

Synoptic Analysis of Dry Days in the Cold Season of Khuzestan Province

Ghorban Jafari¹, Abdolreza Kashki²

1. Department of Geography, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran.

E: ghorban8591@gmail.com

2. Department of Geography, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran.

(Corresponding Author). E: a.kashki@hsu.ac.ir

ARTICLE INFO

Keywords

Standardized Precipitation
Index, Khuzestan
Dry Days
Synoptic Analysis

ABSTRACT

Drought is a frequent phenomenon affecting diverse climates, not only dry and semi-arid regions but also areas influenced by recurring synoptic systems and weather patterns. Comprehending the atmospheric circulation patterns linked to drought is crucial for understanding its occurrence in Khuzestan Province. This study makes use of reanalysis and daily station data from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) for the upper atmosphere (2.5×2.5 degrees arc). The variables considered include vorticity, sea-level pressure, geopotential height, and vertical air velocity (omega). Additionally, precipitation data from 11 meteorological stations in Khuzestan were gathered from the National Meteorological Organization over a 29-year period (1995–2023). The year 2010 was chosen based on dry days in the fall and winter, as identified using the SPI index. The study's results indicated that the primary atmospheric factors contributing to drought in Khuzestan are the depth of the westerly winds' trough, its geographical position, and the zonal flow pattern. Furthermore, the extension of subtropical high-pressure systems, Siberian high pressure, and atmospheric blocking phenomena were identified as key contributors. These elements stabilize the weather and hinder rain-bearing systems from entering the region, leading to decreased rainfall and an increase in dry days. The research identified specific synoptic patterns tied to cold-season droughts in Khuzestan, which can serve as early indicators for predicting droughts. Considering these synoptic trends is essential for drought management strategies and efforts to mitigate its impacts. The findings contribute to more accurate meteorological and climatic monitoring, which is vital for optimizing water resource management and reducing the adverse effects of drought in Khuzestan Province.

Article History:

Received:

03 AU 2024

Received in revised form:

02 NO 2024

Accepted:

11 NO 2024

Available online:

21 NO 2024

Citation: Jafari, Gh. & Abdolreza Kashki, A. (2024). Synoptic Analysis of Dry Days in the Cold Season of Khuzestan Province, *Journal of Geography*, 22 (82), 183-200.



<http://doi.org/10.22034/iga.2024.2038326.1326>



© The Author (s).

Publisher: Iranian Geographical Associati

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

Extended Abstract

Introduction

One of the primary climatic problems in arid and semi-arid areas is drought, which has a big effect on ecosystems, agriculture, and water supplies. The fall and winter droughts are especially significant in the province of Khuzestan. This study uses the Standardized Precipitation Index (SPI) to quantify the intensity and length of droughts in Khuzestan through both regional and synoptic analysis. According to research, the length of the drought varies from 7 to 12 years in different stations of this province, with shorter return periods in the eastern parts resulting in more severe droughts. Numerous research have examined drought in various regions of the world using the SPI index. According to a synoptic analysis, Siberian and subtropical high-pressure systems are two of the main causes of Khuzestan's ongoing droughts. Furthermore, according to some research, the absence of moisture transfer from important sources like the Mediterranean Sea and the Red Sea has made the drought in this area worse .

Methodology

For this study, daily rainfall data from 11 sites in Khuzestan Province for a 29-year period (1995–2023) were provided by the national meteorological organization. The data were first organized in Excel and then analyzed using the SPI index. This tool makes analyzing long-term trends in precipitation easier. In the United States, upper-atmospheric data from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) were analyzed using sea-level pressure, vertical air velocity, geopotential height data at the 500 hPa level, and other relevant factors. The data were analyzed using ArcGIS and GRADS software to identify and investigate the effective synoptic patterns associated with droughts throughout the cold season.

Results and Discussion

The results of this study show a direct correlation between certain synoptic patterns and cold-season droughts in Khuzestan Province. The depth of the western wind trough, the direction and speed of these winds, the existence of the Siberian and subtropical highs, and blocking events are some of the recognized atmospheric patterns. There is less precipitation and more dry days as a result of these patterns' ability to stabilize the weather and keep systems that bring rain from entering the area. These results can be useful in developing management plans to lessen the effects of drought and as indicators for anticipating droughts in this area.

Conclusion

One major climatic issue that has a big effect on economies, ecosystems, and communities is drought. Khuzestan Province experiences drought conditions on a regular basis because of its distinct climatic features. Meteorological data analyzed between 1995 and 2023 shows the occurrence of severe droughts, including the ones that happened in 2010. The Arabian high, the Siberian high, the subtropical high, wind flow, and the absence of westerly winds all play a significant role in reducing precipitation and increasing the number of dry days in the region, according to the Standardized Precipitation Index (SPI) and geographic and spatial data. The study's findings are in line with earlier studies, like that of Masoudi et al. (2019), with the exception that this research employs upper-atmospheric models and daily precipitation data to identify synoptic patterns as markers for drought prediction. To minimize negative effects and maximize the utilization of available water resources, management plans and drought mitigation techniques must take these trends into account.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

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

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest

Acknowledgments

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

References

- 1) Adeola, O. M., Masinde, M., Botai, J. O., Adeola, A. M. & Botai, C. M. (2021). An analysis of precipitation extreme events based on the SPI and EDI values in the Free State province, South Africa. *Water*, 13(21), 3058. <https://doi.org/10.3390/w13213058>
- 2) Alawsi, M. A., Zubaidi, S. L., Al-Bdairi, N. S. S., Al-Ansari, N. & Hashim, K. (2022). Drought forecasting: a review and assessment of the hybrid techniques and data pre-processing. *Hydrology*, 9(7), 115. <https://doi.org/10.3390/hydrology9070115>
- 3) Ahmadi, M. & Hosseini Nia, N. (2022). Analysis of temporal-spatial changes of water deficit index in Khuzestan province in the last decade. *Physical Geography Research*, 54(3), 387-401[Persian] <http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.339321.1007689>
- 4) Evgeniev, R., Malcheva, K., Marinova, T., Chervenkov, H. & Bocheva, L. (2023). Assessment of drought in Bulgaria in recent years through the standardized precipitation index. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 23(4.1), 245-252. <http://dx.doi.org/10.5593/sgem2023/4.1/s19.31>
- 5) Gebrewahid, M. G., Kasa, A. K., Gebrehiwot, K. A. & Adane, G. B. (2022). Analyzing Drought Conditions, Interventions and Mapping of Vulnerable Areas using NDVI and SPI Indices in Eastern Ethiopia, Somali Region. *OMO International Journal of Sciences*, 5(2), 70-87. <https://doi.org/10.59122/13439FE>
- 6) Jordaan, Andries J., Mlenga, Daniel H., & Mandebvu, Blessing. (2019). Monitoring droughts in Eswatini: A spatiotemporal variability analysis using the Standard Precipitation Index. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 11(1), 1-11. <https://doi.org/10.4102/jamba.v11i1.712>
- 7) Kavianpour, M., Seyedabadi, M., Moazami, S., & Yamini, O. A. (2020). Copula based spatial analysis of drought return period in southwest of Iran. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64(4), 1051-1063.[Persian] <https://doi.org/10.3311/ppci.16301>
- 8) Masoudi, M., & Elhaesahar, M. (2019). GIS analysis for vulnerability assessment of drought in Khuzestan province in Iran using standardized precipitation index (SPI). *Iran Agricultural Research*, 38(2), 9-16. [Persian] <https://doi.org/10.22099/IAR.2019.5291>
- 9) McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183). <https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>
- 10) Mooreh, K. A. M., & Razi, M. (2016). Study Drought in Khouzestan Province and Effect on Increase Dust. *International Journal of Current Research and Academic Review*, 4, 122-139. <https://doi.org/10.20546/IJCRAR.2016.405.012>
- 11) Safarianzengir, V., Fatahi, A., Sobhani, B., & Doumari, S. A. (2022). Temporal and spatial analysis and monitoring of drought (meteorology) and its impacts on environment changes in Iran. *Atmospheric Science Letters*, 23(5), e1080. [Persian] <https://doi.org/10.1002/asl.1080>
- 12) Sakellariou, S., Spiliotopoulos, M., Alpanakis, N., Faraslis, I., Sidiropoulos, P., Tziatzios, G. A., ... & Dercas, N. (2024). Spatiotemporal Drought Assessment Based on Gridded Standardized Precipitation Index (SPI) in Vulnerable Agroecosystems. *Sustainability*, 16(3), 1240. <https://doi.org/10.3390/su16031240>
- 13) Salehvand, I., Montazeri, M., Gandomkar, A., Moemeni, M., & Ataei, H. (2015). Study Pressure Fields Affecting Cyclone Rainfall: Case Study of Iran. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5(02), 129. [Persian] <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2015.52010>
- 14) Sodge, J., Kuhlicke, C., Mahecha, M. D. & de Brito, M. (2023). Text-mining uncovers the unique dynamics of socio-economic impacts during multi-year drought. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2023, 1-25. <https://doi.org/10.5194/nhess-2023-228>

- 15) Van Schalkwyk, L., Blamey, R. C., Gijben, M. & Reason, C. J. (2023). A Climatology of Dryline-Related Convection on the Western Plateau of Subtropical Southern Africa. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 128(18), <https://doi.org/10.1029/2023JD038966>
- 16) Veritt, S., Landau, S. & Leese, M. (2001). Cluster Analysis Fourth ed. London: Arnold. ISBN 0-340-76119-9.
- 17) Wilhite, Donald A. & Glantz, Michael H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. Water International, 10 (3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>





تحلیل همید روزهای خشک دوره سرد سال استان خوزستان

قربان جعفری^۱، عبدالرضا کاشکی^۲^۱-گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران. E: ghorban8591@gmail.com^۲-گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران. (نویسنده مسئول). E: a.kashki@hsu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

واژگان کلیدی:

شاخص بارش استاندارد،
خوزستان
روزهای خشک
تحلیل همید

خشکسالی یک پدیده محیطی تکرارشونده در اقلیم‌های مختلف است و اثرات آن صرفاً به محیط‌های خشک و نیمه‌خشک محدود نمی‌شود؛ بلکه رخداد این پدیده در ارتباط با تکرار سامانه‌های همیدی و تیپ‌های هوا است. از این رو، مطالعه و شناسایی الگوهای گردشی جوی پدیده مذکور برای درک وقوع خشکسالی‌های استان خوزستان ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. در این پژوهش از داده‌های روزانه ایستگاهی و داده‌های بازگای جو بالا (۲،۵×۲،۵ درجه قوسی) شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، تاوایی و سرعت قائم هوا در جو (امگا) از مرکز ملی مطالعات اقیانوس و جو ایالات متحده آمریکا (NOAA) استفاده شد. داده‌های بارش ۱۱ ایستگاه استان خوزستان طی ۲۹ سال (۱۹۹۵-۲۰۲۳) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. با شاخص SPI روزهای خشک پاییز و زمستان مشخص و سال ۲۰۱۰ به عنوان سال با بیشترین روزهای خشک انتخاب شد. این سال در ArcGIS پهنه‌بندی و با روش سلسله‌مراتبی به چهار طبقه خوشه‌بندی شد. نقشه‌های همید برای تحلیل همیدی در نرم‌افزار GRADS تهیه گردید. نتایج تحلیل‌های همیدی نشان داد که وضعیت عمق ناوه بادهای غربی، محل استقرار و وزش مداری این بادهای، به همراه زبانه پرفشار جنب حاره، پرفشار سبیری، و پدیده‌های بلوکی‌نگ از مهم‌ترین عوامل جوی مؤثر بر وقوع خشکسالی در استان خوزستان هستند. این عوامل با ایجاد شرایط پایدار و جلوگیری از ورود سیستم‌های باران‌زا به منطقه، باعث کاهش بارندگی و افزایش تعداد روزهای خشک در این استان شده‌اند. این تحقیق با تمرکز بر تحلیل داده‌های روزانه بارش و مدل‌های جو بالا، الگوهای همیدی خاصی را که با خشکسالی‌های فصول سرد استان خوزستان مرتبط هستند، شناسایی کرده است. این الگوها به عنوان شاخص‌های پیش‌بینی خشکسالی در این منطقه معرفی شده‌اند، برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و راهبردهای کاهش تأثیرات خشکسالی باید با در نظر گرفتن این الگوهای همیدی تدوین شوند. این یافته‌ها به مدیریت بهینه منابع آب و پایش دقیق‌تر جوی و اقلیمی کمک می‌کنند.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۵/۲۳

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۸/۱۲

تاریخ پذیرش:

۰۸/۱۴۰۳/۲۱

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۹/۰۱

استناد: جعفری، قربان و کاشکی، عبدالرضا (۱۴۰۳). تحلیل همید روزهای خشک دوره سرد سال استان خوزستان، فصلنامه علمی

جغرافیا، (۸۲) ۲۲، ۲۰۰-۱۸۳.

doi <http://doi.org/10.22034/iga.2024.2038326.1326>

مقدمه و پیشینه

به عنوان یکی از چالش‌های عمده اقلیمی در مناطق خشک و نیمه خشک، تأثیرات قابل توجهی بر منابع آب، و طبیعی دارد. در استان خوزستان، این پدیده به‌ویژه در ماه‌های پاییز و زمستان اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. این مقاله به تحلیل فضایی و همدید وضعیت خشکسالی در استان خوزستان پرداخته است. خشکسالی یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که علی‌رغم تلفات انسانی کم، خسارات اقتصادی و تبعات اجتماعی فراوانی دارد (عبدالرسول قنبری، ۲۰۲۰: ۵۷). این پدیده می‌تواند به اختلالات گسترده در تمامی ارکان جامعه منجر شود و حتی باعث تغییر در باورها و اعتقادات افراد گردد (مقیمی، ۲۰۲۰: ۵). خشکسالی در بازه‌های زمانی طولانی رخ می‌دهد و اثرات منفی بر منابع آب، کشاورزی و اقتصاد دارد (جهانگیر و همکاران، ۲۰۲۱: ۵۸). تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی می‌تواند باعث ایجاد ناهمگنی در داده‌های بارش و افزایش خطر خشکسالی شوند (غزنوی، ۲۰۲۱: ۴۱۵). تحقیقات نشان می‌دهد که خشکسالی یکی از مشکلات اصلی در مدیریت منابع آب در ایران است، به‌ویژه در استان خوزستان که در حالت خشکسالی قرار دارد. در یکی از تحقیقات، تغییرات زمانی و مکانی شدت خشکسالی‌های فراگیر و کوتاه مدت منطقه غرب آسیا، نشان داد که در بازه‌های زمانی مختلف، بیشترین منطقه درگیر خشکسالی شدید یا همان کانون‌های بحرانی خشکسالی منطقه غرب آسیا در یمن، جنوب ایران و غرب عربستان واقع شده‌اند (قویدل و همکاران، ۱۴۰۱: ۹۹). علاوه بر این، تحلیل فضایی خشکسالی‌های استان خوزستان با استفاده از توابع کوپولا نشان داد که دوره بازگشت خشکسالی‌ها از شرق به غرب و از شمال به جنوب استان متفاوت است، به‌طوری که مناطق شرقی دوره‌های بازگشت کوتاه‌تری دارند و این نشان‌دهنده شدت بیشتر خشکسالی در این مناطق است (کاویانپور و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۰۶۱). از سوی دیگر، در مقاله‌ای دیگر که به مدل‌سازی، پایش و پیش‌بینی خشکسالی در جنوب و جنوب غربی ایران پرداخته، تأکید شده است که استفاده از شاخص‌های مناسب در تحلیل خشکسالی نقش مهمی در مدیریت منابع آب دارد (سبحانی و صفاریان، ۲۰۲۱: ۲۱۶). همچنین، در پژوهشی دیگر که به بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص کمبود ذخیره کلی آب (TSDI) در استان خوزستان پرداخته، نتایج نشان داده است که ۶۸ درصد از منطقه در شرایط خشکسالی شدید و ۳ درصد در وضعیت بسیار شدید قرار داشتند. همچنین، ماه‌های آگوست و ژانویه به عنوان دوره‌های با بیشترین کمبود آب شناسایی شدند (احمدی و همکاران، ۱۴۰۱: ۳۹۸). مطالعات متعددی در زمینه تحلیل خشکسالی و ارزیابی الگوهای بارشی در ایران و سایر مناطق خشک و نیمه خشک جهان با استفاده از شاخص SPI^۱ انجام شده است. یکی از این مطالعات برجسته، پژوهشی است که به بررسی خشکسالی و افزایش روزهای گردوغبار در استان خوزستان پرداخته و از شاخص SPI برای اندازه‌گیری شدت خشکسالی استفاده کرده است (Mooreh et al, 2016: 122). همچنین، در یک مطالعه دیگر، خشکسالی‌ها و رویدادهای بارشی شدید در استان ایالت آزاد آفریقای جنوبی مورد بررسی قرار گرفته و از شاخص SPI برای تحلیل استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که خشکسالی‌ها در این منطقه به طور مداوم افزایش پیدا کرده‌اند (آدئولا^۲ و همکاران، ۲۰۲۱: ۲). علاوه بر این، در پژوهشی دیگر با استفاده از شاخص SPI و شاخص NDVI برای بررسی شرایط خشکسالی در سومالی، نتایج نشان داده است که NDVI و SPI می‌توانند میزان و تغییرات خشکسالی را به خوبی نمایش دهند (Gebrewahid et al, 2022: 75). در تحقیق دیگری، خشکسالی در منطقه تسالی یونان ارزیابی شده است.

تحلیل زمانی و مکانی با استفاده از شاخص SPI و داده‌های ماهواره‌ای CHIRPS نشان می‌دهد که این منطقه در سال‌های ۱۹۸۸-۱۹۸۹ و ۱۹۸۹-۱۹۹۰ خشکسالی‌های شدیدی را تجربه کرده است (Sakellariou et al, 2024: 13) و

^۱ Standardized Precipitation Index

^۲ Adeola

در همین راستا، در پژوهشی که به ارزیابی خشکسالی‌ها در بلغارستان پرداخته و از شاخص SPI برای تجزیه و تحلیل استفاده کرده است، نتایج نشان می‌دهد که خشکسالی شدید تا بسیار شدید در سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ بیشترین تأثیر را بر این منطقه داشته و در برخی ماه‌ها ۶۰ تا ۸۰ درصد از مساحت کشور را تحت تأثیر قرار داده است. همچنین، نتایج بیانگر آن است که مناطق غربی و جنوب شرقی بلغارستان بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر خشکسالی‌های شدید (Evgeniev et al, 2023: 251).

افزون بر این، تحقیقی در مورد بررسی خطوط خشک در جنوب آفریقا و ارتباط آن با الگوهای همدیدی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که این الگوها می‌توانند بر شکل‌گیری و شدت روزهای خشک تأثیرگذار باشند (وان شالکویک^۱ و همکاران، ۲۰۲۳: ۳). در تحقیق دیگری، به تحلیل ترسالی‌ها و خشکسالی‌های دوره سرد سال جنوب غرب ایران پرداخته شده است، نشان می‌دهد که به علت جابجایی کمربند پرفشار جنب حاره بویژه پرفشار جنوب عربستان نقش مهمی در نوسانات بارش و افزایش فراوانی خشکسالی‌ها در دوره سرد سال دارد (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۷). در پژوهشی دیگر، الگوهای همدیدی منجر به خشکسالی‌های پاییزه و زمستانه در استان خراسان رضوی طی دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸ بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که سه شهرستان سرخس، قوچان و گناباد در فصل پاییز و تربت‌حیدریه، سرخس، قوچان، کاشمر و گناباد در فصل زمستان بیشترین میزان خشکسالی را تجربه کرده‌اند (اشرف و موسوی بایگی، ۱۳۹۰: ۱۷۵). همچنین، نتایج پژوهشی دیگر نشان داده است که خشکسالی‌های فراگیر در استان خراسان رضوی عمدتاً ناشی از پایداری‌های جوی و عدم انتقال رطوبت از منابع اصلی نظیر دریای مدیترانه و دریای سرخ است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در دوره‌های خشکسالی، به دلیل استقرار پرفشار جنب حاره و عدم تشکیل ناهای بادهای غربی، انتقال رطوبت به منطقه کاهش می‌یابد و این شرایط باعث وقوع خشکسالی می‌شود (نامنی و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۴). در مطالعه‌ای دیگر، وضعیت خشکسالی دشت بجنورد باتوجه به شاخص‌های خشکسالی SPI، RAI و PN مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که این منطقه طی سال‌های اخیر با شرایط خشکسالی مواجه بوده است. همچنین، کیفیت منابع آب در دوره خشکسالی بیشتر به صورت ترکیبی و شورمزه بوده است و بیش از ۵۰ درصد چاه‌های نمونه در دوره خشکسالی در وضعیت بسیار شور و نامناسب برای کشاورزی قرار داشته‌اند (کاشکی و همکاران، ۱۳۹۷: ۹۹۳). علاوه بر این، در پژوهشی دیگر، تحلیل خشکسالی در استان خوزستان با استفاده از شاخص SPI نشان داده است که مناطق شمالی و مرکزی این استان بیشتر در معرض خطر خشکسالی شدید قرار دارند (مسعودی و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۳). در یک تحقیق دیگر، با استفاده از داده‌های بارش و شاخص بارش استاندارد، پدیده خشکسالی در منطقه غرب میانی ایران مورد بررسی آماری قرار گرفته و الگوهای همدیدی مؤثر در ایجاد خشکسالی در این منطقه مطالعه شده‌اند. نتایج نشان داده است که خشکسالی در منطقه غرب میانی ایران تحت تأثیر نفوذ بادهای غربی و وجود ارتفاعات در غرب و شمال این منطقه بوده است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۹: ۶۳).

استان خوزستان نیز از جمله مناطقی است که به‌خاطر وجود منابع بزرگ آبی، سدهای مهم، از لحاظ وضعیت انرژی به‌ویژه تامین انرژی برق‌آبی و قطب کشاورزی اهمیت زیادی دارد. این استان تحت تأثیر خشکسالی و پیامدهای ناشی از آن در امان نبوده است. از این‌رو این پژوهش تلاش دارد به شناسایی روزهای خشک استان خوزستان در مناطق مختلف بپردازد و در نهایت از نظر همدیدی آن را تجزیه و تحلیل نماید. وضعیت فعلی روزهای خشک فصول سرد سال را بررسی نماید سپس به ارزیابی اثرات اقلیمی و منابع آب بر وضعیت روزهای خشک در استان بپردازد.

مبانی نظری

خشکسالی یکی از مهم‌ترین پدیده‌های اقلیمی است که به‌عنوان کاهش موقتی و نسبی در میزان بارش نسبت به میانگین بلندمدت در یک منطقه تعریف می‌شود. به‌منظور تسهیل درک این مفهوم، تعاریف کلی خشکسالی اغلب به کاهش بارش اشاره دارد. خشکسالی به‌تنهایی یک فاجعه محسوب نمی‌شود؛ بلکه تأثیرات آن بر جوامع و محیط‌زیست است که تعیین می‌کند آیا این پدیده به یک بحران بزرگ تبدیل خواهد شد یا خیر؛ بنابراین، فهم ابعاد طبیعی و اجتماعی خشکسالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (ویل‌هایت؛ ۲۰۰۰: ۱۲۵). خشکسالی باعث ایجاد تأثیرات اجتماعی و اقتصادی عمیقی می‌شود و بر بخش‌هایی مانند کشاورزی، جنگلداری و فعالیت‌های اجتماعی اثرگذار است. در این میان، خشکسالی‌های چند ساله الگوها و اثرات متفاوتی نسبت به خشکسالی‌های کوتاه‌مدت یک‌ساله به همراه دارند (سودوک^۲ و همکاران، ۲۰۲۳: ۱۴). یکی از ابزارهای کلیدی برای بررسی خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) است. این شاخص امکان تحلیل و ارزیابی خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف (مثل ماهانه، فصلی و سالانه) را فراهم می‌کند و با استفاده از داده‌های بارش، شدت و مدت خشکسالی را اندازه‌گیری می‌نماید (مک کی^۳ و همکاران، ۱۹۹۳: ۱۸). SPI برای شناسایی کمبود بارش در مقایسه با میانگین بلندمدت و ارزیابی شرایط نرمال، خشکسالی یا ترسالی در یک منطقه خاص به‌کار گرفته می‌شود. در این مقاله، از این شاخص برای بررسی خشکسالی‌های بلندمدت استفاده شده است. تحلیل هم‌پدیدی و بررسی الگوهای جوی برای درک علل خشکسالی امری ضروری است. مطالعات نشان می‌دهند سیستم‌های فشار قوی به‌طور قابل توجهی بر شرایط جوی تأثیر می‌گذارد و بر الگوهای بارندگی تأثیر می‌گذارد. حضور آنها می‌تواند منجر به شرایط پایداری شود که مانع سیستم‌های تشکیل باران می‌شود و به‌طور بالقوه باعث بروز خشکسالی در مناطقی مانند استان خوزستان می‌شود. (صالح وند و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۲۹). استفاده از روش‌های آماری مانند تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی و خوشه‌بندی، مدل‌های پیش‌بینی خشکسالی را با شناسایی الگوهای پیچیده جوی تقویت می‌کند و به توسعه راهبردهای مدیریتی مؤثر برای کاهش اثرات خشکسالی کمک می‌کند (A. Alawsi et al, 2022: 16).

روش تحقیق

در این تحقیق، ابتدا آمار بارش روزانه ۱۱ ایستگاه هم‌پدید استان خوزستان در طی دوره آماری ۲۹ ساله میلادی (۱۹۹۵-۲۰۲۳) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید (جدول ۱). داده‌های بارش روزانه در نرم‌افزار Excel مرتب و سازماندهی شدند. برای تحلیل فضایی و هم‌پدیدی روزهای خشک در استان خوزستان، از شاخص SPI استفاده شد. این شاخص برای ارزیابی و مقایسه میزان بارش‌های بلندمدت به کار می‌رود و به شناسایی مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، کمک می‌کند. برای محاسبه شاخص SPI، ابتدا داده‌های بارش روزانه جمع‌آوری شد و سپس با استفاده از فرمول مشخص شده در معادله (۱)، شاخص بارش استاندارد (SPI) برای دوره شش ماهه سرد سال هر ایستگاه محاسبه گردید:

$$SPI = (p_t - \bar{p}) / \sigma \quad (1) \text{ معادله}$$

که در اینجا: p_t بارش روزانه در زمان t ، $\bar{p}$ متوسط بلند مدت بارش در دوره زمانی مورد نظر و σ انحراف بلند مدت بارش روزانه برای دوره زمانی مورد بررسی می‌باشد. در این پژوهش، روزهای مشترک خشک و بی‌بارش ۶ ماه سرد سال ایستگاه‌های استان خوزستان شناسایی شد (جدول ۲).

۲ Wilhite

۴ Sodoge

۴ McKee

جدول ۱. روزهای خشک مشترک شش ماه سرد سال دوره ۲۰۲۳-۱۹۹۵

ردیف	سال	روزهای خشک مشترک	ردیف	سال	روزهای خشک مشترک	ردیف	سال	روزهای خشک مشترک
۱	۱۹۹۵	۱۲۹	۱۱	۲۰۰۵	۱۲۶	۲۱	۲۰۱۵	۱۱۷
۲	۱۹۹۶	۱۱۲	۱۲	۲۰۰۶	۱۱۶	۲۲	۲۰۱۶	۱۳۶
۳	۱۹۹۷	۱۰۹	۱۳	۲۰۰۷	۱۲۷	۲۳	۲۰۱۷	۱۳۰
۴	۱۹۹۸	۱۲۹	۱۴	۲۰۰۸	۱۴۳	۲۴	۲۰۱۸	۱۲۸
۵	۱۹۹۹	۱۱۸	۱۵	۲۰۰۹	۱۲۴	۲۵	۲۰۱۹	۱۱۶
۶	۲۰۰۰	۱۲۱	۱۶	۲۰۱۰	۱۴۴	۲۶	۲۰۲۰	۱۱۴
۷	۲۰۰۱	۱۲۱	۱۷	۲۰۱۱	۱۲۵	۲۷	۲۰۲۱	۱۴۱
۸	۲۰۰۲	۱۱۹	۱۸	۲۰۱۲	۱۲۰	۲۸	۲۰۲۲	۱۲۵
۹	۲۰۰۳	۱۲۴	۱۹	۲۰۱۳	۱۲۶	۲۹	۲۰۲۳	۱۱۴
۱۰	۲۰۰۴	۱۲۳	۲۰	۲۰۱۴	۱۲۶			

منبع: (یافته های پژوهش، ۱۴۰۳)

سال ۲۰۱۰ با بیشترین روزهای خشک مشترک ایستگاه‌ها انتخاب گردید. نقشه تحلیل فضایی با استفاده از روش درون‌یابی IDW در محیط Arc GIS تهیه شد. سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان یکی از کلیدی‌ترین سطوح در تحلیل الگوهای جوی شناخته می‌شود، زیرا در این ارتفاع، جریان‌های اصلی جوی و ساختارهایی که تأثیر بسزایی بر شرایط آب و هوایی دارند، به وضوح مشاهده می‌شوند. از این رو، داده‌های بازکاو شده مربوط به مؤلفه‌های این سطح که در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۲)، برای سال ۲۰۱۰ از مرکز ملی مطالعات اقیانوس و جو ایالات متحده آمریکا (NOAA) گردآوری شده‌اند.

جدول ۲. ویژگی‌های متغیر جو لایه‌های بالا در این مطالعه

ردیف	متغیر	سطح مورد استفاده	واحد	مقیاس زمانی	دقت مکانی درجه	دوره آماری
۱	ارتفاع ژئوپتانسیل	۵۰۰ هکتوپاسکال	متر	بهترین دقت زمانی روزانه	۲/۵×۳/۵	۱۴۰۲-۱۳۹۵
۲	فشار سطح دریا	سطح دریا	هکتوپاسکال			
۳	تاوایی	۵۰۰ هکتوپاسکال	یک بر ثانیه s^{-1}			
۴	سرعت قائم هوا در جو (امگا)	۵۰۰ هکتوپاسکال	پاسکال بر ثانیه			

منبع: (محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۳)

سپس با استفاده از خوشه‌بندی به استخراج و شناسایی الگوهای سطوح فوقانی جو که منجر به خشکسالی شدند، اقدام شد. رویکرد این پژوهش، محیطی به گردشی است. برای استخراج الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، داده‌های سال ۲۰۱۰ با ۱۴۴ روز بی‌بارش مشترک در نرم‌افزار مینی تب با استفاده از روش سلسله مراتبی خوشه‌بندی و به چهار خوشه طبقه‌بندی شدند. روزهای نماینده بر اساس میانگین پارامترهای جوی یا کمترین فاصله از مرکز گروه جهت بررسی و تحلیل همدید مشخص گردید (جدول ۳). نقشه‌های همدید مؤلفه‌های فوق‌الذکر با استفاده از نرم‌افزار GRADS ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل زیاد شدن حجم نقشه‌ها، از ترسیم و تحلیل همه روزهای بی بارش مشترک خودداری شد.

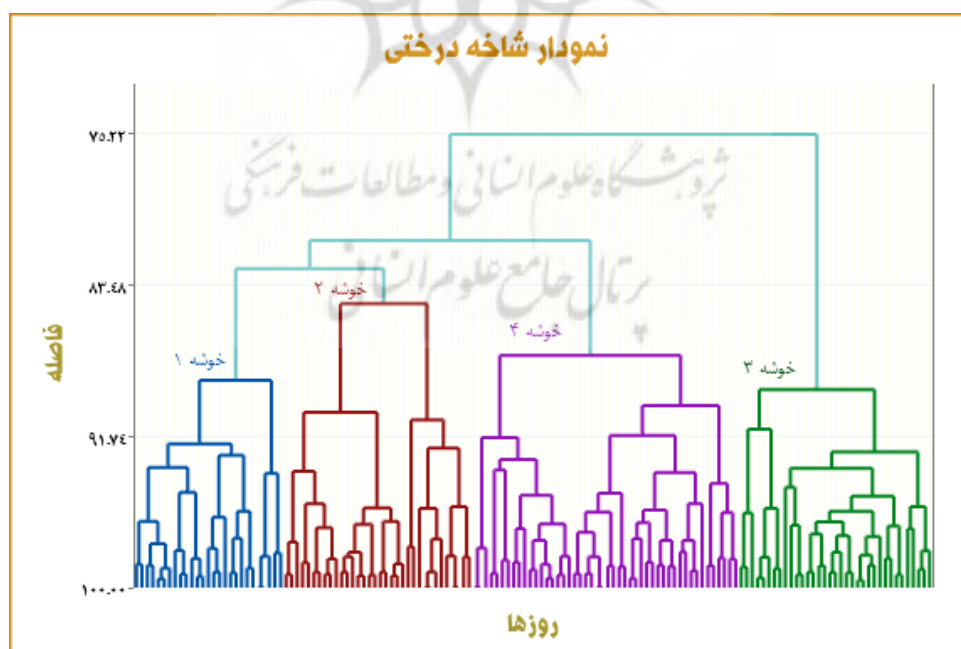
جدول ۳. مشخصات الگوهای روزهای خشک و بدون بارش مشترک سال منتخب منطقه مطالعاتی

ردیف	گروه‌ها (خوشه‌ها)	سال	ماه	روز	تعداد روزهای خشک مشترک (الگوها)
۱	روز نمایند خوشه اول	۲۰۱۰	مارس	۵	۲۷
۲	روز نمایند خوشه دوم	۲۰۱۰	نوامبر	۱۷	۳۴
۳	روز نمایند خوشه سوم	۲۰۱۰	دسامبر	۱	۳۵
۴	روز نمایند خوشه چهارم	۲۰۱۰	اکتبر	۲۲	۴۸

منبع: (یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

(شکل ۱) نمودار شاخه درختی را برای شش ماه سرد سال ۲۰۱۰ که بیشترین روزهای خشک مشترک را داشته نشان می‌دهد. بر حسب این شکل روزهای خشک مشترک ایستگاه‌های استان خوزستان برای دوره ۱۹۹۵-۲۰۲۳ مربوط به سال مذکور به صورت چهار خوشه و چند زیرمجموعه با رویکرد خوشه بندی تمام ارتباطی^۱ که در ادامه به آن اشاره شده است، ترسیم و از هم تفکیک شدند و سرانجام روزهای خشک نماینده انتخاب شدند.

خوشه‌بندی کامل پیوند (تمام ارتباطی) یکی از روش‌های سلسله‌مراتبی در خوشه‌بندی است. در این روش، ابتدا هر عنصر به صورت مجزا در یک خوشه قرار می‌گیرد. سپس خوشه‌ها به تدریج با یکدیگر ترکیب می‌شوند و گروه‌های بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند تا نهایتاً تمامی عناصر در یک خوشه‌ی واحد قرار گیرند. این روش که به نام «دورترین همسایه» نیز شناخته می‌شود، نتیجه نهایی را می‌توان به شکل یک نمودار شاخه درختی نمایش داد که توالی ادغام خوشه‌ها و فاصله بین آن‌ها را در هر مرحله نشان می‌دهد (وریت^۲ و همکاران، ۲۰۰۱).



شکل ۱. دارنما خوشه بندی روزهای خشک مشترک ایستگاه‌های استان خوزستان سال ۲۰۱۰

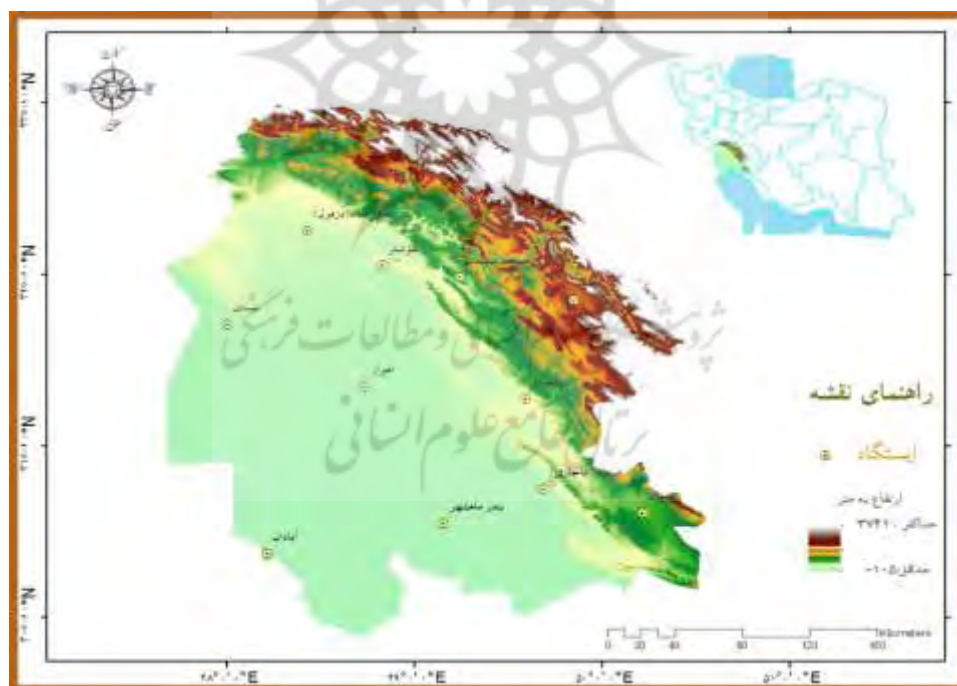
منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۳)

^۱ McKee ete Linkage^۲ Everitt

محدوده مورد مطالعه

خوزستان با وسعت ۶۴۰۰۰ کیلومترمربع وسیع‌ترین استان در نیمه غربی کشور است (شکل ۲). این استان در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۳۳ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۷ تا ۵۰ درجه شرقی قرار دارد. استان خوزستان از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم مرز است. استان‌های بوشهر در جنوب شرق، کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری در شرق، لرستان و ایلام در شمال آن واقع شده‌اند. خوزستان مانند استان‌های گیلان، گلستان و سیستان و بلوچستان، هم دارای مرز آبی و هم خشکی می‌باشد.

تفاوت دما بین غرب و شرق استان حدود ۷ درجه سانتی گراد و بین شمال و جنوب استان ۳ درجه سانتیگراد است. گرم‌ترین نقاط استان در جنوب و جنوب غرب و سردترین نقاط در شمال و شمال شرق قرار دارند. مقدار بارش در استان از جنوب به شمال و از غرب به شرق افزایش می‌یابد. میانگین بارش سالانه استان از ۱۵۰ میلیمتر در جنوب غربی تا حدود ۱۰۰۰ میلیمتر در شمال شرقی متغیر است. شمال و شمال شرق استان تحت تأثیر آب و هوای کوهستانی قرار دارد و دارای زمستان نسبتاً پربارش و تابستان معتدل است. بخش کوهپایه‌ای استان دارای آب و هوای نیمه خشک است. سایر مناطق استان در جنوب و غرب تحت تأثیر آب و هوای گرم و خشک قرار دارند. براساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ جمعیتی معادل ۴۷۱۰۵۰۹ نفر دارد و پنجمین استان پرجمعیت ایران محسوب می‌شود که نزدیک به ۶ درصد جمعیت کشور را شامل می‌شود (اشری و همکاران، ۱۴۰۳). مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در ادامه ارائه شده است (جدول ۴).



شکل ۲. نقشه موقعیت ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۳)

جدول ۴. مشخصات ایستگاههای مورد مطالعه

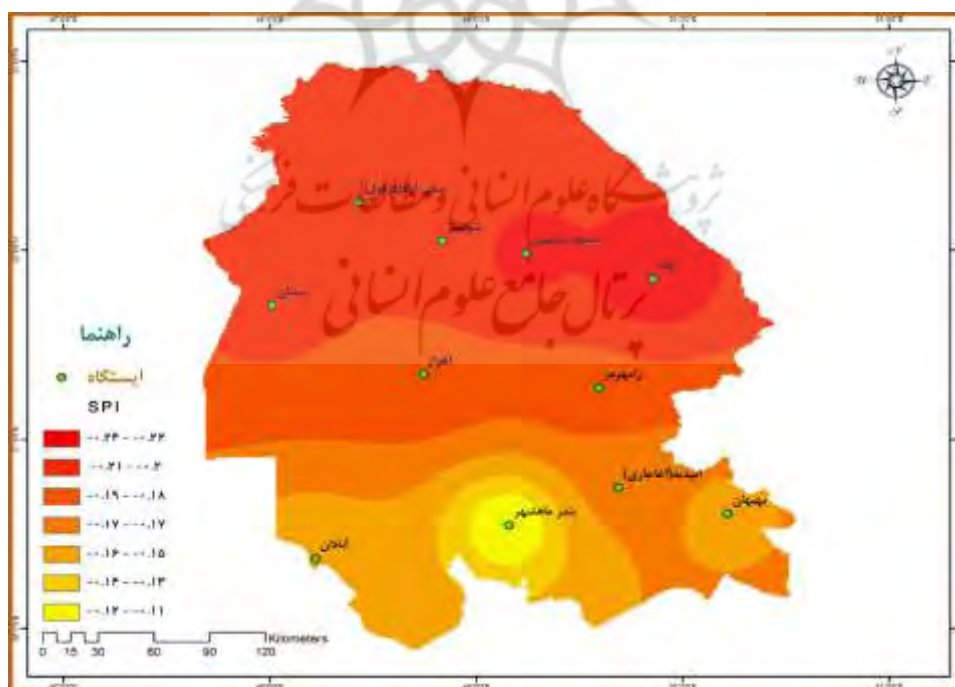
ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه اعشاری)	عرض جغرافیایی (درجه اعشاری)	رتبه ارتفاع از سطح دریا	ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه اعشاری)	عرض جغرافیایی (درجه اعشاری)	رتبه ارتفاع از سطح دریا
امیدیه	۴۹/۶۹	۳۰/۷۴	۲۷	بستان	۴۸/۰۱	۳۱/۷۱	۸
اهواز	۴۸/۷۴	۳۱/۳۴	۲۳	رامهرمز	۴۹/۶۰	۳۱/۲۷	۱۵۱
ایذه	۴۹/۸۵	۳۱/۸۵	۷۶۷	شوشتر	۴۸/۸۳	۳۲/۰۵	۶۷
آبادان	۴۸/۲۲	۳۰/۳۷	۷	صفی آباد (دزفول)	۴۸/۴۳	۳۲/۲۵	۸۳
بندر ماهشهر	۴۹/۱۶	۳۰/۵۵	۶	مسجدسلیمان	۴۹/۲۴	۳۱/۹۸	۳۲۱
بهبهان	۵۰/۲۲	۳۰/۶۱	۳۱۳				

منبع: (محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۳)

بحث و یافته ها

نقشه پهنه بندی خشکسالی های استان بر اساس شاخص SPI سال ۲۰۱۰

جهت بررسی توزیع مکانی خشکسالی های هریک از ایستگاه های استان خوزستان در سال ۲۰۱۰، نقشه پهنه بندی با استفاده از شاخص SPI ترسیم گردید (شکل ۳). شدیدترین خشکسالی ها در مناطق شمالی و مرکزی، در محدوده ایستگاه های صفی آباد دزفول، شوشتر، مسجدسلیمان و ایستگاه همدید ایذه مشاهده می شود. خشکسالی های با شدت کمتر در قسمت های جنوبی، در محدوده ایستگاه بندر ماهشهر قابل مشاهده هستند.



شکل ۳. نقشه پهنه بندی خشکسالی های استان بر اساس شاخص SPI سال ۲۰۱۰

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۳)

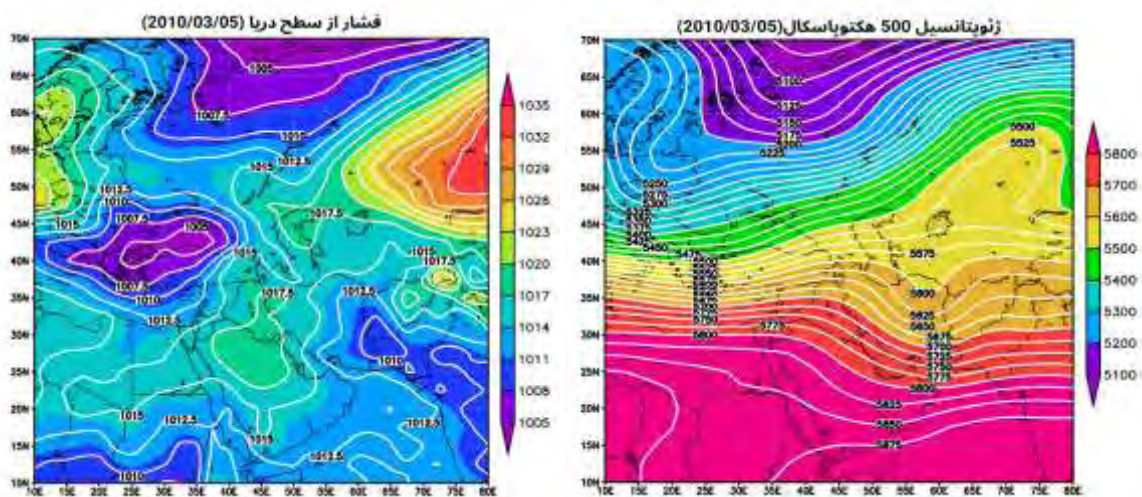
تحلیل همدید روزهای بی بارش و مشترک ایستگاه‌های استان خوزستان در سال ۲۰۱۰

روز نماینده خوشه اول (۲۰۱۰/۰۳/۰۵)

بررسی نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پنجم مارس ۲۰۱۰ (۱۴ اسفند ۱۳۸۸) را نشان می‌دهد (شکل ۴). یک بسته پُراترافع در تراز میانی جو بر روی کشور سودان وجود دارد که هسته مرکزی آن به ارتفاع ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متر می‌رسد. زبانه‌های این پُراترافع با ایجاد پشته‌ای در ایران با محور جنوب غربی - شمال شرقی شده‌اند که محور این پشته از روی استان خوزستان عبور می‌کند و ارتفاع ۵۷۰۰ ژئوپتانسیل متر نیز این منطقه را تحت تأثیر قرار داده و باعث ایجاد عدم صعود هوا و پایداری جو شده است. همچنین، ناوهای نسبتاً عمیق که از شمال شرق ایران تا دریای عمان گسترش یافته، به علت پشته مذکور منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار نداده است. ناو عمیق مدیترانه که تا شمال آفریقا امتداد یافته نیز به دلیل وجود پُراترافع نتوانسته است بر خوزستان تأثیرگذار باشد.

نقشه فشار سطح دریا در روز نماینده خوشه اول نشان می‌دهد که یک سیستم پرفشار با فشار مرکزی ۱۰۳۵ هکتوپاسکال بر روی تاجیکستان و آسیای مرکزی قرار دارد، استان خوزستان تحت تأثیر زبانه‌های پرفشار سیستم آسیای مرکزی با فشار حدود ۱۰۱۵ و ۱۰۱۷/۵ هکتوپاسکال قرار گرفته است که باعث شده است هوای آرام و پایداری در منطقه حاکم باشد در مقابل، یک مرکز بسته کم‌فشار با فشار مرکزی حدود ۱۰۰۵ هکتوپاسکال بر روی دریای سیاه قرار دارد که زبانه آن تا دریای سرخ گسترش یافته است. زبانه‌های پرفشار مذکور (پرفشار سبیری) مانع از تداخل این زبانه کم‌فشار با زبانه کم‌فشار سودانی در شرق مدیترانه که باعث صعود هوای گرم و مرطوب دریای سرخ به اروپای شرقی و ایران و منطقه مورد مطالعه می‌شود، شده است (شکل ۵). در نقشه‌ای امگای ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به این روز (روز نماینده خوشه اول)، استان خوزستان در تحت تأثیر زبانه‌ی هسته نزولی با مقدار امگا مثبت (۰/۱۵) پاسکال بر ثانیه قرار دارد. این هسته نزولی قوی بر روی خلیج فارس با مقدار امگا مثبت (۰/۲) پاسکال بر ثانیه واقع شده است.

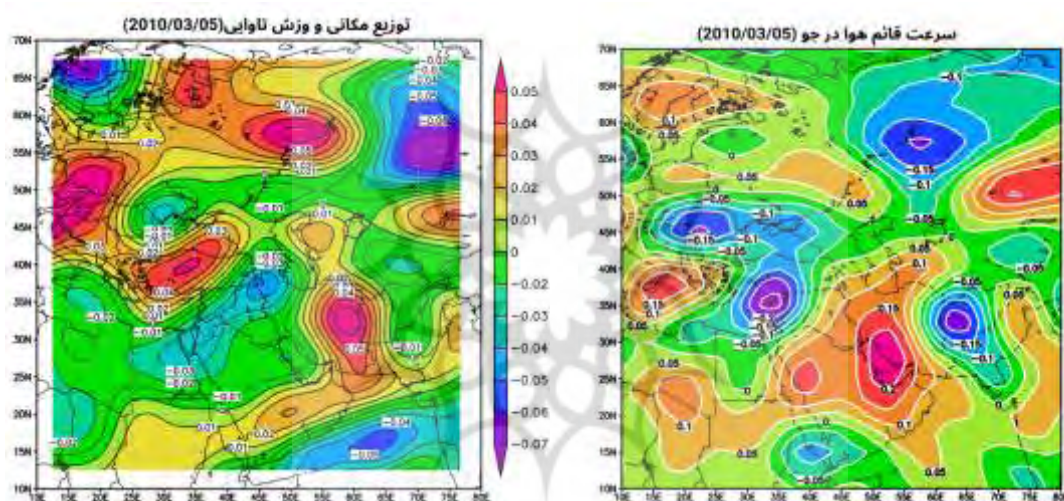
همچنین، یک هسته صعودی قوی با مقدار امگا منفی (۰/۲-) پاسکال بر ثانیه در مرکز مدیترانه قرار دارد. تأثیر این هسته صعودی به خوزستان نمی‌رسد و بیشتر بر روی مناطق مدیترانه‌ای متمرکز است. وضعیت جوی در خوزستان به دلیل نزدیکی به زبانه هسته نزولی، نشان‌دهنده شرایط جوی نسبتاً پایدار و خشک است (شکل ۶). با توجه به نقشه تاوایی روز مذکور، استان خوزستان تحت تأثیر مقادیر منفی تاوایی (۰/۰۱- تا ۰/۰۲-) قرار دارد که نشان‌دهنده واگرایی در سطح زمین و همگرایی در لایه‌های بالایی جو است. این وضعیت معمولاً با پایداری جوی و هوای صاف در خوزستان همراه است، از طرف دیگر، مناطق شمالی‌تر از خوزستان که دارای مقادیر مثبت تاوایی (۰/۰۳ تا ۰/۰۴) هستند، نشان‌دهنده همگرایی در سطح زمین و واگرایی در لایه‌های بالایی جو می‌باشد که منجر به ناپایداری جوی و احتمال بارش می‌شود (شکل ۷). نتایج این روز نشان‌دهنده وجود یک پشته پُراترافع بر روی سودان است که زبانه‌های آن به سمت ایران و خوزستان گسترش یافته و موجب پایداری جوی در این منطقه شده است. فشار سطح دریا نیز حاکی از وجود یک سیستم پرفشار در آسیای مرکزی است که زبانه‌های آن هوای آرام و پایدار را در خوزستان فراهم کرده‌اند. نقشه‌های امگا و تاوایی تأیید می‌کنند که خوزستان تحت تأثیر هسته نزولی با امگا مثبت و مقادیر منفی تاوایی قرار دارد که این شرایط به پایداری و خشکی جوی در این منطقه منجر شده است.



شکل ۵. نقشه فشار تراز دریا

شکل ۴. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

منبع: (نگارنگان، ۱۴۰۳)



شکل ۷. نقشه وضعیت تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۶. نقشه امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

منبع: (نگارنگان، ۱۴۰۳)

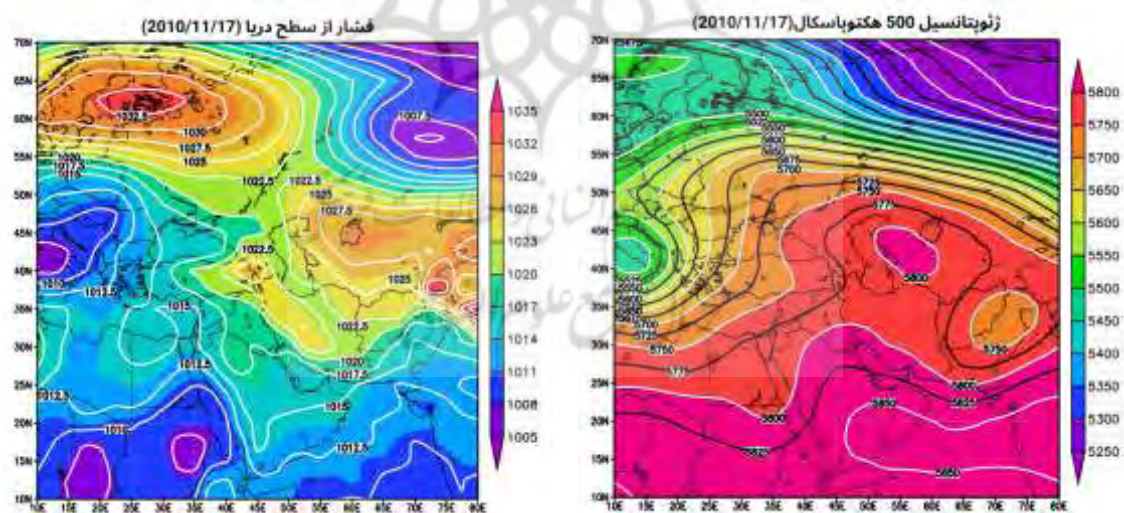
روز نماینده خوشه دوم (۲۰۱۰/۱۱/۱۷)

تحلیل وضعیت همدید در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در تاریخ ۱۷ نوامبر ۲۰۱۰ (۲۶ آبان ۱۳۸۹) نشان دهنده تشکیل سامانه بندالی از نوع امگا Ω در منطقه خاورمیانه است. مرکز این سامانه پرارتفاع با منحنی بسته ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متر، بر روی عربستان و دریای عمان شکل گرفته است. پشته‌ای از این سامانه به سمت ایران کشیده شده و دو هسته کم‌ارتفاع در جنوب شرقی و شمال غربی به وجود آمده‌اند که گردش‌های چرخندی در آن‌ها مشاهده می‌شود. استان خوزستان در مرکز این سامانه بندالی قرار دارد. در این وضعیت، هوا در منطقه مطالعاتی گرم، خشک و پایدار است، اما وضعیت جوی در اطراف آن به دلیل وجود ناهه‌ها ناپایدار می‌باشد. همان‌طور که در نقشه فشار سطح دریا در این روز مشاهده می‌شود، هسته پرفشاری با منحنی هم‌فشاری ۱۰۲۷/۵ هکتوپاسکال در عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و طول جغرافیایی ۶۰ تا ۸۰ درجه به تصویر کشیده شده است. زبانه غربی این هسته پرفشار، که با منحنی‌های هم‌فشار حدود ۱۰۱۷/۵ تا ۱۰۲۰ هکتوپاسکال مشخص شده، منطقه مورد مطالعه را احاطه کرده و تا عراق و شمال عربستان امتداد یافته است. این الگو

نشان دهنده هوای نسبتاً پایدار و عدم فعالیت جوی شدید در منطقه است. به طور کلی، هوای آرام و پایدار در تمام منطقه حاکم است (شکل ۹).

نقشه‌ی ۱۷ نوامبر ۲۰۱۰ نشان دهنده‌ی یک هسته نزولی با مقدار امگا مثبت ($0/15$) پاسکال بر ثانیه روی خلیج فارس و دریای عمان است که زبانه‌های آن با مقادیر مثبت ($0/1$) و ($0/05$) پاسکال بر ثانیه به سمت شمال امتداد یافته و منطقه خوزستان را تحت تأثیر قرار داده است. این زبانه‌ها باعث پایداری جو و ایجاد هوای آرام و بدون تغییرات شدید جوی در خوزستان شده‌اند. در مقابل یک هسته صعودی با امگا ($-0/15$) پاسکال بر ثانیه بر روی عربستان و دریای سرخ وجود دارد که نشان دهنده‌ی ناپایداری جوی در آن منطقه است، اما تأثیرات این هسته صعودی به خوزستان نمی‌رسد. (شکل ۱۰).

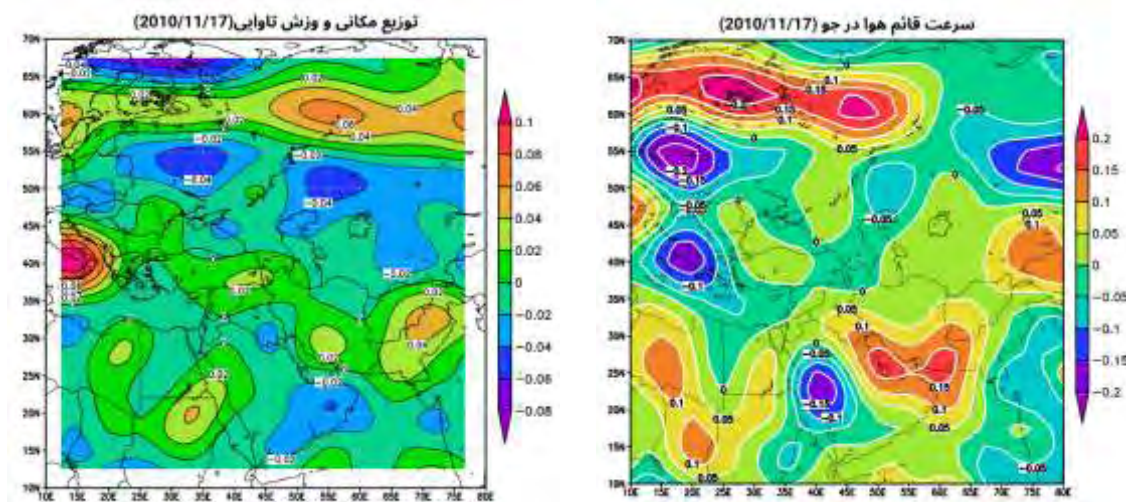
با توجه به نقشه تاوایی برای روز نماینده خوشه دوم نشان می‌دهد (شکل ۱۱)، استان خوزستان تحت تأثیر مقادیر صفر و نزدیک به صفر تاوایی قرار دارد. این وضعیت نشان دهنده عدم وجود همگرایی قابل توجه در سطح زمین و واگرایی در لایه‌های بالایی جو است؛ که به طور معمول با پایداری نسبی جوی و هوای نسبتاً صاف همراه می‌باشد. در مقابل، مناطق شمالی‌تر از خوزستان که دارای مقادیر مثبت تاوایی ($0/02$) هستند، شاهد همگرایی در سطح زمین و واگرایی در لایه‌های بالایی جو هستند که می‌تواند منجر به ناپایداری جوی و احتمال بارش شود. به طور کلی، سامانه بندالی Ω که در خاورمیانه شکل گرفته، استان خوزستان را در مرکز خود جای داده است. فشار سطح دریا حاکی از وجود یک هسته پرفشار با منحنی هم‌فشاری ۱۰۲۷٫۵ هکتوپاسکال است که به ایجاد هوای آرام و پایدار در خوزستان کمک کرده است. نقشه تاوایی نیز مقادیر نزدیک به صفر را در این منطقه نشان می‌دهد، که به همراه امگا مثبت، تأییدکننده پایداری جوی و عدم تغییرات شدید جوی در خوزستان است.



شکل ۹. نقشه فشار تراز دریا

شکل ۸. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۳)



شکل ۱۱. نقشه وضعیت تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۱۰. نقشه امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۳)

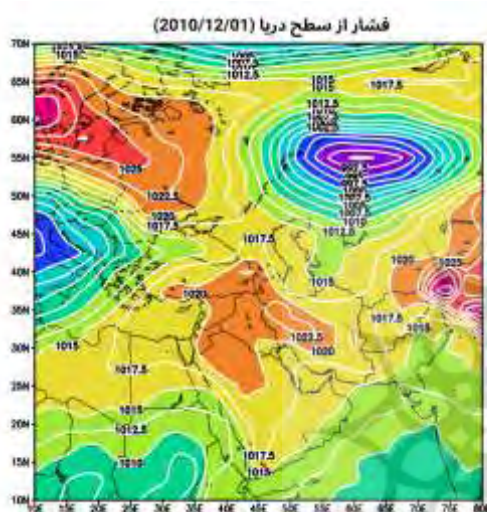
روز نماینده خوشه سوم (۲۰۱۰/۱۲/۰۱)

در روز اول دسامبر ۲۰۱۰ (۱۰ آذر ۱۳۸۹)، طبق (شکل ۱۲)، سه سلول پراارتفاع به وضوح بر روی عربستان، دریای سرخ و شمال آفریقا شکل گرفته‌اند. پشته‌ای از این پراارتفاع‌ها با محور شمال شرقی-جنوب غربی، بر روی کشور ایران و منطقه مورد مطالعه گسترده شده است. منحنی پراارتفاع با مقدار ۵۸۲۵ ژئوپتانسیل متر از روی استان خوزستان عبور می‌کند. در این شرایط، یک ناوه کم‌عمق بر روی دریای سیاه مشاهده می‌شود که تحت تأثیر پراارتفاع قوی در منطقه به عقب رانده شده و از نفوذ بادهای غربی به منطقه کاسته شده است. همچنین، یک ناوه کم‌عمق دیگر در شرق منطقه، به دلیل تقابل با پشته پراارتفاع، به عقب رانده شده است. این وضعیت منجر به نزول هوا و ایجاد شرایط جوی پایدار در منطقه شده است که با پایداری جوی، کاهش ابرناکی و بارش، افزایش دما و هوای خشک همراه است. نقشه فشار سطح دریا در این روز نشان می‌دهد که زبانه‌هایی از پرفشار سبیری به طرف جنوب غربی ایران کشیده شده و منطقه خوزستان را تحت تأثیر فشار سطحی حدود ۱۰۱۷٫۵ تا ۱۰۲۰ هکتوپاسکال قرار داده است، که موجب ایجاد هوای پایدار و خشک و مانع از صعود هوا و تشکیل ابرهای باران‌زا شده است (شکل ۱۳).

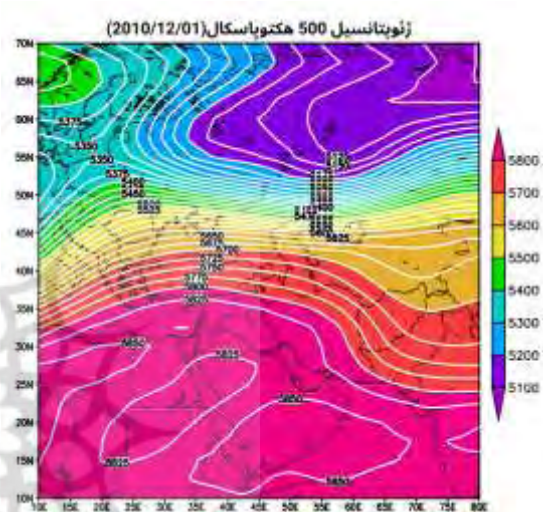
در تاریخ فوق‌الذکر، منطقه خوزستان تحت تأثیر امگای صفر پاسکال بر ثانیه قرار دارد که نشان‌دهنده پایداری جوی و عدم وجود جریان‌های صعودی یا نزولی قابل توجه است. این شرایط معمولاً به هوای صاف و پایدار منجر می‌شود. در بیشتر مناطق اطراف خوزستان، به‌ویژه در نواحی مرکزی و شمالی ایران، امگای مثبت حدود (۰/۰۵) پاسکال بر ثانیه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده جریان نزولی هوا و پایداری جوی است و احتمالاً هوای خشک و بدون بارش را به همراه دارد. در شرق و جنوب شرقی ایران، همچنین بر روی کشورهای افغانستان و پاکستان، هسته‌ای با امگای مثبت (۰/۲) پاسکال بر ثانیه وجود دارد. زبانه‌های این هسته به سمت جنوب غربی و غرب گسترش یافته و تا عربستان، عراق و قسمتی از استان خوزستان امتداد یافته است. این وضعیت منجر به جریان نزولی هوا و پایداری جوی شده است. در مقابل، بر روی دریای مدیترانه، هسته‌ای با امگای منفی (۰/۲-) پاسکال بر ثانیه و همچنین بر روی دریاچه بایکال، هسته‌ای از امگای منفی (۰/۴-) پاسکال بر ثانیه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده جریان صعودی هوا و ناپایداری جوی است. این شرایط احتمالاً به افزایش بارش و وضعیت جوی ناپایدار در این مناطق منجر شده است (شکل ۱۴). بر اساس نقشه تاوایی برای اول دسامبر ۲۰۱۰، منطقه مورد مطالعه دارای تاوایی منفی حدود (۰/۲-) است. این مقدار منفی

نشان‌دهنده حضور آنتی‌سیکلون و جریان‌های هوای پایدار است. در این منطقه، به علت تاوایی منفی، واگرهمدایی جریان هوا مشاهده می‌شود که موجب پایداری جو شده است (شکل ۱۵).

به طور کلی در روز مذکور، پشته‌ای با محور شمال شرقی-جنوب غربی بر روی ایران و خوزستان گسترش یافته و باعث عقب‌نشینی ناوه کم عمق شرق و ناوه دریای سیاه که منجر به کاهش نفوذ بادهای غربی به منطقه شده است. نقشه فشار سطح دریا نشان‌دهنده تأثیر زبانه‌های پرفشار سیبری بر خوزستان است؛ که موجب ایجاد هوای خشک و پایدار شده و مانع از صعود هوا و تشکیل ابرهای باران‌زا گردیده است. نقشه‌های امگا و تاوایی نیز تأیید می‌کنند که خوزستان تحت تأثیر شرایط پایدار جوی با امگای نزدیک به صفر و تاوایی منفی قرار دارد. در نتیجه، وضعیت جوی در این منطقه آرام و پایدار است.

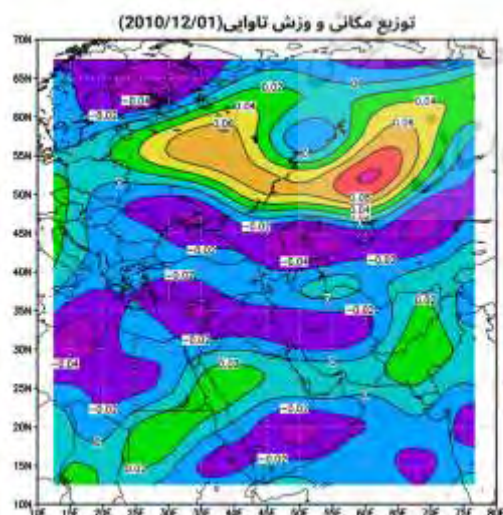


شکل ۱۳. نقشه فشار تراز دریا

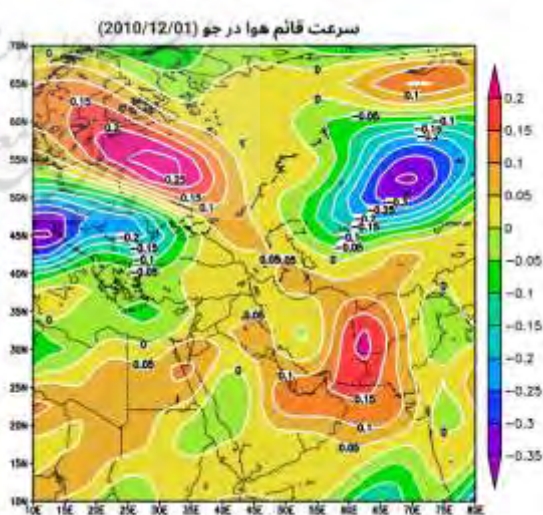


شکل ۱۲. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۳)



شکل ۱۵. نقشه وضعیت تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



شکل ۱۴. نقشه امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۳)

نماینده خوشه چهارم (۲۰۱۰/۱۰/۲۲)

نقشه ارتفاع ژئو پتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز بیست و دوم اکتبر ۲۰۱۰ (۳۰ مهرماه ۱۳۸۹) نشان می‌دهد که یک سامانه بندالی از نوع امگا بر روی آسیا تشکیل شده است. این سامانه، پشته پرارتفاعی با جهت شمال شرقی - جنوب غربی را بر روی ایران ایجاد کرده است. هسته اصلی این پرارتفاع با ارتفاع ۵۸۷۵ ژئوپتانسیل بر روی عربستان و دریای سرخ مستقر است و استان خوزستان در مسیر محور این پشته پرارتفاع قرار دارد. یک ناوه نسبتاً عمیق بر شرق دریای مدیترانه شکل گرفته و تا شمال آفریقا گسترش یافته است، اما به دلیل وجود زبانه‌های پرفشار جنب حاره، نتوانسته به دریای سرخ نفوذ کند. در واقع، پشته پرارتفاع فرابار مانعی در برابر بادهای غربی ایجاد کرده و باعث شده بادهای غربی به عرض‌های بالاتر هدایت شوند، که موجب وزش مداری بادهای غربی می‌شود. این پرارتفاع که زبانه‌هایی از پرفشار جنب حاره‌ای دارد، جریان هوا را نزولی کرده و امکان صعود هوا را از بین برده است. در نتیجه، شرایط پایداری در منطقه ایجاد کرده است (شکل ۱۶).

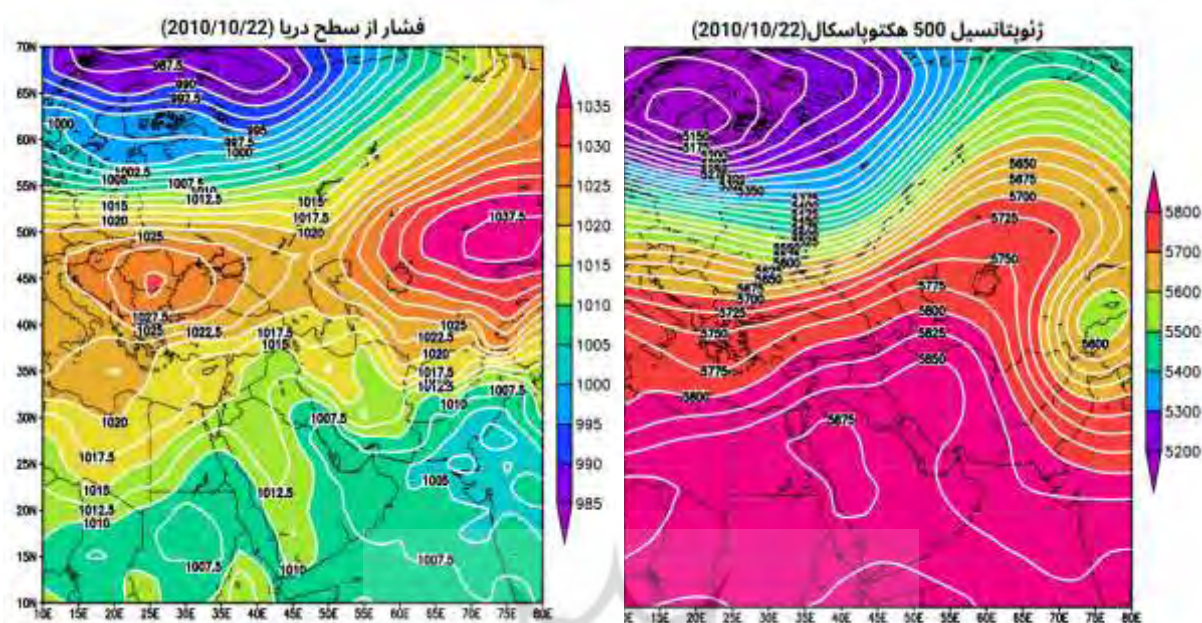
نقشه فشار تراز دریا در روز نماینده خوشه چهارم نشان می‌دهد، هسته پرفشاری (پرفشار سیبری) با منحنی هم‌فشاری ۱۰۳۷،۵ هکتوپاسکال در عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و طول جغرافیایی ۷۵ درجه بسته شده است. زبانه غربی این واچرخند با امتداد شرقی - غربی تا شمال آفریقا گسترش یافته است. منطقه مطالعاتی بین خطوط هم‌فشار ۱۰۱۰ و ۱۰۱۵ هکتوپاسکال قرار گرفته است. بر اساس این نقشه، فشار هوا در خوزستان نسبتاً متعادل است و نه خیلی بالا و نه خیلی پایین. این نشان می‌دهد که خوزستان در این تاریخ تحت تأثیر شرایط جوی پایداری بوده و هوای آرام و بدون بارشی در آنجا حاکم بوده است (شکل ۱۷).

نقشه ۲۲ اکتبر ۲۰۱۰ نشان می‌دهد، هسته‌ای با امگای صفر پاسکال بر ثانیه، منطقه مطالعاتی را در بر گرفته است. در این روز، بیشتر مناطق ایران به جز نواحی شمالی و مرکزی تحت تأثیر امگای مثبت قرار گرفته‌اند. این شرایط منجر به جوی پایدار در این مناطق و منطقه مورد پژوهش شده است. هسته‌ای از امگای مثبت (۰/۰۴) پاسکال بر ثانیه روی شمال افغانستان قرار دارد که نشان از جریان نزولی هوا و پایداری جو در شرق ایران دارد. هسته‌ای از امگای منفی (۰/۰۴-) پاسکال بر ثانیه بر روی هند قرار دارد که نشان از جریان همگرایی، صعود و ناپایداری جو در آن منطقه است. (شکل ۱۸). همچنین نقشه روز مذکور نشان می‌دهد تاوایی در این منطقه نزدیک به صفر است (آبی کم‌رنگ و سبز)، که نشان‌دهنده وضعیت نسبتاً پایداری است.

هیچ سیکلون یا آنتی سیکلون قوی در این منطقه مشاهده نمی‌شود. همگرایی و نیز در این منطقه به طور قابل توجهی کم است که به تثبیت هوا کمک می‌کند. اطراف منطقه مورد مطالعه، مانند شرق عراق و شمال عربستان سعودی، مقادیر تاوایی منفی را نشان می‌دهند که بیانگر وجود آنتی سیکلون و هوای پایدار در این مناطق است. در شمال خوزستان، در مناطق غربی ایران و ترکیه، مقادیر تاوایی مثبت نشان‌دهنده وجود سیکلون‌های ضعیف و ناپایداری نسبی است. بنابراین، منطقه خوزستان در تاریخ مورد نظر در وضعیت آرام و پایدار با ناپایداری‌های محدودی در مناطق اطراف خود قرار داشته است (شکل ۱۹).

نتایج نشان می‌دهد، در روز نماینده خوشه چهارم، سامانه بندالی نوع امگا با پشته‌ای پرارتفاع بر روی ایران و خوزستان مستقر است. این پشته با جهت شمال شرقی - جنوب غربی مانع از نفوذ ناوه‌های عمیق از شرق مدیترانه به دریای سرخ شده و جریان بادهای غربی را به عرض‌های بالاتر هدایت کرده است. نقشه فشار سطح دریا نشان می‌دهد که خوزستان تحت تأثیر هسته پرفشار سیبری قرار دارد که باعث ایجاد هوای نسبتاً متعادل و پایدار در این منطقه شده است.

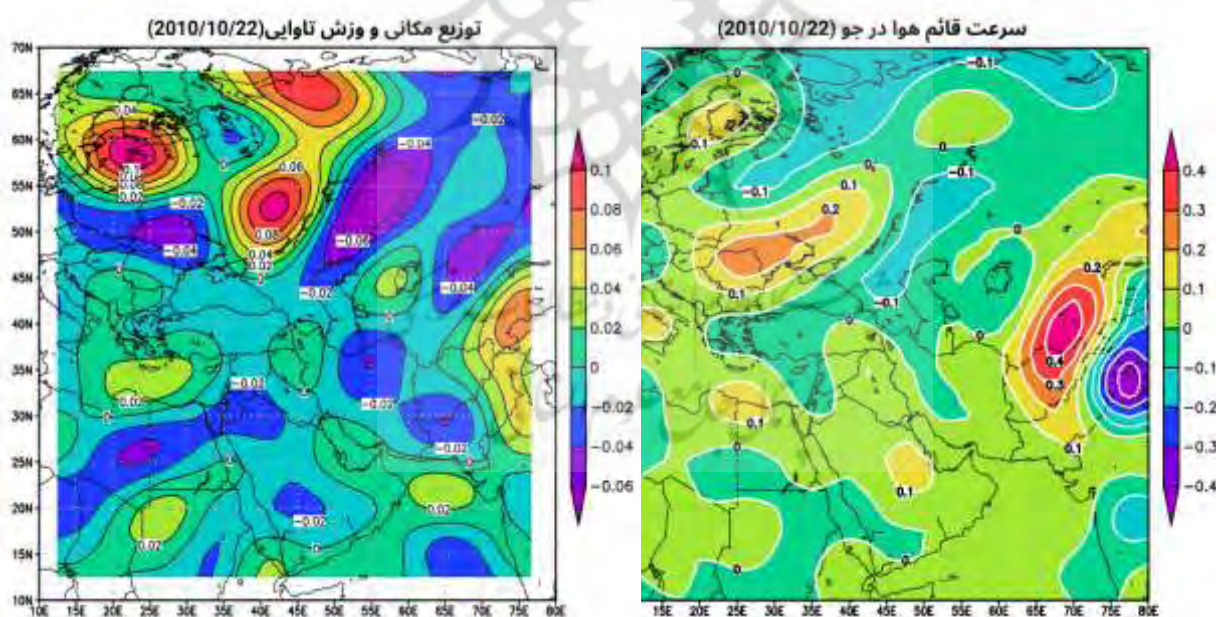
همچنین ، نقشه‌های امگا و تاوایی تأیید می‌کنند که خوزستان در وضعیت پایدار جوی با امگای نزدیک به صفر و تاوایی نزدیک به صفر قرار دارد، که نشان‌دهنده هوای آرام و بدون بارش در این منطقه است.



شکل ۱۷. نقشه فشار تراز دریا

شکل ۱۶. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۳)



شکل ۱۹. نقشه وضعیت تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۱۸. نقشه امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۳)

نتیجه گیری

خشکسالی یکی از پدیده‌های مهم اقلیمی است که می‌تواند تأثیرات عمیق و گسترده‌ای بر جوامع انسانی، اکوسیستم‌ها، و فعالیت‌های اقتصادی داشته باشد. استان خوزستان به دلیل شرایط اقلیمی و جغرافیایی خاص خود، به طور مستمر در معرض خطر خشکسالی قرار دارد.

تحلیل داده‌های هواشناسی استان خوزستان از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که خشکسالی‌های شدیدی در سال ۲۰۱۰ و سایر سال‌ها رخ داده است. بررسی شاخص استاندارد بارش (SPI) و داده‌های جغرافیایی و فضایی نشان می‌دهد که الگوهای فشار نظیر استقرار زبانه پرفشار سیبری، پرفشار جنب حاره، پرفشار عربستان، جریان باد و عدم نفوذ عمیق بادهای غربی در سطوح میانی جو و سامانه‌های بندالی نقش مهمی در کاهش بارش و افزایش روزهای خشک منطقه مورد مطالعه داشته‌اند.

نتایج این تحقیق با یافته‌های پژوهش‌های پیشین مانند تحقیق (مسعودی و همکاران، ۱۳۹۸: ۹) در مورد خشکسالی‌های استان خوزستان تطابق دارد. وجه تشابه و افتراق این پژوهش با تحقیقات پیشین را می‌توان به استفاده از شاخص SPI برای ارزیابی خشکسالی و تأثیرات الگوهای همدید و کاهش بارش اشاره کرد. در حالی که تحقیق حاضر بر تحلیل داده‌های روزانه بارش و مدل‌های جو بالا متمرکز است، بسیاری از پژوهش‌های پیشین از داده‌های ماهانه یا سالانه استفاده کرده‌اند.

این تحقیق نشان داد که روزهای خشک فصول سرد استان خوزستان با الگوهای همدیدی مشخصی ارتباط دارند و این الگوها می‌توانند به عنوان شاخص‌های پیش‌بینی خشکسالی در این منطقه مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، لازم است که برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و راهبردهای کاهش تأثیرات خشکسالی در استان خوزستان با در نظر گرفتن این الگوها تدوین شوند. این یافته‌ها نشان‌دهنده لزوم برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، پایش و پیش‌بینی دقیق جوی و اقلیمی و اجرای راهکارهای مقابله با خشکسالی است تا بتوان اثرات منفی آن را کاهش داد و از منابع آبی به شکل بهینه‌تری بهره‌برداری کرد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان

نویسندگان در انجام این پژوهش سهم برابر دارند.

تضاد منافع

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

تقدیر و تشکر

نویسندگان از افرادی که در انجام این پژوهش همکاری داشتند، تشکر می‌کنند.

منابع

- ۱) اشرف، بتول و موسوی بایگی، محمد (۱۳۹۰). مطالعه الگوهای سینوپتیکی منجر به خشکسالی‌های پاییزه و زمستانه در استان خراسان رضوی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۴(۱۸)، ۱۶۷-۱۸۴.
<https://dori.net/dor/20.1001.1.23222069.1390.18.4.9.9>
- ۲) اشتری، فرهاد؛ شریفی فرد، هاشم؛ شبانکاری، مهران؛ کیکاوسی، علی؛ هاشمی فرد، اکبر؛ گل‌افشان، عزیز و درویشی، نسرين (۱۴۰۳). استان‌شناسی خوزستان. تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران. چاپ چهاردهم.
- ۳) جهانگیر، محمدحسین؛ حسین دوست، محمدصادق و ارست، مینا (۲۰۲۱). ارزیابی وضعیت خشکسالی استان گیلان با استفاده از شاخص کچاپیرام (KBDI) در انطباق با شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI). مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۱(۴)، ۵۷-۶۷.
<https://doi.org/10.22098/mmws.2021.9407.1038>
- ۴) خوش‌اخلاق، فرامرز؛ کریمی احمدآباد، مصطفی؛ جاسمی، سید میثم؛ کاکي، سیف‌الله (۲۰۲۰). واکاوی آماری همدید تغییرپذیری آب و هواشناختی رژیم بارش غرب میانی ایران با تأکید بر رخداد خشکسالی‌های شدید. پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی، ۱(۱)، ۸۲، ۶۳.
<https://doi.org/10.30488/ccr.2020.235986.1004>
- ۵) خوش‌اخلاق، فرامرز؛ عزیزی، قاسم و رحیمی، مجتبی (۱۳۹۱). الگوهای همدید خشکسالی و ترسالی زمستانه در جنوب غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (۱۲/۲۵)، ۷۷-۵۷.
<http://jgs.khu.ac.ir/article-1-652.html>
- ۶) غزنوی، منصوره؛ مساعدي، ابوالفضل؛ قبائی سوق، محمد (۲۰۲۱). تأثیر شکست سری زمانی داده‌های بارش بر تغییرات مشخصه‌های خشکسالی (مطالعه موردی شهرهای تبریز و اراک). آب‌وخاک، ۳(۳)، ۴۰۹-۴۲۵.
<https://doi.org/10.22067/jsw.2021.14899.0>
- ۷) صادقی، فرشاد؛ قوبدل، یوسف و فرج‌زاده، منوچهر (۱۴۰۱). تغییرات زمانی و مکانی شدت خشکسالی‌های فراگیر و کوتاه مدت منطقه غرب آسیا. جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)، ۷۳(۳)، ۱۱۸، ۹۹-۱۱۸، ۲۰.
<http://dor.net/dor/20.1001.1.27833739.1401.20.73.6.4>
- ۸) قنبری، عبدالرسول؛ روستا، حسن و فتوحی نژاد، مهدی (۲۰۲۰). تحلیل آمار فضایی خشکسالی اقلیمی بلندمدت استان فارس (در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ میلادی). نیوار، ۱۱۱(۱۱۰-۱۱۱)، ۴۴، ۵۷-۶۹.
<https://doi.org/10.30467/nivar.2020.146655.1105>
- ۹) مقیمی (۲۰۲۰). سخن سردبیر (حکمرانی بحران در جهان اسلام بر مبنای تعاون محوری). مدیریت اسلامی، ۲۸(۲)، ۹-۵.
<https://dori.net/dor/20.1001.1.22516980.1399.28.2.1.8.5>
- ۱۰) نامنی، عزت؛ صادقی، سلیمان و دوستان، رضا (۱۳۹۲). تحلیل همدیدی خشکسالی فراگیر در خراسان رضوی. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲(۵)، ۳۷-۵۴.
<https://doi.org/10.22067/geo.v2i1.17464.54-37>
- ۱۱) یوسفی، حسین؛ کاشکی، عبدالرضا؛ کرمی، مختار؛ حسین‌زاده، احمد و ریحانی، الیاس (۱۳۹۷). مقایسه و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت بجنورد طی دوره‌های خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص‌های SPI، RAI و PN. مجله اکوهیدرولوژی، ۵(۳)، ۹۹۳-۱۰۰۵.
<https://doi.org/10.22059/ije.2018.257381.875>
- 12) Adeola, O. M., Masinde, M., Botai, J. O., Adeola, A. M. & Botai, C. M. (2021). An analysis of precipitation extreme events based on the SPI and EDI values in the Free State province, South Africa. Water, 13(21), 3058. <https://doi.org/10.3390/w13213058>
- 13) Alawsi, M. A., Zubaidi, S. L., Al-Bdairi, N. S. S., Al-Ansari, N. & Hashim, K. (2022). Drought forecasting: a review and assessment of the hybrid techniques and data pre-processing. Hydrology, 9(7), 115. <https://doi.org/10.3390/hydrology9070115>
- 14) Ahmadi, M. & Hosseini Nia, N. (2022). Analysis of temporal-spatial changes of water deficit index in Khuzestan province in the last decade. Physical Geography Research, 54(3), 387-401[Persian]
<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.339321.1007689>
- 15) Evgeniev, R., Malcheva, K., Marinova, T., Chervenkov, H. & Bocheva, L. (2023). Assessment of drought in Bulgaria in recent years through the standardized precipitationI index. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 23(4.1), 245-252.
<http://dx.doi.org/10.5593/sgem2023/4.1/s19.31>
- 16) Gebrewahid, M. G., Kasa, A. K., Gebrehiwot, K. A. & Adane, G. B. (2022). Analyzing Drought Conditions, Interventions and Mapping of Vulnerable Areas using NDVI and SPI Indices in Eastern Ethiopia, Somali Region. OMO International Journal of Sciences, 5(2), 70-87.
<https://doi.org/10.59122/13439FE>

- 17) Jordaan, Andries J., Mlenga, Daniel H., & Mandebvu, Blessing. (۲۰۱۹). Monitoring droughts in Eswatini: A spatiotemporal variability analysis using the Standard Precipitation Index. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 11(1), 1-11.
- 18) <https://doi.org/10.4102/jamba.v11i1.712>
- 19) Kavianpour, M., Seyedabadi, M., Moazami, S., & Yamini, O. A. (2020). Copula based spatial analysis of drought return period in southwest of Iran. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64(4), 1051-1063. [Persian] <https://doi.org/10.3311/ppci.16301>
- 20) Masoudi, M., & Elhaesahar, M. (2019). GIS analysis for vulnerability assessment of drought in Khuzestan province in Iran using standardized precipitation index (SPI). *Iran Agricultural Research*, 38(2), 9-16. [Persian] <https://doi.org/10.22099/IAR.2019.5291>
- 21) McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17 (22), 179-183. <https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>
- 22) Mooreh, K. A. M., & Razi, M. (2016). Study Drought in Khouzesan Province and Effect on Increase Dust. *International Journal of Current Research and Academic Review*, 4, 122-139. <https://doi.org/10.20546/IJCRAR.2016.405.012>
- 23) Safarianzengir, V., Fatahi, A., Sobhani, B., & Doumari, S. A. (2022). Temporal and spatial analysis and monitoring of drought (meteorology) and its impacts on environment changes in Iran. *Atmospheric Science Letters*, 23(5), e1080. [Persian] <https://doi.org/10.1002/asl.1080>
- 24) Sakellariou, S., Spiliotopoulos, M., Alpanakis, N., Faraslis, I., Sidiropoulos, P., Tziatzios, G. A., ... & Dercas, N. (2024). Spatiotemporal Drought Assessment Based on Gridded Standardized Precipitation Index (SPI) in Vulnerable Agroecosystems. *Sustainability*, 16(3), 1240. <https://doi.org/10.3390/su16031240>
- 25) Salehvand, I., Montazeri, M., Gandomkar, A., Moemeni, M., & Ataei, H. (2015). Study Pressure Fields Affecting Cyclone Rainfall: Case Study of Iran. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5(02), 129. [Persian] <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2015.52010>
- 26) Sodoge, J., Kuhlicke, C., Mahecha, M. D. & de Brito, M. (2023). Text-mining uncovers the unique dynamics of socio-economic impacts during multi-year drought. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2023, 1-25. <https://doi.org/10.5194/nhess-2023-28>
- 27) Van Schalkwyk, L., Blamey, R. C., Gijben, M. & Reason, C. J. (2023). A Climatology of Dryline-Related Convection on the Western Plateau of Subtropical Southern Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128(18), <https://doi.org/10.1029/2023JD038966>
- 28) Veritt, S., Landau, S. & Leese, M. (2001). *Cluster Analysis* Fourth ed. London: Arnold. ISBN 0-340-76119-9.
- 29) Wilhite, Donald A. & Glantz, Michael H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10 (3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>