

Why Does Precipitation Decrease in the South and Southwest of Iran in February Compared to Other Winter Months?

Hassan Lashkari^{1*}, Mahnaz Jafari², Zainab Mohammadi³

1- Associate Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University (SBU), Tehran, Iran

(*Corresponding Author Email: h-lashkari@sbu.ac.ir)

2- Ph.D Candidate of Synoptic Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University (SBU), Tehran, Iran

3- Postdoctoral Student of Synoptic Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University (SBU), Tehran, Iran

Introduction

Precipitation is one of the most important and complex climatic elements. This vital element, on which the lives of living organisms and fauna depend, has highly variable temporal and spatial distributions in the world. While limited areas of the planet have an excess precipitation, a large part of it is facing the shortage of this vital element. Therefore, its spatial distribution on the Earth is not at all satisfactory to the inhabitants. In the subtropical regions, this limitation is of great significance. For this reason, officials and users are so willing to receive more precipitation during the cooler months and minimize water loss from evaporation and transpiration. Winter precipitation can be very useful and effective in these areas. Several studies conducted on the trend of monthly precipitations in the cold periods of the year in the southern regions of Iran have found significant decreases in February precipitations compared to those of the two previous and following months recorded at most of the south and southwest stations. Considering that southern regions are among the few regions in Iran where the precipitation periods correspond to the cultivation periods, this problem was studied and analyzed as the main issue of this research.

Methodology

As stated, the purpose of this study was to identify the synoptic factors of decreasing precipitations in the southern half of Iran in February compared to March. To find the cause of this phenomenon, first, the data provided by the representative stations during the statistical period of 1986-2017 were selected. The ERA-Interim data from the European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) with the spatial resolution of 0.5×0.5 degrees were used to investigate the synoptic patterns. For synoptic analysis, several samples were chosen from the statistical period. Moreover, various assumptions were examined to determine the cause of this phenomenon.

To study moisture changes in February and March, changes in the moisture transfer from the Arabian and Oman Seas with negative values for the outflow of moisture fluxes and the relevant changes from the south and southwest regions of Iran with positive values of the inflow of moisture fluxes in the lower atmosphere were calculated. Displacements and fluctuations in pressure patterns and systems lead to significant changes in the meteorological phenomena. Therefore, due to the very important role of the Arabian subtropical high-pressure system in transferring moisture from the Arabian and Oman Seas to the Arabian Peninsula and towards Sudan low-pressure system, the locations and displacements of the high-pressure cores were extracted at the level of 850 hPa. Also, due to the more important role of Mediterranean troughs in the moisture advection transfer from these

warm seas in the study area, their locations and depths were extracted from the selected samples at the level of 700 hPa in February and March within the statistical period. Subtropical jets play a crucial role in the dynamic structure of Sudan low-pressure precipitation systems. Therefore, another component studied in this research was the changes in the positions and structures of subtropical jets throughout the selected samples at the levels of 300 and 250 hPa in February and March.

Discussion

Winter precipitation in the southern part of Iran is of special importance due to its coincidence with the cultivation period and supplying part of the water needed for agriculture. The results obtained by Mohammadi & Lashkari (2020) and Esfandiari & Lashkari (2020) showed that the amount of precipitation and number of the input systems in this region in February compared to the months before and after it had significantly decreased.

1. Evaluation of moisture flux

A comparison of the amount of moisture released from the Arabian Sea with the moisture entering the region revealed the very significant difference of February precipitation, while the difference was very small in March, which was perfectly compatible in many cases. Hence, there must have been barriers to the transfer of moisture from the surrounding seas into the region in February.

2. Evaluation of the position of Saudi Arabia

In terms of the latitude, there was no significant difference in the positions of Arabian subtropical high-pressure systems between the two months. However, the oscillations of their cores were much more intense in terms of longitude. In some years, the cores had moved up to about 70 degrees east longitude. In March, the displacements of the cores were quite noticeable compared to those of the other two months. During this month, most of the cores were located in Oman and its eastern coast. An interesting phenomenon was that the high-pressure cores of all the sample years were located in Oman and sometimes in the waters of the Arabian Sea at a distance from the coast.

3. Evaluation of the position of Mediterranean troughs

The axes of Mediterranean troughs did not show a significant difference in both the depth and longitudinal position. In this way, the troughs were in a good position in terms of transferring instabilities to the region every two months. They also had a suitable depth for transferring and injecting sufficient vorticities into the heating systems of this region.

4. Evaluation of the position of the subtropical jets

The longitudinal and latitudinal positions of the subtropical jets were very different in February and March. Three features could be seen in the axes of the February jets. First, the jets had significant northward displacements in all the selected samples and thus, the jets located at this latitude did not create suitable dynamic conditions for the instabilities of southern and southwestern Iran. Second, the longitudinal axes of the jets in this month had been shortened. Most of the jets were coming from the east and center of Egypt. Third, most of the axes tended to be orbital. This feature caused the jets not to have a suitable vorticity.

The expansion patterns of the jets in March were completely different from those of February. During this month, the subtropical jets had relocated to lower latitudes and were distributed between northwestern Iran and southern Saudi Arabia. Therefore, the southern and southwestern parts were exposed to the instabilities caused by the subtropical jets. Another notable change was in the lengths

of the subtropical jets. Most of the jets had started in the southwest-northeast direction at a distance from behind Egypt and over Chad and even farther back of it. The jets had a more meridional pattern in March compared to February.

Conclusion

The main purpose of this study was to find the cause of reduced precipitations in February compared to March in the southern regions of Iran. The results of this research revealed that the two factors of spatial displacement of the Arabian subtropical high-pressure system, especially at the level of 850 hPa and the lower layer of the atmosphere, and the displacements of subtropical jets in the northern and southern parts were the most important factors for lowering precipitations in February compared to the other months of the cold period of the year in the south of Iran. The subtropical jets showed a noticeable northward movements in February. This pattern of establishment had caused precipitation systems to enter the region from the south, move towards higher northern latitudes and western longitudes, and frequently enter Iran from the west in the form of integrated systems. At the same time, this had caused the Arabian subtropical high-pressure system to move westward and settle on the lands of eastern Saudi Arabia, preventing the entry of Sudanese systems into southern Iran and moving westward.

Keywords: Precipitation anomaly, Moisture flux, Arabian subtropical high-pressure system, Mediterranean trough, Subtropical jet, South and southwest of Iran

References:

- Andreoli, R.V., Ferreira de Souza, R.A., Kayano, M.T., Candido, L.A.(2012).Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns, *International Journal of Climatology*, Vol 32: 1193–1205.
- Chang, C.P., Lu, M.M. (2012). Intraseasonal Predictability of Siberian High and East Asian Winter Monsoon and Its Interdecadal Variability, *Journal of Climate*, Vol 25: 1773-1778.
- Diaz, A.F., Studzinski, C.D., Mechoso, C.R.(1998).Relationships between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans, *Journal of Climate*, Vol 11: 251- 271.
- Esfandiari, N., Lashkari, H. (2020).Identifying atmospheric river events and their paths into Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol 140: 1125-1137.
- Farajzadeh, M., Karimi Ahmadabad, M., Ghaemi, H., Mobasheri, M.R. (2007). Studying the Moisture Flux over West of Iran: A Case Study of January 1 to 7, 1996 Rain Storm, *Journal of Applied Sciences*, Vol 7: 3023-3030.
- Fontaine, B., Janicot, S.(1996). Notes and Correspondence Sea Surface Temperature Fields Associated with West African Rainfall Anomaly Types, *Journal of Climate*, Vol 9: 2935-2940.
- Gao, C., Chen, H., Xu, B., Zeng, G.(2014). Possible Relationships Among South China Sea SSTA, Soil Moisture Anomalies In Southwest China and Summer Precipitation In Eastern China, *Journal of Tropical Meteorology*, Vol 20(3):228- 235.
- Grimm, A.M., Ferraz, S.E.T., Gomes, J.L.(1998). Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events, *Journal of Climate*, Vol 11: 2863- 2880.
- Iqbal, M.J., Fahad Riaz, S.M., Ghauri, B.M.K. (2012).Impact of Siberian High on rainfall variability over Northern part of Indo-Pak region, *Arabian Journal of Geosciences*.
- Kayano, M.T., Rao, V.B., Moura, A.D.(1988).Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two contrasting years, *International Journal of Climatology*, Vol 8: 477-488.
- Larkin, N.K, Harrison, D.E.(2005). Global seasonal temperature and precipitation anomalies during

- El Niño autumn and winter, *Geophysical Research Letters*, Vol 32: 1-4.
- Lashkari, H., Mohammadi, Z. (2018). Study on the role of annual movements of Arabian subtropical high pressure in the late start of precipitation in southern and southwestern Iran: Theoretical and Applied Climatology, Vol 137: 2069–2076.
 - Lashkari, H., Mohammadi, Z., Jafari, M. (2020). Investigation on dynamical structure and moisture sources of heavy precipitation in south and south-west of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol 13(21): 1-15.
 - Lyon, B., Cristi, H., Verceles, E.R., Hilario, F.D., Abastillas, R. (2006). Seasonal reversal of the ENSO rainfall signal in the Philippines, *Geophysical Research Letters*, Vol 33: 1-5.
 - Malik, K.M., Taylor, P.A. (2011) Characteristics of Moisture Flux Convergence over the Mackenzie River Basin for Water Years 1991–2008, *Atmosphere-Ocean*, Vol 49(3): 279-288, DOI: 10.1080/07055900.2011.609528
 - Mariotti, A., Zeng, N., Lau, K.M. (2002). Euro-Mediterranean rainfall and ENSO—a seasonally varying relationship, *Geophysical Research Letters*, Vol 29(12): 1-4.
 - Mason, S.J., Goddard, L. (2001). Probabilistic Precipitation Anomalies Associated with ENSO, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol 82(4): 619-638.
 - Mohammadi, Z., Lashkari, H., Mohammadi, M.S. (2021). Synoptic analysis and core situations of Arabian anticyclone in shortest period precipitation in the south and southwest of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol 14, 1172 <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07572-8>.
 - Mohammadi, F., Lashkari, H. (2020). Determination of long-term changes in the rainfall penetration domain of Sudan low in Iran during the period 1976-2017, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol 203: 105276-1-105276-9,.
 - Peixoto, J.P. (1973). Atmospheric Vapor Flux Computations For Hydrological Purposes, Reports on WMO/IHD Projects, Report No.20.
 - Phillips, I.D., Mcgregor, G.R. (2002). The relationship between monthly and seasonal South-west England rainfall anomalies and concurrent North Atlantic sea surface temperatures, *International Journal of Climatology*, Vol 22: 197–217.
 - Ratcliffe, R. (1977). The wet spell of September–October 1976, *Weather*, Vol 32: 36–37.
 - Rashid, Sh.A., Iqbal, M.J., Hussain, M.A. (2012). Impact of North-South Shift of Azores High on Summer Precipitation Over North West Europe, *International Journal of Geosciences*, Vol 3: 992-999.
 - Ropelewski, C.F., Halpert, M.S. (1986). North American Precipitation and Temperature Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation (ENSO), *Monthly Weather Review*, Vol 114: 2352-2362.
 - Silvestri, G.E., Vera, C.S. (2003). Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America, *Geophysical Research Letters*, Vol 30(21): 1-4.
 - SIMMONDS, I., HOPE, P. (1997). Persistence Characteristics of Australian Rainfall Anomalies, *International Journal of Climatology*, Vol 17: 597–613.
 - WAGNER, R.G., DA, S., ARLINDO, M. (1994). Surface conditions associated with anomalous rainfall in the guinea coastal region, *International Journal of Climatology*, Vol 14: 179-199.
 - Wu, B., Wang, J. (2002). Winter Arctic Oscillation, Siberian High and East Asian Winter Monsoon, *Geophysical Research Letters*, Vol 29(19).
 - Zhang, L., Zhu, X., Fraedrich, K., Sielmann, F., Zhi, X. (2014). Interdecadal variability of winter precipitation in Southeast China, *Climate Dynamics*, Vol 43: 2239–2248.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۲، پیاپی ۸۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، صص ۱۰۴-۸۱

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۹/۸/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۱

چرا بارش‌ها در جنوب و جنوب غرب ایران در ماه فوریه نسبت به سایر ماه‌های زمستان

کاهش می‌یابد؟

حسن لشکری*، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

h-lashkari@sbu.ac.ir

مهناز جعفری، دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

mah_jafari@sbu.ac.ir

زینب محمدی، پسادکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

z_mohammadi@sbu.ac.ir

چکیده

بارش‌های زمستانه بخش جنوبی ایران به دلیل همزمانی با دوره کشت و تأمین بخشی از آب مورد نیاز زراعت اهمیت ویژه‌ای دارد. بررسی بارش ماهانه ۳۰ساله ایستگاههای جنوبی ایران در این پژوهش و سایر پژوهش‌های انجام‌شده نشان داد مقادیر بارش و تعداد سامانه‌های ورودی به این منطقه در ماه فوریه نسبت به ماه‌های قبل و بعد کاهش محسوسی دارد. برای علت‌یابی این پدیده پیش‌فرض‌های مختلفی بررسی شد. شارش رطوبتی از دریاهای گرم اطراف و رطوبت شارش‌شده روی منطقه، موقعیت مکانی و اچرخند عربستان و موقعیت محور ناوه مدیترانه‌ای در کل دوره آماری (۱۹۸۶-۲۰۱۷) و در سال‌های نمونه و موقعیت محور جت جنب حاره‌ای فقط در سال‌های نمونه، از گزینه‌های پیش‌فرض مؤثر بر تغییرات بارشی سه ماه بودند. نتایج این پژوهش نشان داد جابه‌جایی مکانی و اچرخند عربستان به‌ویژه در لایه زیرین و در سطح جابه‌جایی نصف‌النهاری جت جنب حاره‌ای، از مهم‌ترین عوامل در کاهش یا افزایش بارش‌های سه ماه نسبت به همدیگر در جنوب و جنوب غرب ایران بوده است. جت جنب حاره‌ای که مؤثرترین جت در تشدید ناپایداری‌های همرفتی بخش جنوبی ایران است، در ماه فوریه از منطقه دور است و جابه‌جایی شمال‌سوی کاملاً بارزی را نشان می‌دهد. همچنین سامانه‌های بارشی که از جنوب به منطقه وارد می‌شوند با جابه‌جایی شمالی‌تر و غرب‌سوتر، عموماً به‌صورت سامانه‌های ادغامی از غرب به ایران وارد می‌شوند. پدیده دیگر، جابه‌جایی غرب‌سوتر و گسترش‌مداری‌تر و اچرخند عربستان در ماه فوریه نسبت به دو ماه دیگر است. این الگوی گسترش و اچرخند مانع جدی فرارفت رطوبت و گسترش سامانه سودانی روی منطقه است.

واژه‌های کلیدی: و اچرخند عربستان، ناوه مدیترانه‌ای، جت جنب حاره‌ای، جنوب و جنوب غرب ایران

*نویسنده مسئول



2252- 0910/ © 2021 The Authors. Published by University of Isfahan

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



<http://dx.doi.org/10.22108/gep.2021.125832.1370>



[20.1001.1.20085362.1400.32.3.6.1](https://doi.org/10.22108/gep.2021.125832.1370)

مقدمه

بارش، یکی از مهم‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین عناصر اقلیمی به شمار می‌رود. این مایه حیاتی که زیست و حیات جانداران به آن وابسته است، توزیع زمانی و مکانی بسیار متغیر در پهنه جهانی دارد. در عین اینکه مناطق محدودی از سیاره زمین با مازاد بارش روبه‌روست، بخش عظیمی از آن با کمبود و فقر این مایه حیاتی مواجه است؛ بنابراین توزیع مکانی آن در سیاره اصلاً مورد رضایت ساکنان زمین نیست. در عرض‌های جنب حاره این محدودیت و فقر بسیار چشمگیر است. به دلیل اهمیت حیاتی این ماده، در این مناطق مدیریت هر قطره آن ضرورت می‌یابد؛ به همین دلیل کارگزاران و استفاده‌کنندگان بسیار مایل هستند این بارش‌ها در دوره سردتر اتفاق بیفتد تا اتلاف حاصل از تبخیر و تعرق به کمترین حد برسد؛ بنابراین بارش‌های زمستانه برای این مناطق بسیار مفید و مؤثر است.

در چند پژوهش انجام‌شده در منطقه جنوبی ایران مشخص شد در روند بارش ماهانه در دوره سرد سال، بارش ماه فوریه در مقایسه با دو ماه قبل و بعد از خود به‌طور محسوسی در بیشتر ایستگاههای جنوب و جنوب غربی کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه نواحی جنوبی از معدود نواحی ایران است که دوره بارشی با دوره کشت انطباق دارد، این مسئله به‌مثابه پرسش اصلی این پژوهش بررسی و تحلیل شده است.

دوره بارشی در هر منطقه‌ای به اقلیم آن منطقه و موقعیت جغرافیایی آن منطقه نسبت به گردش عمومی جو وابسته است (لشکری و همکاران، ۱۳۹۵: ۶۰) و تغییرات فصلی و نامنظم الگوی گردش جو تغییر رژیم بارش را کنترل می‌کند (فتاحی و رحیم‌زاده، ۱۳۸۸: ۲۱). تغییر در الگوهای بارش بسیار اهمیت دارد؛ به طوری که بررسی دقیق رفتار بارشی قلمروهای جغرافیایی برای دستیابی به برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب، مدیریت بحران حوادث طبیعی (سیل، یخبندان و...) و پیش‌بینی‌های جوی و نیز توسعه اجتماعی و اقتصادی ضروری است (شبانکاری و حلبیان، ۱۳۹۱: ۱۷۰). بر پایه دیدگاه موجود، مقادیر بارش لزوماً از ماه ژانویه به سمت ماههای گرم سیر نزولی دارد. این شرایط به‌ویژه در میانگین‌های طولانی‌مدت کاملاً نمایان است؛ اما برخلاف تصور، در پی بررسی‌ها و تحلیل‌های انجام‌شده روی بارش طولانی‌مدت جنوب غرب ایران، تغییرات و ناهنجاری در بارش زمستانه این منطقه دیده شد؛ به طوری که در این منطقه بارش ماه فوریه کمتر از دو ماه قبل و بعد از خود یعنی ژانویه و مارس است؛ حتی تعداد سامانه‌های ورودی به منطقه جنوب غرب نیز در ماه فوریه در مقایسه با دو ماه دیگر زمستان کاهش می‌یابد.

سامانه آب‌وهوا مجموعه‌ای به‌هم‌پیوسته و مرتبط است که همانند یک سامانه کامل، تمامی اجزای آن در ارتباط با یکدیگر عمل می‌کنند. وابستگی‌ها در این سامانه به حدی قوی و پیچیده است که هرگونه تغییر و نوسان در بخش و منطقه‌ای از این مجموعه بر سایر بخش‌ها و مؤلفه‌های آن تأثیر می‌گذارد (حیدری و خوش‌اخلاق، ۱۳۹۴: ۲۲۱). با توجه به اینکه بارها در مطالعات گذشته به نقش الگوهای گردش جو و تغییرات آن به‌منزله مهم‌ترین عامل در ایجاد ناهنجاری بارش اشاره شده است، بدون تردید تغییرات الگوی گردش جو در مقیاس منطقه‌ای و محلی به ایجاد چنین تغییراتی در بارش جنوب غرب ایران منجر می‌شود؛ بنابراین موضوعی که در حال حاضر توجه ما را به خود جلب می‌کند، درک چگونگی ایجاد ناهنجاری‌های ماهانه بارش زمستانی جنوب غرب ایران و شناسایی مکانیسم‌های ایجادکننده چنین تغییراتی است. این تغییرات و نوسان‌ها در رژیم‌ها و الگوهای بارشی نواحی مختلف ناشی از عوامل

تأثیرگذار در ایجاد بارش است که شناخت این عوامل و بررسی تغییرات آنها مهم و نیازمند مطالعه است. از آنجا که عامل بسیار مهم در ایجاد بارش در یک منطقه، وجود رطوبت یا انتقال رطوبت در جریان گردش جو است، تغییرات رطوبتی وابسته به گردش جو در مقیاس منطقه‌ای بررسی و ارزیابی شده است.

بیشتر مطالعات انجام‌شده در این زمینه درباره الگوهای جو-اقیانوسی و ارتباط آن با نوسان‌ها و ناهنجاری‌های بارش است. در میان آنها، نقش نوسان جنوبی^۱ (ENSO) بسیار پررنگ‌تر از سایر این الگوهاست؛ زیرا اقیانوس‌های گرمسیری آرام و اطلس از طریق ENSO و حالت‌های تغییرپذیری SST اطلس، نقش مهمی در ناهنجاری بارش در بسیاری از مناطق جهان بسته به موارد بارشی و فصول دارند (Andreoli et al., 2012: 1193). در بیشتر این مطالعات، وجود رابطه میان الگوهای جو و اقیانوس با بارش منطقه مطالعاتی احراز شده است. در ادامه به نتایج تعدادی از آنها به‌طور خلاصه اشاره می‌شود:

بررسی ناهنجاری‌های دما و بارش فصلی جهان طی النینو در پاییز و زمستان (Larkin & Harrison, 2005: 1)، تغییر بارش‌های فصلی در فیلیپین به‌واسطه پدیده نوسان جنوبی النینو (ENSO) (Lyon et al., 2006: 1)، ماهیت تداوم ناهنجاری‌های بارش ماهانه قاره استرالیا به‌ویژه در شرق آن به دلیل تأثیر^۲ SOI (Simmonds & Hope, 1997: 597)، هدایت ناهنجاری‌های فصلی بارندگی در آمازون مرکزی و شرقی با الگوهای اقیانوسی و جو ENSO در اقیانوس‌های اطلس و آرام استوایی (Andreoli et al., 2012: 1204)، تأثیر رویدادهای النینو بر بارندگی‌های فصلی زیر نرمال و رویدادهای لانینا با بارش‌های بالاتر از نرمال (Mason & Goddard, 2001: 619)، سازگاری ناهنجاری بارش در جنوب برزیل همراه با رویدادهای النینو و لانینا (Grimm et al., 1998: 2863)، الگوهای بارش و دما و ارتباط آن با النینو و نوسان جنوبی (Ropelewski & Halpert, 1986: 2352) و وجود رابطه معنادار بین ناهنجاری‌های بارش در اروگوئه و جنوب برزیل و دمای سطح دریا در اقیانوس‌های آرام و اطلس (Diaz et al., 1998: 251).

تمرکز برخی پژوهشگران فقط بر الگوهای اقیانوسی به‌ویژه دمای سطح آب و ارتباط آن با ناهنجاری‌های بارش در مناطق مختلف جهان بوده است. ارتباط میانگین^۳ SST‌های بالای (پایین) اقیانوس اطلس در جنوب غرب انگلستان با سطوح پایین (بالا) بارندگی روی این مناطق (Phillips & McGregor, 2002: 215)، رابطه میان دمای سطح دریا و الگوهای ناهنجاری بارش غرب آفریقا (Fontaine & Janicot, 1996: 2935)، ارتباط SST بالا (پایین)، باد جنوب غربی ضعیف (قوی) در سطح پایین در دریای جنوبی چین، کاهش (افزایش) انتقال بخار آب در جنوب چین، کاهش (افزایش) بارش بهار در شرق بخشی از جنوب غربی چین و افزایش (کاهش) رطوبت خاک (Gao et al., 2014: 228)، انحراف مثبت (منفی) SST و تقویت (تضعیف) حمل‌ونقل هوای گرم و مرطوب و بارش فراوان در جنوب شرقی چین (Zhang et al., 2014: 2239) و نقش مهم الگوی SST در بارش ناهنجرار در سواحل گینه (Wagner & Da Silva, 1994: 179)، از جمله نتایج حاصل از این مطالعات است.

1. El Niño–Southern Oscillation
2. Southern Oscillation Index
3. Sea Surface Temperature

تعدادی دیگر از مطالعات فقط بر پایه تغییرات در الگوی گردش جو و جابه‌جایی مراکز فشار و ارتباط آن با ناهنجاری‌های بارش انجام شده است:

از جمله ارتباط الگوی بارش زمستان بخش شمالی هند و پاکستان (جنوب آسیا) با جابه‌جایی عرضی پرفشار سیبری (Iqbal et al., 2012: 1)، هماهنگی ارتباط میان تغییرات دهه‌ای پرفشار سیبری و موسمی زمستانی شرق آسیا (Chang & Lu, 2012: 1773)، تأثیر جابه‌جایی جنوب‌سوی پرفشار آזור در شار هوای گرم و مرطوب از اقیانوس اطلس به اروپا و افزایش بارش نسبت به حرکت شمال‌سوی آن (Rashid et al., 2012: 992)، تأثیرات مستقیم و جالب توجه پرفشار سیبری در موسمی زمستانه شرق آسیا به‌ویژه در تراز دریا در مقایسه با نوسان شمالگان (Wu & Wang, 2002: 1)، گسترش غرب‌سوی پرفشار جنب حاره‌ای اقیانوس آرام و ایجاد ناهنجاری‌های بارش تابستان در جنوب چین (Gao et al., 2014: 228)، نقش مهم مهاجرت شمال به جنوب ناوه گرمسیری در تعدیل بارندگی‌های این مناطق (Kayano et al., 1988: 487)؛ همچنین تأثیر تغییر گردش جو نامناسب در مجموع بارش‌های سنگین طی دو ماه سپتامبر و اکتبر ۱۹۷۶ (Ratcliffe, 1977: 36)، رابطه بین فازهای AAO مثبت (منفی) با تشدید انحنای آنتی سیکلونیک (سیکونیک) سطح بالا، همگرایی رطوبت ضعیف (افزایش) و کاهش (افزایش) بارش روی جنوب شرقی آمریکای جنوبی به‌ویژه در بهار (Silvestri & Vera, 2003: 1)، ارتباط افزایش بارش در جنوب شرقی چین با توده هوای قطبی AO که تحت تأثیر ناهنجاری‌های گردشی در عرض‌های میانه و بالا قرار دارد (Zhang et al., 2014: 2239) و همراهی آنومالی گردش جو و انتقال رطوبت از اقیانوس اطلس به منطقه یورو-مدیترانه با ناهنجاری‌های باران مشاهده‌شده (Mariotti et al., 2002: 1).

مطالعات بسیار زیادی در این زمینه در ایران انجام شده است که به تعدادی از نتایج آنها اشاره می‌شود:

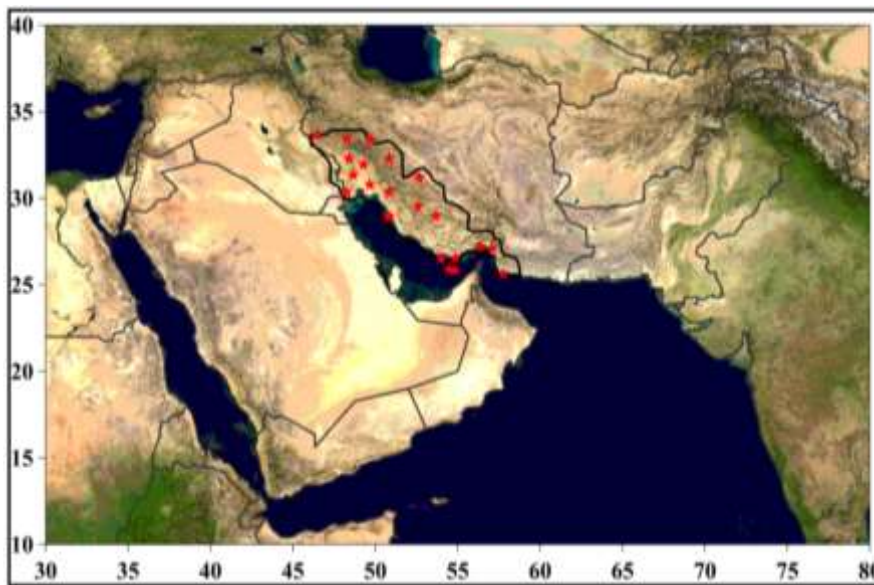
تأثیر تغییرات مقادیر نوسان مدیترانه شرقی بر شدت و ضعف رخداد‌های خشکسالی- ترسالی بارش ایستگاه‌های غرب ایران (بساطی و یاراحمدی، ۱۳۹۶: ۳۰۷)، تغییرات ناهنجاری‌ها و چرخه‌های آب قابل بارش جو ایران و وجود چرخه‌های کوتاه‌مدت دو تا پنج‌ساله در آن (عساکره و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۴۲)، ارتباط شدت و گسترش بارندگی‌های تابستانه نیمه جنوبی ایران با عقب‌نشینی سیستم پراارتفاع جنب حاره و پیشروی سیستم موسمی و جریان‌های غربی (سلیقه و صادقی‌نیا، ۱۳۸۹: ۹۵)، ارتباط بین نوسان بارش روزانه و تغییرات فشار تراز دریا با دو الگوی بارشی موسمی و سودانی در کرانه‌های جنوبی ایران (شبانکاری و حلبیان، ۱۳۹۱: ۱۶۵)، رابطه مستقیم و معنادار میان بارش سواحل جنوبی دریای خزر و الگوی پیوند از دور دریای شمال- خزر (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۹)، رابطه معکوس و معنادار در سطح ۹۵ درصد بین بارش غرب ایران و مراکز فشار دریای مدیترانه (حیدری و خوش‌اخلاق، ۱۳۹۴: ۲۲۱)، نقش مهم الگوی ناهنجاری‌های دمای سطح آب اقیانوس هند در نوسان‌های بارش نیمه جنوبی ایران (پوراصغر و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۴۵)، ارتباط خشکسالی‌های شدید در جنوب و جنوب غرب ایران با زبانه‌های چهار سامانه و اچرخندی آזור، آفریقا، عربستان و سیبری (لشکری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۴۱)، ارتباط و همراهی جابه‌جایی غرب‌سوی پرفشار عربستان و ایجاد نامناسب‌ترین الگو برای بارش جنوب و جنوب غرب ایران (لشکری و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۱؛ Mohammadi et al., 2021: 1) و تأثیر موقعیت مکانی، شکل و پهنه گردشی پرفشار عربستان در تزریق رطوبت و ایجاد بارش در ایران (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۶۹؛ Lashkari et al., 2020: 13).

روش‌شناسی پژوهش

همان‌طور که بیان شد، هدف این پژوهش، شناسایی علل یا عوامل همدیدی کاهش بارش‌ها در نیمه جنوبی ایران در ماه فوریه نسبت به ماه مارس است. به همین منظور ابتدا ایستگاه‌های نماینده که بیش از ۳۰ سال آمار هواشناسی بدون داشته است، انتخاب شد (جدول ۱). نقشه محدوده جغرافیایی و موقعیت ایستگاه‌های انتخابی در شکل ۱ ارائه شده است؛ سپس بارش‌های روزانه و ماهانه این ایستگاهها (دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۷) از سازمان هواشناسی کشور ایران دریافت شد. شکل ۲ میانگین طولانی‌مدت بارش منطقه جنوبی ایران در سه ماه ژانویه، فوریه و مارس را نشان می‌دهد.

براساس تجربه پژوهش‌های پیشین نویسندگان، پرسش‌ها و پیش‌فرض‌های متعددی مطرح شد. برای پاسخ به هر یک از پرسش‌های مطرح‌شده، پژوهش جداگانه‌ای شکل گرفت. پرسش اول این بود که ممکن است تعداد سامانه‌های ورودی به منطقه در ماه فوریه نسبت به ماه‌های پیش و پس از آن کاهش پیدا کرده باشد.

محمدی (۱۳۹۹) با استفاده از بارش‌های روزانه، سامانه‌های ورودی در دو ماه فوریه و مارس را استخراج کرده است (جدول ۲). هرچند همان‌طور که مشاهده می‌شود در بیشتر ایستگاهها تعداد سامانه‌های ورودی به منطقه در ماه فوریه در مقایسه با ماه مارس کمتر است، اما به‌طورکلی تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد. پرسش دوم درباره تغییر در الگوهای همدیدی در ماه فوریه نسبت به ماه‌های پیش و پس از خود بود. برای بررسی الگوهای همدیدی از داده‌های شبکه‌بندی‌شده با قدرت تفکیک مکانی $0.5^{\circ} * 0.5^{\circ}$ درجه ERA Interim مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا (ECMWF¹) استفاده شده است.



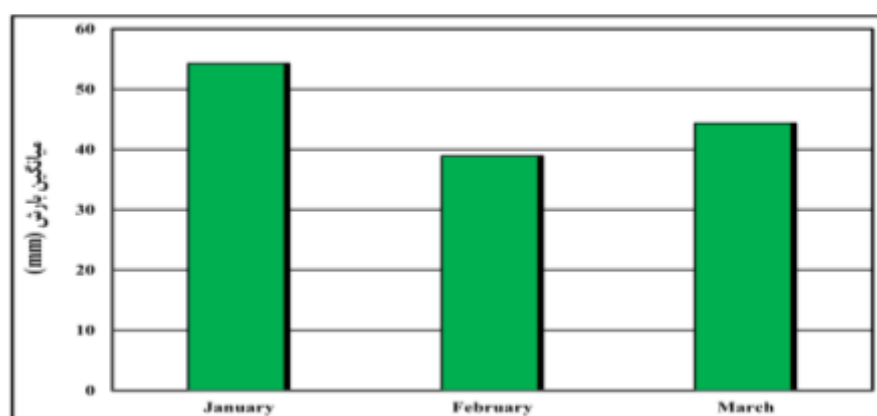
شکل ۱. پراکنش و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نماینده در جنوب غرب ایران (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 1. Distribution and geographical location of representative stations in southwestern Iran (Source: Authors, 1399).

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاههای مورد استفاده در پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Table 1. Geographical characteristics of the stations used in the research (Source: Authors, 1399)

عرض جغرافیایی (°N)	طول جغرافیایی (°E)	ارتفاع (m)	نام ایستگاه
31 20	48 40	22.5	اهواز
33 38	46 26	1337	ایلام
33 26	48 17	1147.8	خرم‌آباد
32 17	50 51	2048.9	شهرکرد
31 56	49 17	320.5	مسجد سلیمان
32 16	48 25	82.9	صفی‌آباد (دزفول)
30 22	48 15	6.6	آبادان
30 46	49 40	27	امیدیه (آغاچاری)
33 24	49 42	2022.1	الیگودرز
27 13	56 22	9.8	بندرعباس
27 6	57 5	29.6	میناب
25 53	54 29	4.4	جزیره سیری
25 50	54 50	6.6	ابوموسی
29 32	52 36	1488	شیراز
28 58	50 49	9	بوشهر
31 11	52 40	2030	آباده
30 20	50 49	726	دوگنبدان
28 58	53 41	1268	فسا
28 54	50 49	8.4	بوشهر (ساحلی)
26 32	54 50	22.7	بندر لنگه
25 38	57 46	5.2	چاسک
26 30	53 59	30	کیش



شکل ۲. میانگین طولانی مدت بارش ماههای ژانویه، فوریه و مارس در ایستگاههای جنوب و جنوب غرب ایران

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 2. Long-term average rainfall in January, February and March in southern and southwestern stations of Iran (Source: Authors, 1399)

جدول ۲. فراوانی ماهانه روزهای دارای بارش سودانی در ۲۲ ایستگاه همدید جنوب غرب طی سال‌های ۱۹۵۷-۲۰۱۷

(منبع: محمدی، ۱۳۹۹)

Table 2. Monthly frequency of rainy days due to the Sudanese system in 22 southwestern synop stations during 1957-2017 (Source: Mohammadi, 1399)

محل	فوریه	مارس
باسج	۱۷۵	۱۹۲
دوگبدان	۱۰۱	۱۲۰
ایلام	۱۴۵	۱۵۳
دهلران	۵۹	۵۸
دره شهر	۳۸	۴۸
ایوان	۶۵	۷۷
خرم‌آباد	۳۳۱	۲۷۱
ایگودرز	۱۰۲	۱۱۶
بروجرد	۱۰۵	۱۱۵
الشتر	۵۱	۷۰
شهرکرد	۱۹۹	۲۱۷
کوهنگ	۲۳۳	۲۱۱
بروجن	۹۱	۹۱
لردگان	۱۰۷	۱۰۰
اهواز	۱۰۲	۸۹
آبادان	۶۷	۳۹
دزفول	۱۷۲	۱۵۷
مسجد سلیمان	۱۰۸	۱۱۰
بستان	۶۰	۵۵
امیدیه	۸۹	۷۰
ایذه	۱۰۰	۹۰
تویهان	۶۰	۴۳
معدل	۱۰۰	۱۱۳

برای تحلیل همدیدی، تعدادی نمونه از میان‌دوره آماری انتخاب شد. جدول ۳ مشخصات بارشی نمونه‌های انتخابی را برای تحلیل همدیدی نشان می‌دهد.

جدول ۳. مشخصات بارشی سال‌های منتخب برای ارزیابی ناهنجاری بارش ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Table 3. Precipitation characteristics of selected years for assessment of precipitation anomalies in January, February and March (Source: Authors, 1399).

شماره	سال	ژانویه (mm)	فوریه (mm)	مارس (mm)
۱	۱۹۸۷	۱۱,۷	۲۷,۲	۹۱,۹
۲	۱۹۹۴	۳۵,۹	۱۵,۲	۵۱,۶
۳	۱۹۹۶	۱۱۴,۴	۶۳,۷	۱۱۸,۶
۴	۱۹۹۷	۵۶,۷	۵,۷	۱۲۳,۰
۵	۲۰۰۹	۲۳,۷	۱۷,۷	۴۳,۷
۶	۲۰۱۴	۸۱,۱	۱۷,۴	۴۹,۴

پرسش سوم درباره تغییر میزان رطوبت فرارفت‌شده از روی دریاهای گرم عرب و عمان به درون منطقه مطالعاتی بود. با توجه به اینکه مطالعات پیشین نشان می‌داد دریای عرب و عمان، منبع مهمی از بخار آب و انرژی در ترازهای زیرین برای بارش ایران به‌ویژه مناطق جنوبی و جنوب غربی آن است (کریمی، ۱۳۸۶: ۱؛ کریمی و فرج‌زاده، ۱۳۹۰: ۱۰۹؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۵۷ و ۱۳۹۸، ۵۸۴؛ لشکری و محمدی، ۱۳۹۴: ۷۳؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۵: ۹۵ و ۱۳۹۶: ۱۴۱؛ Farajzadeh et al., 2007: 3023)، برای بررسی تغییرات رطوبتی ایجادشده در ماه‌های زمستان، تغییرات رطوبت انتقالی از روی این دریا در ترازهای زیرین جو محاسبه شد. به‌منظور ارزیابی آماری شار رطوبت از روی دریای عرب و عمان روی منطقه جنوب و جنوب غرب ایران، مقادیر شار رطوبت خارج‌شده (منفی) از روی دریای عرب و عمان و واردشده (مثبت) به منطقه جنوب و جنوب غرب ایران در نظر گرفته شد. این ارزیابی با بهره‌گیری از روابط ۱ و ۲ محاسبه و از نقاط شبکه‌ای ۰/۵ در ۰/۵ درجه استخراج شد (شکل ۳). برای نمایش تغییرات شار رطوبت در سه ماه ژانویه، فوریه و مارس از تکنیک میان‌یابی استفاده شده است.

مجموع بردار باد افقی با رابطه ۱ حاصل می‌شود:

$$\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} \quad \text{رابطه ۱}$$

در آن \mathbf{u} و \mathbf{v} به ترتیب مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد هستند.

مجموع انتگرال عمودی از واگرایی افقی شار بخار آب (مجموع شار رطوبت) در سطوح زیرین جو از رابطه ۲

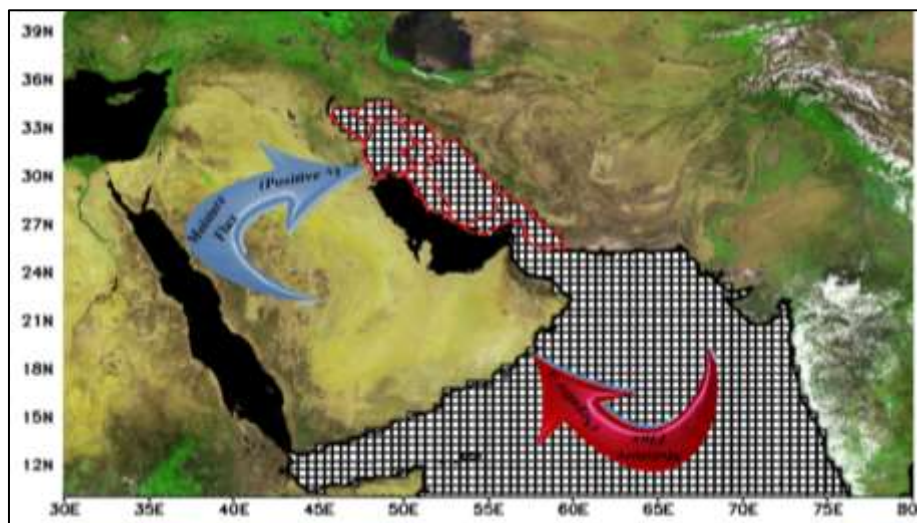
محاسبه شده است:

$$Q = \frac{1}{g} \int_{1000}^{700} Vq \cdot dp \quad \text{رابطه ۲}$$

در آن q رطوبت ویژه (kg kg^{-1})، g ثابت شتاب گرانشی (9.8 m s^{-2}) و dp تغییر فشار است. V بردار افقی باد

(m s^{-1}) است که با رابطه ۱ محاسبه می‌شود؛ به همین ترتیب Q مجموع شار رطوبت است (Peixoto, 1973: 5;)

(Malik & Taylor, 2011: 280).



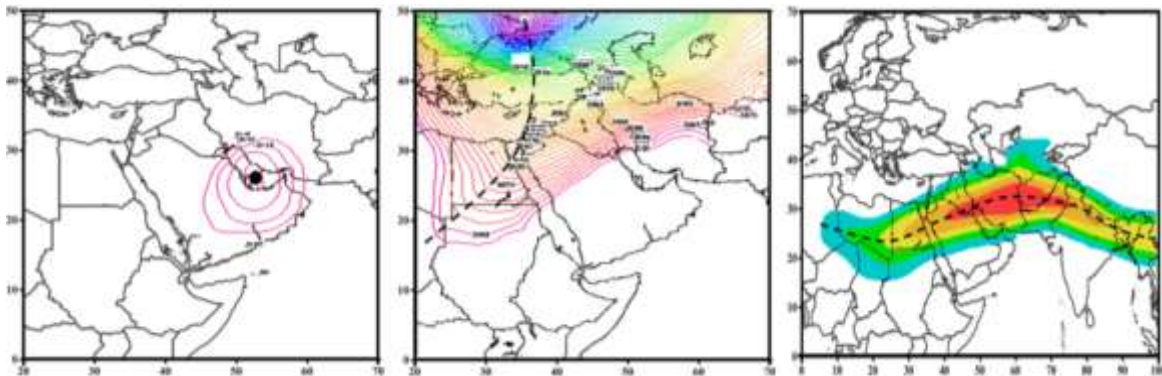
شکل ۳. پوشش نقاط شبکه ۰,۵ در ۰,۵ درجه استفاده‌شده در استخراج مقادیر شار رطوبت روی دریای عرب و

جنوب و جنوب غرب ایران (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 3. Coverage of 0.5 * 0.5 degree grid points used in extracting moisture flux values on the Arabian Sea and south and southwest of Iran (Source: Authors, 1399)

جابه‌جایی و نوسان در الگوها و سامانه‌های فشار به تغییرات چشمگیری در پدیده‌های هواشناسی منجر می‌شود؛ بر این اساس بررسی این الگوها در ترازهای مختلف جو، پاسخگوی ابهامات در زمینه تغییرات یا ناهنجاری‌های اقلیمی در قلمرو جغرافیایی زیر سیطره آنها یا حتی مناطق دوردست است (لشکری و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۰)؛ بنابراین با توجه به نقش بسیار مهم و اچرخند عربستان در انتقال رطوبت از دریاهای عرب و عمان روی شبه‌جزیره عربستان و کم‌فشار سودان و همچنین نقش مهم‌تر ناوه مدیترانه‌ای در فرارفت رطوبت انتقالی از این دریاهای گرم روی منطقه مطالعاتی، ادامه موقعیت مکانی استقرار و جابه‌جایی هسته این و اچرخند روی آب‌های گرم و همچنین موقعیت و عمق ناوه مدیترانه‌ای در ترازهای زیرین (۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال) طی سه ماه مدنظر در دوره آماری و نیز نمونه‌های انتخابی استخراج و بررسی شده است؛ با توجه به اینکه براساس مطالعات انجام‌شده، جت جنب حاره‌ای نقش بسیار

تعیین‌کننده‌ای در ساختار دینامیکی سامانه‌های بارشی انتقالی از کم‌فشار سودان دارد (عساکره و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۲۱؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۴۱؛ فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۵۶)؛ به همین دلیل یکی دیگر از مؤلفه‌های بررسی‌شده در این پژوهش، تغییرات موقعیت و ساختار محور جت جنب حاره‌ای در نمونه‌های انتخابی در هر سه ماه ژانویه، فوریه و مارس است. براساس نتایج مطالعات فوق ترازهای ۳۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال، مناسب‌ترین ترازها برای مطالعه جت جنب حاره‌ای روی منطقه غرب آسیاست؛ بنابراین محور جت در این ترازها استخراج و بررسی شده است. برای تعیین موقعیت استقرار هسته مرکزی پرفشار و موقعیت قرارگیری ناوه و جت، از نقشه‌های میانگین ماهانه ماههای فوق استفاده شد. نقشه‌ها از محاسبه میانگین هر کدام از متغیرها طی دوره آماری و ترسیم آنها حاصل شد. با بررسی نقشه‌های ماهانه ترسیم‌شده به ترتیب از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۷، و استخراج و ترسیم هسته مرکزی پرفشار عربستان، محور ناوه و جت، جابه‌جایی آنها در هر ماه تعیین و خروجی آن به شکل نقشه ارائه شد. نحوه استخراج مؤلفه‌های بیان‌شده به صورت شماتیک در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴. الگوی شماتیک از نحوه استخراج موقعیت استقرار هسته مرکزی پرفشار، موقعیت قرارگیری محور ناوه و جت

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

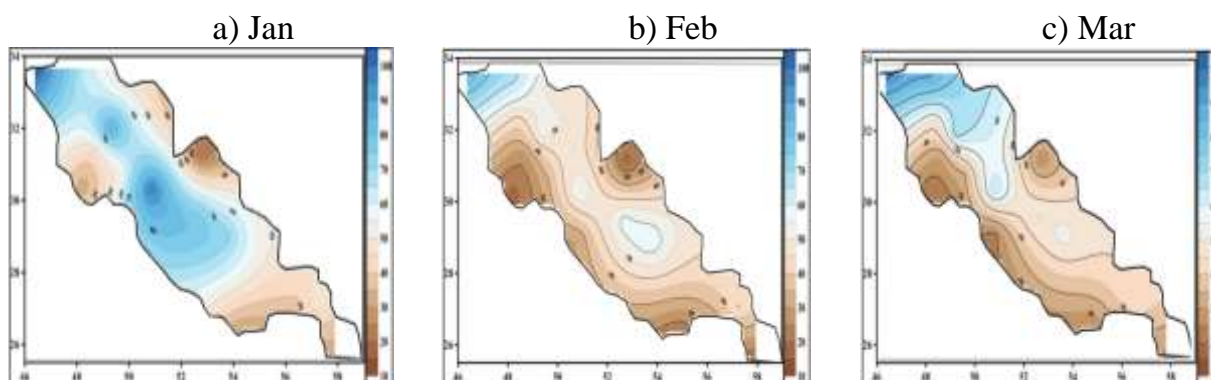
Figure 4. Schematic model of how to extract the location of the high-pressure central core, the position of the trough and jet axis (Source: Authors, 1399)

یافته‌های پژوهش

همان‌طور که بیان شد، هدف اصلی این پژوهش، علت‌یابی کاهش بارش در ماه فوریه در مقایسه با ماه ژانویه و مارس در منطقه جنوبی کشور ایران است. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های قبل (Esfandiari & Lashkari, 2020: 1; Mohammadi & Lashkari, 2020: 1125) نشان می‌داد بارش در ماه فوریه در بیشتر ایستگاههای استان‌های ساحلی خلیج فارس نسبت به ماه پیش و پس از خود به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. در بعضی از سال‌ها این میزان کاهش کاملاً چشمگیر است. براساس آنچه در روش پژوهش نیز دیدیم، مقادیر بارش طولانی‌مدت در ماه فوریه نسبت به ماه پیش و پس کاهش محسوسی دارد.

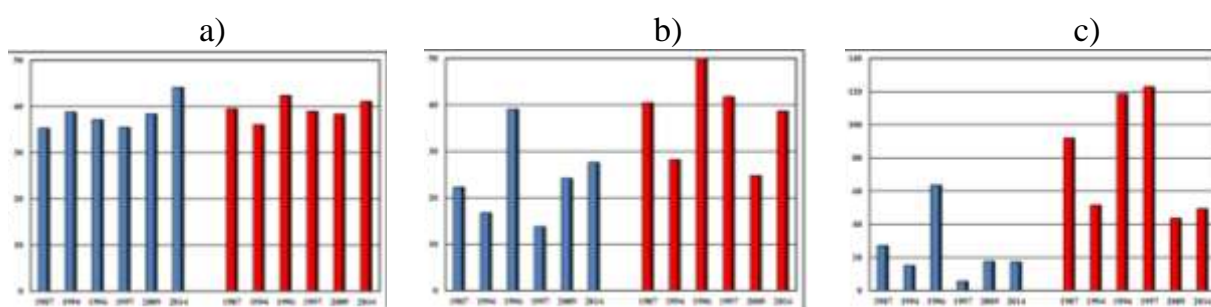
شکل ۵a-c، نقشه پهنه‌بندی‌شده میانگین بارش طولانی‌مدت ماههای ژانویه، فوریه و مارس را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در ماه فوریه، هم حجم بارش و هم منطقه حداکثری آن، تفاوت چشمگیری با ماه مارس و ژانویه دارد.

شکل ۶a-c نمودار شار رطوبت از دریای عرب و شار رطوبت روی منطقه و همچنین معدل بارش رخ داده روی ایستگاههای منطقه در سالهای نمونه را نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر بارش رخ داده با رطوبت شارش شده از روی دریای عرب تفاوت بسیار چشمگیری را در ماه فوریه نشان می‌دهد؛ در حالی که در ماه مارس این تفاوت بسیار کم است و در موارد زیادی کاملاً بر هم انطباق دارند.



شکل ۵. نقشه میانگین همبارش جنوب غرب ایران طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۷، ماههای ژانویه (a)، فوریه (b) و مارس (c) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 5. Map of the average rainfall of southwestern Iran during the period 1986-2017, January (a), February (b) and March (c) (Source: Authors, 1399)



شکل ۶. میانگین شار رطوبت ($\text{kgm}^{-1}\text{S}^{-1}$) خارج شده (منفی) از دریای عرب (a) و وارد شده (مثبت) به جنوب غرب ایران (b) و مجموع بارش (c) این منطقه در ماههای فوریه (آبی) و مارس (قرمز) سالهای منتخب (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 6. Mean moisture flux ($\text{kg m}^{-1}\text{S}^{-1}$) exiting (negative) from the Arabian Sea (a) and entering (positive) to southwestern Iran (b) and total precipitation (c) This region in the months of February (blue) and March (red) of selected years (Source: Authors, 1399)

۱. ارزیابی شار رطوبتی

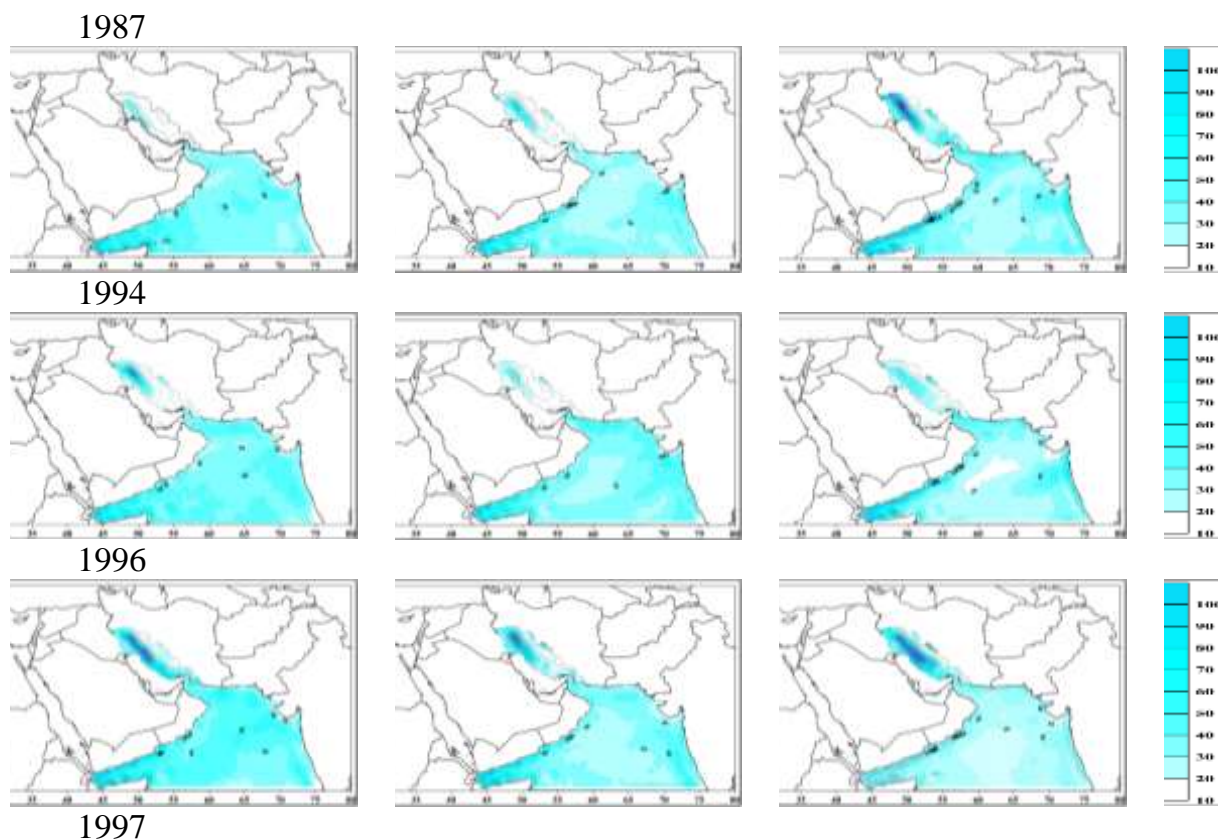
کاهش بارش در ماه فوریه این پرسش را مطرح می‌کند که شاید شار رطوبتی در ماه فوریه از پهنه‌های آبی اطراف روی منطقه کاهش داشته است؛ به همین منظور شار رطوبتی از دریا‌های اطراف در ماههای ژانویه، فوریه و مارس در سالهای منتخب براساس شاخص‌های بیان شده محاسبه شد. در گام اول مقادیر شار رطوبت از دریای عرب، با توجه به اینکه منشأ اصلی و مهم تأمین‌کننده رطوبت سامانه‌های بارشی ورودی به این منطقه جغرافیایی است (کریمی،

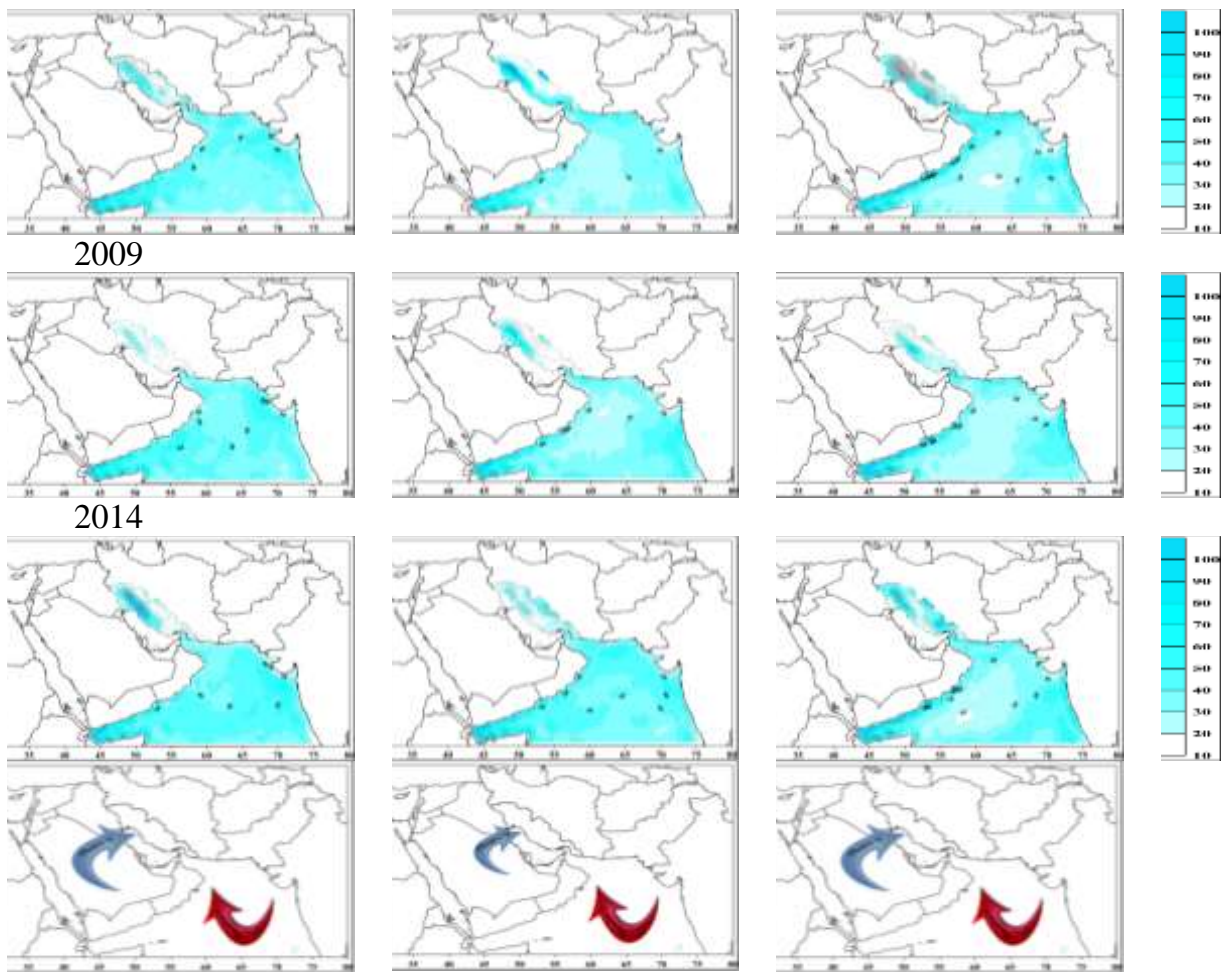
۱۳۸۶: ۱؛ کریمی و فرج‌زاده، ۱۳۹۰: ۱۰۹؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۵۷ و ۱۳۹۸، ۵۸۴؛ لشکری و محمدی، ۱۳۹۴: ۷۳؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۹ و ۱۳۹۶: ۱۴۱؛ Farajzadeh et al., 2007: 3023)، بررسی شده است. اشکال a- ۷C، شار رطوبت از دریای عرب و رطوبت شارش‌شده روی منطقه را در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در ۶ سال نمونه انتخابی نشان می‌دهد. بررسی دقیق‌تر شار رطوبت از روی دریای عرب و عمان و شمال اقیانوس هند نشان می‌دهد رطوبت شارش‌شده از روی دریاها گرم در ماه فوریه کمتر از دو ماه دیگر نبوده است، بلکه در بعضی از سال‌ها مانند ۲۰۱۴، ۱۹۹۴ و ۱۹۸۷ بسیار بیشتر از آنهاست؛ ولی توجه به رطوبت شارش‌شده روی منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد در تمام سال‌ها این مقدار در ماه فوریه تقریباً کمتر از ماه ژانویه و مارس است. در سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۸۷ و ۱۹۹۷ این تفاوت بسیار چشمگیر است. به‌طورکلی رطوبت خروجی از دریای عرب در ماه مارس با مقادیر رطوبت واردشده به منطقه انطباق بسیار خوبی را نشان می‌دهد؛ حتی در سال ۲۰۱۴ رطوبت واردشده به منطقه بیش از شار رطوبت از روی دریای عرب است؛ ولی در ماه فوریه بین شار رطوبتی از روی دریای عرب و رطوبت واردشده به منطقه انطباقی وجود ندارد و در بعضی سال‌ها همانند ۱۹۸۷ و ۱۹۹۷ این تفاوت بسیار چشمگیر است؛ بنابراین باید در مسیر انتقال رطوبت از روی دریاها اطراف به داخل منطقه در ماه فوریه مانع یا موانعی وجود داشته باشد.

a) Jan

b) Feb

c) Mar





شکل ۷. نقشه میانگین شار رطوبت ($\text{kgm}^{-1}\text{S}^{-1}$) میان‌یابی‌شده از دریای عرب و جنوب غرب ایران در سال‌های

منتخب در ماه‌های ژانویه (a)، فوریه (b) و مارس (c) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 7. Map of average moisture flux ($\text{kg m}^{-1}\text{S}^{-1}$) mediated from the Arabian Sea and southwestern Iran in selected years in January (a), February (b) and March (c) (Source: Authors, 1399)

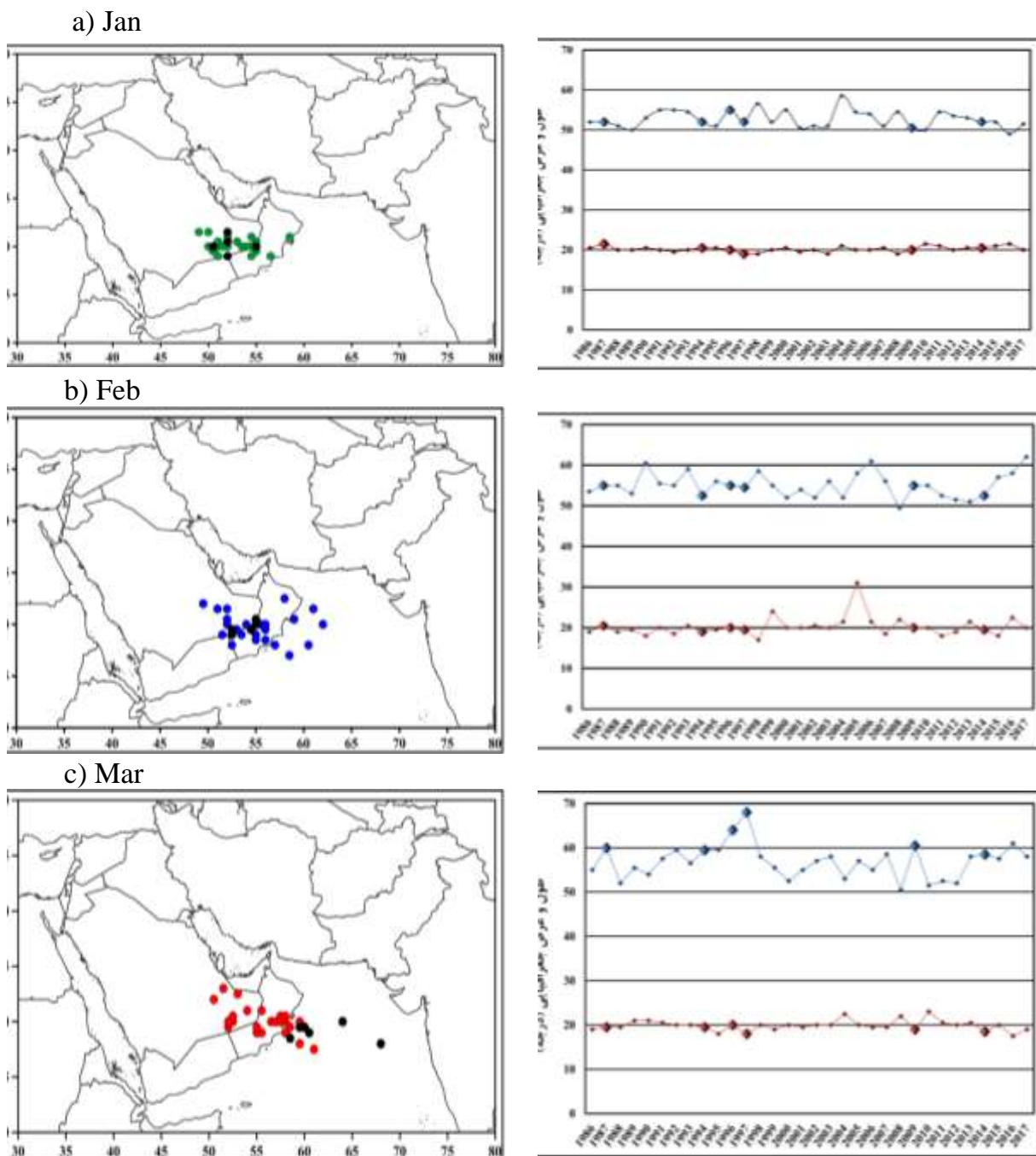
۲. ارزیابی موقعیت و اچرخند عربستان

حال باید به دنبال علل یا عواملی بود که در انتقال رطوبت از روی دریاها گرم روی منطقه مطالعاتی در فوریه مانعی ایجاد کرده و رطوبت در طول مسیر انتقال تخلیه شده و ریزش کرده است. در میان عوامل مؤثر بر جابه‌جایی و انتقال رطوبت از دریای عرب روی منطقه به نظر می‌رسید جابه‌جایی طولی و عرضی و اچرخند عربستان نقش مهمی دارد؛ به همین دلیل موقعیت طولی و عرضی هسته مرکزی و اچرخند عربستان در یک دوره آماری ۳۲ ساله برای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال محاسبه شده است. این تراز برای بررسی موقعیت و جابه‌جایی و اچرخند عربستان به دلیل اینکه نزدیک‌ترین تراز به مسیر انتقال رطوبت به منطقه است، گزینش شد. براساس مطالعات انجام‌شده (لشکری و محمدی، ۱۳۹۴؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۵)، بیشترین فرارفت رطوبتی از این دریاها گرم روی منطقه با توجه به الگوهای همدیدی و توپوگرافی، از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال است. اشکال ۸a-c (راست) روند زمانی موقعیت جغرافیایی هسته‌های و اچرخند عربستان را در این بازه زمانی نشان می‌دهد.

در ماه فوریه، تمرکز اصلی هسته‌ها از لحاظ عرض جغرافیایی در همان موقعیت ۲۰ درجه شمالی است، ولی در قیاس با ماه ژانویه، موقعیت عرضی هسته‌ها حدود یک درجه جابه‌جایی جنوب‌سو دارد. در سال‌های منتخب نیز همین مسئله تأیید شد؛ بنابراین از لحاظ موقعیت عرضی تفاوت فاحشی در موقعیت و اچرخند عربستان بین دو ماه وجود ندارد، ولی از لحاظ طول جغرافیایی نوسان‌های هسته‌ها در سه ماه بسیار شدیدتر است؛ به طوری که در بعضی از سال‌ها هسته‌ها تا نزدیکی طول ۷۰ درجه شرقی نیز جابه‌جا شده‌اند. در مقایسه عمومی، هسته‌ها در ماه ژانویه، چه در کل دوره ۳۲ ساله و چه در سال‌های منتخب، کاملاً در یک محدوده ۵ درجه‌ای (۴۷,۵ تا ۵۷,۵ درجه) متمرکز شده‌اند؛ ولی در ماه فوریه هسته‌ها پراکنده‌تر و حتی قدری شرق‌سوتر هستند و در سال‌های منتخب که بارش‌های این ماه به‌طور شاخصی کمتر شده است، هسته‌ها کاملاً به سمت خشکی تمایل دارند (شکل ۸b و ۹).

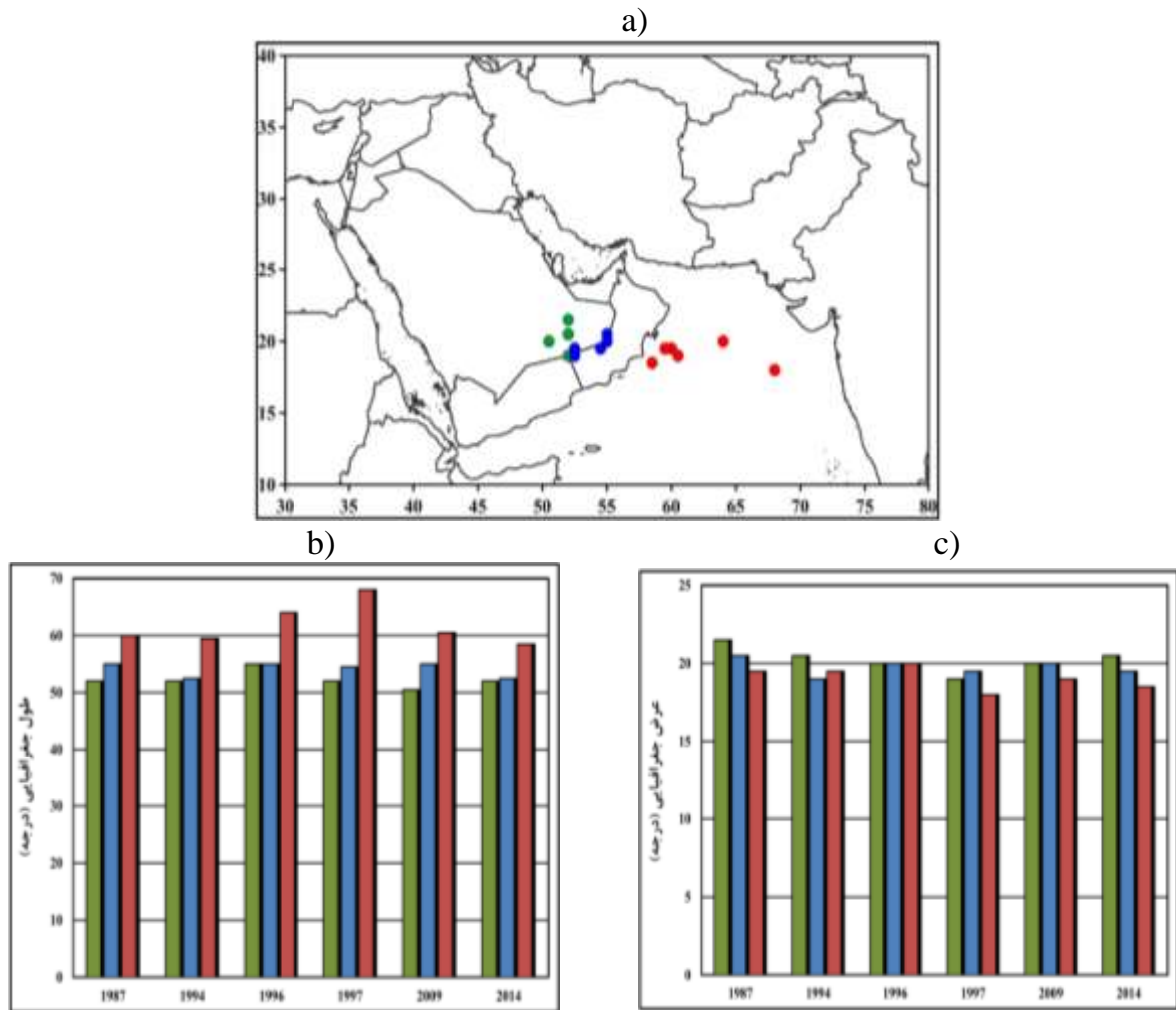
در ماه مارس موقعیت هسته‌ها از لحاظ عرض جغرافیایی شباهت زیادی با موقعیت هسته‌ها با دو ماه قبل دارد و هسته‌ها عموماً روی عرض جغرافیایی ۲۰ درجه شمالی استقرار دارند؛ ولی همان‌طور که کاملاً مشهود است، هسته‌ها از لحاظ طولی در مقایسه با دو ماه قبل جابه‌جایی شرق‌سوی چشمگیری را نشان می‌دهند. با وجود اینکه پراکنش اصلی سامانه‌ها بین طول‌های ۵۰ تا ۶۰ درجه است، ولی تمایل به سمت عرض ۶۰ درجه بسیار بیشتر است. پدیده بسیار مشهود در این نمودار، جابه‌جایی شرق‌سوی هسته‌ها در سال‌های منتخب است؛ به طوری که در این سال‌ها هسته‌ها یا روی طول ۶۰ درجه جغرافیایی یا شرقی‌تر از این طول استقرار دارند؛ به بیان دیگر موقعیت طولی هسته‌ها در سال‌های منتخب نسبت به موقعیت طولی آنها در سایر سال‌ها در همین ماه حدود ۵ درجه جابه‌جایی شرق‌سو دارند؛ همچنین در مقایسه با موقعیت هسته‌های سال‌های منتخب در دو ماه قبل نیز حدود ۵ تا ۷ درجه جابه‌جایی شرق‌سو داشته‌اند (شکل ۸c و ۹).

اشکال ۸a-c (چپ) جابه‌جایی موقعیت طولی و عرضی جغرافیایی هسته‌های و اچرخندی را در سه ماه زمستان برای دوره ۳۲ ساله نشان می‌دهد. در ماه ژانویه تمام هسته‌ها روی خشکی شرق عربستان و در مرز کشور عربستان، عمان و یمن شمالی استقرار دارند. همان‌طور که دیده می‌شود، در این ماه هیچ‌یک از هسته‌ها روی آب قرار ندارند (اشکال ۸a و ۹). در ماه فوریه هسته‌ها قدری جابه‌جایی شرق‌سو پیدا کرده‌اند؛ به طوری که عمده هسته‌ها داخل کشور عمان منتقل شده است. در تعدادی از ماه‌ها نیز هسته‌ها روی آب‌های دریای عمان و شمال دریای عرب قرار گرفته‌اند؛ ولی در تمام سال‌های نمونه، هسته‌های پرفشار روی خشکی و دقیقاً روی مرز عربستان و کشور عمان قرار دارند (اشکال ۸b و ۹). در ماه مارس جابه‌جایی‌ها نسبت به دو ماه قبل کاملاً محسوس و چشمگیر است. بیشتر هسته‌ها روی کشور عمان و ساحل شرقی این کشور قرار دارند؛ به طوری که در ۱۱ سال از ۳۲ سال بررسی شده، هسته‌ها کاملاً روی عمان قرار دارند. پدیده جالب اینکه هسته‌های پرفشار تمام سال‌های نمونه با فاصله دوری از ساحل در داخل آب‌های دریای عرب واقع شده‌اند (اشکال ۸c و ۹).



شکل ۸. نقشه موقعیت (چپ) و نمودار روند زمانی جابه‌جایی موقعیت طولی (آبی) و عرضی (قرمز) (راست) هسته‌های مرکزی پرفشار عربستان در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال طی سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۱۷ در ماه‌های ژانویه (a)، فوریه (b) و مارس (c) (سال‌های منتخب در نمودار به شکل بزرگ‌تر و در نقشه به شکل دایره‌های سیاه نمایش داده شده است) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 8. Position map (left) and time trend graph of the longitudinal (blue) and latitudinal (red) position of the high-pressure central cores of Arabian subtropical at the 850 hPa during the years 1986-2017 in January (a), February (b) and March (c) (selected years are shown in the graph in larger form and in the map in the form of black circles) (Source: Authors, 1399)

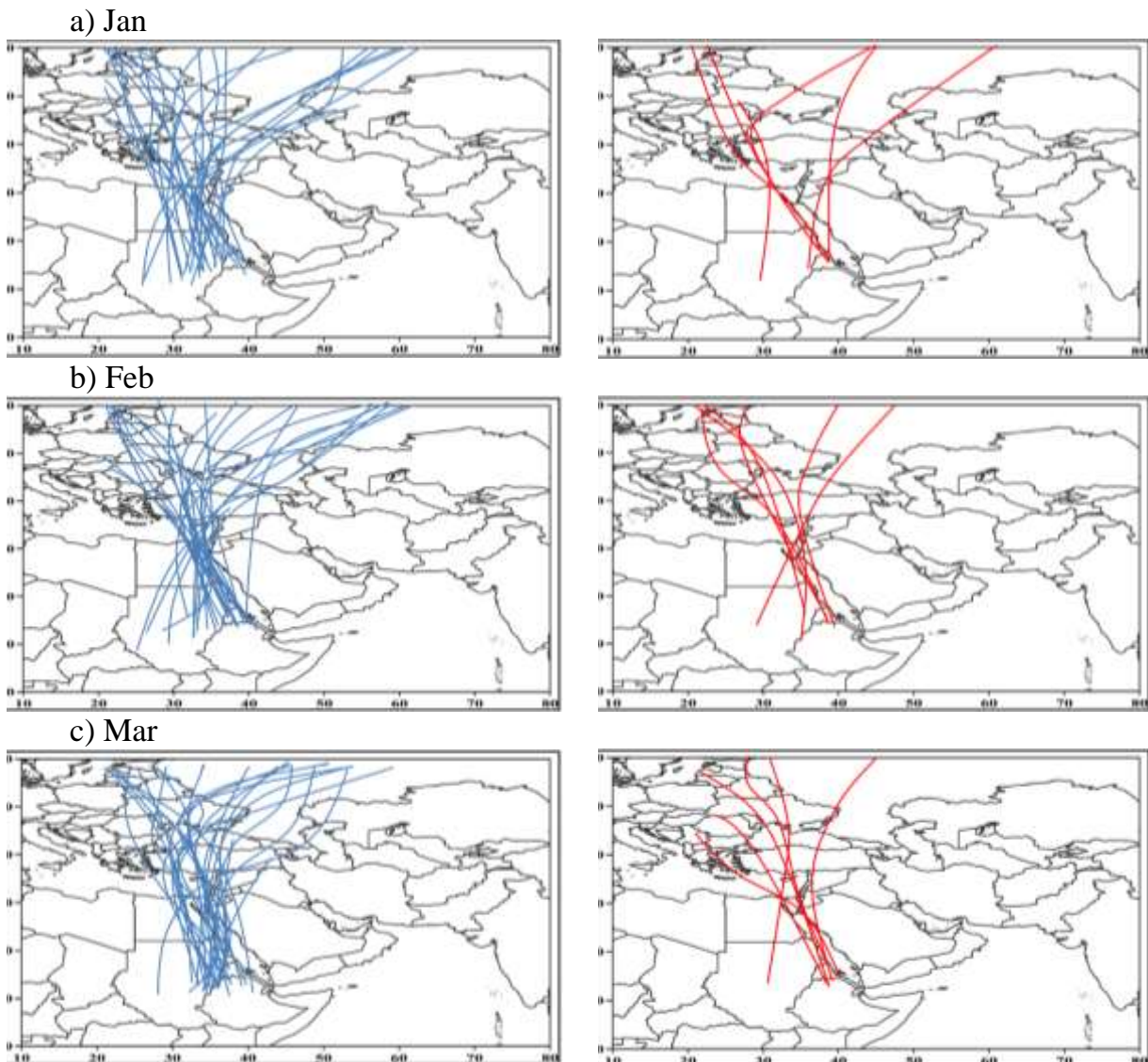


شکل ۹. نقشه موقعیت (a) و نمودار موقعیت طولی (b) و عرضی (c) هسته‌های مرکزی پرفشار عربستان در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ماه‌های ژانویه (سبز)، فوریه (آبی) و مارس (قرمز) سال‌های منتخب (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 9. Position map (a) and longitudinal (b) and latitudinal (c) position graphs of the high-pressure central cores of Arabian subtropical at the 850 hPa in January (green), February (blue) and March (red) of the selected year (Source: Authors, 1399)

۳. ارزیابی موقعیت ناوه مدیترانه‌ای

اشکال a-c-۱۰ محور ناوه‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال را در سه ماه ژانویه، فوریه و مارس در دوره آماری ۳۲ ساله (چپ) و در سال‌های منتخب (راست) نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، محور ناوه‌ها، چه در دوره آماری و چه در سال‌های منتخب، هم از لحاظ عمق نفوذ و هم از لحاظ استقرار طولی تفاوت فاحشی را نشان نمی‌دهد؛ به این ترتیب ناوه‌ها در هر سه ماه، هم در موقعیت مناسبی از لحاظ انتقال ناپایداری‌ها به منطقه قرار دارند و هم اینکه عمق مناسبی برای انتقال و تزریق تاوایی کافی به سامانه‌های حرارتی این منطقه داشته‌اند؛ بنابراین ناوه‌ها با وجود برخورداری از دینامیک مناسب، تغذیه رطوبتی مناسبی در ماه فوریه نداشته‌اند.



شکل ۱۰. موقعیت ناوه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در دوره آماری (چپ) و سال‌های منتخب (راست) در ماه‌های ژانویه (a)، فوریه (b) و مارس (c) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

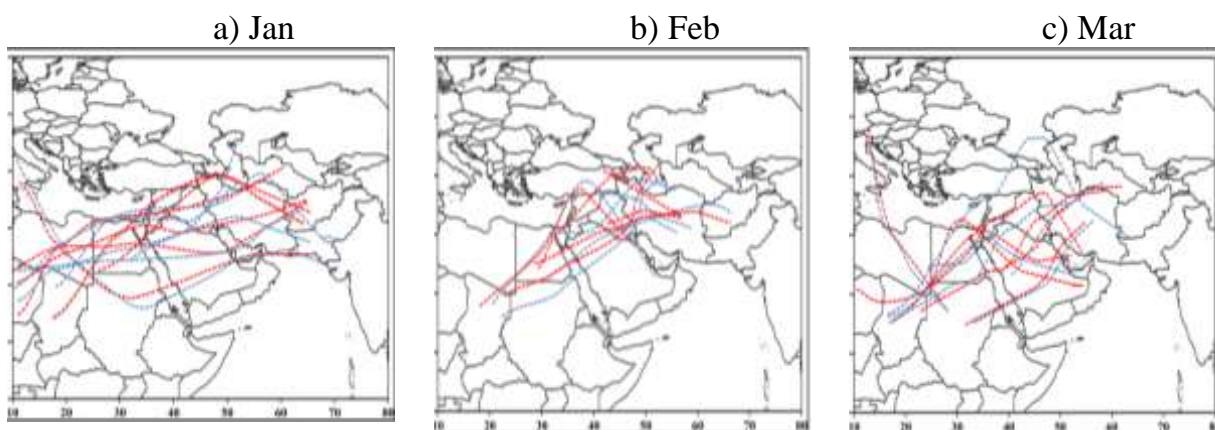
Figure 10. trough axis Position at the 700 hPa in the statistical period (left) and selected years (right) in January (a), February (b) and March (c) (Source: Authors, 1399)

۴. ارزیابی موقعیت جت جنب حاره‌ای

اشکال ۱۱a-c موقعیت جت جنب حاره‌ای را در ترازهای ۳۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینیم موقعیت طولی و عرضی محور جت‌های جنب حاره‌ای در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس برخلاف شباهت‌های موجود در سایر عوامل و مؤلفه‌های بررسی شده بسیار متفاوت است. در ماه فوریه محور و موقعیت جت‌ها در تمام سال‌های نمونه انتخابی، جابه‌جایی شمال‌سوی چشمگیری داشته‌اند؛ به طوری که جنوبی‌ترین محور به‌ندرت از استان خوزستان پایین‌تر آمده است؛ در حالی که شمالی‌ترین محور تا منتهی‌الیه آذربایجان شرقی و اردبیل

نیز رسیده است. با جابه‌جایی شمال‌سوی جت جنب حاره‌ای به‌عنوان جت مؤثر در دینامیک سامانه‌های ورودی از سمت جنوب و تشدید ناپایداری‌های همرفتی منطقه، علاوه بر اینکه از شدت ناپایداری‌های سامانه‌های ورودی به منطقه کاسته شده است، سامانه‌های ورودی در موقعیتی بالاتر و از سمت غرب وارد ایران شده‌اند. علاوه بر جابه‌جایی مکانی محور و موقعیت جت جنب حاره‌ای، دو تفاوت عمده در ساختار جت‌های این ماه نسبت به دو ماه دیگر مشاهده می‌شود؛ اول اینکه محور طولی جت‌های این ماه کوتاه‌تر شده است، به طوری که بیشتر جت‌ها از شرق و مرکز مصر شکل گرفته‌اند و در مرکز کشور ایران خاتمه می‌یابند. این پدیده بیانگر کاهش شیو فشاری حاکم در جت و کاهش پهنه اثر جت است. دوم اینکه بیشتر محورها به مداری‌شدن تمایل داشته‌اند. این ویژگی سبب خواهد شد جت تاوایی مناسبی نداشته باشد. در نتیجه از ناپایداری‌های سامانه‌های ورودی کاسته شده است (شکل ۱۱b).

همان‌طور که دیده می‌شود، در ماه‌های ژانویه و مارس الگوی گسترش جت کاملاً متفاوت از ماه فوریه شده است. در این دو ماه جت جنب حاره‌ای در محدوده‌ای بین جنوب عربستان تا شمال غرب ایران گسترش دارد. در واقع نیمی از جت‌ها در جنوب خوزستان و از روی عربستان عبور می‌کنند. این بدان معناست که ناپایداری‌ها دوباره به عرض‌های جنوبی منتقل می‌شود و بخش جنوبی و جنوب غربی در معرض ناپایداری‌های ناشی از جت جنب حاره‌ای قرار دارد. تغییر مشخص دیگر در طول جت‌های جنب حاره‌ای است. عموم جت‌ها با راستایی جنوب غربی - شمال شرقی قبل از مصر و از روی کشور چاد و حتی قبل از آن شروع شده است. این به مفهوم افزایش شیو فشاری و شیو ارتفاعی قوی‌تر در محدوده شرق آفریقا تا شبه جزیره عربستان و جنوب غرب و غرب ایران است که نتیجه آن، تشدید جریان‌های بالاسو به‌ویژه در یال شمالی و شمال غربی جت خواهد بود. همان‌طور که دیده می‌شود، جت‌ها در قیاس با ماه فوریه الگویی نصف‌نهاری‌تر دارند (شکل ۱۱c). مجموع این شرایط سبب شده است جت جنب حاره‌ای نسبت به ماه قبل نقش مؤثرتری در سامانه‌های انتقالی داشته باشد و در عین حال در تقویت و گسترش سامانه کم‌فشار سودانی و ناوه دریای سرخ نیز نقش مؤثرتری دارد.



شکل ۱۱. موقعیت محور جت تراز ۳۰۰ (آبی) و ۲۵۰ (قرمز) هکتوپاسکال در ماه‌های ژانویه (a)، فوریه (b) و مارس

(c) سال‌های منتخب (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 11. Jet axis position at the 300 (blue) and 250 (red) hPa in January (a), February (b) and March (c) of selected years (Source: Authors, 1399)

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های دمایی پهنه جنوبی و جنوب غربی ایران به گونه‌ای است که امکان کشت بسیاری از محصولات کشاورزی را در دوره سرد سال فراهم کرده است؛ حتی در بخش‌هایی از آن دوره، کشت به همین ماهها محدود می‌شود؛ بنابراین پهنه جنوبی ایران به دلیل برخورداری از این ویژگی، امکان و توانمندی تولید محصولاتی را دارد که در این دوره از سال برای سایر نقاط ایران میسر نمی‌شود؛ در عین حال جزو معدود مناطقی از ایران است که دوره کشت با دوره بارشی منطبق است؛ بنابراین بارش‌های این دوره می‌تواند بخشی از نیاز آبی محصولات را فراهم کند. آگاهی از مقدار و روند تغییرات بارش ماهانه کمک شایانی به کشاورزان و مدیران ذی‌ربط در مدیریت منابع آب و آبیاری محصول خواهد کرد.

این پژوهش به دنبال شناسایی عوامل و الگوهای هم‌دیدگی منجر به کاهش بارش‌ها در ماه فوریه بوده است؛ به همین دلیل گزینه‌های ممکن و احتمالی در تغییر و کاهش بارش این ماه در این منطقه بررسی و تحلیل شد. جمع‌بندی کلی از نتایج به‌دست‌آمده از هر بخش پژوهش را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱. میانگین بارش در منطقه جنوب و جنوب غرب ایران در ماه فوریه نسبت به ماه پیش و پس از خود کاهش محسوس دارد. این کاهش در جنوب ایران و با فاصله‌گرفتن از ساحل باز هم محسوس‌تر است.

۲. شار رطوبت از روی دریاها گرم عرب و عمان در ماه‌های مختلف تفاوت خاصی را نشان نمی‌دهد، ولی رطوبت شارش‌شده روی منطقه در ماه فوریه به‌طور محسوسی کمتر از ماه مارس است؛ بنابراین در مسیر انتقال و فرارفت رطوبت روی منطقه یا موانعی قرار می‌گیرد که مانع از انجام این فرایند روی منطقه می‌شود یا در طول مسیر انتقال بخشی از آن مصرف و از چرخه انتقال خارج می‌شود.

۳. موقعیت مکانی و اچرخند عربستان در فرارفت رطوبت و همچنین تعیین مسیر ورود سامانه‌های بارشی بسیار مهم است (لشکری و محمدی، ۱۳۹۴: ۷۳؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۹؛ ۱۳۹۶: ۱۴۱؛ محمدی و لشکری ۱۳۹۷؛ Lashkari & Mohammadi, 2018: 2069). جابه‌جایی شرق‌سوی آن و استقرار روی آب‌های گرم عمان و عرب، ضمن اینکه در فرارفت رطوبت به درون سامانه‌های سودانی و ترکیبی (مدیترانه و سودان) نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، به ورود سامانه‌های بارشی در تمام پهنه جنوب غرب تا جنوب شرق ایران می‌انجامد. مقایسه موقعیت هسته‌های و اچرخند عربستان در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان داد هسته‌های و اچرخندی در ماه ژانویه در منتهی‌الیه مرز شرقی عربستان با کشور عمان قرار دارد. این هسته‌ها در ماه فوریه قدری شرق‌سوتر می‌شود و تعدادی از آنها روی دریای عمان قرار دارد. در این دو ماه هسته‌های و اچرخندی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال که مناسب‌ترین تراز برای نمایش موقعیت و اچرخند برای انتقال رطوبت روی منطقه و سامانه‌های انتقالی است، در موقعیت مناسبی برای انتقال رطوبت قرار ندارند. در این الگوی استقرار با وجود اینکه جنوب غرب ایران شرایط بسیار خوبی برای ورود سامانه‌های جنوبی دارد، این الگو مانع از ورود سامانه‌های بارشی به بخش جنوب میانی خواهد شد. به‌ویژه در سال‌های نمونه تمام هسته‌ها روی خشکی و غرب کشور عمان قرار دارد؛ ولی در ماه مارس هسته‌های و اچرخندی جابه‌جایی شرق‌سوی کاملاً مشخصی دارد، به‌ویژه در سال‌های منتخب تمام هسته‌های و اچرخندی روی آب‌های گرم قرار دارد؛ بنابراین الگوی استقرار سلول و اچرخند عربستان در مقادیر بارش ماهانه بسیار تعیین‌کننده است.

۴. ناوهٔ مدیترانه‌ای مهم‌ترین سامانه در ترازهای میانی جو در تقویت و الگوی گسترش سامانهٔ سودانی روی منطقه است. الگوی استقرار این ناوه همچنین در تعیین مسیر حرکت و گسترش سامانه‌های سودانی و همین‌طور الگوی ادغام سامانه‌های مدیترانه و سودان نقش مهمی دارد. محور ناوه‌های ترسیم‌شده برای میانگین ماهانهٔ تمام سال‌های دورهٔ آماری (۱۹۸۶-۲۰۱۷) و سال‌های منتخب برای ماه‌های فوریه و مارس که بیشترین تفاوت بارشی را داشته‌اند، نشان داد عمق نفوذ یا گسترش جنوب‌سو و موقعیت استقرار ناوه، چه در کل دورهٔ آماری و چه در سال‌های منتخب، تفاوت فاحشی را نشان نمی‌دهد؛ بنابراین الگوی گسترش ناوهٔ مدیترانه‌ای به گونه‌ای نبوده است که کاهش بارش ماه فوریه را نسبت به سایر ماه‌ها توجیه کند. برخلاف مهیایی شرایط دینامیکی لازم برای تقویت و ورود سامانه‌های بارشی روی منطقه، شرایط رطوبتی مناسب برای ایجاد بارش‌های مناسب و جالب توجه فراهم نشده است.

۵. عامل دینامیکی دیگری که ممکن بود در تغییر تعداد سامانه‌های ورودی و ترمودینامیک سامانه‌ها در ماه‌های مختلف مؤثر باشد، الگوی گسترش و مکان‌گزینی جت جنب حاره‌ای بود. جت جنب حاره‌ای، مهم‌ترین عامل همدیدی و دینامیکی در ترازهای بالایی و ردسپهر در بارش‌های منطقهٔ جنوبی ایران است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد جت تراز ۳۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال، مناسب‌ترین موقعیت برای شناسایی الگوی گسترش سامانه‌های سودانی و ترکیبی روی منطقه است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۲۱؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۴۱، فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۵۶). در این پژوهش محور جت جنب حاره‌ای برای دو تراز فوق در دو ماه فوریه و مارس سال‌های نمونه ترسیم شد. محورهای جت در دو ماه تفاوت بسیاری را از لحاظ موقعیت استقرار، طول و مؤلفهٔ گسترش نصف‌النهاری داشته‌اند. در تمام نمونه‌ها و در هر دو تراز، جت جنب حاره‌ای جابه‌جایی شمال‌سوی کاملاً محسوسی را نشان داد؛ به طوری که تمام محورها بالاتر از خوزستان و روی عراق و شمال غرب عربستان قرار داشته‌اند. در عین اینکه محورهای جت طول بسیار کوتاه‌تری داشته‌اند، شروع آنها به‌ندرت از مرکز مصر فراتر رفته است و اغلب تمایل مداری داشته‌اند. برعکس در ماه مارس محورها کاملاً جابه‌جایی جنوب‌سو پیدا کرده‌اند و در بیش از نیمی از موارد روی عربستان قرار گرفته و تا جنوب این کشور نیز گسترش داشته‌اند. تغییر چشمگیر در طول محورها بود؛ به طوری که در بسیاری از موارد شروع اولیهٔ جت از مرکز صحرای آفریقا بوده است؛ در عین اینکه محورها روی مصر تا جنوب غرب ایران کاملاً تمایل نصف‌النهاری پیدا کرده‌اند.

به این ترتیب به نظر می‌رسد جت جنب حاره‌ای، مهم‌ترین بازیگر در تکوین، تعیین مسیر، و انرژی دینامیکی سامانه‌های بارشی در دورهٔ سرد سال است.

در یک جمع‌بندی کلی از پژوهش می‌توان گفت در ماه فوریه با جابه‌جایی شمال‌سوی جت جنب حاره‌ای، سامانه‌های بارشی که از سمت سودان و عرض‌های جنوبی وارد منطقه می‌شوند به سمت غرب ایران هدایت و منطقهٔ مورد مطالعه از تأثیر این سامانه‌ها محروم می‌شود و در نتیجه تعداد سامانه‌های ورودی به منطقه کاهش می‌یابد. این نتیجه‌گیری با نتیجهٔ پژوهش محمدی و لشکری^۱ (۲۰۲۰) منطبق است؛ ولی در ماه مارس با جابه‌جایی جنوب و

غرب‌سوی جت جنب حاره‌ای دوباره سامانه‌های جنوبی به سمت جنوب و جنوب غرب ایران تغییر مسیر می‌دهند که پیرو آن، هم تعداد سامانه‌های ورودی به منطقه افزایش یافته است و هم با جابه‌جایی و اچرخند عربستان روی آب‌های گرم عرب و عمان، سامانه‌ها شرایط رطوبتی بهتری پیدا کرده‌اند. موقعیت استقرار هسته‌های و اچرخند در ماه مارس به‌ویژه در ماه‌های نمونه به‌خوبی مؤید این مسئله است.

منابع

- بساطی، سعید، یاراحمدی، داریوش، (۱۳۹۶). اندرکنش نوسان مدیترانه شرقی بر تغییرات زمانی بارش غرب ایران، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال ۱۷، شماره ۵۹، صص ۲۸۹-۳۰۹.
- پوراصغر، فرناز، قائمی، هوشنگ، جهانبخش، سعید، ساری صراف، بهروز، (۱۳۹۶). تأثیر دمای سطح آب اقیانوس هند بر تغییرات بارش نیمه جنوبی کشور، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۸، پیاپی ۶۶، شماره ۲، صص ۱۴۵-۱۶۶.
- جعفری، مهناز، لشکری، حسن، (۱۴۰۰). الگوهای هم‌دید تعیین‌کننده مسیر حرکت سامانه‌های بارشی با منشأ سودانی، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۸، شماره ۱، صص ۷۸-۵۵.
- حیدری، محمدمین، خوش‌اخلاق، فرامرز، (۱۳۹۴). واکاوی و مدل‌سازی ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب ایران در ارتباط با عملکرد مراکز فشار دریای مدیترانه، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۵، شماره ۳۷، صص ۲۲۱-۲۴۴.
- سلیقه، محمد، صادقی‌نیا، علیرضا، (۱۳۸۹). بررسی تغییرات مکانی پرفشار جنب حاره در بارش‌های تابستانه نیمه جنوبی ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۷، صص ۸۳-۹۸.
- شبانکاری، مهران، حلبیان، امیرحسین، (۱۳۹۱). تحلیل هم‌دید ارتباط بین نوسان بارش روزانه در کرانه‌های جنوبی ایران و تغییرات فشار تراز دریا، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۰۴، صص ۱۶۵-۱۸۴.
- عساکره، حسین، قائمی، هوشنگ، بیرانوند، آذر، (۱۳۹۲). تحلیل فضایی رودباد جنب حاره در مناطق بیابانی خاورمیانه و شمال آفریقا با تأکید بر ایران، نشریه کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، دوره ۱، شماره ۲، صص ۱۲۱-۱۰۳.
- عساکره، حسین، دوست‌کامیان، مهدی، قائمی، هوشنگ، (۱۳۹۳). تحلیل تغییرات ناهنجاری‌ها و چرخه‌های آب قابل بارش جو ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۶، شماره ۴، صص ۴۳۵-۴۴۴.
- قویدل رحیمی، یوسف، حاتمی زرنه، داریوش، رضایی، محمد، (۱۳۹۲). نقش الگوی پیوند از دور جو بالای دریای شمال-مازندران در تغییرات زمانی بارش سواحل جنوبی دریای خزر، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۳، شماره ۳۱، صص ۲۹-۴۶.

- کریمی، مصطفی، (۱۳۸۶). تحلیل منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، گرایش اقلیم‌شناسی، استاد راهنما: فرج‌زاده، منوچهر، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- کریمی، مصطفی، فرج‌زاده، منوچهر، (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی‌زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۲۲، صص ۱۰۹-۱۲۷.
- کریمی، مصطفی، خوش‌اخلاق، فرامرز، بازگیر، سعید، جعفری، مهناز، (۱۳۹۵). نقش گردش و ردسپهر زیرین پرفشار عربستان در بارش ایران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴، صص ۵۸۷-۵۶۹.
- کریمی، مصطفی، جعفری، مهناز، خوش‌اخلاق، فرامرز، بازگیر، سعید، (۱۳۹۸). نقش تغییرات رطوبت انتقال‌یافته در رخداد خشکسالی و ترسالی ایران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۱، شماره ۴، صص ۵۶۲-۵۴۵.
- لشکری، حسن، محمدی، زینب، (۱۳۹۴). اثر موقعیت استقرار پرفشار جنب حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب غرب ایران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۱، صص ۷۳-۹۰.
- لشکری، حسن، متکان، علی‌اکبر، آزادی، مجید، محمدی، زینب، (۱۳۹۵). تحلیل همبندی نقش پرفشار جنب حاره‌ای عربستان و رودباد جنب حاره‌ای در کوتاه‌ترین طول دوره بارشی جنوب و جنوب غرب ایران، فصلنامه علوم محیطی، شماره ۴، صص ۷۴-۵۹.
- لشکری، حسن، متکان، علی‌اکبر، آزادی، مجید، محمدی، زینب، (۱۳۹۶). تحلیل همبندی نقش پرفشار جنب حاره‌ای عربستان و رودباد جنب حاره‌ای در خشکسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۳۰، صص ۱۶۳-۱۴۱.
- فتاحی، ابراهیم، رحیم‌زاده، فاطمه، (۱۳۸۸). ارتباط انسو با الگوهای گردش جوئی زمستانه ایران، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۵، سیستان و بلوچستان.
- فرج‌زاده، منوچهر، لشکری، حسن، خورانی، اسدالله، (۱۳۸۶). تحلیل موقعیت رودباد در رابطه با سامانه‌های بارشی غرب کشور (استان‌های ایلام و کرمانشاه)، مدرس، دوره ۱۱، پیاپی ۵۳، صص ۲۵۶-۲۳۹.
- محمدی، زینب، لشکری، حسن، (۱۳۹۷). نقش جابه‌جایی مکانی پرفشار عربستان و رودباد جنب حاره‌ای در الگوهای همبندی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۳، صص ۴۹۱-۵۰۹.
- محمدی، فهیمه، (۱۳۹۹). تحلیل همبندی تقویت کم‌فشار سودان در روند تاریخی و تعیین قلمرو آن در ایران، رساله دکتری آب و هواشناسی، گرایش سینوپتیک، استاد راهنما: لشکری، حسن، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

Andreoli, R.V., Ferreira de Souza, R.A., Kayano, M.T., Candido, L.A., (2012.). Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns, International Journal of Climatology, Vol 32: 1193-1205.

- Chang, C.P., Lu, M.M., (2012). **Intraseasonal Predictability of Siberian High and East Asian Winter Monsoon and Its Interdecadal Variability**, Journal of Climate, Vol 25: 1773-1778.
- Diaz, A.F., Studzinski, C.D., Mechoso, C.R., (1998). **Relationships between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans**, Journal of Climate, Vol 11: 251- 271.
- Esfandiari, N., Lashkari, H., (2020). **Identifying atmospheric river events and their paths into Iran**, Theoretical and Applied Climatology, Vol 140: 1125-1137.
- Farajzadeh, M., Karimi Ahmadabad, M., Ghaemi, H., Mobasheri, M.R., (2007). **Studying the Moisture Flux over West of Iran: A Case Study of January 1 to 7, 1996 Rain Storm**, Journal of Applied Sciences, Vol 7: 3023-3030.
- Fontaine, B., Janicot, S., (1996). **Notes and Correspondence Sea Surface Temperature Fields Associated with West African Rainfall Anomaly Types**, Journal of Climate, Vol 9: 2935-2940.
- Gao, C., Chen, H., Xu, B., Zeng, G., (2014). **Possible Relationships Amongg South China Sea SSTa, Soil Moisture Anomalies In Southwest China and Summer Precipitation In Eastern China**, Journal of Tropical Meteorology, Vol 20 (3): 228- 235.
- Grimm, A.M., Ferraz, S.E.T., Gomes, J.L., (1998). **Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events**, Journal of Climate, Vol 11: 2863- 2880.
- Iqbal, M.J., Fahad Riaz, S.M., Ghauri, B.M.K., (2012). **Impact of Siberian High on rainfall variability over Northern part of Indo-Pak region**, Arabian Journal of Geosciences.
- Kayano, M.T., Rao, V.B., Moura, A.D., (1988). **Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two contrasting years**, International Journal of Climatology, Vol 8: 477-488.
- Larkin, N.K., Harrison, D.E., (2005). **Global seasonal temperature and precipitation anomalies during El Niño autumn and winter**, Geophysical Research Letters, Vol 32: 1-4.
- Lashkari, H., Mohammadi, Z., (2018). **Study on the role of annual movements of Arabian subtropical high pressure in the late start of precipitation in southern and southwestern Iran: Theoretical and Applied Climatology**, Vol 137: 2069–2076.
- Lashkari, H., Mohammadi, Z., Jafari, M., (2020). **Investigation on dynamical structure and moisture sources of heavy precipitation in south and south-west of Iran**, Arabian Journal of Geosciences, Vol 13 (21): 1-15.
- Lyon, B., Cristi, H., Verceles, E.R., Hilario, F.D., Abastillas, R., (2006). **Seasonal reversal of the ENSO rainfall signal in the Philippines**, Geophysical Research Letters, Vol 33: 1-5.
- Malik, K.M., Taylor, P.A., (2011). **Characteristics of Moisture FluxConvergence over the Mackenzie River Basin for Water Years 1991–2008**, Atmosphere-Ocean, Vol 49 (3): 279-288, DOI: 10.1080/07055900.2011.609528
- Mariotti, A., Zeng, N., Lau, K.M., (2002). **Euro-Mediterranean rainfall and ENSO—a seasonally varying relationship**, Geophysical Research Letters, Vol 29 (12): 1-4.
- Mason, S.J., Goddard, L., (2001). **Probabilistic Precipitation Anomalies Associated with ENSO**, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol 82 (4): 619-638.
- Mohammadi, Z., Lashkari, H., Mohammadi, M.S., (2021). **Synoptic analysis and core situations of Arabian anticyclone in shortest period precipitation in the south and southwest of Iran**, Arabian Journal of Geosciences, Vol 14, 1172 <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07572-8>.
- Mohammadi, F., Lashkari, H., (2020). **Determination of long-term changes in the rainfall penetration domain of Sudan low in Iran during the period 1976-2017**, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol 203: 105276-1-105276-9,.
- Peixoto, J.P., (1973). **Atmospheric Vapor Flux Computations For Hydrological Purposes**, Reports on WMO/IHD Projects, Report No.20.
- Phillips, I.D., Mcgregor, G.R., (2002). **The relationship between monthly and seasonal South-west England rainfall anomalies and concurrent North Atlantic sea surface temperatures**, International Journal of Climatology, Vol 22: 197–217.

- Ratcliffe, R., (1977). **The wet spell of September–October 1976**, Weather, Vol 32: 36–37.
- Rashid, Sh.A., Iqbal, M.J., Hussain, M.A., (2012). **Impact of North-South Shift of Azores High on Summer Precipitation Over North West Europe**, International Journal of Geosciences, Vol 3: 992-999.
- Ropelewski, C.F., Halpert, M.S., (1986). **North American Precipitation and Temperature Patterns Associated with the El Nino/Southern Oscillation (ENSO)**, Monthly Weather Review, Vol 114: 2352-2362.
- Silvestri, G.E., Vera, C.S., (2003). **Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America**, Geophysical Research Letters, Vol 30(21): 1-4.
- SIMMONDS, I., HOPE, P., (1997). **Persistence Characteristics of Australian Rainfall Anomalies**, International Journal of Climatology, Vol 17: 597–613.
- WAGNER, R.G., DA, S., ARLINDO, M., (1994). **Surface conditions associated with anomalous rainfall in the guinea coastal region**, International Journal of Climatology, Vol 14: 179-199.
- Wu, B., Wang, J., (2002). **Winter Arctic Oscillation, Siberian High and East Asian Winter Monsoon**, Geophysical Research Letters, Vol 29 (19).
- Zhang, L., Zhu, X., Fraedrich, K., Sielmann, F., Zhi, X., (2014). **Interdecadal variability of winter precipitation in Southeast China**, Climate Dynamics, Vol 43: 2239–2248.

