رو در فصل سرد نفوذ زبانه پرفشار به ناحیه شمالی سودان و از طرفی شکل‌گیری سامانه پرفشار بر روی عربستان با شکل‌گیری منطقه همگرایی بر روی دریای سرخ قرین می‌شود که با فرارفت شمال سو مشخص می‌شود. از طرفی با واسطه تقویت اثر کم‌فشار تراز بالا بر روی دریای سرخ و مدیترانه، اثرات سامانه‌های مزبور از ناحیه جنوب غرب وارد ایران شده و در جنوب، جنوب غرب و غرب ایران با ریزش‌های جوی همراه هستند (زارعی، ۲۰۱۱). گاهی ادغام دو سامانه ناوه دریای سرخ و کم‌فشار مدیترانه از طریق شکل‌گیری ناوه عمیق مدیترانه نه‌تنها در جنوب و جنوب غرب ایران بلکه در کل ایران با وقوع بارش‌های سنگین نمود می‌یابد (خوش‌اخلاق، ۱۹۹۸). همچنین عمیق شدن کم‌فشار ایسلند بر روی اروپا و همراه شدن آن با کم‌فشار واقع در سودان بارش‌های شدید در جنوب غرب ایران را به همراه دارد (سبزی پرور، ۱۹۹۱). کم‌فشارهای دینامیکی منطقه مدیترانه هنگام فرارفت به‌سوی شرق و جنوب شرق با تزریق هوای سرد به کم‌فشار سودان با دینامیکی شدن کم‌فشار و تکوین سامانه ادغامی مدیترانه - سرخ و نیز بارش‌های زیاد در سطح ایران مشخص می‌شود (آزادی و همکاران، ۱۳۸۲: ۱۸).

تغییر در ویژگی‌های سامانه‌های توأم مدیترانه - دریای سرخ احتمالاً با تغییر در بارش نواحی تحت تأثیر همراه خواهد بود و از نشانه‌های مهم در ردیابی تحولات اقلیم بارشی می‌باشد. ناحیه مدیترانه به‌عنوان یکی از نواحی است که به‌شدت تحت تأثیر تغییرات آب‌وهوا قرار گرفته است (Gorge., 2006). از این‌رو تغییرات اقلیمی آن موردتوجه بسیاری پژوهشگران

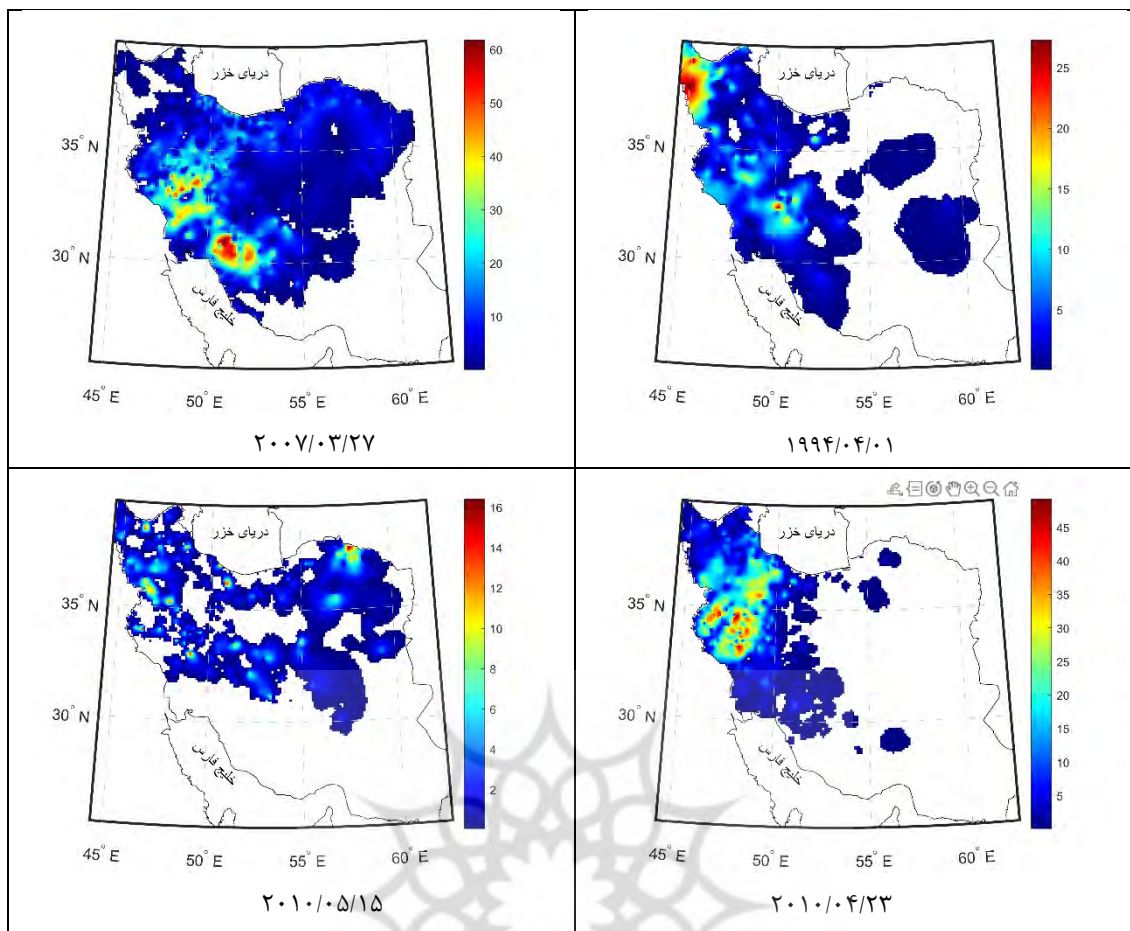
بوده است و مطالعات پرشماری (نظیر Reiter., 1975؛ Dayan & Abramsky., 1983؛ Alpert et al., 1990؛ Gorge., 2006؛ رسولی و همکاران ۱۳۹۱) در این زمینه انجام شده است. نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که مقادیر فشار تراز دریا در محدوده مرکزی سامانه‌های مدیترانه و سودان افزایش یافته و به تبع آن کاهش فعالیت هر کدام از سامانه‌های یادشده و عدم تشکیل یا کاهش شمار سامانه‌های ادغامی را به دنبال داشت. این امر احتمالاً بخشی از کاهش بارندگی کشور طی سال‌های اخیر را توجیه می‌کند.

در پژوهش حاضر تلاش شد تا روند تغییرات شدت الگوهای ترکیبی مدیترانه - دریای سرخ به‌عنوان یکی از نمودهای مؤثر در بارش ایران زمین مورد بررسی قرار گیرد. بدین ترتیب با استفاده از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز هزار هکتوپاسکال، تغییرات روند ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل در بازه زمانی ۴۰ سال واریسی شد. برای دستیابی به این هدف آزمون‌های آماری نظیر کای مربع (خی دو) و مدل‌های آماری نظیر رگرسیون خطی بر داده‌ها برآزش یافت.

روش پژوهش

در این پژوهش به منظور واریسی روند تغییرات شدت سامانه‌های جوی مورد مطالعه، تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای توأمان مدیترانه - دریای سرخ در بازه زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۸، از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، چرخندهای توأمان مدیترانه - دریای سرخ، به چرخندهایی اشاره دارد که به‌طور هم‌زمان از دریای سرخ - ناحیه سودان و دریای مدیترانه نشأت گرفته و بعضاً با هم ادغام می‌شوند و نیز در مسیر گذر، برای ایران یا بخش‌هایی از کشور شرایط ناپایداری و بارش را مهیا می‌سازند. بر این اساس تعداد ۹۷ مرکز چرخندی توأمان مدیترانه-دریای سرخ انتخاب شد که تمامی این موارد با بارش همراه بوده‌اند. شکل (۱) چند نمونه از روزهای بارشی همراه با چرخندهای توأمان را ارائه می‌دهد.

در این پژوهش از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF)، نسخه ERA-Entrim با تناوب شش‌ساعته استفاده شده است. در این پایگاه داده‌ای ارتفاع ژئوپتانسیل برای ۳۷ تراز موجود است. داده‌های ERA-Interim یکی از مجموعه داده‌های تولیدشده به‌وسیله مرکز پیش‌بینی میان‌مدت اروپایی است. این پروژه از سال ۲۰۰۶ آغاز شد و هدف اصلی آن بهبود و ارتقای برخی از ویژگی‌های نسخه قبل، از جمله نشان دادن چرخه آب‌شناختی، چگونگی گردش‌های جوی در پوشش سپهر، کاهش مقادیر اریب و خطا و در نهایت تغییر در سامانه بارش بوده است (Dee et al., 2011: 553-597). چهارچوب محدوده مورد مطالعه، مناطق بین طول جغرافیایی ۱۰- تا ۱۲۰ درجه و عرض جغرافیایی ۰ تا ۸۰ درجه شمالی با تفکیک فضایی ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه جغرافیایی در راستای مداری و نصف‌النهاری را شامل می‌شود. چهارچوب یادشده ابعادی برابر ۵۲۱×۳۲۱ پیکسل دارد و شامل ۱۶۷۲۴۱ پیکسل مکانی است که مبنای محاسبات قرار گرفت.



شکل ۱. روزهای همراه با بارش هم‌زمان با فعالیت چرخندهای توأمان مدیترانه - دریای سرخ

برای ردیابی چرخندها از ترازهای جوی مختلف بهره گرفته شد در نهایت مشخص گردید که برای شناسایی چرخندها داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مناسب‌تر است. برای ردیابی و مکان‌یابی چرخندها از دو شرط اساسی که در مطالعات پیشین نیز به کار گرفته شده‌اند (نظیر، عساکره و همکاران ۲۰۲۳؛ پورکریم و همکاران، ۱۴۰۲: ۲۱۴؛ رضیعی و ستوده، ۱۳۹۶؛ مسعودیان ۱۳۹۱: ۲۴) استفاده شد.

۱. ارتفاع ژئوپتانسیل یاخته مورد بررسی نسبت به هشت همسایه پیرامون خود کمینه باشد.

۲. بزرگی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی یاخته مورد بررسی دست کم ۱۰۰ ژئوپتانسیل متر در هزار کیلومتر باشد.

به این ترتیب اختلاف ارتفاع ژئوپتانسیل هر یاخته نسبت به یاخته‌های همسایه بر اساس رابطه ۱ به دست آمد:

$$\nabla z = \frac{\partial z}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial z}{\partial y} \hat{j} \quad (1)$$

شیو ارتفاع ژئوپتانسیل از طریق رابطه ۲ محاسبه گردید (مسعودیان، ۱۳۹۱):

$$|\nabla z| = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

در تابع فوق $\frac{\partial z}{\partial x}$ و $\frac{\partial z}{\partial y}$ به ترتیب جابه‌جایی در امتداد محور x و y است. $\frac{\partial z}{\partial x}$ تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل می‌باشد. میانگین

وزنی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل هر سلول نیز از طریق رابطه ۳ محاسبه شده است:

$$MRGPG = \frac{1}{\sum_{i=1}^9 wi} \times \sum_{i=1}^9 |\nabla z|_i \quad (3)$$

$$wi = \frac{1}{2} (\cos \varphi_s + \cos \varphi_n)$$

در این رابطه \overline{GF} میانگین وزنی، wi وزن هر یاخته، φ_s مدار گذرنده از جنوب یاخته، φ_n مدار گذرنده از شمال یاخته است (مسعودیان، ۱۳۹۱).

هرچه مقدار شیو فشار از صد ژئوپتانسیل متر در هزار کیلومتر بیش تر باشد چرخندها از قدرت بیش تری برخوردار می باشند. بنابراین از شیو ارتفاع ژئوپتانسیل به عنوان متغیری برای ارزیابی شدت چرخندها استفاده گردید. از این رو برای هر روز که چرخندهای ترکیبی مدیترانه - سرخ حضور داشتند، مقادیر شیو ارتفاع ژئوپتانسیل استخراج و سپس متوسط سالانه مقادیر شیو ارتفاع ژئوپتانسیل محاسبه شد و سری زمانی سالانه شیو ارتفاع ژئوپتانسیل شکل گرفت. روند داده های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه و دریای سرخ مورد بررسی و واریسی قرار گرفت. روند داده های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل و ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی دریای مدیترانه و دریای سرخ در مقیاس ماهانه نیز با تداوم های یک روزه به دست آمد. برای بررسی همگنی و جهش رخ داده در داده های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه در مقیاس سالانه از آماره آزمون الکساندرسون (موسوم به نمایه آزمون همگنی استاندارد نرمال (SNHT)) استفاده شد. همگنی بدین معناست که داده ها از یک جامعه آماری (با میانگین و پراش نسبتاً هم نوا) به دست آمده اند. در این آزمون فرض صفر مبنی بر عدم تغییرات معنی دار در شدت چرخندها و فرض یک بر وجود تغییرات معنی دار در چرخندها دلالت دارد. در این آزمون میانگین k سال اول بر اساس یک فرایند تکراری ($K=1,2,3,\dots, n-1$)، با میانگین $n-k$ سال بعدی مقایسه می شود تا آماره مورد نظر $T(K)$ به شرح رابطه ۴ به دست آید.

$$T(K) = (K \times \bar{z}_1^2) + [(n - k) \times \bar{z}_2^2] \quad (4)$$

مقادیر \bar{z}_1^2 و \bar{z}_2^2 از طریق رابطه (۵) محاسبه می شود

$$\bar{z}_1^2 = \frac{1}{K} \sum_{i=K}^n (z_i - \bar{z}) / S \quad (5)$$

$$\bar{z}_2^2 = \frac{1}{n-K} \sum_{i=K+1}^n (z_i - \bar{z}) /$$

در رابطه ۵، z مقادیر میانگین قبل و بعد از تغییر می باشند. آماره این آزمون؛ یعنی $T(K)$ جهت رد کردن فرض صفر (T_0) می باشد. اگر مقادیر به دست آمده $T(K)$ از یک سطح معنی داری ارائه شده توسط الکساندرسون (۱۹۸۶) بیشتر باشد، می توان ادعا داشت فرض صفر در سطح معنی داری مذکور رد شده است.

یکی دیگر از آزمون های ناپارامتری که برای همگونی مشاهدات تجربی با توزیع های آماری مورد نظر به کار می رود، آزمون کلموگروف-اسمیرنوف می باشد. در این تحقیق برای انتخاب آزمون آماری مناسب (پارامتریک یا ناپارامتریک) جهت مقایسه میانگین داده های ارتفاع ژئوپتانسیل در فازهای زمانی متفاوت، آزمون آماری کلموگروف اسمیرنوف بر داده ها برآزش یافت. در این آزمون فرض صفر مبتنی بر این است که داده ها دارای توزیع نرمال می باشند؛ آماره آزمون بر اساس تفاضل بین فراوانی نسبی تجمعی مشاهده شده و نظری انجام می گیرد، بیشینه قدر مطلق این تفاضل آماره آزمون کلموگروف اسمیرنوف است (برای بحثی مشابه رجوع شود به عساکره ۱۴۰۰). اگر آماره آزمون بزرگ تر یا مساوی ۰/۰۵ باشد، شواهد کافی برای رد کردن فرض صفر وجود نخواهد داشت؛ به عبارت دیگر داده ها دارای توزیع نرمال می باشند.

پس از ترسیم میانگین طولانی مدت ارتفاع ژئوپتانسیل برای ناحیه دریای سرخ و مدیترانه، مشخص گردید که میانگین

طولانی‌مدت ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه در سه فاز زمانی تغییرات متفاوتی را تجربه کرده است. برای واریس اختلاف میانگین و پراش در سه فاز زمانی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه آزمون تی تک نمونه‌ای و پراش یک‌طرفه استفاده گردید. آزمون t یک نمونه‌ای ساده‌ترین نوع آزمون‌های t است، در این آزمون فرض صفر مبنی بر این است که میانگین نمونه مشاهده‌شده از جامعه‌ای با میانگین برابر با پیش‌فرض قبلی (μ_0) استخراج شده است. آماره آزمون از توزیع t تبعیت می‌کند و بر اساس رابطه ۶ محاسبه می‌شود (عساکره ۱۳۹۹):

$$t = \frac{z - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (۶)$$

در این رابطه، مخرج برآوردی از انحراف معیار میانگین‌های نمونه‌ها می‌باشد. بنابراین توزیع t توزیعی متقارن و شبیه توزیع نرمال با مقدار احتمال بیشتر در دنباله‌های توزیع با درجه آزادی $n-1$ می‌باشد.

در رابطه ۷، آزمون پراش یک‌طرفه MS_B میانگین مجذور بین گروه‌ها، MS_W میانگین مجذور درون گروه‌ها می‌باشد و F دارای درجه آزادی برای صورت $K - 1$ و مخرج $k(N - 1)$ است (کرلینجر، ۱۳۹۶). این آزمون به‌عنوان معیاری برای برآورد تغییرپذیری در مجموعه‌ای از داده‌ها استفاده می‌گردد (وحیدی اصل، ۱۳۷۶). منظور از گروه‌ها در این رابطه فازهای زمانی متفاوت در داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه می‌باشد.

$$F = \frac{MS_B}{MS_W} = \frac{\frac{SS_B}{K-1}}{\frac{SS_W}{k(N-1)}} = \frac{ss(tr)/(k-1)}{SSE/(k \times (n-1))} \quad (۷)$$

برای واریس و بررسی معنی‌دار بودن روند داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل برای هر یک دوره به دو نیمه آماری تقسیم و از روش برآورد روند اسمی (از آماره آزمون مربع خی) استفاده گردید. در این زمینه مقادیر یک رویداد (O_{ij}) با مقادیر مورد انتظار آن (E_{ij}) به شکل زیر مقایسه می‌شود (عساکره، ۱۳۹۶: ۱۸۱):

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (E_{ij} - O_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (۸)$$

$$E_{ij} = \frac{R_i \times C_j}{n} \quad (۹)$$

این آزمون استقلال متغیر اقلیمی از زمان را ارزیابی می‌کند؛ بدین ترتیب اگر متغیر اقلیمی وابسته به زمان (تفاوت فراوانی‌های رویداد و مورد انتظار بزرگ) باشد، آن متغیر حاوی روند است. اگر متغیر، مستقل از زمان رفتار کند (تفاوت فراوانی‌های رویداد و مورد انتظار کوچک باشد)، بدین معنی است که آن متغیر به شکل تصادفی تغییر می‌کند. دامنه آماره کای دو بین صفر تا بی‌نهایت است تصمیم‌گیری برای هر یک از حالات این مقادیر بر اساس مقایسه با آستانه‌های تعریف شده در توزیع χ^2 انجام شد.

در نهایت به منظور الگوسازی روند بلندمدت از روش پارامتری رگرسیون خطی ارائه‌شده توسط عساکره (۱۴۰۰) استفاده گردید. شیب خط رگرسیون بر اساس کمینه مربعات خطا محاسبه شد.

یافته‌ها

فراوانی شمار چرخندهای ترکیبی مدیترانه-سرخ

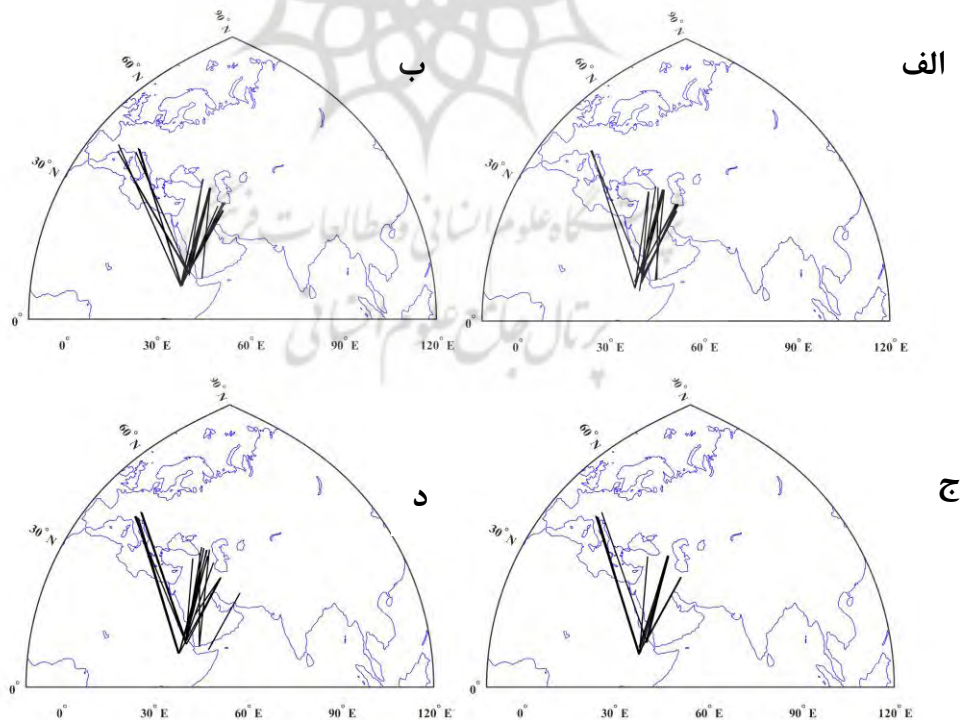
تعداد مراکز چرخندی استخراج شده، تداوم‌های یک روزه و دو روزه ۹۷ مورد می‌باشد که ۸۳ تا از آن‌ها متعلق به تداوم‌های

یک روزه و ۱۴ مرکز متعلق به تداوم‌های دو روزه بود. برای مشخص شدن مسیر چرخندها بازه زمانی مورد مطالعه به چهار دهه تقسیم گردید. بدین ترتیب دهه اول سال‌های ۱۹۷۹-۱۹۸۸، دهه دوم سال‌های ۱۹۸۹-۱۹۹۸، دهه سوم سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۸ و دهه پایانی طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ می‌باشد. شکل ۲ مسیر این چرخندها را برای دهه‌های یادشده نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات به دست آمده بیشترین تعداد چرخندها در دهه اول (۱۹۷۹ تا ۱۹۸۸)، ۲۴ مرکز چرخندی توأم بوده است و کم‌ترین تعداد مرکز چرخندی در دهه سوم (۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸) با ۱۷ مرکز چرخندی توأم رخ داده است.

توزیع ماهانه تغییرات شدت چرخندهای ترکیبی مدیترانه-سرخ

شکل ۳ میانگین درازمدت ماهانه ارتفاع جو در هنگام فعالیت مراکز چرخندی توأم دریای مدیترانه و دریای سرخ را برای تداوم‌های یک روزه نشان می‌دهد.

بیشینه شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه در ماه ژانویه و کمینه آن در ماه مارس بود. در طی ماه‌های گرم (چون تا سپتامبر) روند نزولی احتمالاً با جابجایی مرکز پر ارتفاع جنب حاره به عرض‌های شمالی‌تر در ارتباط می‌باشد (احمدی گیوی و نصر اصفهانی، ۱۳۸۲). شکل ۳- ب، شیب صعودی آرام در میانگین داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه از ماه فوریه به سمت فصل گرم را نشان می‌دهد. بیشینه مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل در ماه ژانویه و سپس ماه سپتامبر و کمینه آن در طی ماه فوریه به وقوع پیوست. تفاوت ارتفاع و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل میان ماه‌های مختلف و وجود شدت‌های متفاوت در مراکز چرخندی را می‌توان به افزایش دما و بالطبع گرمایش جهانی همراه با توپوگرافی پیچیده منطقه مدیترانه نسبت داد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۰۵ و Alpert et al., 1990: 1477). همچنین افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل روی مراکز چرخندی دریای مدیترانه و همچنین کاهش شیو فشار احتمالاً منجر به کاهش ناپایداری و بارش در منطقه می‌شود. نتایج این بخش با یافته‌های دارند (۱۳۹۳) مطابقت دارد.

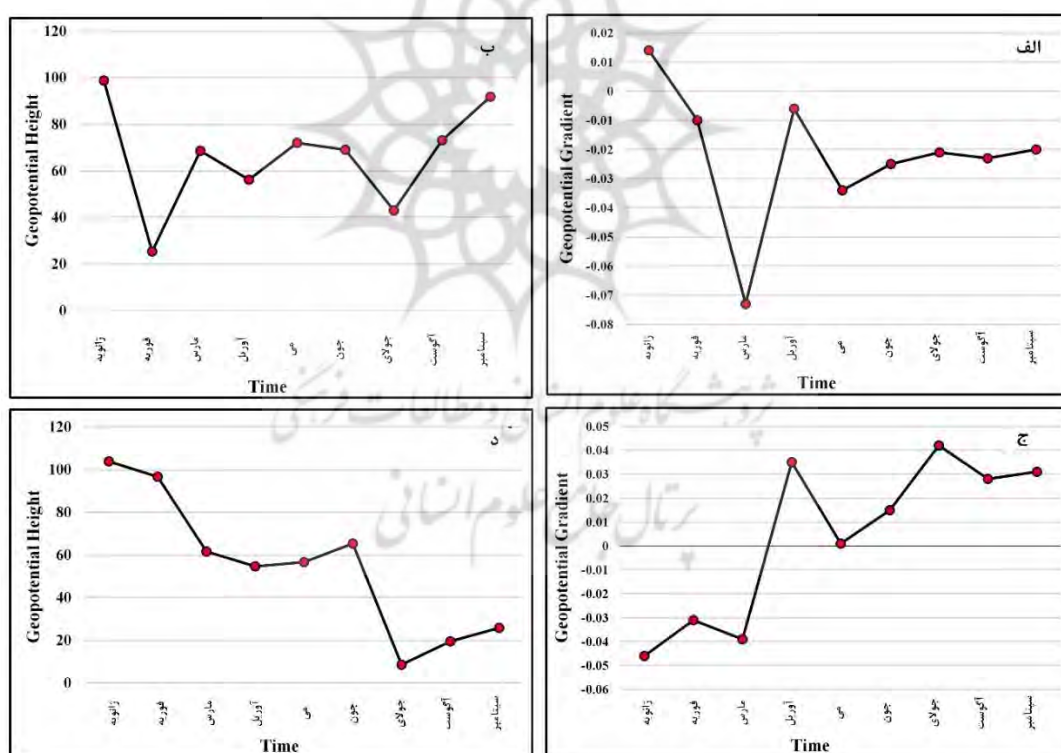


شکل ۲. مسیر چرخندهای توأمان الف: دهه اول (۱۹۷۹-۱۹۸۸)، ب: دهه دوم (۱۹۸۹-۱۹۹۸)، ج: دهه سوم (۱۹۹۹-۲۰۰۸) و د: دهه چهارم (۲۰۰۹-۲۰۱۸)

شکل ۳ - ج، میانگین ماهانه شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای سرخ در طی ماه‌های مختلف را نشان می‌دهد. می‌توان روند صعودی با شیب تند را از ژانویه تا دسامبر مشاهده کرد. بیشینه شیو در ماه جولای و کمینه آن در ماه ژانویه رخ داده است. وقوع کمینه در ماه ژانویه دلیل بر کم ضخامت بودن جو لایه سطح زمین در این ماه می‌باشد و منجر به ناپایداری در منطقه می‌شود (عساکره و همکاران، ۱۳۹۵) شکل ۳- د، میانگین ماهانه ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای دریای سرخ را نشان می‌دهد. بیشینه ارتفاع در ماه ژانویه و کمینه آن در ماه جولای بود. تغییرات بلندمدت صعودی مشاهده شده در داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل و در مقابل روند نزولی ارائه شده در داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تضعیف ناپایداری و کاهش بارش در منطقه دریای سرخ را به دنبال خواهد داشت. نتایج این بخش با یافته‌های عساکره و خانی تملیه (۱۴۰۰) مطابقت دارد.

تحلیل جهش

برای بررسی همگنی در داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه در مقیاس سالانه از آماره آزمون الکساندرسون (۱۹۸۶) استفاده شد. در این راستا برای محاسبه آماره مزبور ابتدا میانگین هر سال تا سال نخست (دوره‌ها) از داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل محاسبه و سپس تفاضل میانگین کل دوره با دوره‌ها به دست آمد. در داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه در سال ۱۹۹۶ در سطح اعتماد ۹۵ درصد جهش مشاهده شد. مقدار آماره $T(K)$ (16.25) بزرگ‌تر از سطح بحرانی، $TC(7.87)$ ، و مجموع تغییرات استاندارد شده برابر با -0.058 می‌باشد.



شکل ۳. الف و ب به ترتیب میانگین ماهانه شیو ارتفاع ژئوپتانسیل و ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای دریای مدیترانه ج و د: برای دریای سرخ

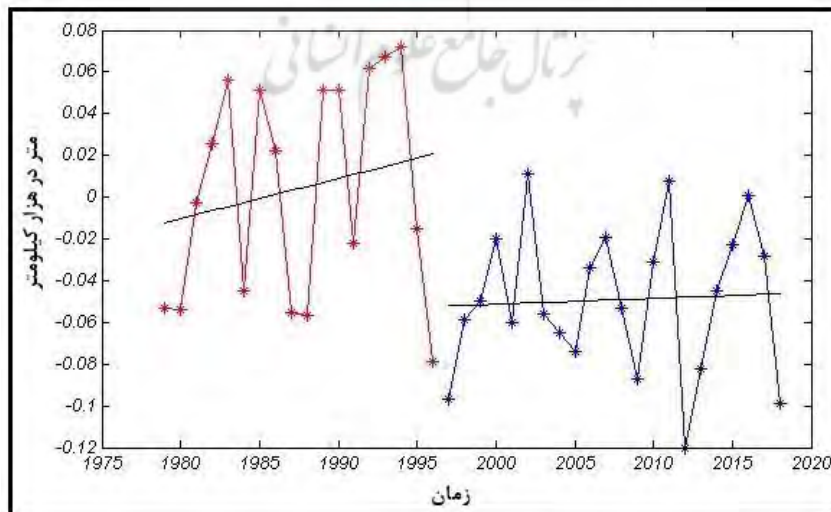
برای بررسی استقلال دو مقطع (قبل و بعد از جهش) از آزمون استقلال کای دو، برای بیشترین اختلاف فشار (شیو فشار) در ناحیه چرخندهای دریای مدیترانه استفاده شد، در این آزمون، شیو تغییرات فشار داده‌های دریای مدیترانه بر اساس معیار میانگین کل به دو گروه (بیشتر از میانگین و کم‌تر از میانگین) طبقه‌بندی شد و در دو مقطع زمانی (۱۹۷۹-۱۹۹۶ و ۱۹۹۷-۱۹۹۹)

۲۰۱۸) باهم مقایسه و در ماتریس زیر ارائه شدند. عدد ۱۵ در ردیف اول و ستون اول ماتریس زیر گویای این است که حالات ترکیبی وقوع شیو ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی دریای مدیترانه ۱۵ تکرار بوده است و عدد ۱۱٫۸۹ مورد انتظار بین رخداد شیو ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی می‌باشد. در این فرایند ماتریس آزمون کای‌دو با قیاس بین زمان و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه برای تداوم‌های یک روزه آمده است:

$$\begin{bmatrix} 15 & 7 \\ 11.89 & 10.10 \\ 5 & 10 \\ 8.12 & 6.89 \end{bmatrix}$$

مقدار خی‌دو مجموع تمام اختلافات استانداردشده مقادیر واقعی و مورد انتظار است. این آماره بیان می‌دارد که حالات توآمان رخداد شیو ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی در دریای مدیترانه به‌عنوان فرایند مشاهده‌شده و فرایند وقوع مورد انتظار برای رخداد این پدیده با هم شباهتی نداشته در نتیجه مقدار خی دو به‌طور نسبی عددی بزرگ حاصل‌شده است ($\chi^2 = 4.3612$) و مقادیر مستقل از هم رفتار می‌کنند. میزان خطای حاصل از رد کردن فرض صفر (آماره p) کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد ($p_Value = 0.0368$). بر اساس p به دست آمده می‌توان فرض صفر را رد کرد؛ یعنی میانگین‌های دو مقطع زمانی مورد مطالعه، متفاوت بودند.

به‌منظور تحلیل روند داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه در دو مقطع زمانی یادشده در بالا (۱۹۷۹-۱۹۹۶ و ۱۹۹۷-۲۰۱۸) مدل رگرسیونی خطی بر داده‌های هر مقطع به‌طور جداگانه برازش داده شد. شکل ۴ نتایج حاصل از برازش مدل رگرسیون خطی برای داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه را برای تداوم‌های یک روزه نشان می‌دهد. می‌توان دید روند داده‌ها در مقطع زمانی (فاز) نخست، صعودی بود. افزایش مراکز کمینه ارتفاع ژئوپتانسیل احتمالاً ناشی از افزایش گرمای جهانی است (Walsh., 2004 و مسعودیان، ۲۸:۱۳۹۱). به نظر می‌رسد به دلیل جهش به وجود آمده در سال ۱۹۹۶، نسبت به سال‌های قبل روند با کاهش همراه بود. طبق پژوهش زارعی و همکاران (۱۳۸۹) شیو ارتفاع ژئوپتانسیل در سال ۱۹۹۶ حاکی از کاهش فراوانی و شدت چرخندهای قوی، به‌جز در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، بود. حال آن‌که در مقطع زمانی (فاز) دوم روند داده‌ها صعودی، اما نسبت به دوره قبل با شیب ملایم‌تری افزایش پیدا کرد. این افزایش در پژوهش‌های پیشین نیز تأییدشده است (Tolika et al., 2006، کلمن و همکاران ۲۰۱۴ و et al., 2007). Gaertner). بالین‌وجود روند در دو فاز، در سطح ۹۵٪ اطمینان فاقد معنی آماری بود.



شکل ۴. روند خطی میانگین سالانه شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه در دو فاز (۱۹۷۹-۱۹۹۶ و ۱۹۹۷-۲۰۱۸)

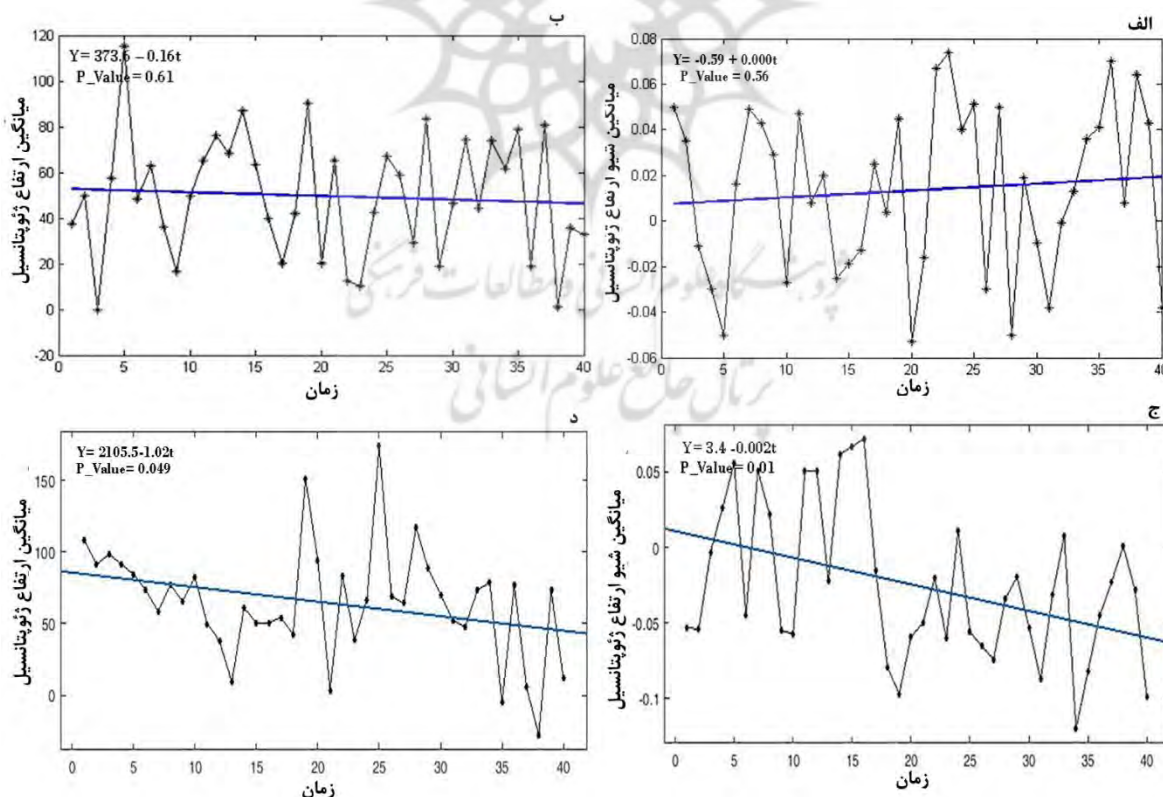
توزیع و روند سالانه چرخندهای ترکیبی مدیترانه-سرخ

نتایج حاصل از بررسی تغییرات بلندمدت (روند) میانگین سالانه ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی دریای سرخ و دریای مدیترانه در شکل ۵ ارائه شده است.

شکل ۵ - الف، شیو ارتفاع ژئوپتانسیل و روند خطی آن را برای دریای سرخ نشان می‌دهد. در این شکل روند صعودی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل در سطح ۹۵٪ اطمینان فاقد معنای آماری ($p=0/56$) است. ارتفاع ژئوپتانسیل در شکل ۵ - ب، بر شیب آرام نزولی فاقد معنای آماری در ارتفاع ژئوپتانسیل دریای سرخ گواهی می‌دهد. با این وجود، افزایش شیو در مراکز چرخندی دریای سرخ احتمالاً منجر به تشدید ناپایداری در منطقه خواهد شد.

در شکل ۵ - ج و ۵ - د نتایج حاصل از بررسی روند میانگین سالانه ارتفاع و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه ارائه شده است. بر اساس شکل در این داده‌ها روند کاهشی قابل مشاهده است. نتایج شکل ۵ - ج بر اساس نظر Trigo et al. (2006) و (2000) و Trigo به برهم‌کنش جو-اقیانوس در اقیانوس اطلس شمالی مربوط می‌دانند. شکل ۵ - د، روند سالانه داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه را نشان می‌دهد، روند کاهشی همانند داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل وجود دارد.

افزایش شیو ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای دریای سرخ معمولاً باعث کاهش فشار هوا و به دنبال آن، جابجایی هوای گرم و رطوبت به سمت مناطق با فشار پایین‌تر می‌شود. این جابجایی هوا منجر به تشدید ناپایداری (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹) و کاهش شیو ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای دریای مدیترانه شده و حاکی از تضعیف ناپایداری می‌باشد. بدین ترتیب، طبق نظر آلبرت (۱۹۹۰) و عساکره و ترکارانی (۱۳۹۹)، شیو به سمت عرض‌های شمالی جابجا می‌شود و موجب ناپایداری و انتقال چرخندها به سمت عرض‌های شمالی می‌شود.



شکل ۵. روند تغییرات سالانه الف) شیو ارتفاع ژئوپتانسیل و ب) ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای دریای سرخ، ج) شیو ارتفاع ژئوپتانسیل و د) ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای دریای مدیترانه طی ۱۹۷۹-۲۰۱۸

برای واریس معنی‌دار بودن تغییرات میانگین سالانه بلندمدت ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای سرخ در روزهای توأم با تداوم‌های یک روزه چرخندها، دوره آماری به دو نیمه تقسیم گردید و از آزمون آماری کای دو استفاده شد. بنابراین ابتدا جدول‌های توافقی شکل گرفت. در این راستا مقادیر مشاهده‌شده داخل سلول جدول توافقی حاصل شمارش حالات توأم شدت ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل با زمان می‌باشد. برای مثال عدد ۱۱ در ردیف اول و ستون اول جدول ۱ نشان می‌دهد که حالات توأم رخداد شیو ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی در دوره زمانی مورد مطالعه ۱۱ تکرار بوده است که نشان‌دهنده فراوانی مشاهده‌شده می‌باشد، و عدد ۱۵/۷۵ فراوانی مورد انتظار بین رخداد شیو ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی و زمان می‌باشد. در ادامه آماره کای دو محاسبه شد. در این آزمون فرضیه صفر بر عدم رابطه بین زمان و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل بنا نهاده شده است. فرضیه مقابل بر رابطه دو متغیر مورد مطالعه (زمان، ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی) دلالت دارد. نتایج معنی‌داری این آزمون بر اساس آماره p (p-value) ارائه شده است. یافته‌ها مؤید این است که تغییرات معنی‌داری در روند تداوم‌های یک روزه داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای سرخ مشاهده نشد و میزان p به دست آمده بیشتر از ۵ درصد می‌باشد؛ در نتیجه رابطه آماری معنی‌دار بین داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل و زمان وجود ندارد و مقادیر مستقل از زمان و با الگویی نسبتاً تصادفی رخ می‌دهد. نتایج به دست آمده در داده‌های تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تداوم‌های یک روزه داده‌های دریای سرخ در بازه زمانی چهل ساله نیز حاکی از عدم تغییرات معنی‌دار آماری بین زمان و ارتفاع ژئوپتانسیل می‌باشد.

جدول ۱. قیاس زمان، ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع چرخندهای دریای سرخ در تداوم‌های یک روزه

ناحیه	جدول توافقی	آماره‌ها								
ارتفاع چرخندهای دریای سرخ	<table border="1"> <tr> <td>11</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>11.30</td> <td>10.23</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>10.23</td> <td>9.25</td> </tr> </table>	11	9	11.30	10.23	9	10	10.23	9.25	$\chi^2 = 0/4000$ $p_Value = 0/5271$
11	9									
11.30	10.23									
9	10									
10.23	9.25									
شیو ارتفاع چرخندهای دریای سرخ	<table border="1"> <tr> <td>11</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>15.75</td> <td>9.5</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>10.5</td> <td>9.5</td> </tr> </table>	11	9	15.75	9.5	10	10	10.5	9.5	$\chi^2 = 0/1003$ $p_Value = 0/7515$
11	9									
15.75	9.5									
10	10									
10.5	9.5									

در بررسی تغییرات بلندمدت ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای دریای مدیترانه (شکل ۵ - د)، سه فاز زمانی متفاوت مشاهده شد. در مقطع زمانی اول، ۱۹۷۹-۱۹۸۸، داده‌ها حول میانگین می‌باشند با وجود افزایش ارتفاع، روند کاهشی رخ داده است. در مقطع زمانی دوم، ۱۹۸۹-۲۰۰۵، ثبات نسبی روند و در مقطع زمانی سوم، ۲۰۰۶-۲۰۱۸، همراه با کاهش ارتفاع، روند سری زمانی نیز کاهشی بود. میانگین و پراش برای سه مقطع محاسبه و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. با عنایت به این که روند تغییرات زمانی ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای دریای مدیترانه از دهه اول (۱۹۷۹-۱۹۸۸) به سمت دهه آخر (۲۰۰۶-۲۰۱۸) روند کاهشی داشت، می‌توان اذعان داشت روند کاهشی همراه با کاهش ناپایداری و بارش در ایران می‌باشد. عساکره و ترکارانی (۱۴۰۰)، نشان دادند که طی دوره‌های زمانی متفاوت، مقادیر بارش در ایران کاهش یافته است.

جدول ۲. میانگین و پراش ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی دریای مدیترانه در فازهای مختلف و مقایسه آماره‌های مربوط

مقطع زمانی	میانگین	پراش	آزمون T تک نمونه‌ای	آزمون پراش یک‌طرفه
۱۹۸۸-۱۹۷۹	۸۳/۱۹	۲۲۸/۹۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
۲۰۰۵-۱۹۸۹	۶۵/۱۷	۱۷۸۷/۶۰	۰۰۰۰	۰/۰۰۰۱
۲۰۱۸-۲۰۰۶	۵۰/۹۶	۱۸۰۲/۴۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۱

نتایج حاصل از واریس میانگین و پراش فازها، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه در تداوم‌های یک روزه و بر اساس آزمون t تک نمونه‌ای و آزمون پراش یک‌طرفه، معنی‌داری تفاوت میانگین و پراش در سه مقطع موردبررسی تأیید شد. نتایج در ستون‌های چهارم و پنجم جدول ۲ قابل مشاهده است.

تغییرات چرخندهای ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ با تداوم‌های دو روزه

در بررسی و واریس روند شدت ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ در بازه زمانی چهل ساله و واریس معنی‌داری روند آن‌ها از آزمون کای دو استفاده گردید. با توجه به اطلاعات به دست آمده مقدار آماره p بیشتر از سطح معنی‌داری پنج درصد می‌باشد؛ در نتیجه شواهد کافی برای رد کردن فرض صفر (فقدان روند) وجود نداشت.

بحث

فرایندها و فرم‌های جوی برون حاره و حاره‌ای به‌طور همسان و یکسان از گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی اخیر متأثر نشده‌اند. از این‌رو سامانه‌هایی از منشاء این دو کمربند اقلیمی تغییرات مشابهی نداشته‌اند. از سامانه‌های برون حاره - حاره که نقش عمده‌ای در بر بارش‌های فراگیر ایران ایفا می‌کنند، چرخندهای دریای مدیترانه و دریای سرخ هستند که عمدتاً با تداوم‌های یک‌روزه، و بعضاً به‌طور نادر، دو روزه رخ می‌دهند، چرخندهای توأم مدیترانه-دریای سرخ هستند.

مطالعات پرشماری (نظیر Reiter., 1975؛ Dayan and Abramsky., 1983؛ Alpert et al., 1990؛ Gorge., 2006؛ رسولی و همکاران ۱۳۹۱) نشان داده است که افزایش فشار تراز دریا در محدوده فعالیت سامانه‌های کم‌فشار مدیترانه - سودان با کاهش فعالیت این سامانه‌ها همراه بوده است.

تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن بعضاً به شکل تغییرات ناگهانی و گاه تغییرات تدریجی جلوه می‌کنند. برای مثال شیو تغییرات فشار داده‌های دریای مدیترانه بر اساس معیار میانگین در دو مقطع زمانی (۱۹۷۹-۱۹۹۶ و ۱۹۹۷-۲۰۱۸) و نیز در سه فاز (۱۹۷۹-۱۹۸۸، ۱۹۸۹-۲۰۰۵، ۲۰۰۶-۲۰۱۸) رخ داده است. این تباین‌ها به افزایش گرمای جهانی نسبت داده می‌شود است (Walsh., 2004 و مسعودیان، ۱۳۹۱:۲۸). با این وجود و نیز مشابه نتایج حاصل از مطالعات پیشین توسط Trigo (2006) و Trigo et al. (2000) روند کاهشی معنی‌دار در ارتفاع ژئوپتانسیل ناحیه دریای مدیترانه نیز رخ داد. از این‌رو و مشابه یافته‌ی آلپرت (۱۹۹۰) و عساکره و ترکارانی (۱۳۹۹)، چرخندهای این ناحیه به سمت عرض‌های شمالی‌تر جابه‌جا شدند.

نتیجه‌گیری

وجود چرخندهای دریای مدیترانه - دریای سرخ و در برخی موارد ادغام شدن آن‌ها بارش در ایران زمین را در پی دارد. از این‌رو برای ردیابی چرخندها در این مسیر از داده‌های مرکز پیش‌بینی میان‌مدت اروپایی جوی در بازه زمانی چهل ساله (۱۹۷۹-۲۰۱۸) استفاده گردید. بدین ترتیب در گام زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸، تعداد ۹۷ مرکز کم‌فشار چرخندی توأمان مدیترانه-دریای سرخ مشاهده شد که از این تعداد ۸۳ مرکز متعلق به تداوم‌های یک روزه و ۱۴ مرکز متعلق به تداوم‌های دو روزه بود.

در بررسی تغییرات شدت ماهانه ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل چرخندهای توأمان مدیترانه - دریای سرخ

روند صعودی در داده‌های شدت ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه مشاهده شد و از طرفی دیگر روند داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل به صورت نزولی بوده است. افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل روی مراکز چرخندی دریای مدیترانه و همچنین کاهش شیو فشار احتمالاً منجر به کاهش ناپایداری و بارش در منطقه می‌شود. نتایج منطبق بر یافته‌های دارند (۱۳۹۳)، اسکلیریس و همکاران (۲۰۱۲) می‌باشد. در بررسی داده‌های مقادیر دریای سرخ، برخلاف دریای مدیترانه روند نزولی در داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و روند صعودی در داده‌های شیو ارتفاع ژئوپتانسیل مشاهده شد، نظم تغییرات در تمام ماه‌ها برابر نیست و با این شرایط احتمال رخداد بارندگی و تشدید ناپایداری افزایش می‌یابد. نتایج این بخش با یافته‌های عساکره و خانی تملیه ۱۴۰۰ انطباق دارد. جهش رخ داده در سال ۱۹۹۶ مقادیر شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه را به دو فاز تقسیم کرد. روند صعودی در این دو فاز وجود دارد که در فاز دوم نسبت به فاز اول با شیب ملایم‌تری رخ داده است.

در واریسی میانگین سالانه تغییرات بلندمدت داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای سرخ روند آماری معنی‌دار مشاهده نگردید. میانگین سالانه ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه روند کاهشی مشاهده شد. در واریسی و بررسی روند سالانه داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه روند کاهشی قابل مشاهده بود. مطالعات قبلی نظیر مطالعات آلپرت نشان می‌دهد که اگرچه این کاهش رخ داده اما، مسیر چرخندها به عرض‌های شمالی‌تر جابه‌جاشده است که پیامد این امر افزایش خشکی و کاهش بارش ایران و گرمایش جهانی خواهد بود. عساکره و ترکارانی (۱۳۹۹) نیز اذعان داشته‌اند در تغییرات فصل خشک و کاهش بارش تغییرات جایگاه پرفشار جنب حاره و تغییر مسیر چرخندها مؤثر می‌باشد.

در بررسی ارتفاع ژئوپتانسیل دریای مدیترانه سه فاز زمانی متفاوت را نشان می‌دهد. فاز زمانی اول، ۱۹۷۹-۱۹۸۸، فاز زمانی دوم، ۱۹۸۹-۲۰۰۵ و فاز زمانی سوم، ۲۰۰۶-۲۰۱۸ می‌باشد. روند کاهشی در چرخندهای دریای مدیترانه تا سال‌های انتهایی دوره مشهود است که احتمالاً کاهش ناپایداری را فراهم می‌آورد. در واریسی شدت ارتفاع ژئوپتانسیل و شیو ارتفاع ژئوپتانسیل تداوم‌های دو روزه چرخندهای توأمان مدیترانه-دریای سرخ هیچ‌گونه رابطه معنی‌داری به لحاظ آماری مشاهده نشد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

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

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- احمدی گیوی، فرهنگ و نصر اصفهانی، محمدعلی. (۱۳۸۲). مطالعه چرخندهای مدیترانه در دوره یک‌ساله و تأثیر آن بر آب‌وهوای خاورمیانه. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۲۹(۲): ۶۶-۷۸.
- ایرانی نژاد، پرویز؛ احمدی گیوی، فرهنگ و محمدنژاد، علیرضا (۱۳۸۸). اثر مراکز چرخندزای مدیترانه بر بارش سالانه ایران در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۳(۱): ۹۱-۱۰۱.
- آزادی، مجید؛ رضازاده، پرویز؛ میرزایی، ابراهیم و وکیلی، غلامعلی. (۱۳۸۲). پیش‌بینی عددی سیستم‌های زمستانی روی ایران: مطالعه مقایسه‌ای پارامتری سازی‌های فیزیکی، هشتمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، دانشگاه تبریز.
- پورکریم، رویا؛ عساکره، حسین؛ فرجی، عبدالله و خسروی، محمود. (۱۴۰۲). واکاوی روند تغییرات شمار مراکز چرخندی دریای مدیترانه در بازه زمانی (۲۰۱۸-۱۹۷۹)، *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۹(۴): ۲۱۱-۲۲۲. DOI: <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3231-fa.html>
- دارند، محمد. (۱۳۹۳). شناسایی تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل، تاوایی و فشار تراز دریای الگوهای گردش جوی غالب مؤثر بر اقلیم ایران زمین، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۶(۳): ۳۷۴-۳۴۹-۳۳۶. DOI: 10.22059/jphgr.2014.52136.349-374
- حجازی‌زاده، زهرا و صداقت، محمد. (۱۳۸۸). مسیریابی رقومی سیکلون‌های خاورمیانه در دوره سرد سال، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۱(۶۹): ۱-۱۷.
- حمیدیان پور، محسن؛ علیجانی، بهلول و صادقی، علیرضا. (۱۳۸۹). شناسایی الگوهای همدیدی بارش‌های شدید شمال شرق ایران. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۱(۱): ۱-۱۶.
- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ احمدی، نعمت و کریمی، مصطفی. (۱۳۹۸). واکاوی همدید اثر گرمایش جهانی بر روند دمای ترازهای جوی در ایران، *نشریه سپهر*، ۲۸(۱۰۹): ۲۲۲-۲۱۱. DOI: 10.22131/sepehr.2019.35648
- خوش‌نفس، خدیجه. (۱۳۸۷). تأثیر نوسانات اطلس بر بارش‌های غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- رسولی، علی‌اکبر؛ بابائیان ایمان؛ قائمی، هوشنگ و زوار رضا، پیمان. (۱۳۹۱). تحلیل سری‌های زمانی فشار مراکز الگوهای سینوپتیکی مؤثر بر بارش‌های فصلی ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۱۰(۲۷): ۷۷-۸۸. DOI: 10.22111/gdij.2012.486
- رضیایی، طیب و ستوده، فاطمه. (۱۳۹۶). بررسی دقت مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون اقلیمی ایران، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۴۳(۱): ۱۴۷-۱۳۳. DOI: 10.22059/jesphys.2017.57958
- زارعی، سمیه. (۱۳۸۹). بررسی همدید کنش‌های چرخندی بر روی ایران در سال خورشیدی ۱۳۷۴ شمسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، به راهنمایی دکتر حجت اله یزدان پناه و دکتر سید ابوالفضل مسعودیان.
- زارعی، کبری. (۱۳۹۰). پیش‌یابی تغییرات فرین دما و بارش در غرب میانی ایران در رابطه با موقعیت و فشار مراکز کنش جوی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر فرامرز خوش‌اخلاق، دانشگاه تهران.
- سبزی‌پور، علی‌اکبر. (۱۳۶۹). شکل‌گیری سیلاب در سیستم‌های سینوپتیکی جنوب غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- عساکره، حسین و خانی تملیه، سکینه. (۱۴۰۱). واکاوی مقدار و فراوانی بارش روزانه غرب - جنوب غرب ایران در رابطه با فعالیت کم‌فشار دریای سرخ طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۷۹، *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۱۲۲(۳۱): ۱۶۶-۱۵۱. DOI: 10.22131/sepehr.2022.254787
- عساکره، حسین. (۱۴۰۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، ویراست دوم، انتشارات: دانشگاه زنجان.

- عساکره، حسین؛ قائمی هوشنگ و رضایی، شیما. (۱۳۹۵). بررسی مکانیسم گسترش و شدت کم فشار دریای سرخ، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه گلستان، ۶(۲۱): ۹۰-۷۷.
- عساکره، حسین و ترکارانی، فاطمه. (۱۳۹۹). برخی مشخصات توصیفی و روند تغییرات بلندمدت فصل خشک در ایران، نشریه جغرافیا و توسعه، ۱۸(۵۸): ۱۱۳-۱۳۲. DOI: 10.22111/gdij.2020.5324
- عساکره، حسین؛ مسعودیان، سیدابوالفضل و ترکارانی، فاطمه. (۱۴۰۰). تغییرپذیری نقش عوامل مکانی مؤثر بر بارش در ارتباط با تحولات دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳(۸۳): ۱۴۶-۱۲۹. DOI: 10.22108/gep.2021.127032.1395
- علیجانی، بهلول. (۱۳۸۳). آب‌وهوایی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور: ۱۳۸-۱۲۶.
- علی‌زاده، تیمور؛ عزیزی، قاسم؛ محب‌الحجه، علیرضا و خوش‌اخلاق، فرامرز. (۱۳۹۵). شناسایی اثر تغییرات دمایی فصل زمستان بر فراوانی و شدت مراکز چرخندها در مدیترانه، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۷(۶۱): ۲۷. DOI: 10.22108/gep.2016.21367
- لشکری، حسن. (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیکی دو نمونه از الگوی بارش‌های زمستانه جنوب شرق ایران، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۹(۱).
- لشکری، حسن. (۱۳۸۲). مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم‌فشار سودان و نقش آن بر بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۶.
- لشکری، حسن. (۱۳۷۹). مکانیسم تکوین منطقه همگرایی دریای سرخ، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۵۸-۵۹: ۱۸۴-۱۶۷.
- لشکری، حسن. (۱۳۸۱). مسیریابی سامانه کم‌فشار سودانی ورودی به ایران، مجله علوم انسانی مدرس، ۲: ۱۵۶-۱۳۳.
- محمدی، رستگار؛ سلیقه، محمد؛ ناصرزاده، محمدحسین و اکبری، مه‌ری. (۱۳۹۹). واکاوی همیدی-دینامیکی رخ داد چرخندی بر روی بارش‌های سنگین دوره سرد غرب ایران. نشریه هواشناسی و علوم جو، ۳(۳): ۲۴۱-۲۲۴. DOI: 10.22034/jmas.2021.272997.1123
- مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۳۹۱). بررسی همید کنش‌های چرخندی در طی ۱۳۸۲-۱۳۴۰ خورشیدی. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۱(۱): ۳۳-۱۵. DOI: 10.22111/jneh.2012.2441
- مصطفائی، حسن؛ علیجانی، بهلول و سلیقه، محمد. (۱۳۹۴). تحلیل سینوپتیکی بارش‌های شدید و فراگیر در ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲(۴): ۷۶-۶۵. DOI: http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2533-fa.html
- مفیدی، عباس و زرین، آذر. (۱۳۸۴). اقلیم‌شناسی سینوپتیکی بارش‌های سیل‌زا با منشا منطقه دریای سرخ در خاورمیانه. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۹(۴).
- مفیدی، عباس و زرین، آذر. (۱۳۸۴). بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۷.
- نوری، حمید و ایلدرمی، علیرضا. (۱۳۹۰). تحلیل شرایط همید و دینامیک رویدادهای بارشی سنگین سواحل جنوبی خزر در مقایسه با ایران زمین. نشریه علمی و پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۶(۴۱): ۲۳۶-۱۹۷.
- فردریک‌نیکلز، کرلینجر و الازارجی، پدهازور. (۱۳۹۶). رگرسیون چند متغیری در پژوهش رفتاری. مترجم: حسن سرایی، انتشارات سمت.
- وحیدی اصل، محمدقاسم. (۱۳۷۶). آمار و احتمال در جغرافیا (۲)، انتشارات: دانشگاه پیام نور.

References

- Alexandersson, H. (1986). A Homogeneity Test Applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, 661- 675.
- Alijani, B. (2013). *iranian weather*. Payam-Noor University Publications. [In Persion].
- Alizadeh, T., Azizi, K., Moheb, A., & KHoshakhlaq, F. (2016). Identification the Effect of Winter Temperature Changes on Cyclone Frequency and Intense in Mediterranean. *Geography and Environmental Planning*, 27(1), 217-232. doi: 10.22108/gep.2016.21367. [In Persion].
- Alpert, E., Neeman, B., & Shay-E1, Y. (1990a). Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus*, 42A, 65-77.
- Alpert, E., Neeman, B., & Shay-E1, Y. (1990b). Intermonthly variability of Cyclone tracks in the Mediterranean. *J. Climate*, 3,1474-1478.
- Amarouche, K., & Akpınar, A. (2021). Increasing Trend on Storm Wave Intensity in the Western Mediterranean. *Journal of climate*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/cli9010011>
- Anagnostopoulou, C., Tolika, K., Flocas, H., & Maheras, P. (2006). Cyclones in the Mediterranean region: present and future climate scenarios derived from a general circulation model (HadAM3P). *Advances in Geosciences*,7: 9-14.
- Asakareh, H. (2021). *Fundamentals of statistical climatology*. Second Edition, Zanjan University Publications. [In Persion].
- Asakareh, H., Qaemi, H., Rezaei, SH. (2016). Review mechanism of expansion and low-pressure Red Sea. *Geographical Planning of Space*, 6(21), 77-90. [In Persion].
- Asakereh, H., & Khani Temelieyh, S. (2022). Analyzing the amount and frequency of daily precipitation in west and southwest Iran during the statistical period of 1979- 2016 affected by the Red Sea low pressure. *Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 31(122), 151-166. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2022.254787> [In Persion].
- Asakereh, H., & Mazini, F. (2010 a). Analysis of the probability distribution for the annual precipitation in the Golestan province. *Iran-Water Resources Research*, 6 (1), 51-55. [In Persion].
- Asakereh, H., & Tarkarani, F. (2020). Some descriptive features and long - term changes of dry season over Iran. *Geography and Development*, 18(58), 113-132. doi: 10.22111/gdij.2020.5324. [In Persion].
- Asakereh, H., Masoodian, A., Tarkarani, F., & Zand karimi, S. (2023). Decadal variations of the onset, cessation, and length of the widespread rainy season in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 152, 599-615. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04378>.
- Asakereh, H., Masoodian, S. A., & Tarkarani, F. (2021 a). Long term trend detection of annual precipitation over Iran in relation with changes in frequency of daily extremes precipitation. *Journal of Geography and Environmental Hazards* 9 (4), 123-143. doi:10.22067/GEOEH.2021.67028.0 [In Persion].
- Asakereh, H., Masoodian, S. A., & Tarkarani, F. (2021 b). Variation in the Spatial Factors Affecting Precipitation in Relation to the Decadal Changes of Annual Precipitation in Iran. *Geography and Environmental Planning*, 32(3), 129-146. doi: 10.22108/gep.2021.127032.1395. [In Persion].
- Asakereh, H., Mazini, F. (2010 b) Investigation of dry days occurrence probability in golestan province using Markove Chain Model. *Geography and Development*, 8 (17), 29-44. Doi: 10.22111/GDIJ.2010.1132. [In Persion].
- Azadi, M., Rezazadeh, P., Mirzaei, E., & Gholamali, V. (2012). Numerical prediction of winter systems over Iran: a comparative study of physical parameterizations. *8th Conference on Fluid Dynamics, Tabriz University*. [In Persion].
- Carnell, R. E., & Senior C. A. (1998). Changes in mid-latitude variability due to increasing
- Darand, M. (2014). Detection of Geopotential Height Changes, Vorticity and Sea Level Pressure of Prevailing Circulation Atmospheric Patterns Impacting Iran Climate. *Physical Geography Research Quarterly*, 46(3), 349-374. doi: 10.22059/jphgr.2014.52136. [In Persion].
- Dayan, U., & Abramsky, R. (1983). Heavy rain in the middle east related to unusual jet stream properties. *Bull. Amer. Meteor*, 64 (10), 1138-1140.

- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., & Vitart, F. (2011). The ERA- Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656), 553-597. *Earth's Future*, 8(7). doi:10.1029/2020EF001502.
- Gaertner, M. A., Jacob, D., Gil, V., Domínguez, M., Padorno, E., Sánchez, E., & Castro, M. (2007). Tropical cyclones over the Mediterranean Sea in climate change simulations. *Geophysical Research Letters*, 34(14).
- Giorgi, F. (2006) Climate change hot-spots. *Geophys Res Lett*, 33(8). doi:10.1029/2006GL025734.
- Giuseppe Zappa, K., Hawcroft, M., Len, Sh., Emily, B., & David, B. (2014). Extratropical cyclones and the projected decline of winter Mediterranean precipitation in the CMIP5 models. *Clim Dyn*, 1727–1738.
- greenhouse gases and sulphate aerosols, *Climate Dynamics*, 14, 369-383.
- Haile, G.G., Tang, Q., Moghari, S.M.H., Liu, X., Gebremicael, T.G., Leng, G., Kebede, S., Xu, X., & Yun, X. (2020). Projected impacts of climate change on drought patterns over East Africa.
- Hamidianpoor, M., Alijani, B., & Sadeghi, A.R. (2022). Identification of synoptic patterns of extreme precipitation in northeastern Iran. *Geographical Studies of Arid Regions*, 1(1), 1-16. [In Persian].
- Hejazizade, Z., & Sedaghat, M. (2010). Numerical Tracking of Middle Eastern Cyclones in the Cold Period of the Year. *Physical Geography Research Quarterly*, 41(69). [In Persian].
- Irannejad, P., Ahmadi-Givi, F., & Mohammadnejad, A. (2016). Effect of Mediterranean cyclogenesis centers on annual precipitation of Iran during 1960 to 2002. *Iranian Journal of Geophysics*, 3(1), 91-105. [In Persian].
- Kerlinger, F. Elazarji. P. (2016). *Multivariate Regression In Behavioral Research*. Hasan Saraei, Samt Publications. [In Persian].
- Khosh Akhlaq, F. (2016). *The Study Of Widespread Iranian Drought Using Synoptic Analysis*. doctoral thesis, Tabriz University. [In Persian].
- Khoshakhlagh, F., Ahmadi, N., & Karimi, M. (2019). Synoptic Analysis of the Effect of Global Warming on Atmospheric Levels Temperature Trends in Iran, *Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(109), 211-222. doi: 10.22131/sepehr.2019.35648. [In Persian].
- Khoshnafs, Kh. (2007). *The effect of Atlas fluctuations on rainfall in western Iran*. Master's thesis, Tabriz University. [In Persian].
- Krichak, S.O., Alpert, P., & Krishnamuriti, T.N. (1997). Red Sea Trough/Cyclone Development-Numerical Investigation. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 63, 159-169.
- Lashgari, H. (1999). the formation mechanism of the Red Sea convergence zone. *Geographical Research Quarterly*, 59-58, 167-184. [In Persian].
- Lashgari, H. (2008). Routing of the Sudanese low pressure system entering Iran. *Modares Journal of Humanities*, 2, 133-156. [In Persian].
- Lashkari, H. (2002). Tracking Sudanese Low Systems Entering Iran. *The Journal of Spatial Planning*, 6 (2), 133-157. [In Persian].
- Lashkari, H. (2003). Mechanism of formation, strengthening and development of low pressure center in Sudan and its role on rainfall in South and Southwest of Iran. *Geographical Research Quarterly*, 35(3). [In Persian].
- Lionello, P., Joans, B., Buzzi, A., Paul, D.- M. (2006). Cyclones in the Mediterranean regin: Climatology and effects on the environment, *Cyclones in the Mediterranean regin: Climatology and effects on the environment*. 4: 352-372. DOI: 10.1016/S1571-9197(06)80009-1
- Masoodian, S. A. (2012). A Synoptic Analysis of Cyclonic Activity During 1961-2003. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 1(1), 15-33. [In Persian].
- Miró, J.J., Estrela, M.J., Olcina-Cantos, J., & Martin-Vide, J. (2021). Future Projection of Precipitation Changes in the Júcar and Segura River Basins (Iberian Peninsula) by CMIP5 GCMs Local Downscaling. *Journal of Atmosphere*, 12: 879. https:// doi.org/10.3390/atmos12070879.
- Mofidi, A. & Azar, Z. (2004). synoptical investigation of the impact of Sudanese low-pressure systems on the occurrence of torrential rains in Iran. *Geographical Research Quarterly*, 77.

- [In Persian].
- Mofidi, A. & Azar, Z. (2013). synoptic climatology of torrential rains originating from the Red Sea region in the Middle East. *Geographical Research Quarterly*, 19(4), 71-93. [In Persian].
- Mohammadi, R., saligheh, M., Naserzadeh, M. H., & Akbari, M. (2020). Synoptic and dynamical analysis of the cyclonic occurrence of heavy rains during the cold period of western Iran. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 3(3), 224-241. [In Persian].
- Mostafaii H, Alijani B, Saligheh M. (2016). Synoptic Analysis of Widespread Heavy Rains in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 2 (4), 65-76. [In Persian].
- Nouri, H. & Ildarmi, A. (2013). analysis of synoptic conditions and dynamics of heavy rainfall events on the southern shores of the Caspian in comparison with Iran-Zamin. *Journal of Geography and Planning*, 16(41), 197-236. [In Persian].
- Poorkarim, R., Asakereh, H., faraji, A., & Khosravi, M. (2023). Trends analysis of changes in the number of the Mediterranean cyclones (1979-2018). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 9 (4):211-222. [In Persian].
- Radinovic, D. (1987). Mediterranean cyclones and their influence on the weather and climate, WMO, *PSMP Rep. Ser. Num 24*.
- Rasouli, A., Babaian, I., Qaemi, H., & Zovar Reza, P. (2013). Analysis of time series pressure centers of synoptic patterns effecting on seasonal rainfall in Iran. *Geography and Development*, 10(27), 77-88. [In Persian].
- Raziei, T., & Sotoudeh, F. (2017). Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(1), 133-147. doi: 10.22059/jesphys.2017.57958. [In Persian].
- Reiter, E. R. (1975). Handbook for Forecasters in the Mediterranean. Nav. Postgrad. Sch., Monterey, Ca.5-75, 344.
- Sabzi-Parvar, A.A. (2008). *floods formation in the synoptic systems of southwestern Iran*. Master's thesis, University of Tehran. [In Persian].
- Skiris, N., Sofianos, S., Gkanasos, A., Mantziafou, A., Vervatis, V., Axaopoulos, P., & Lascaratos, A. (2012). Decadal Scale Variability of Sea Surface Temperature in the Mediterranean Sea in Relation to Atmospheric Variability. *Ocean Dynam*, 62(1), 13–30.
- Steven, J., John, L., Fyfe, C. (2006). Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments: results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise. *Climate Dynamics*, 26, 713-728. DOI 10.1007/s00382-006-0110-3.
- Swiss, Re. (2020). Catástrofes Naturales en Tiempos de Acumulación Económica y Riesgos Climáticos. Informes Sigma Available online: <https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2020-02.html>.
- Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Flocas, H., & Maheras, P. (2006). Cyclones in the Mediterranean region: present and future climate scenarios derived from a general circulation model (HadAM3P). *Advances in Geosciences*, 7, 9-14.
- Trigo, I. F. & T. D. Davies. (1999). Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *J Climate*, 12,1685–1696. doi:10.1175/1520-0442(1999)012,1685: OCOCT.2.0.CO;2.
- Vahidi Assal, M. (1997). *Statistics and probability in geography*. (2), Payam Noor University Publications. [In Persian].
- Walsh, K. (2004). Tropical cyclones and climate change. Unresolved issues, *Clim. Res.* 27: 77–83.
- Xoplaki, E., González-Rouco, J. F., Luterbacher, J., and Wanner, H. (2004) Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and predictability. *Clim. Dyn*, 23, 63-78.
- Zaari, K. (2010). *Predicting temperature and precipitation changes in the Midwest of Iran in relation to the position and pressure of atmospheric action centers*. master's Thesis, under the guidance of Dr. Faramarz KHoshakhlaq, University of Tehran. [In Persian].
- Zarei, S. (2009). *A Synoptic Analysis of Cyclonic Activity over Iran in 2014*. Isfahan University, supervisor: Dr. Hojat Elah Yazdan Panah and Dr. Seyed Abolfazl Masoudian. [In Persian].