

Analyzing the Long-Term Changes in the Mediterranean-Red Sea Hybrid System

Roya Poorkarim¹, Hossein Asakereh^{✉2}, Abdollah Faraji³, Mahmood Khosravi⁴

1. Ph.D Student of Climate Change, Department of Geography, Faculty of Human Sciences, University of Zanjan, Iran
E-mail: roya_poorkarim@znu.ac.ir
2. Professor of Climatology, Department of Geography, Faculty of Human Sciences, University of Zanjan, Iran
✉ E-mail: asakereh@znu.ac.ir
3. Assistant Professor of Climatology, Department of Geography, Faculty of Human Sciences, University of Zanjan, Iran
E-mail: abfaraji@znu.ac.ir
4. Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Zahedan, Iran
E-mail: khosravi@gep.usb.ac.ir



How to Cite: Poorkarim, R; Asakereh, H; Faraji, A; & Khosravi, M. (2023). Analyzing the Long-Term Changes in the Mediterranean - Red Sea Hybrid System. *Geography and Development*, 21 (73),143-165.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2023.45588.3522>

Received:

7 May 2023

Received in revised form:

1 July 2023

Accepted:

3 July 2023

Published online:

1 June 2024

Keywords:

Low pressure centers,
Coupled low-pressure of
Mediterranean -Red Sea,
Iran, Red sea trough.

ABSTRACT

Different pressure centers and synoptic systems affect Iran's climate, and their changes can have significant climatic consequences. In this research, the trend of long-term changes in the number of coupled low-pressure of Mediterranean -Red Sea, as coupled low-pressure centers effective on Iran's rainy climate, was investigated. For this purpose, the geopotential height data of 1000 hp for the 40-year statistical period from 1987 to 2018 was extracted from the European Medium-Term Weather Forecast Center (ECMWF). In total, during this period, 97 low-pressure centers of the Mediterranean-Red Sea circulation were formed over the region. Based on the non-parametric method of chi-square test (chi-score), the trend of cyclone frequency changes was investigated. The results showed that during the investigated period, the number of coupled low-pressure of Mediterranean -Red Sea did not experience statistically significant changes in terms of decades and two semi-statistics. In examining changes on a smaller scale, cross-sectional changes were observed in four-year and two-year periods.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

1. Introduction

Many different synoptic systems affect Iran's climate, and their changes may lead to significant climatic consequences. One of Iran's rainfall climatic forcing is the Mediterranean-Sudan hybrid system (MSHS), which plays a vital role in Iran's precipitation (particularly torrential precipitation), primarily in the southwest, west, and occasionally over the whole country. Therefore, climate changes, especially the change in the frequency of activity of the MSHS, can cause evident and hidden consequences on Iran's precipitation climatology. Understanding the long-term behavior of this MSHS is of great scientific and

practical importance. The current study aims to reveal and investigate the trend of the occurrence of MSHS by adopting a non-parametric statistical method (chi-square method).

2. Methods and Material

To identify the changes in the MSHS frequencies, we adopted the 1000 hpa tropospheric height in 6 hours intervals from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), known ERA-Entrim. The data extracted for 10 W to 120 E and equator to 80 N included 0.25 x 0.25 degrees spatial resolution for 1979 to 2018 (40 years).

3. Results and Discussion

Our finding revealed that May experienced the maximum number of MSHS with a one-day duration. There were no MSHS in the autumn months. Examining the two-day duration, we found that the spring season included the maximum MSHS frequencies.

Examining the decadal changes of the one- and two-day MSHS, using the non-parametric chi-square test, there were no significant changes in the time and frequency of MSHS occurrence. This examination was also conducted on short time scales (e.g., two- and four-year sequences), which depicted an increasing trend in the five-year average number of MSHS, particularly in the final five - years of the understudied period (2011-2018). Examining the trend of the two-year average also illustrated significant statistical trends in two-time periods (1987-1990 and 2011-2014). In addition, the ten-year average showed an increase (from 1986 through 1979) and a decrease (for the period 1991-2010) in MSHS. Our findings agree with the results of other researchers in the field (e.g., Razmi 1389 and Alizadeh et al., 1380).

5. References

- Asakereh, H., Qaemi, H., Rezaei, SH (2016). Review mechanism of expansion and low pressure Red Sea, Geographical Planning of Space, No. 6 (21), 77-90.
https://gps.gu.ac.ir/article_41674.html?lang=en
- Asakereh, H., Hesami, N., Shahmohammadi, Z (2016). Synoptic analysis of heavy rainfall caused by cut-Off low in Bazoft basin (Case study: precipitation during March 8-13, 2010), Environment and water engineering, No. 4, 219-235.
https://www.jewe.ir/article_33982.html
- Asakereh, H., Tarkarani, F (2020). Some descriptive features and long - term changes of dry season over Iran, Geography and Development, No.18 (58),113-132.
[doi:10.22111/gdij.2020.5324](https://doi.org/10.22111/gdij.2020.5324)
<https://www.sid.ir/paper/359430/en>
- Asakereh, H., Zandkarimi, S (2021). Investigating changes in tropopause height and its relationship with some climate change profiles in Iran during recent decades, Doctoral dissertation, under the guidance of Dr. Hossein Asakereh. University of Zanjan.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/users/login>

4. Conclusion

An analysis of the frequency of Mediterranean-Red Sea hybrid cyclones reveals that the month of May experiences the highest number of cyclones on a monthly scale of one-day duration, while no cyclones were observed during the autumn months. When examining the two-day duration, it was found that the spring season has the highest number of cyclones. To investigate decadal changes in cyclone frequency between 1979 and 2018, the non-parametric chi-square test was employed to examine the number of hybrid cyclones for one and two-day durations. The results indicate that there were no statistically significant changes in cyclone frequency over this period. However, a comparison of consecutive years revealed an increasing trend in the number of cyclones during the last four years (2011-2018), which Masoodian (2013) attributes to global warming and the consequent increase in temperature. Further analysis of consecutive years showed a significant statistical trend for the periods 1987-1990 and 2011-2014.

Keywords: Low pressure centers, Coupled low-pressure of Mediterranean -Red Sea, Iran, Red sea trough.

- Asakereh, H., Khani Temelieyeh, 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, Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), No.31(122), 151-166.
<https://www.sid.ir/paper/1050868/en>
- Asakereh, H., Ashrafi, S., Tarkarani, F (2014). The relationship between precipitation status and daily temperature status in Iran. *Geography and Development*, No.12(36),81-94.
[doi: 10.22111/gdij.2014.1710](https://doi.org/10.22111/gdij.2014.1710)
https://gdij.usb.ac.ir/article_1710.html?lang=en
- Asakereh, H., Darand, M., Zandkarimi, S (2022). Investigating the relationship between change of Tropopause pressure's level (TPL) and cyclones associated with widespread precipitation (WP) in Iran, *Journal of the Earth and Space Physics*, No.48(1), 75-92.
[doi: 10.22059/jesphys.2021.319692.1007300](https://doi.org/10.22059/jesphys.2021.319692.1007300)
https://jesphys.ut.ac.ir/article_83555.html?lang=en
- Asakereh, H., Masoodian, A., Tarkarani, F., Zand karimi, S (2022). Tropospheric features associated with the onset and cessation of the rainy season in Iran, *Acta Geophysica* No.71(2), 1063-1084.
<https://doi.org/10.1007/s11600-022-00996>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11600-022-00996-0>
- 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*, No. 152 (2023) , 599-615.
<https://doi.org/10.1007/s00704-023-04378>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-023-04378-4>
- Asakereh, H., Masoodian, S.A., Tarkarani, F (2021). Variation in the spatial factors affecting precipitation in relation to the decadal changes of annual precipitation in Iran. *Geography and Environmental Planning*, No.32(3), 129-146.
[doi: 10.22108/gep.2021.127032.1395](https://doi.org/10.22108/gep.2021.127032.1395)
https://gep.ui.ac.ir/article_25816.html?lang=en
- 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.
<http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3231-fa.html>
- Razmi, Robab. (2010). Change of precipitation regime in Azarbajjan, Iran. Master Thesis. Supervisor: Hossein Asakereh. University of Zanjan.
<https://www.znu.ac.ir/members/supervisor/asakereh-hossein>
- Mofidi., A. Zarrin., A. (2005). Synoptic analysis of the nature of Sudan low pressure systems (Case Study: December 2001 Storm). *Territory*, 2(6), 26-50.
https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_6026.html



واکاوی روند تغییرات فعالیت مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ

رؤیا پور کریم^۱، دکتر حسین عساکره^{۲*}، دکتر عبدالله فرجی^۳
دکتر محمود خسروی^۴

مقاله پژوهشی

چکیده

مراکز فشار و سامانه‌های همدیدی گوناگونی اقلیم ایران را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند که تغییرات آن‌ها می‌تواند پیامدهای قابل توجه اقلیمی به همراه داشته باشد. در این پژوهش واکاوی روند تغییرات بلندمدت تعداد مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ، به‌عنوان مراکز چرخندزایی مؤثر بر اقلیم بارشی ایران، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای دوره آماری ۴۰ ساله ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۸ از مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوّی اروپا (ECMWF) استخراج شد. در مجموع طی این دوره، ۹۷ مرکز کم‌فشار چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ بر منطقه مورد مطالعه شکل گرفت. براساس روش ناپارامتری آزمون‌خی‌دو روند تغییرات تعداد چرخندهای توأمان بررسی شد. نتایج نشان داد که در طی دوره مورد بررسی، تعداد چرخندهای توأم دریای مدیترانه-دریای سرخ به لحاظ آماری متغیرهای مورد مطالعه (زمان و تعداد مراکز چرخندی توأمان) تغییرات معنی‌داری به‌صورت دهه‌ای و نیز بین دو نیمه دوره آماری تجربه نکرده‌اند. به‌منظور بررسی دقیق‌تر و با احتمال اینکه تغییرات می‌تواند در مقیاس کوتاه‌تر رخ دهد، قیاس بین نمونه‌های متعدد انجام شد و مبنای کار تغییرات دوره‌های دو و چهارساله قرار گرفت و تغییرات مقطعی در این دوره‌ها به لحاظ آماری در سطح معنی‌داری (۰/۰۴۵) مشاهده شد.

جغرافیا و توسعه، شماره ۷۳، زمستان ۱۴۰۲
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۷
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲
صفحات: ۱۶۵-۱۴۳



واژه‌های کلیدی:
مراکز چرخندی، چرخندهای توأم دریای مدیترانه-دریای سرخ، ایران.

مقدمه

سامانه‌ها از منشأ دریای مدیترانه و دریای سرخ اقلیم بارشی کشور را به شکل عمده و غالباً فراگیر تحت تأثیر قرار می‌دهند.

دریای مدیترانه یک حوضه نیمه‌بسته است که بیشینه طول آن از غرب به شرق ۴۰۰۰ کیلومتر و از شمال به جنوب ۱۲۰۰ کیلومتر است. این پهنه آبی که در شمال (اروپا) و جنوب (آفریقا) تقریباً با کوه‌ها احاطه شده است (Zecchetto & biasio, 2007: 814) از مناطق مهم چرخندزایی در جهان به‌شمار می‌آید (Ulbrich, 2009: 121). بررسی اقلیم‌شناسی شدت، مدت و تداوم چرخندهای دریای مدیترانه، نشان داد که تعداد نواحی چرخندزایی در غرب مدیترانه نسبت به قسمت شرقی بیشتر است (Trigo, 1999: 1696).

تغییرات آب‌وهوایی می‌تواند به‌طور جدی بر محیط زیست و جامعه تأثیر بگذارد و اثرات نامطلوبی بر دسترسی به آب، بهداشت، امنیت غذایی، تنوع زیستی و بهره‌وری کشاورزی برجای نهد (Parry, 2000: 8; Walther et al, 2002: 389; Matthies & Menne, 2009: 8). بنابه دلایل مختلف و به‌ویژه به‌دلیل موقعیت جغرافیایی کشور ایران، این کشور در طول سال از ساختارهای آب‌وهوایی سرزمین‌ها و پهنه‌های آبی مجاور (نظیر سیبری و دریای سیاه در شمال، دریای مدیترانه در غرب، بیابان‌های آفریقا، دریای سرخ و عربستان در جنوب غربی و دریای عرب و سرزمین‌های هندوستان در شرق) متأثر می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۱: ۸۴). در این میان

میزان تأثیر ناوۀ دریای سرخ بر بارش در هر یک از ماه‌ها و الگوهای مختلف، متفاوت است. بیشترین پهنه و درصد افزایش بارش در زمان رخداد الگوی میانی ناوۀ دریای سرخ، مربوط به اردیبهشت و خرداد، در زمان الگوی غربی مربوط به بهمن و اسفند و در زمان الگوی شرقی مربوط به اردیبهشت و مهر است (قائدی، ۱۳۹۰: ۶۳). برخی پژوهش‌ها نیز نشان داد که بیشترین زمان گسترش کم‌فشار دریای سرخ در ماه‌های آبان و آذر و کم‌ترین آن مربوط به ماه‌های گرم سال است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۷). علاوه بر این، در مقیاس بلندمدت نیز معلوم شد که فشار هسته مرکزی سامانۀ کم‌فشار سودانی در فصل زمستان دارای تغییرات معنی‌داری است و از تعداد فعالیت این سامانه و نیز بارش‌های توأم با آن‌ها کاسته شده است (فنوندی و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۳).

سامانه کم‌فشار سودانی یک سامانۀ ترمودینامیک است (لشکری، ۱۳۸۲: ۱) و کم‌فشار ایجاد شده در ناحیۀ مدیترانه منشأ دینامیکی دارد (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۲۹). بنابراین منشأ این دو سامانه با هم متفاوت است و همان‌گونه که در بالا اشاره شد، ناوۀ تراز زیرین در شرق مدیترانه سبب فعال شدن ناوۀ دریای سرخ می‌شود، بروز و ظهور چرخندهای ناحیۀ دریای سرخ-سودان بعضاً همزمان با چرخندزایی مدیترانه آغاز می‌شود و تشدید فعالیت‌های آن دو از فرایندهای بازخوردی دو سامانه است. در صورت توأم شدن ناوۀ دریای سرخ و ناوۀ تراز زیرین در شرق مدیترانه گاهی بارش‌های شدید و سیل‌آسا در بخش‌های غربی و جنوب‌غربی ایران رخ می‌دهد.

علیچانی (۱۳۶۶) بر این باور است که مراکز کم‌فشار دریای سرخ و جنوب دریای مدیترانه فقط در آوریل و می بر جنوب غرب ایران گسترش دارند. لشکری (۱۳۸۱) نیز نشان داد که از پنج مسیر سامانه‌های سودانی که وارد ایران شده و باعث ایجاد بارندگی

بارش‌های ایران در دوره سرد سال عمدتاً به وسیلۀ سامانه‌های مهاجر دریای مدیترانه تأمین می‌شود. این سامانه‌ها عمدتاً رطوبت خود را هم از این دریا فراهم می‌کنند (علیچانی، ۱۳۷۴). تقویت رطوبتی توده هوای مدیترانه‌ای در فصل سرد به فعالیت‌های فرارفتی در شرق این دریا (برای مثال در کشورهای عراق و ایران) منتهی می‌شود. رشته‌کوه‌های این مسیر (نظیر رشته‌کوه‌های زاگرس) نقش بسیار مهمی در تغییرات زمانی و مکانی بارش دارد. ناحیۀ مدیترانه اغلب منشأ شدیدترین چرخندهایی است که با سیلاب‌ها و توفان‌های شدید قرین هستند (Kotroni et al, 2000: 33-323; Jnsa, 2000: 580). با این حال اقلیم بارشی مدیترانه‌ای با یک الگوی پیچیده از تباین‌های مکانی گسترده و تغییرات-نوسان‌های فصلی غیرقابل پیش‌بینی مشخص می‌شود (Campins et al, 2010: 1596-1614; Ramos, 2001: 163-170) که در ارتباط با تغییرات جهانی برخی محتویات و مؤلفه‌های جوّی-اقلیمی است

کم‌فشارهای ناحیۀ دریای سرخ-سودان در ابتدای شکل‌گیری در فصل زمستان، گرمایی یا ترمودینامیکی و سپس دینامیکی هستند. خاستگاه ناوۀ دریای سرخ، کم‌فشار سودانی است که بخشی از یک سامانۀ حرارتی کم‌فشار استوایی/جنب‌حاره است و در صورت فراهم‌بودن شرایط دیگر و وجود ناوهای در تراز زیرین جوّ منجر به بارش‌های شدیدی در شرق مدیترانه و حتی گاهی بخش‌های غربی و جنوب‌غربی ایران نیز شامل می‌شود (Elfandy & Solot, 1950: 375؛ لشکری، ۱۳۷۵: ۶۳؛ مفیدی، ۱۳۷۸: ۵۵-۴۷؛ لشکری، ۱۳۸۱: ۱۲۳؛ لشکری، ۱۳۸۲: ۱۸-۱؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸۴: ۴۳؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸۴: ۱۱۴؛ قائدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۳؛ مسعودیان، ۱۳۹۰: ۶۳؛ عساکره و خانی، ۱۴۰۱: ۱۵۱). ناوۀ دریای سرخ در دوره سرد سال به سمت شرق دریای سرخ، توسط جریان بادهای غربی روی ایران نیز گسترش می‌یابد. الگوهای جوّی متعددی همزمان با فعالیت ناوۀ دریای سرخ تشخیص داده شده است (قائدی، ۱۳۹۰: ۶۳).

جدا شده و به سوی شمال شرق حرکت می‌کند، غرب، جنوب‌غرب و جنوب ایران را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. کم‌فشار دینامیکی مدیترانه‌ای حین حرکت به سوی شرق و جنوب شرق، از طریق تزریق هوای سرد به م فشار سودان، باعث دینامیکی شدن این کم‌فشار شده و سامانه ترکیبی موسوم به مدیترانه‌ای-سودانی تشکیل می‌شود که نمونه‌ای از برهم‌کنش توده‌های قطبی با توده‌های حاره‌ای است (آزادی و همکاران، ۱۳۸۲: ۱۳).

با توجه به آنچه در بالا گفته شد، یکی از واداشتهای بارشی ایران، سامانه ترکیبی مدیترانه-سودان است که با فعالیت گاه‌وبی‌گاه نقش عمده‌ای در بارش (به‌ویژه بارش سیلابی) جنوب‌غرب، غرب و بعضاً کل کشور (شکری و جعفری، ۱۴۰۰: ۵۵) ایفا می‌کند؛ از این رو تغییرات اقلیمی به‌ویژه تغییر تعداد دفعات فعالیت این سامانه ترکیبی می‌تواند پیامدهای آشکار و پنهان بر اقلیم بارشی ایران برجای نهد. شناخت رفتار بلندمدت این سامانه ترکیبی از اهمیت علمی و عملی بسیار برخوردار است. هدف از مطالعه حاضر، بررسی روند تغییرات تعداد فعالیت مراکز چرخندی توأم مدیترانه-دریای سرخ براساس روش‌های آماری در دوره مورد مطالعه است. در این راستا از روش ناپارامتری خی‌دو (کای اسکور) برای آشکارسازی روند تعداد مراکز چرخندی توأمان بهره گرفته شد. برای دستیابی به هدف پژوهش حاضر، سؤال زیر مطرح است:

آیا فراوانی الگوهای ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ در طی دوره مورد مطالعه دچار تغییر شده است؟

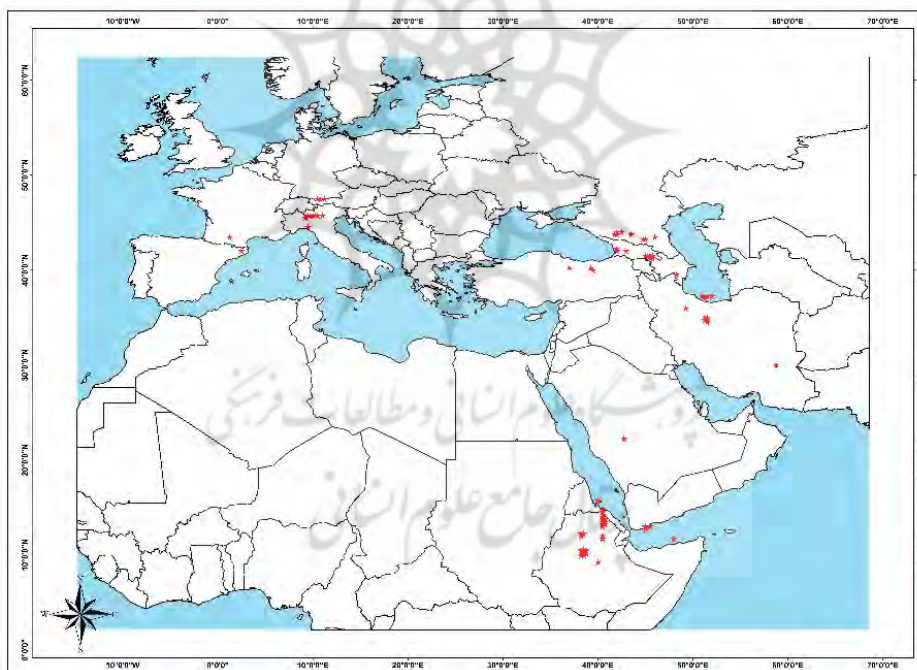
می‌شوند، دو مسیر به صورت ادغام شده با چرخندهای مدیترانه‌ای وارد ایران می‌شوند. در این هنگام وجود ناوه عمیق در شرق مدیترانه که انتهای آن تا نیمه شمالی دریای سرخ کشیده شده باشد، به همراه انتقال شرق‌سوی آن به سمت مرکز پرفشار جنوب عربستان نقش مهمی در چرخندزایی و ایجاد دوره‌های خیلی مرطوب در منطقه غرب ایران ایفا می‌کند.

همزمانی و تقارن سامانه‌های مدیترانه-دریای سرخ در ارتباط نزدیک با شرایط جوئی و به‌ویژه موقعیت و سرعت رودباد ترازهای بالای جو است. کریچاک^۱ و همکاران (۱۹۹۷) با مطالعه موقعیت متوسط رودباد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال (به همراه هسته سرعت آن در فصل سرد) دریافتند که در فصل‌های گذار (پاییز و بهار) بخش جنوبی مدیترانه شرقی و نیمه شمالی دریای سرخ همواره در تسلط هسته رودباد جنب حاره قرار دارد؛ در حالی که در زمستان رودباد و هسته سرعت آن عمدتاً بر ساحل شمالی آفریقا و مدیترانه مرکزی جای می‌گیرند؛ بنابراین، از دیدگاه دینامیکی، محل استقرار ناوه دریای سرخ و نیز ناوه مدیترانه در همزمانی این دو سامانه بسیار تعیین‌کننده است. مشکواتی و مرادی (۱۳۸۳) نشان دادند که چنانچه فرارفت تاوایی نسبی مثبت در شرق مدیترانه یا شمال دریای سرخ اتفاق افتد، ناوه دریای سرخ به سوی شرق مدیترانه حرکت می‌کند و این سامانه آب‌وهوایی غرب و شمال‌غرب ایران را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. اگر فرارفت تاوایی نسبی مثبت در شمال شرق دریای سرخ صورت گیرد، سلول‌های کم‌فشار کوچکی از ناوه دریای سرخ

داده‌ها و روش‌ها

مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ، بر حضور چرخندهای این دو ناحیه به‌طور همزمان دلالت دارد و منظور چرخندهایی است که همزمان روی دریای سرخ و دریای مدیترانه شکل گرفته‌اند و سپس با هم ادغام می‌شوند (لشکری، ۱۳۸۱: ۱۳۵-۱۳۳) و نیز در مسیر گذر، موجبات بارش در ایران را مهیا می‌سازند. در این پژوهش درجه‌ت ردیایی تغییرات تعداد مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ، داده‌های ۶ ساعته ارتفاع تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال جو از پایگاه داده‌ای مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جو اروپایی (ECMWF)، نسخه ERA-Entrim در مختصات جغرافیایی

بین ۱۰-درجه تا ۷۰ درجه و ۰ تا ۸۰ درجه عرض شمالی برای سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸ (۴۰ سال) استخراج شده است (شکل ۱). این تراز جو و محدوده مورد مطالعه برای ردیابی چرخندها، در مطالعات پیشین نیز به‌کار گرفته شده‌اند (مسعودیان، ۱۳۹۱: ۲۴؛ کاوسی و محمدی، ۱۳۹۳: ۹۹؛ موحدی و براتی، ۱۳۹۴: ۲۱؛ خانی‌تملیه، ۱۴۰۰: ۳۲؛ Almazroui & Awad, 2016: 99؛ همکاران، ۲۰۲۲: ۱۰۸۴-۱۰۶۳؛ عساکره و همکاران، ۲۰۲۳: ۶۱۵-۵۹۹). در پژوهش حاضر داده‌های روزانه پایگاه داده ECMWF با توان تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه قوسی برای بازه زمانی مورد مطالعه استفاده شد. عساکره و همکاران (۲۰۲۳) نیز از این قدرت تفکیک مکانی استفاده کرده‌اند.



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه برای ردیابی چرخندها

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

در هر یاخته نسبت به همسایگان آن کمینه باشد و میانگین وزنی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل بر آن یاخته و یاخته‌های همسایه آن دست کم ۱۰۰ ژئوپتانسیل متر در هزار کیلومتر باشد (مسعودیان، ۱۳۹۱: ۲۵)، یاخته مورد نظر به‌عنوان مرکز چرخند در نظر گرفته شد.

برای شناسایی و ردیابی مراکز چرخندی از شیو منطقه‌ای داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد؛ به این ترتیب ارتفاع ژئوپتانسیل هر یاخته نسبت به یاخته‌های همسایه مورد ارزیابی قرار گرفت و در صورتی که ارتفاع ژئوپتانسیل

$$\overline{GF} = \frac{1}{\sum_{i=1}^9 wi} \times \sum_{i=1}^9 wiGF_i$$

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

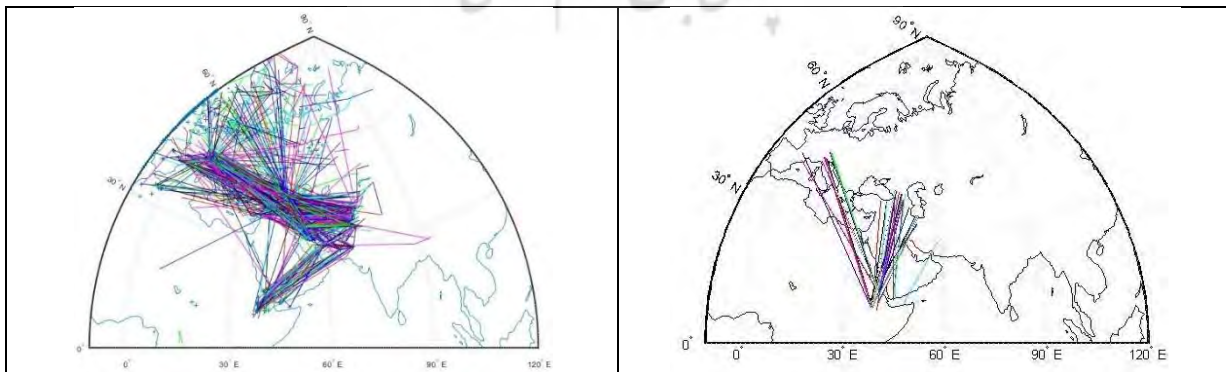
با اعمال شرایط بالا مراکز کم‌فشار شناسایی شدند. شکل ۲-الف، مسیر همه چرخندهای وارد شده به محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این شکل ۱۶۶۳۶ مسیر چرخندی قابل مشاهده است، چرخندها از عرضهای جغرافیایی مختلف سرچشمه می‌گیرند، بیشترین مسیر ورودی چرخندها از روی دریای مدیترانه است، سایر مسیرها از دریای سرخ، مناطق جنب قطبی، اقیانوس اطلس شمالی سرچشمه می‌گیرند. شکل ۲-ب، مسیر چرخندهای ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ را برای دوره ۴۰ ساله (۱۹۷۹-۲۰۱۸) نشان می‌دهد. تعداد ۹۷ مرکز چرخندی ترکیبی در این بازه استخراج شد. تعداد استخراج شده این چرخندها مربوط به همه ماهها به جز ماههای اکتبر، نوامبر و دسامبر است. در این ماهها هیچ مرکز چرخندی ترکیبی مشاهده نشد. بیشترین ورود مسیر چرخندها به ایران از نیمه غربی ایران است. این چرخندها به سمت عرضهای جغرافیایی بالا حرکت می‌کنند و به داخل کشور راه پیدا نمی‌کنند. به لحاظ زمانی بیشترین تعداد مراکز چرخندی در دهه اول، سالهای ۱۹۷۹-۱۹۸۸ رخ داده است که تعداد این مراکز ترکیبی ۲۴ است.

شکل ۲-ب مسیره‌های چرخندی که در طول دوره آماری مورد بررسی رخ داده است را نشان می‌دهد. با توجه به تعریفی که برای مطالعه مراکز چرخندی در این پژوهش عرضه شد، مراکز چرخندی به گستره چرخند اشاره ندارد؛ زیرا چه‌بسا یک مرکز براساس تعریف ارائه شده، در شرق مدیترانه شکل گرفته باشد، اما مدیترانه، شمال آفریقا، جنوب اروپا و بخش‌هایی از خاورمیانه را پوشش دهد. همچنین در تحقیق حاضر چرخندهایی اختیار شدند که بر ایران تأثیر می‌گذارند. شیو ارتفاع ژئوپتانسیل از طریق رابطه (۱) محاسبه شده است (بیات و همکاران، ۱۳۹۴: ۴؛ براتی، ۱۳۸۹: ۲۹).

$$GF = -\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \hat{j}\right) \quad (1)$$

$$G = \frac{9}{8} m \cdot s^{-2} \quad \varphi = hgt \times g$$

در تابع بالا، ∂y و ∂x به ترتیب جابه‌جایی در امتداد محور x و y است. $\partial \varphi$ میانگین وزنی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل هر سلول نیز از طریق رابطه (۲) محاسبه شده است. در رابطه \overline{GF} میانگین وزنی، w_i وزن هر سلول، φ_s مدار گذرنده از جنوب سلول، φ_n مدار گذرنده از شمال سلول است (مسعودیان، ۱۳۹۱: ۲۵).



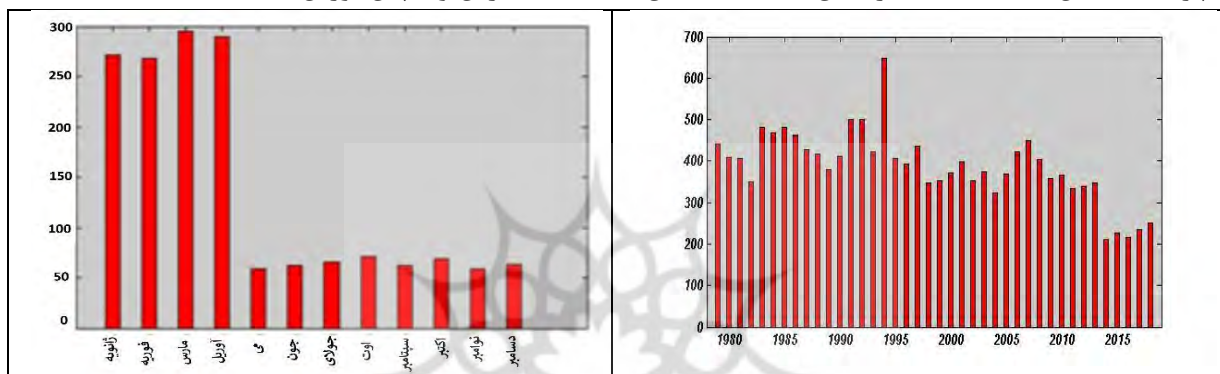
شکل ۲: الف) مسیر کل چرخندهای وارد شده به محدوده مورد مطالعه و

ب) مسیر چرخندهای ترکیبی در طول دوره آماری مورد بررسی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

شکل ۳-الف، نمودار تعداد مسیر کل چرخندهای واردشده به محدوده مورد مطالعه را براساس سال نشان می‌دهد. براساس شکل، به‌طور متوسط حدود دویست مسیر چرخندی در هر سال به محدوده مورد مطالعه وارد می‌شود. می‌توان یک الگوی پلکانی در سری‌های زمانی ارائه‌شده مشاهده کرد. در این سری زمانی از ابتدای دوره آماری تا سال ۱۹۹۴ بالاترین سطح تعداد چرخندها قابل‌مشاهده است. از سال ۱۹۹۵ تا سال

شکل ۳-ب، نمودار تعداد مسیر کل چرخند واردشده به محدوده مورد مطالعه را براساس ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. بیشینه تعداد مسیرهای چرخندی مربوط به ماه مارس و سپس آوریل است.



شکل ۳: الف) مسیر کل چرخندهای واردشده به محدوده مورد مطالعه براساس سال‌های مورد مطالعه و ب) مسیر کل چرخندهای واردشده به محدوده مورد مطالعه براساس ماه‌های مختلف
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

بلندمدت (روند) این چرخندهای ترکیبی با استفاده از روش ناپارامتری خی‌دو واری و بررسی شد. آماره آزمون خی‌دو (χ^2) آزمونی ناپارامتری، ساده و پرکاربرد برای اهداف مختلف (نظیر نیکویی برازش، همبستگی-استقلال، آزمون توزیع آماری) است که روی داده‌های اسمی و رتبه‌ای به کار می‌رود (عساکره، ۱۳۹۰؛ دلاور، ۱۳۹۲؛ به نقل از پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۱۰). در بررسی همبستگی متغیرها این آزمون بر واری و ردیابی سازگاری یا ناسازگاری دو سری مشاهدات تأکید دارد. یکی از رویکردها در مطالعه همبستگی، بررسی همبستگی رویدادهای اقلیمی با زمان است که به «آشکارسازی روند» موسوم است. در این زمینه مقادیر یک رویداد (O_{ij}) با مقادیر مورد انتظار آن (E_{ij}) مقایسه می‌شود (عساکره، ۱۳۹۶: ۱۸۱).

به‌منظور مطالعه رخداد توأم مراکز چرخندی دریای مدیترانه-دریای سرخ ابتدا مراکز کم‌فشار محدوده ارائه‌شده در شکل ۱-ب طی دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تداوم‌های مراکز چرخندی ترکیبی برای هر ماه و نیز برای هر سال به‌دست آمد. منظور از تداوم مراکز کم‌فشار، توالی یک یا چند روزه مراکز ناوه است. سپس ردیابی مراکز چرخندی توأم با تداوم‌های یک‌روزه و دو روزه استخراج شد. براساس محاسبات انجام‌شده، در طول این دوره، ۹۷ مرکز کم‌فشار ترکیبی مشاهده شد که ۸۳ مرکز متعلق به تداوم‌های یک روزه و ۱۴ مرکز متعلق به تداوم‌های دو روزه بود. از این تعداد در طی تداوم‌های یک‌روزه سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۸۶، ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ (با ۴ مورد) بیشترین تعداد رخدادها را به خود اختصاص داده‌اند. ضمن ارائه مشخصات توصیفی این مراکز، تغییرات

دنباله بالایی توزیع χ^2 با $d.f = (r-1)(c-1)$ به عنوان ناحیه رد کردن فرض صفر (فقدان روند) در سطح معنی داری α به کار می رود (موحدی و مسعودیان، ۱۳۹۴: ۷). به منظور واریسی و بررسی تغییرات تعداد مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ، طول دوره آماری به چهار دهه (منتهی به سال ۲۰۱۸) تقسیم شد، مقادیر مربوط برای دهه‌های متوالی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. برای بررسی بیشتر و به منظور ارزیابی نوسان‌های دو و چهار ساله، بازه زمانی مورد مطالعه به دوره‌های دو و چهارساله تقسیم و نوسان‌های در این بازه‌های زمانی بررسی شد.

یافته‌های تحقیق

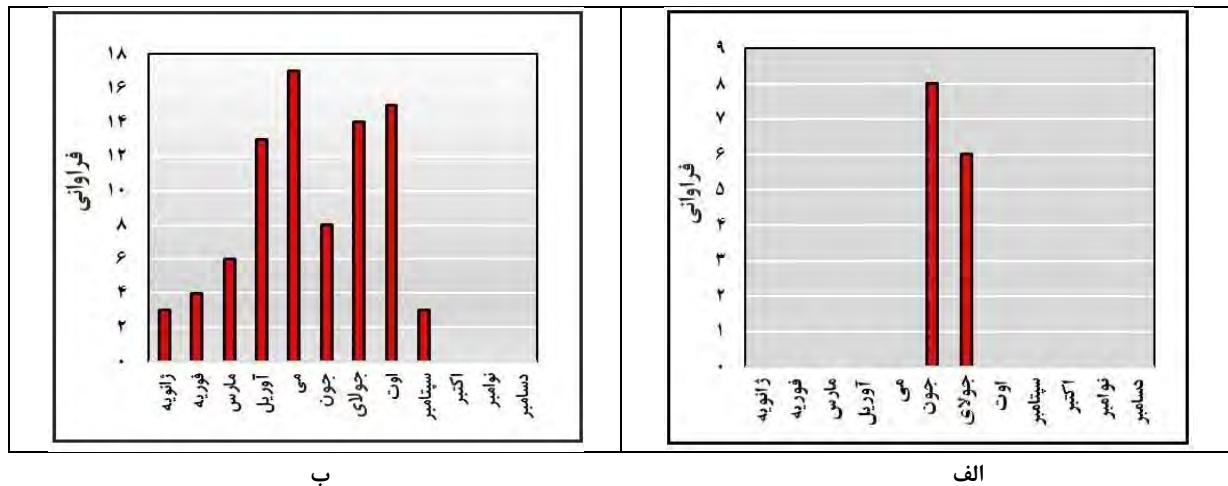
- توزیع زمانی تعداد مراکز چرخندی توأم مدیترانه-سرخ توزیع ماهانه تعداد مراکز چرخندی توأم مدیترانه-دریای سرخ با تداوم یک‌روزه در شکل ۴-الف ارائه شده است. می‌توان دید که به استثنای ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر، فعالیت توأم چرخندها در بقیه ماه‌ها محتمل است. ماه می با ۱۷ رخداد، بیشینه تعداد مراکز چرخندی توأم یک‌روزه را به خود اختصاص داده است. ماه‌های اوت، جولای و آوریل در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. شکل ۴-ب توزیع ماهانه تعداد رخداد مراکز کم‌فشار چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ را با تداوم‌های دوروزه نمایش می‌دهد. چرخندهای یک‌روزه، چرخندهای با طول عمر یک‌روز و چرخندهای دو روزه، چرخندهای با طول عمر دو روز هستند. نتایج گویای این واقعیت است که این رویداد تنها در طی ماه‌های جون و جولای رخ داده است.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (E_{ij} - O_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (3)$$

$$E_{ij} = \frac{R_i \times C_j}{n} \quad (4)$$

میزان χ^2 براساس رابطه (۱) مجموع تمام اختلافات استاندارد شده مقادیر مشاهداتی و مورد انتظار است. به عبارت دیگر این آماره بیان می‌دارد وقتی متغیرها (رویداد اقلیمی و زمان) مستقل باشند، فراوانی مشاهده شده با فراوانی مورد انتظار به چه میزان با هم تفاوت دارند. دامنه آماره χ^2 بین صفر تا بی‌نهایت است و گویای این است که اگر مقادیر تفاوت فراوانی‌ها کوچک و نزدیک به صفر باشد، می‌توان گفت دو متغیر همبسته هستند و اگر تفاوت فراوانی‌ها بزرگ باشد، نشان از عدم ارتباط بین متغیرهاست؛ بنابراین اگر فراوانی‌های مشاهده شده شبیه به فراوانی‌های مورد انتظار باشد، χ^2 دو به‌طور نسبی کوچک و نزدیک به صفر می‌شود. در این حالت می‌توان گفت دو متغیر احتمالاً همبسته باشند؛ اما اگر فراوانی مشاهده شده و مورد انتظار متفاوت باشند، χ^2 دو مقدار بزرگی خواهد داشت و این امر گویای عدم رابطه بین متغیرهاست (عساکره، ۱۴۰۰: ۱۸۱) درجه آزادی برای آماره χ^2 براساس جدول توافقی $r \times c$ (تعداد ستون‌ها \times تعداد سطرها) برابر است با:

$$d.f = (r-1)(c-1) \quad (5)$$



شکل ۴: الف) نمودار توزیع ماهانه تعداد مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه دریای سرخ تداوم‌های دو روزه و ب) نمودار توزیع ماهانه تعداد مراکز کم‌فشار چرخندی ترکیبی تداوم‌های یک‌روزه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

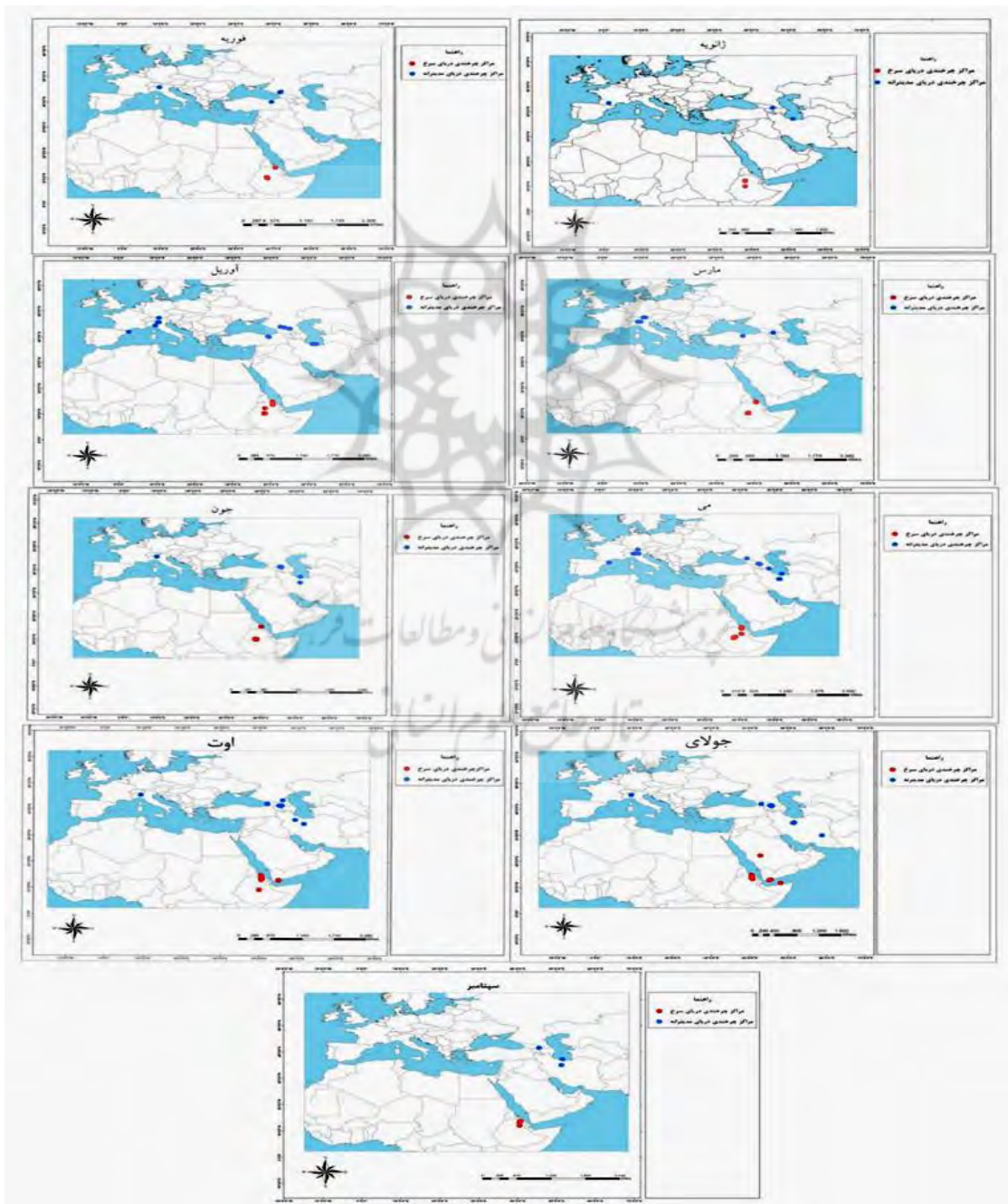
توزیع مکانی مراکز چرخندی ترکیبی

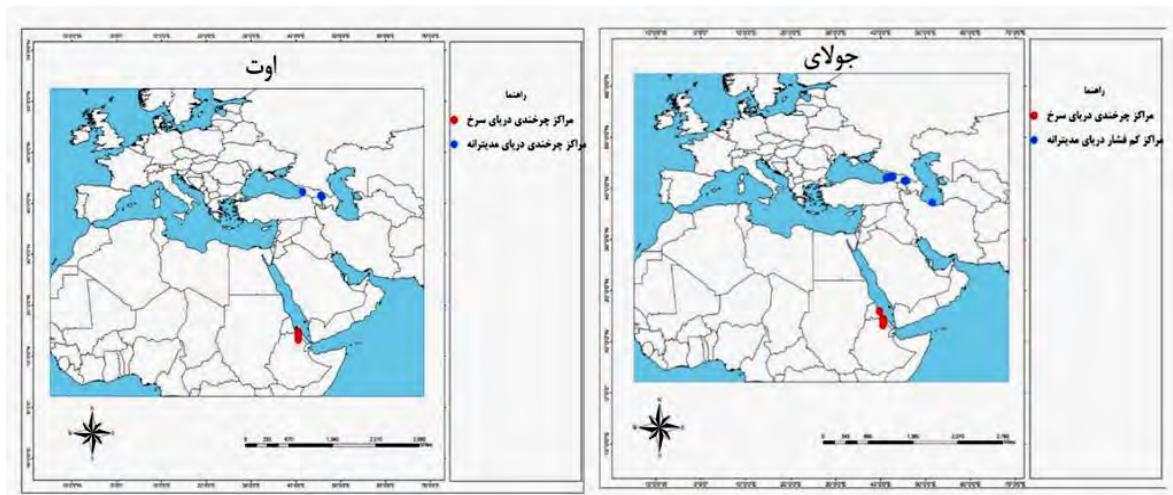
شکل ۵-الف توزیع مکانی مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ را برای تداوم‌های یک‌روزه نشان می‌دهد. براساس این شکل در طی ماه ژانویه، سه مرکز کم‌فشار چرخندی به‌صورت ترکیبی قابل‌مشاهده است که مراکز کم‌فشار روی دریای خزر، کشور گرجستان و فرانسه و در محدوده دریای سرخ روی کشور اتیوپی تشکیل شده‌اند. شکل‌گیری مراکز چرخندی در طی ماه فوریه با چهار مرکز روی کشورهای ترکیه، روسیه، گرجستان، ایتالیا، اتیوپی و دریای سرخ مشخص شده‌اند. در طی ماه مارس مراکز کم‌فشار چرخندی در ترکیه، گرجستان، ایتالیا، اتریش، آلمان دریای سرخ و اتیوپی تشکیل شده‌اند. در ماه آوریل چهارده مرکز کم‌فشار ترکیبی دریای سرخ-مدیترانه تشکیل شده که در ترکیه، روسیه، ایتالیا، اسپانیا، آلمان، اریتره و اتیوپی قرار گرفته‌اند. بیشینه مراکز چرخندی با هفده مرکز کم‌فشار در ماه می تشکیل شده است. این مراکز در قسمت‌هایی از کشورهای ایران، آذربایجان، ارمنستان، گرجستان، روسیه، ایتالیا، فرانسه و سوئیس قابل‌مشاهده هستند. همچنین عمده تمرکز مراکز کم‌فشار ترکیبی در دریای سرخ بر اریتره و اتیوپی است. در ماه جون هشت مرکز چرخندی تشکیل شده است که این مراکز روی کشورهای ایتالیا، گرجستان، شمال ایران،

اتیوپی و دریای سرخ وجود دارند. در طی ماه جولای مراکز کم‌فشار ترکیبی نسبت به ماه جون افزایش پیدا کرده است و وسعت بیشتری پیدا کرده است. عمده تمرکز بر کشورهای ایران، ایتالیا، آذربایجان، گرجستان است. مراکز چرخندی علاوه بر اتیوپی، اریتره و دریای سرخ به روی عربستان نیز منتقل شده است. در ماه اوت شرایط مشابه با ماه جولای حکم‌فرماست و پانزده مرکز کم‌فشار ترکیبی در طی بازه مورد مطالعه تشکیل شده است که همانند ماه قبلی روی کشورهای ایران، ایتالیا، گرجستان، روسیه، اتیوپی، اریتره و دریای سرخ استقرار یافته‌اند. در ماه سپتامبر تعداد مراکز چرخندی به‌شدت کاهش یافته است و محدود به مناطق ایران، گرجستان و اتیوپی شده است. در طی ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر مراکز کم‌فشار چرخندی ترکیبی مشاهده نشد. شکل ۵-ب، موقعیت مراکز چرخندی تداوم‌های دو روزه مدیترانه-دریای سرخ در طی ماه‌های اوت و جولای را نشان می‌دهد. در طی ماه جولای هشت مرکز ترکیبی قابل‌رؤیت است که این مراکز در کشورهای گرجستان، شمال ایران، اتیوپی و دریای سرخ تشکیل شده‌اند. در طی ماه اوت شش مرکز کم‌فشار چرخندی ترکیبی تشکیل شده است که همانند ماه قبل در کشورهای گرجستان و اتیوپی استقرار یافته‌اند. همچنین می‌توان گفت در طی ماه‌های فصل پاییز (ژانویه، فوریه و

شده است و مراکز چرخندی و درجهت حرکت مراکز چرخندی به طرف شرق تا نواحی داخلی ایران امتداد یافته است. تفاوت قابل ملاحظه در بین ماه‌های مورد بررسی مربوط به فصل بهار و ماه‌های جولای، اوت و سپتامبر است که مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ به داخل مرزهای ایران تا مناطق جنوب شرقی نیز نفوذ پیدا کرده‌اند.

تعداد مراکز چرخندی افزایش یافته است و مراکز واقع در محدوده جنوب دریای سرخ به طرف عرض‌های شمالی‌تر جابه‌جا شده است. همچنین مراکز چرخندی ترکیبی در محدوده دریای مدیترانه به طرف غرب پیشروی داشته‌اند. در طی ماه‌های آوریل، می و جون شباهت در محل تشکیل مراکز چرخندی قابل مشاهده است؛ با این تفاوت که در ماه جون از تعداد مراکز چرخندی کاسته





ب

شکل ۵: الف) موقعیت توزیع مکانی مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ تداوم‌های یک‌روزه و ب) موقعیت توزیع مکانی مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ تداوم‌های دو روزه تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ بوده است. این روند کاهشی در دهه سوم نیز مشهود است. در دهه چهارم تعداد مراکز چرخندی نسبت به دوره دوم و سوم روند افزایشی را تجربه کرده است؛ اما می‌توان نتیجه گرفت تعداد مراکز چرخندی در دهه اول نسبت به سایر دوره‌ها بیشتر بوده است و به مرور این روند کاهش یافته است. نتایج این مرحله از تحقیق، با تحقیق بیات و همکاران، ۱۳۹۶ و کاترین‌نیشن و همکاران^۱ (۲۰۱۴) منطبق است.

در بررسی تعداد مراکز چرخندی ترکیبی با تداوم‌های دو روزه مشخص شد، در بازه مورد مطالعه آماری ۱۴ مرکز چرخندی دو روزه (۷ رویداد) مشاهده شد. دهه اول و سوم دارای بیشینه تعداد مراکز چرخندی میجی باشند؛ اما در دهه چهارم ۲۰۱۸-۲۰۰۹ هیچ مرکز کم‌فشار چرخندی دو روزه مشاهده نشد.

- تحلیل تغییرات زمانی تعداد چرخندهای ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ

برای بررسی چرخندهای ترکیبی، دوره آماری مورد مطالعه به چهار دهه تقسیم شد. جدول ۱، تعداد مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ با تداوم‌های یک‌روزه را طی دهه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. براساس اطلاعات مندرج در این جدول دهه اول ۱۹۷۹-۱۹۸۸ تعداد مراکز چرخندی ۲۴ است. بیشینه تعداد مراکز چرخندی طی سال‌های ۱۹۸۴ و ۱۹۸۶ (تا ۴ مرکز کم‌فشار) است. همچنین در سال ۱۹۸۲ هیچ مرکز چرخندی توأم با تداوم‌های یک‌روزه مشاهده نشد. با بررسی دهه دوم ۱۹۹۸-۱۹۸۹ مشخص شد که تعداد مراکز چرخندی نسبت به دوره قبل کاهش پیدا کرده است و بیشینه مراکز چرخندی در طی سال‌های

جدول ۱: تعداد مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ با تداوم‌های یک و دو روزه

دهه چهارم (۲۰۰۹-۲۰۱۸)		دهه سوم (۱۹۹۹-۲۰۰۸)		دهه دوم (۱۹۸۹-۱۹۹۸)		دهه اول (۱۹۷۹-۱۹۸۸)		
۱	۲۰۰۹	۱	۱۹۹۹	۱	۱۹۸۹	۱	۱۹۷۹	تداوم‌های یک‌روزه
۳	۲۰۱۰	۳	۲۰۰۰	۲	۱۹۹۰	۳	۱۹۸۰	
۲	۲۰۱۱	۱	۲۰۰۱	۲	۱۹۹۱	۲	۱۹۸۱	
۲	۲۰۱۲	۲	۲۰۰۲	۲	۱۹۹۲	۰	۱۹۸۲	
۱	۲۰۱۳	۲	۲۰۰۳	۰	۱۹۹۳	۱	۱۹۸۳	
۱	۲۰۱۴	۱	۲۰۰۴	۴	۱۹۹۴	۴	۱۹۸۴	
۳	۲۰۱۵	۱	۲۰۰۵	۴	۱۹۹۵	۲	۱۹۸۵	
۳	۲۰۱۶	۳	۲۰۰۶	۲	۱۹۹۶	۴	۱۹۸۶	
۳	۲۰۱۷	۳	۲۰۰۷	۱	۱۹۹۷	۳	۱۹۸۷	
۳	۲۰۱۸	۰	۲۰۰۸	۲	۱۹۹۸	۴	۱۹۸۸	
۰	۲۰۰۹	۱	۱۹۹۹	۰	۱۹۸۹	۰	۱۹۷۹	تداوم‌های دو روزه
۰	۲۰۱۰	۰	۲۰۰۰	۰	۱۹۹۰	۱	۱۹۸۰	
۰	۲۰۱۱	۰	۲۰۰۱	۰	۱۹۹۱	۰	۱۹۸۱	
۰	۲۰۱۲	۱	۲۰۰۲	۰	۱۹۹۲	۰	۱۹۸۲	
۰	۲۰۱۳	۰	۲۰۰۳	۰	۱۹۹۳	۰	۱۹۸۳	
۰	۲۰۱۴	۰	۲۰۰۴	۱	۱۹۹۴	۰	۱۹۸۴	
۰	۲۰۱۵	۰	۲۰۰۵	۰	۱۹۹۵	۱	۱۹۸۵	
۰	۲۰۱۶	۰	۲۰۰۶	۰	۱۹۹۶	۰	۱۹۸۶	
۰	۲۰۱۷	۱	۲۰۰۷	۰	۱۹۹۷	۰	۱۹۸۷	
۰	۲۰۱۸	۰	۲۰۰۸	۰	۱۹۹۸	۱	۱۹۸۸	

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

برای ارزیابی کمی تغییراتی که در بالا اشاره شد و واریسی معنی‌داری آماری آن‌ها و نیز استفاده از آماره کای دو، جدول‌های توافقی ۲ شکل گرفت. هر خانه از این جدول، ترکیبی از مقوله یک متغیر با مقوله‌ای از متغیر دیگر است. جدول توافقی تشکیل شده تفاوت بین فراوانی مشاهده شده و فراوانی مورد انتظار را نشان می‌دهد که برای به دست آوردن فراوانی مشاهده شده و فراوانی مورد انتظار براساس رابطه ۱ و ۲ عمل شد و بدین ترتیب دهه‌های اول و دوم، دوم و سوم و دهه سوم و چهارم با هم مقایسه شد؛ دهه اول سال‌های ۱۹۷۹-۱۹۸۸، دهه دوم سال‌های ۱۹۸۹-۱۹۹۸، دهه سوم، سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۹ و دهه چهارم سال‌های

۲۰۰۹-۲۰۱۸ را دربرمی‌گیرد. در این راستا فراوانی مشاهده شده داخل سلول جدول توافقی حاصل تعدادش حالات ترکیبی زمان و تعداد مراکز چرخندی است؛ برای مثال عدد ۸ در ردیف اول و ستون اول جدول ۲ نشان می‌دهد که حالات ترکیبی رخداد تعداد مراکز چرخندی در قیاس بین ده ساله اول ۸ تکرار بوده است. حالات ترکیبی رخداد تعداد مراکز چرخندی بین دهه اول و دهه دوم ۲ تکرار بوده است. بقیه موارد نیز تفسیر مشابهی دارد. در ادامه، آماره کای دو محاسبه شد. در این آزمون فرضیه صفر بر عدم رابطه بنا نهاده شده است و فرضیه مقابل بر رابطه دو متغیر مورد مطالعه (زمان و تعداد مراکز چرخندی) دلالت دارد. در

مدیترانه-دریای سرخ با تکرار در دهه‌های مختلف نشان داد که از نظر آماری تغییرات معنی‌داری با قیاس بین دهه‌های مختلف تعداد مراکز چرخندی ترکیبی وجود ندارد، نتایج حاصل در جدول (۲) ارائه شده است.

قیاس بین دهه‌های مختلف مقدار p به دست آمده در تداوم‌های یک و دو روزه مدیترانه-دریای سرخ در همه دهه‌ها بیشتر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین فرضیه اولیه (H_0) تأیید می‌شود. نتایج آزمون کای دو با هدف بررسی رابطه بین رخداد مراکز چرخندی ترکیبی یک و دو روزه

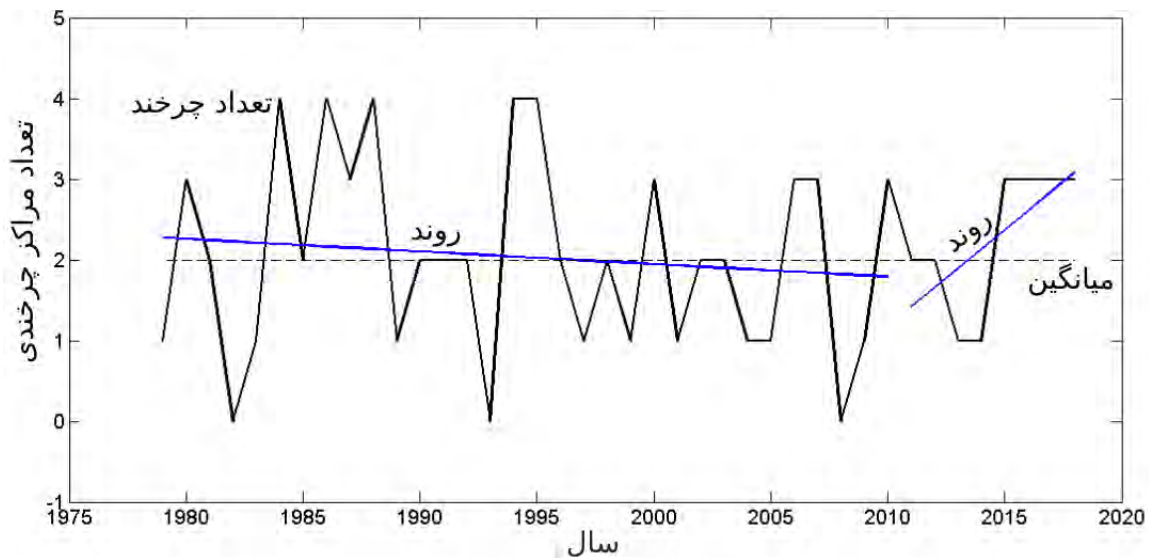
جدول ۲: آزمون خی دو با قیاس بین دهه‌های مختلف تعداد مراکز چرخندی یک و دو روزه

تداوم یک روزه								
جدول	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه دوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه چهارم
توافقی	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه دوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه چهارم
	دهه دوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه چهارم
X^2	۱/۹۷	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳
sig	۰/۱۵	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶
تداوم دو روزه								
جدول	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه دوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه چهارم
توافقی	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه دوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه چهارم
	دهه دوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه سوم	دهه چهارم
X^2	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵
Sig	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

داشته باشد؛ اما با توجه به اینکه مسیر چرخندهای مدیترانه که مهم‌ترین عامل بارش در ایران هستند، به طرف عرض‌های بالاتر حرکت کرده (Alpert et al, 1990: 1; Alpert et al, 2004: 1001-1011) این جابه‌جایی به طرف شمال، سهم ایران را از رطوبت دریای مدیترانه کاهش داده است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۹۹). با این تغییرات، میانگین بارش کشور کاهش یافته است (خانی، ۱۴۰۰: ۹۸؛ عساکره و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۹۹). تعداد مراکز چرخندی بین سال‌های ابتدایی دوره تا ۱۹۹۸ نوسانات سال به سال در رفتار تعداد مراکز چرخندی زیاد، با دامنه‌ای بزرگ، بین صفر تا ۴ مرکز چرخندی متغیر بود. از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸ نوسانات کم‌تر، بین صفر تا ۳ مرکز چرخندی، رخ می‌داد. در این بازه زمانی نوسانات سالانه به سمت سال‌های انتهایی نوسانات کم‌تر شده است.

شکل ۶ روند تغییرات تعداد مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ را در طی دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. شکل، تعداد چرخندهای ترکیبی را از کل چرخندهای وارد شده به محدوده مورد مطالعه (شکل ۳) نشان می‌دهد. براساس شکل، روند عمومی تعداد مراکز چرخندی ترکیبی ثابت بوده و حدود ۲ چرخند در سال است. برای واریس روند تغییرات ایستا یا نایستا، سال‌های قبل از ۲۰۱۸-۲۰۱۱، یک مدل رگرسیونی برازش یافت، نتایج حاصل از برازش مدل رگرسیون نشان می‌دهد که در طی ۳۱ سال (۲۰۱۰-۱۹۷۹)، روند تغییرات ایستا بوده و تعداد چرخندها تقریباً حول میانگین است. شکل ۷ نشان‌دهنده تغییرات مقطعی تعداد مراکز چرخندی در طی سال‌های مورد مطالعه است. با توجه به نتیجه به دست آمده، انتظار می‌رود همزمان با افزایش تعداد مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ بارش نیز افزایش قابل توجهی



شکل ۶: روند تغییرات تعداد مراکز چرخندی در طی سال‌های ۱۹۷۹-۲۰۱۸

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

در این راستا قیاس بین دو نیمه دوره آماری ۱۹۷۹-۱۹۹۸ و ۱۹۹۹-۲۰۱۸ انجام شد، بنابر نتایج به دست آمده در جدول ۳ همانند تغییرات دهه‌ای از نظر آماری تغییرات

معنی‌داری با قیاس دو نیمه آماری تعداد مراکز چرخندی ترکیبی وجود ندارد، نتایج حاصل در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: آزمون خی دو با قیاس بین دو نیمه آماری تعداد مراکز چرخندی یک و دو روزه

نیمه اول	نیمه دوم	جدول توافقی	تداوم دو روزه	نیمه اول	نیمه دوم	جدول توافقی	تداوم یک روزه
				نیمه اول	نیمه دوم		
۱۷	۳	نیمه اول		۱۲	۸	نیمه اول	
۱۶	۴	نیمه دوم		۱۳	۷	نیمه دوم	
۰/۱۷		X^2		۰/۱۰		X^2	
۰/۶۷		Sig		۰/۷۴		Sig	

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

بعدی خود قیاس شد (جدول ۴). نتایج مؤید این است که در دوره چهارساله (۲۰۱۱-۲۰۱۸) تغییرات معنی‌داری در روند تداوم‌های یک‌روزه مدیترانه-دریای سرخ رخ داده است مقدار p به دست آمده برابر با ۰/۰۴۷ است. بدین معنا که با گذر زمان، تعداد مراکز چرخندی نیز افزایش پیدا کرده است. مسعودیان (۱۳۹۱)، افزایش تعداد چرخندها را ناشی از گرمایش جهانی می‌داند.

به منظور بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر و با احتمال اینکه تغییرات می‌توانند در دوره‌های زمانی کوتاه‌تر اتفاق افتاده باشند، بازه زمانی مورد مطالعه به دوره‌های کوچک‌تر تقسیم شد. محاسبه آزمون خی دو برای نمونه‌های مختلف انجام شد، از آنجاکه نتایج به دست آمده اختلاف چندانی نداشته و مشابه بودند برای نمونه قیاس دوره‌های چهار و دو ساله در این پژوهش آورده شده است؛ از این رو در گام اول مقایسه بین دوره‌های ۴ ساله انجام شد. بدین منظور هر چهار سال با دوره چهارساله

جدول ۴: توزیع آماری خی دو با دوره‌های چهارساله تعداد مراکز چرخندی توأمان مدیترانه-دریای سرخ

جدول توافق	تداوم یک‌روزه		X ²	sig	جدول توافق	تداوم دو‌روزه		X ²	Sig
	چهارسال اول	چهارسال دوم				چهارسال اول	چهارسال دوم		
چهارسال اول (۱۹۸۲-۱۹۷۹)	۲	۲	۰/۵۳	۰/۴۶	چهارسال اول (۱۹۸۲-۱۹۷۹)	۲	۲	۰	۱
چهارسال دوم (۱۹۸۶-۱۹۸۳)	۲	۱	۰/۵۳	۰/۴۶	چهارسال دوم (۱۹۸۶-۱۹۸۳)	۱	۱	۰	۱
چهارسال سوم (۱۹۹۰-۱۹۸۷)	۴	۲	۰/۵۳	۰/۴۶	چهارسال سوم (۱۹۹۰-۱۹۸۷)	۲	۲	۰	۱
چهارسال چهارم (۱۹۹۴-۱۹۹۰)	۱	۲	۰/۵۳	۰/۴۶	چهارسال چهارم (۱۹۹۴-۱۹۹۰)	۱	۱	۰	۱
چهارسال پنجم (۱۹۹۵-۱۹۹۸)	۴	۲	۰	۱	چهارسال پنجم (۱۹۹۵-۱۹۹۸)	۲	۴	۲/۶۶	۰/۱۰
چهارسال ششم (۱۹۹۹-۲۰۰۲)	۲	۲	۰	۱	چهارسال ششم (۱۹۹۹-۲۰۰۲)	۲	۴	۱/۱۴	۰/۲۸
چهارسال هفتم (۲۰۰۳-۲۰۰۶)	۲	۲	۰	۱	چهارسال هفتم (۲۰۰۳-۲۰۰۶)	۲	۴	۱/۱۴	۰/۲۸
چهارسال هشتم (۲۰۰۷-۲۰۱۰)	۲	۲	۰	۱	چهارسال هشتم (۲۰۰۷-۲۰۱۰)	۱	۰	۱/۱۴	۰/۲۸
چهارسال نهم (۲۰۱۱-۲۰۱۴)	۰	۰	۰	۰/۰۴۷	چهارسال نهم (۲۰۱۱-۲۰۱۴)	۰	۰	-	-
چهارسال دهم (۲۰۱۵-۲۰۱۸)	۴	۴	۰	۰/۰۴۷	چهارسال دهم (۲۰۱۵-۲۰۱۸)	۰	۰	-	-

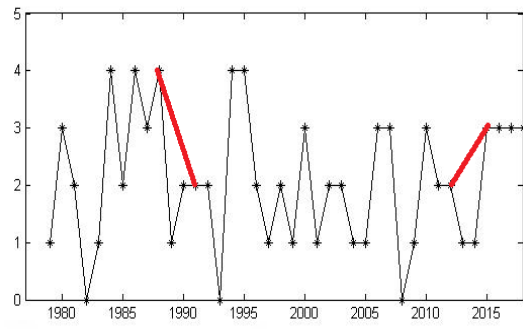
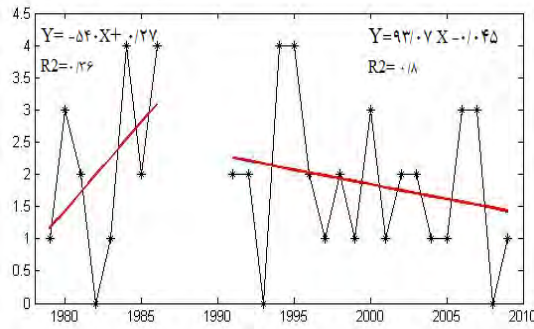
مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

تغییرات مقطعی در دوره ۱۹۹۰-۱۹۸۷ به صورت کاهشی و روند تغییرات ۲۰۱۴-۲۰۱۱ به صورت افزایشی قابل مشاهده است. در بررسی آشکارسازی تغییرات ایستا یا نایستا بین دوره‌های ۱۹۸۶-۱۹۷۹ و ۲۰۱۰-۱۹۹۱ با استفاده از مدل رگرسیون محرز شد که در بازه زمانی سال‌های ابتدایی دوره یعنی ۱۹۸۶-۱۹۷۹ روند مشاهده شده افزایشی بوده است. یافته‌های رزمی و عساکره (۱۳۸۹) و سلوو و برادوس (۱۹۸۹)، نتایج این بخش از تحقیق را تأیید می‌کند، همچنین براساس یافته‌های علیزاده و همکاران (۱۳۸۰)، شش سال از گرم‌ترین سال‌های قرن بیستم از سال ۱۹۸۰ به بعد

جدول ۵، توزیع آماری خی دو را برای دوره‌های دو ساله تعداد مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل رؤیت است، مقایسه بین دوره‌های دو ساله در بازه زمانی مورد مطالعه صورت گرفته است. در این جدول علاوه بر آماره خی دو، معنی‌داری این آماره براساس آماره p (p-value) ارائه شده است. ترتیب دوره‌ها به شرح ذیل است: براساس نتایج مندرج در جدول در طی دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۷۹-۲۰۱۸)، تغییرات معنی‌داری در دوره ۱۹۹۰-۱۹۸۷ و ۲۰۱۴-۲۰۱۱، تداوم‌های یک‌روزه مراکز توأمان اتفاق افتاده است.

بوده است که می‌توان افزایش تعداد چرخندها در این بازه زمانی را به گرمایش زمین نسبت داد؛ اما در طی سال‌های بعد شیب ملایم روند کاهشی تا انتهای سال ۲۰۱۰ رخ داده است که نتایج مطالعه بیات و همکاران

نیز مؤید این مطلب است. شکل ۷، تغییرات مقطعی زمان و تعداد مراکز چرخندی در طی سال‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۷: الف) تغییرات مقطعی تعداد مراکز چرخندی در طی سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۸۷ و ۲۰۱۴-۲۰۱۱ و ب) تغییرات مقطعی تعداد مراکز چرخندی در طی سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۷۹ و ۲۰۱۰-۱۹۹۱

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول ۵: توزیع آماری خی‌دو با دوره‌های دوساله تعداد مراکز چرخندی توأمان مدیترانه-دریای سرخ

جدول توافقی		جدول توافقی		X ²	sig	جدول توافقی		X ²	sig
دوره اول	دوره دوم	دوره اول	دوره دوم			دوره اول	دوره دوم		
(۱۹۸۲-۱۹۷۸)	دوره اول	دوره دوم	دوره اول	۰	۱	(۱۹۸۲-۱۹۷۸)	دوره اول	۱/۳۳	۰/۲۴
دوره دوم	دوره سوم	دوره اول	دوره دوم	۰	۱	دوره دوم	دوره سوم	۱/۳۳	۰/۲۴
(۱۹۸۶-۱۹۸۳)	دوره سوم	دوره چهارم	دوره سوم	۰	۱	(۱۹۸۶-۱۹۸۳)	دوره سوم	۱/۳۳	۰/۲۴
دوره اول	دوره دوم	دوره اول	دوره دوم	۰	۱	دوره اول	دوره دوم	۱/۳۳	۰/۲۴
(۱۹۹۰-۱۹۸۷)	دوره پنجم	دوره ششم	دوره پنجم	۰	۱	(۱۹۹۰-۱۹۸۷)	دوره پنجم	۱/۳۳	۰/۲۴
دوره ششم	دوره هفتم	دوره ششم	دوره هفتم	۰	۱	دوره ششم	دوره هفتم	۱/۳۳	۰/۲۴
(۲۰۰۲-۱۹۹۹)	دوره یازدهم	دوره دوازدهم	دوره یازدهم	۰	۱	(۲۰۰۲-۱۹۹۹)	دوره یازدهم	۱/۳۳	۰/۲۴
دوره چهاردهم	دوره پانزدهم	دوره چهاردهم	دوره پانزدهم	۰	۱	دوره چهاردهم	دوره پانزدهم	۱/۳۳	۰/۲۴
(۲۰۰۶-۲۰۰۳)	دوره سیزدهم	دوره چهاردهم	دوره سیزدهم	۰	۱	(۲۰۰۶-۲۰۰۳)	دوره سیزدهم	۱/۳۳	۰/۲۴
دوره شانزدهم	دوره شانزدهم	دوره شانزدهم	دوره شانزدهم	۰	۱	دوره شانزدهم	دوره شانزدهم	۱/۳۳	۰/۲۴
(۲۰۱۰-۲۰۰۷)	دوره یازدهم	دوره شانزدهم	دوره یازدهم	۰	۱	(۲۰۱۰-۲۰۰۷)	دوره یازدهم	۱/۳۳	۰/۲۴
دوره چهاردهم	دوره چهاردهم	دوره چهاردهم	دوره چهاردهم	۰	۱	دوره چهاردهم	دوره چهاردهم	۱/۳۳	۰/۲۴
(۲۰۱۴-۲۰۱۱)	دوره هفدهم	دوره شانزدهم	دوره هفدهم	۰	۱	(۲۰۱۴-۲۰۱۱)	دوره هفدهم	۱/۳۳	۰/۲۴
دوره هجدهم	دوره هجدهم	دوره هجدهم	دوره هجدهم	۰	۱	دوره هجدهم	دوره هجدهم	۱/۳۳	۰/۲۴
(۲۰۱۸-۲۰۱۵)	دوره نوزدهم	دوره بیستم	دوره نوزدهم	۰	۱	(۲۰۱۸-۲۰۱۵)	دوره نوزدهم	۱/۳۳	۰/۲۴
دوره بیستم	دوره بیستم	دوره بیستم	دوره بیستم	۰	۱	دوره بیستم	دوره بیستم	۱/۳۳	۰/۲۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

نتیجه

حضور همزمان مراکز چرخندی مدیترانه-دریای سرخ که بعضاً با هم ادغام می‌شوند و نیز در مسیر گذر، موجبات بارش در ایران را مهیا می‌سازند، با استفاده از داده‌های با توان تفکیک بالای مرکز داده‌ای ECMWF در دوره ۲۰۱۸-۱۹۷۹ ردیابی و بررسی شد. برای شناسایی و ردیابی مراکز چرخندی از شیو منطقه‌ای داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد؛ براین اساس اگر میانگین شیو ارتفاع ژئوپتانسیل روی یاخته مورد بررسی و هشت همسایه آن برابر یا کمتر از صد متر بر هزار کیلومتر باشد یاخته مورد نظر به‌عنوان مرکز چرخند در نظر گرفته شد. بدین ترتیب تعداد ۹۷ چرخند با مشخصات یادشده استخراج شد. بررسی روند تغییرات تعداد مراکز چرخندی توأمان مدیترانه- دریای سرخ نشان داد که در مقیاس ماهانه تداوم‌های یک‌روزه ماه می بیشینه تعداد مراکز چرخندی توأمان را دارا است و در ماه‌های فصل پاییز مراکز چرخندی وجود نداشته است. با بررسی تداوم‌های دو روزه نیز محرز شد که فصل بهار بیشینه مراکز چرخندی را دارد. با اینکه بیشتر بارش‌های رخ داده در گستره ایران از چرخندهای ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ نشأت می‌گیرند؛ اما بیشتر این بارش‌ها در فصول بارشی توزیع نمی‌شوند و به شکل متمرکز و عمدتاً

سیلابی در بخش‌های مختلف کشور رخ می‌دهند (سلیمانی و صلاحی، ۱۴۰۱؛ حلبیان و همکاران، ۱۳۹۱؛ امیدوار و ترکی، ۱۳۹۱). برای ارزیابی تغییرات یادشده و واری معنی‌داری آماری آن‌ها از آزمون خی دو استفاده شد، در این راستا در واری تغییرات دهه‌ای و دو نیمه آماری در بازه زمانی مورد مطالعه (۲۰۱۸-۱۹۷۹)، تعداد مراکز چرخندی ترکیبی مدیترانه-دریای سرخ در مقیاس‌های یک و دو روزه به لحاظ آماری متغیرهای مورد مطالعه (زمان و تعداد مراکز چرخندی ترکیبی) تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد. سپس قیاس بین نمونه‌های متعددی انجام شد که باتوجه به نتایج یکسان مشاهدات، دوره‌های دو و چهارساله مبنای پژوهش قرار گرفت. نتایج گویای وجود روند افزایشی تعداد مراکز چرخندی در سال‌های پایانی دوره‌های چهارساله (۲۰۱۸-۲۰۱۱) است که این امر به گفته مسعودیان (۱۳۹۱)، می‌تواند ناشی از افزایش دما و به‌طبع آن گرمایش جهانی باشد. بررسی روند تغییرات دوره‌های دوساله نیز گویای ارتباط آماری معنی‌دار در بازه زمانی (۱۹۹۰-۱۹۸۷) و (۲۰۱۴-۲۰۱۱) بوده است. همچنین در واری سال‌های (۱۹۸۶-۱۹۷۹) و (۲۰۱۰-۱۹۹۱)، روند افزایشی و کاهشی در داده‌ها مشخص شده است که نتایج این مرحله از تحقیق با یافته‌های سایر پژوهشگران از جمله (رزمی، ۱۳۸۹؛ علیزاده و همکاران، ۱۳۸۰) همخوانی دارد.

منابع

- آزادی، مجید؛ وکیلی رضازاده (۱۳۸۲). پیش‌بینی عددی سیستم‌های زمستانی روی ایران: مطالعه مقایسه‌ای پارامترسازی‌های فیزیکی، هشتمین کنفرانس دینامیک شارها. دانشگاه تبریز. ۱۳.
- <https://civilica.com/doc/30234/download/>
- امیدوار، کمال؛ مسلم ترکی (۱۳۹۱). شناسایی الگوهای ریزش بارش‌های سنگین در استان چهارمحال و بختیاری، مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا. دوره ۱۶. شماره ۴. صفحات ۱۷۰-۱۳۵.
- <https://hsm.sp.modares.ac.ir/article-21-6231-fa.html>
- براتی، محمد (۱۳۸۹). بررسی همدید کنش‌های چرخندی بر روی ایران در سال ۱۳۷۲، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. به راهنمایی دکتر سعید موحدی و سید ابوالفضل مسعودیان. دانشگاه اصفهان.
- <https://ganj.irandoc.ac.ir>
- بیات، علی؛ محمد سلیقه؛ مه‌ری اکبری (۱۳۹۶). اقلیم‌شناسی سیکلون‌های بارش‌زای زمستانه ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. سال ۴. شماره ۲. صفحات ۱۸-۱.
- <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2712-fa.html>
- پوراحمد، احمد؛ حسین حاتمی‌نژاد؛ محمد احمدی (۱۳۹۳). سنجش میزان مشارکت شهروندان در زیباسازی شهری (مطالعه موردی: منطقه ۶ تهران)، پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری. دوره ۲. شماره ۳. صفحات ۳۲۲-۳۰۳.
- DOI: 10.22059/jurbangeo.2014.53058
- حلبیان، امیرحسین؛ حسینعلی پورجزی فرشته و بیژن صابری (۱۳۹۱). تحلیل همدید سامانه‌های سیل‌زا در قم، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. دوره ۲. شماره ۸. صفحات ۱۳۷-۱۲۱.
- <http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-263-fa.html>
- خانی، سکینه (۱۴۰۰). بررسی تغییرات توام ویژگی‌های فرود دریای سرخ و بارش غرب-جنوب غرب ایران در بستر تحولات اقلیمی، پایان‌نامه دوره دکتری به راهنمایی دکتر حسین عساکره. دانشگاه زنجان.
- <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/search?keywords>
- دلاور، علی (۱۳۹۲). روش تحقیق در روان‌شناسی و علوم تربیتی، چاپ سی و نهم. تهران: نشر ویرایش.
- <https://www.adinehbook.com/gp/product/9646184022>
- رزمی، رباب (۱۳۸۹). تغییر رژیم بارش در آذربایجان ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی دکتر حسین عساکره. دانشگاه زنجان.
- <https://www.znu.ac.ir/members/supervisor/asakereh-hossein>
- سلیمانی، سحر؛ برومند صلاحی (۱۴۰۱). واکای همدید بارش‌های سیلابی شمال ایران (مطالعه موردی: بارش سنگین و فراگیر ۱۲ تا ۱۵ مهر ۱۳۹۷)، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. سال سیزدهم. شماره ۵۱. صفحات ۳۱-۱۵.
- https://clima.irimo.ir/article_149606.html?lang=fa
- عساکره، حسین؛ هوشنگ قائمی؛ شیما رضایی (۱۳۹۴). بررسی مکانیسم گسترش و شدت کم‌فشار دریای سرخ، مجله آمایش جغرافیایی فضا. فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه گلستان. دوره ۶. شماره ۲۱. صفحه ۹۰-۷۷.
- https://gps.gu.ac.ir/article_41674.html
- عساکره، حسین؛ سید ابوالفضل مسعودیان؛ فاطمه ترکرانی (۱۳۹۹). بررسی وردایی دهه‌های بارش سالانه ایران زمین طی چهار دهه اخیر (۱۳۹۴-۱۳۵۵)، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۲۵. شماره ۶۷. صفحات ۲۰۲-۱۸۷.
- DOI: 10.22034/gp.2020.41308.2680
- عساکره، حسین (۱۴۰۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، چاپ دوم. انتشارات دانشگاه زنجان.
- <https://www.ketabium.com/product>

عساکره، حسین (۱۳۹۶). مبانی پژوهش در آب و هواشناسی، چاپ اول: انتشارات دانشگاه زنجان.

<https://climatology.ir/?p=15065>

عساکره، حسین؛ سکینه خانی تملیه (۱۴۰۱). واکاوی مقدار و فراوانی بارش روزانه غرب-جنوب غرب ایران در رابطه با فعالیت کم فشار دریای سرخ طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۷۹. اطلاعات جغرافیایی سپهر. دوره ۳۱. شماره ۱۲۲. صفحات ۱۶۶-۱۵۱.

<https://www.doi.org/10.22131/sepehr.2022.254787>

علیجانی، بهلول (۱۳۶۶). رابطه پراکندگی مکانی مسیر سیکلون‌های خاورمیانه با سیستم‌های هوای سطح بالا، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۴. صفحات ۱۴۳-۱۲۵.

<https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/959126>

علیجانی، بهلول (۱۳۷۴). آب‌وهوای ایران، تهران. چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه پیام نور.

<https://www.gisoom.com/book/11062026>

علیجانی، بهلول (۱۳۸۱). اقلیم‌شناسی سینوپتیک، تهران. انتشارات سمت.

<https://samta.samt.ac.ir/product/13514>

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

https://press.um.ac.ir/index.php?option=com_k2&view=item&id=6:f-182&Itemid=717&lang=fa

فنودی، محسن؛ کمال امیدوار؛ احمد مزیدی (۱۳۹۶). واکاوی تأثیر سامانه ناوه سودانی بر بارش‌های رگباری ناحیه کوه‌پایه‌های داخلی ایران، فصلنامه جغرافیای طبیعی. دوره ۱۰. شماره ۱. صفحات ۷۴-۶۱.

https://journals.iau.ir/article_532549.html

قاندی، سهراب؛ سعید موحدی؛ سیدابوالفضل مسعودیان؛ داریوش رحیمی (۱۳۹۰). تأثیر ناوه دریای سرخ بر بارش ایران، پژوهش‌نامه جغرافیایی. تعداد ۱. صفحات ۷۸-۶۳.

<https://www.sid.ir/paper/221207/fa>

کاوسی، رضا؛ سعید موحدی (۱۳۹۳). بررسی هم‌دید کنش‌های چرخندی بر روی ایران، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. جلد ۲۹. شماره ۴. صفحه ۱۱۲-۹۷.

<https://ensani.ir/fa/article/337443>

لشکری، حسن (۱۳۷۵). الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب‌غربی ایران، پایان‌نامه دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس. لشکری، حسن (۱۳۸۱). مسیریابی سامانه‌های کم فشار سودانی ورودی به ایران، فصلنامه مدرس علوم انسانی. ۲۱. صفحات ۱۵۶-۱۳۳.

<https://www.sid.ir/paper/6966/fa>

لشکری، حسن (۱۳۸۲). مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب‌غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیایی ۴۶. صفحات ۱۸-۱.

<https://www.sid.ir/paper/5419/fa>

لشکری، حسن؛ مهناز جعفری (۱۴۰۰). الگوهای هم‌دید تعیین‌کننده مسیر حرکت سامانه‌های بارشی با منشأ سودانی، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، تعداد ۱. صفحات ۷۸-۵۵.

<http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3104-fa.html>

مفیدی، عباس (۱۳۷۸). کم فشار سودانی مکانیسم بارش‌زا در جنوب و جنوب غرب ایران، نشریه جغرافیا. ۱. آموزش و پرورش منطقه ۱۷. صفحات ۵۵-۴۷.

<https://sid.ir/paper/425520/fa>

مفیدی، عباس؛ آذر زرین (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیک سامانه‌های کم‌فشار سودانی (مطالعه موردی توفان دسامبر ۲۰۰۱)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، دوره ۲. شماره ۲. صفحات ۴۸-۲۴.

https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_6026.html

مفیدی، عباس؛ آذر زرین (۱۳۸۴). بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۰. شماره ۲. پی‌اچ‌اچ ۷۷. صفحات ۱۳۶-۱۱۳.

<https://www.sid.ir/paper/29958/fa>

مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۹۰). آب‌وهوای ایران، انتشارات شریعه توس. چاپ اول.

<https://www.gisoom.com/book>

مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۹۱). بررسی هم‌دید کنش‌های چرخندی در طی ۱۳۸۲-۱۳۴۰ خورشیدی، مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۱. شماره ۱. صفحات ۳۳-۱۵.

[doi: 10.22111/jneh.2012.2441](https://doi.org/10.22111/jneh.2012.2441)

مشکواتی، امیرحسین؛ محمد مرادی (۱۳۸۳). بررسی ناوه فشاری دریای سرخ از دیدگاه دینامیکی، مجله نیوار. تعدادهای ۵۲ و ۵۳. صفحات ۷۴-۵۳.

موحدی، سعید؛ سیدابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۴). بررسی هم‌زمانی رخداد پرفشار دریای سیاه و بارش روزانه در ایران زمین، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال ۳۰. شماره ۱. پی‌اچ‌اچ ۱۱۶.

https://jgr.ui.ac.ir/article_18103.html

موحدی، سعید؛ محمد براتی (۱۳۹۴). بررسی هم‌دید کنش‌های چرخندی و هم‌بستگی آن‌ها با بارش کشور در سال ۱۳۷۲، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۲۶. شماره ۴. شماره پی‌اچ‌اچ ۶۰. صفحه ۴۰-۲۱.

[20.1001.1.20085362.1394.26.4.2.7](https://doi.org/10.1001.1.20085362.1394.26.4.2.7)

References

Almazroui M, Awad A M (2016). Synoptic regimes associated with the eastern Mediterranean wet season cyclone tracks. *Atmospheric Research*. 180. 92-118.

[DOI:10.1016/j.atmosres.2016.05.015](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.05.015).

Alpert, P., Osetinsky, I., Ziv, B., Shafir, H (2004a). A New Season Definition Based on Classified Daily Synoptic System: An Example for the Eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology*. 24. 1013-1021.

<https://doi.org/10.1002/joc.1036>

Alpert, P., BU Neeman., Shay-El, Y (1990). Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus* 42. 65-77.

<https://doi.org/10.3402/tellusa.v42i1.11860>

Asakereh, H., Masoodian, A., Tarkarani, F., Zandkarimi, S (2022). Tropospheric features associated with the onset and cessation of the rainy season in Iran, *Acta Geophysica* Vol. 71, Issue.1063-1084

DOI: <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00996>.

Asakereh, H., Masoodian, A., Tarkarani, F., Zandkarimi, S (2023). Decadal variations of the onset, cessation, and length of the widespread rainy season in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* Vol. 152 (2023) 599-615

[DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-023-04378](https://doi.org/10.1007/s00704-023-04378).

Asakereh, H., Masoodian, A., Tarkarani, F., Zandkarimi, S (2021). A discrimination of roles of internal and external factors on the decadal variation of annual precipitation in Iran over recent four decades (1975-2016). *Physical Geography Research Quarterly* 53(1). 91-107.

DOI: [10.22059/JPHGR.2021.304776.1007529](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2021.304776.1007529)

- Campins, J., Genovés, A., Picornell, MA., Jansà, A (2010). Climatology of Mediterranean cyclones using the ERA-40 dataset. *Int J Climatol*. 31(11).1596- 1614.
<https://doi.org/10.1002/joc.2183>
- Elfandy, M.G (1950). Effects to Topography and Other Factors on the Movement of Lows in the Middle East and Sudan, *Bull, American Meteorology Society*. 10(31) .375-381.
- Jansa, A., Genoves, A., Garcia-Moya, JA (2000). Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 1: numerical experiment concerning the Piedmont flood case. *Meteorol Appl* .7.323-333.
[doi:10.1017/S1350482700001663](https://doi.org/10.1017/S1350482700001663).
- Katrin, M., Nissen., Gregor C, Leckebusch., Joaquim G, Pinto., Uwe, Ulbrich (2014). Mediterranean cyclones and windstorms in a changing climate. *Reg Environ Change*. 14. 1873-1890.
[DOI 10.1007/s10113-012-0400-8](https://doi.org/10.1007/s10113-012-0400-8)
- Kotroni, V., Lagouvardos, K., Defer, E., Dietrich, S., Porcù, F., Medaglia, CM., Demirtas, M (2006). The Antalya 5 December 2002 storm: observations and model analysis. *J Appl Meteorol Climatol*. 45.576-590.
[doi:10.1175/JAM2347.1](https://doi.org/10.1175/JAM2347.1)
- Krichak, S., Alpert, P. Krishnamurti, T.N (1997a). Red sea trough/cyclone development numerical investigation. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 63. 159-169.
<https://doi.org/10.1007/BF01027382>
- Matthies, F., Menne, B (2009). Prevention and management of health hazards related to heatwaves. *Int J Circumpolar Health* 68(1).8-22
[DOI: 10.3402/ijch.v68i1.18293](https://doi.org/10.3402/ijch.v68i1.18293)
- Parry, ML (2000). Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA Project. Norwich: Jackson Environment Institute. University of East Anglia. 320.
https://books.google.com/books/about/Assessment_of_Potential_Effects_and_Adap.html?id=uodujgEACAAJ
- Ramos, MC (2001). Rainfall distribution patterns and their change over time in a Mediterranean area. *Theoretical and Applied Climatology*. 69. 163-170.
<https://doi.org/10.1007/s007040170022>
- Solot, S. B (1950). General Circulation over the Anglo-egyptian Sudan and Adjacent Regions, *Bull. American Meteorology Society*. 31. 85-94.
<https://doi.org/10.1175/1520-0477-31.3.85>
- Solow, Andrew., & James, M. Broadus (1989). on the detection of greenhouse warming. *climatic change* 15.449-153.
<https://doi.org/10.1007/BF00240467>
- Trigo, I. F., Davis, T. D., Bigg, G. R (1999). Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *J. Climate*. 12. 1685- 1696.
[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<1685:OCOCIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1685:OCOCIT>2.0.CO;2)
- Ulbrich, U., Leckebusch, GC., Pinto, JG (2009). Extratropical cyclones in the present and future climate: a review. *Theor Appl Climatol*. 96.117-131.
<https://doi.org/10.1007/s00704-008-0083-8>
- Walther, GR., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, TJ., Fromentin, JM., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*. 416(6879).389-395.
<https://doi.org/10.1038/416389a>
- Zecchetto, S. de Biasio, F (2007). Sea Surface Winds over the Mediterranean Basin from Satellite Data (200004): Meso- and Local-Scale Features on Annual and Seasonal Time Scales. *Journal of applied meteorology and climatology*. 46. 418- 827.
<https://doi.org/10.1175/JAM2498.1>