



Spatio-Temporal Analysis of the Saudi Arabian Anticyclone and Its Redefinition as the Southwest Asian Anticyclone

Sousan Heidari¹ , Mostafa Karimi² , Maryam Edalat Moghadam³

1. PhD in Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

E-mail: heidari.s@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Associate Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mostafakarimi.a@ut.ac.ir

3. PhD Student of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: m.edalat@ut.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 29 June 2025

Revised: 5 October 2025

Accepted: 13 October 2025

Published: 10 May 2026

Keywords:

Subtropical High Pressure,
Saudi Arabian High Pressure,
Saudi Arabian Anticyclone,
Arabian High,
Southwest Asian Anticyclone.

A persistent high-pressure system extending from eastern Africa across the Arabian Peninsula to the Arabian Sea significantly influences the weather and climatic conditions of Iran and the broader Southwest Asian region. In domestic scientific literature commonly referred to as the “Saudi Arabian High Pressure”, “Saudi Arabian Anticyclone” and “Arabian High” is a crucial element of the region’s atmospheric circulation. This study examines the spatiotemporal behavior of the anticyclone by analyzing its monthly location at three pressure levels: 850, 700, and 500 hPa. Using ERA5 reanalysis geopotential height data over the period 1940 to 2023. Findings reveal a distinct seasonal movement pattern. At 850 hPa, the anticyclone is mainly centered over the Arabian Peninsula and adjacent areas during the warm season. As the region enters the cold season, it gradually shifts southward, with its core positioned over the Arabian Sea and southeastern Arabian at winter’s peak. The system returns northward over and with the onset of warmer months. A similar movement trend is observed at 700 and 500 hPa, though spatial variability intensifies with altitude. In particular, at 500 hPa, the system displays greater latitudinal and longitudinal spread, especially during the cold season, extending from the eastern Arabian Sea to the Red Sea. Given its pronounced role in regional atmospheric dynamics and Iran’s climate. We propose the term Southwest Asian Anticyclone. This designation more accurately reflects the system’s spatial extent and synoptic identity, aligns better, from a lexical perspective, with the principles of synoptic climatology analysis.

Cite this article: Haidari, S., Karimi, M., & Edalat Moghadam, M. (2026). Spatio-Temporal Analysis of the Saudi Arabian Anticyclone and its Redefinition as the Southwest Asian Anticyclone. *Journal of Geography & Planning*, 30(96), 389-407. <http://doi.org/10.22034/gp.2025.67534.3425>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.67534.3425>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

At approximately 30° latitude in both hemispheres, the subtropical high-pressure belts represent one of the most persistent and influential components of the general atmospheric circulation. These systems, characterized by air subsidence, atmospheric stability, low humidity, and high temperatures, play a crucial role in shaping regional patterns of temperature, precipitation, and wind circulation. One of the prominent branches of this belt over Southwest Asian is commonly referred to in the literature by various names, including the “Saudi Arabian High Pressure”, “Saudi Arabian Anticyclone” and “Arabian High.” However, recent studies indicate that the commonly used term “Arabian Anticyclone” does not adequately capture the full spatial extent or atmospheric influence of this system. During the warm season, this anticyclonic system extends beyond the Arabian Peninsula, impacting vast areas across Southwest Asian, the Persian Gulf, and parts of southern Iran. Furthermore, notable spatial shifts in its core location are observed across different atmospheric levels (850, 700, and 500 hPa), underscoring the complexity of its structure and dynamics. This study aims to investigate the spatiotemporal characteristics of this anticyclone across multiple pressure levels and to assess the scientific appropriateness of its current nomenclature. We propose the term “Southwest Asian Anticyclone” as a more accurate & comprehensive designation that better reflects its synoptic behavior and regional climatic impacts. Standardizing this terminology could improve consistency in climatological analyses and facilitate more coherent regional studies in future atmospheric research.

Materials & Methods

This study utilizes ERA5 reanalysis data with a spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ at 850, 700, and 500 hPa pressure levels. The geographic domain spans from 20° to 90°E longitude and 0° to 55°N latitude, with monthly analyses conducted over the extended period from 1940 to 2023.

To identify the core location of the anticyclone at each pressure level, the maximum geopotential height was used as a diagnostic -index -a method previously applied by Lashkari and Mohammadi (2019). This method enabled the identification of both seasonal shift and long-term spatial variability. Data processing was carried out using MATLAB, including conversion from NetCDF4 format, extraction of time series, and mapping the monthly positions of the anticyclone’s core. This methodological framework enabled a detailed assessment of seasonal shifts, spatial dispersion, and structural variability of the system across three tropospheric levels.

Results & Discussion

At the 850 hPa level, the studied anticyclone predominantly centers over the Arabian Peninsula and Oman during the winter season. With the onset of spring, the system’s core gradually shifts southward toward lower latitudes. During the summer months, the establishment of the monsoon trough and the activation of tropical low-pressure systems result in the weakening or even disappearance of the anticyclone core in many months, accompanied by increased spatial dispersion. The spatial variability of this anticyclone at the 850 hPa level is strongly influenced by thermal convection processes, the sea-land thermal contrast, and the seasonal movement of the Hadley cell.

At the 700 hPa level, the anticyclone exhibits greater spatial stability during autumn and winter; however, it shifts eastward and southeastward relative to the Arabian Peninsula throughout spring and summer. Notably, in July, a distinctive phenomenon is observed: the simultaneous presence of two anticyclone core; one over northern Arabia and another over the northeastern Caspian Sea. This dual-core configuration may reflect unique dynamic behaviors governing the system at this mid-tropospheric level.

At the 500 hPa level, the anticyclone displays the highest spatial variability, with the anticyclone core’s location oscillating from the Red Sea region to the eastern Arabian Sea, and at times extending into northeastern Arabia, Iraq, and even Iran. Such notable spatial movement underscores the significant role of tropospheric disturbances and mid-troposphere dynamics in modulating the anticyclone system’s behavior at this level

The findings reveal that the Southwest Asian Anticyclone is a dynamic, seasonally variable, and regionally extensive system, challenging the traditional perception of it as a localized feature over the Arabian Peninsula. Its presence across multiple atmospheric levels, interaction with monsoonal and precipitation systems, influence extending into East Africa, the Indian subcontinent, and Southwest Iran highlight the limitations of conventional terms such as the “Arabian High”. The consistency of these result with previous studies, including Karimi et al. (2019) and Mofidi and Zarrin (2011), reinforces the validity of our results. From a climatological perspective, we propose the name Southwest Asian Anticyclone which more accurately reflects the system’s spatiotemporal behavior, structural variability, and regional atmospheric significance.

Conclusion

The long-term, multi-level analysis of this anticyclone confirms its transregional and dynamic nature. Its spatial extent clearly surpasses the Arabian Peninsula, affecting broad areas of Southwest Asian and East Africa.

Given these characteristics, use of the terms “Saudi Arabian Anticyclone /Arabian High” appears inadequate within contemporary climatological discourse. We recommend adopting the term Southwest Asian Anticyclone. It is proposed because this designation more accurately reflects its geographical domain and aligns more closely with the principles of synoptic climatological analysis from a terminological standpoint.

Keywords: Subtropical High Pressure, Saudi Arabian High Pressure, Saudi Arabian Anticyclone, Arabian High, Southwest Asian Anticyclone.



تحلیل مکانی-زمانی سامانه واچرخند عربستان و بازتعریف آن به عنوان واچرخند جنوب غرب آسیا

سوسن حیدری^۱ | مصطفی کریمی^۲ | مریم عدالت مقدم^۳

۱. دانش آموخته آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. رایانامه: heidari.s@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، دانشیار اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران رایانامه: mostafakarimi.a@ut.ac.ir
۳. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. رایانامه: m.edalat@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰ کلیدواژه‌ها: پرفشار جنب حاره، پرفشار عربستان، واچرخند عربستان، پرفشار عربی، واچرخند جنوب غرب آسیا.	از سامانه‌های همدیدی موثر بر رخدادهای جوی و شرایط اقلیمی ایران و منطقه جنوب غرب آسیا، پرفشار/واچرخندی است که در گستره شرق آفریقا، شبه‌جزیره عربستان تا غرب دریای عرب فعال است. در متون علمی داخلی این سامانه با عناوینی نظیر «پرفشار عربستان»، «واچرخند عربستان» یا «پرفشار عربی» شناخته می‌شود. هدف اصلی این پژوهش تحلیل رفتار مکانی این مرکز پرفشار/واچرخندی در ترازهای مختلف جو (۷۰۰، ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) و تبیین هویت همدیدی آن بر اساس داده‌های ژئوپتانسیل بازکاو شده ERA5 در بازه زمانی ۸۴ ساله (۱۹۴۰ تا ۲۰۲۳) است. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، این سامانه در فصل گرم سال بیشتر بر فراز خشکی‌های شبه‌جزیره عربستان و جنوب غرب آسیا مستقر می‌شود. با آغاز فصل سرد، موقعیت سامانه واچرخند عربستان به تدریج به سمت عرض‌های جنوبی‌تر جابجا می‌شود؛ به گونه‌ای که در اوج زمستان عمدتاً بر فراز دریای عرب و تا حدودی بر نواحی جنوب شرقی شبه‌جزیره عربستان متمرکز می‌گردد. با گذار مجدد به فصل گرم، سامانه واچرخند عربستان بار دیگر به سمت خشکی و نواحی مرکزی و شمالی شبه‌جزیره عربستان جابجا می‌شود. این الگوی مکانی در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز قابل مشاهده می‌باشد با این تفاوت که دامنه تغییرپذیری مکانی آن به‌ویژه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به مراتب بیشتر (گسترده تر) از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال است. علاوه بر آن، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال واریانس مکانی قابل توجهی در موقعیت این سامانه در دوره سرد مشاهده می‌شود، به گونه‌ای که پهنه‌ای از سواحل شرقی دریای عرب تا دریای سرخ را دربر می‌گیرد. با توجه به ویژگی‌های مکانی-زمانی و نقش موثر این واچرخند در الگوهای گردش جو و تأثیر آن بر اقلیم جنوب غرب آسیا و ایران پیشنهاد می‌شود با عنوان «واچرخند جنوب غرب آسیا» نام‌گذاری شود. این نام‌گذاری ضمن بازتاب دقیق‌تر گستره عملکرد و ماهیت همدید این سامانه از منظر واژه‌شناسی نیز با مبانی تحلیل اقلیم‌شناسی همدیدی نیز همخوانی بیشتری دارد.

استناد: حیدری، سوسن؛ کریمی، مصطفی و عدالت مقدم، مریم (۱۴۰۵). تحلیل مکانی-زمانی سامانه واچرخند عربستان و بازتعریف آن به عنوان واچرخند

جنوب غرب آسیا. *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۳۰(۹۶)، ۳۸۹-۴۰۷.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.67534.3425>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

در عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی و جنوبی نوارهای گسترده‌ای از فشار یا ارتفاع ژئوپتانسیل بالا وجود دارد که به‌عنوان «کمربندهای پرفشار جنب‌حاره» شناخته می‌شوند (هاسکینز^۱، ۱۹۹۶). این کمربندها که از آن‌ها به‌عنوان «مراکز فعالیت»^۲ نیز یاد می‌شود (زرین و مفیدی، ۱۳۹۰) از بارزترین و پایدارترین مولفه‌های گردش و ردسپهری در این عرض‌های جغرافیایی به شمار می‌روند (عساکره و فتاحیان، ۱۳۹۸). ویژگی اصلی این سامانه‌ها فرونشینی هوا و ایجاد شرایط پایداری جوی است که اغلب با آب‌وهوایی گرم، آفتابی و خشک همراه است (مسعودیان، ۱۳۹۰). بررسی دقیق این سامانه‌ها به دلیل نقش تعیین‌کننده آن‌ها در شکل‌دهی به الگوهای بارش، دما و جریان‌های جوی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

نظریه‌های موجود در متون قدیمی، پیدایش این واچرخندها را به فرونشینی دینامیکی هوا در سمت قطب سوی گردش هدلی نسبت می‌دهند (شولمن^۳، ۱۹۷۳؛ هیر^۴، ۱۹۸۳). به عنوان نمونه، کریشنامورتی^۵ (۱۹۸۵) با بررسی فراوانی ماهانه این سامانه‌ها نشان داد که پرفشارهای جنب‌حاره‌ای اغلب در جنوب محور جت در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و در ناحیه‌ای با الگوی واچرخندی مشخص و تاوایی بالا قرار دارند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که الگوی مکانی و زمانی کمربندهای پرفشار جنب‌حاره‌ای تابع فصل و متاثر از عواملی مانند ناهمواری‌های سطح زمین، تضاد حرارتی خشکی و دریا و بودجه انرژی جو است (بری و کارلتون^۶، ۲۰۰۱). این سامانه‌ها نه تنها بر اقلیم مناطق مجاور بلکه بر شرایط جوی در سطح جهانی نیز تأثیر می‌گذارند (وو^۷ و همکاران، ۲۰۰۴؛ گالارنو، بوسارت و آیی^۸، ۲۰۰۸). پژوهش دیویس^۹ و همکاران (۱۹۹۷) در بازه زمانی ۱۸۹۹ تا ۱۹۹۰ نشان داد که پرفشار آזור (آزور و آزورس هم در منابع آمده است) در تابستان و زمستان الگوهای متفاوتی دارد. همچنین برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ساختار پرفشارهای جنب‌حاره‌ای در ترازهای میانی و بالایی جو به‌طور کامل منطبق نبوده و ممکن است سازوکار متفاوتی بر آن‌ها حاکم باشد (قائمی، عساکره و فتاحیان، ۱۳۹۶).

پیشینه پژوهش

در ادبیات اقلیم‌شناسی ایران، کمربندهای پرفشار جنب‌حاره‌ای در فصل سرد به سه سلول مستقل تقسیم می‌شوند که از منطقه آזור در اقیانوس اطلس تا هند امتداد دارند (فرج زاده و همکاران، ۱۳۸۶؛ لشکری و محمدی، ۱۳۹۴). پایداری و دوام این سلول‌ها متکی به شرایط همدیدی و الگوی گردشی غالب جو است که در طول سال تغییراتی را تجربه می‌کنند (کاوایانی و علیجانی، ۱۳۷۸). واچرخند آזור به دلیل پایداری بیشتر و نوسان اندک در موقعیت شمالی-جنوبی به عنوان یکی از سلول‌های اصلی و تأثیرگذار بر اقلیم منطقه شناخته می‌شود. در مقابل واچرخندهای عربستان و آفریقا متاثر از ساختار توپوگرافی و دینامیک جو، الگوهای فصلی متغیری دارند (لشکری و محمدی، ۱۳۹۴). برخی منابع داخلی همچنان واچرخند آזור را به‌عنوان تأثیرگذارترین سامانه بر الگوهای آب‌وهوایی ایران در نظر می‌گیرند.

در فصل سرد، واچرخند عربستان به صورت یک سلول مستقل از واچرخندهای آזור و شمال آفریقا در شرق شبه‌جزیره عربستان شکل می‌گیرد و تا خلیج عدن و شاخ آفریقا گسترش می‌یابد (لشکری، ۱۳۷۵). این واچرخند از جمله مهم‌ترین مراکز فشار شبه ساکن در ترازهای پایینی جو است که نقش بسزایی در شکل‌دهی به ویژگی‌های اقلیمی منطقه ایفا می‌کند (کریمی و

1. Hoskins
2. Centers of Action
3. Schulman
4. Hare
5. Krishnamurti
6. Barry & Carleton
7. Wu
8. Galarneau, Bosart, & Aiyer
9. Davis

همکاران، مفیدی، ۱۳۸۶؛ ۱۳۹۵؛ الغمدی و هرینگتون^۱، ۲۰۲۲). به دلیل اینکه این سامانه یکی از اجزای اصلی در ساختار گردش عمومی جو و در اندرکنش با دریاهای شمال شرقی اقیانوس هند است، نقش اساسی در انتقال رطوبت و دما در این ناحیه ایفا می‌کند. موقعیت سالانه و تغییرپذیری این سامانه بر الگوهای رطوبت جوی، بارش و میزان آن در جنوب غرب آسیا اثر مستقیم دارد (کریمی و همکاران، ۲۰۲۲). محور اصلی این سامانه که عمدتاً در امتداد شرقی-غربی قرار دارد (جهان بخشی، ۱۳۸۷؛ سلیقه و صادقی‌نیا، ۱۳۸۸) در دوره سرد در محدوده بین دریای سرخ، اقیانوس هند و دریای عمان نوسان‌های مکانی خود را تجربه می‌کند. این نوسان‌ها به صورت عرضی از شاخ آفریقا تا خلیج فارس گسترش دارد (کیانی‌پور، ۱۳۷۹). با آغاز دوره گرم سال مرکز این سامانه با جابه‌جایی به سوی شمال غرب از الگوی توپوگرافی رشته کوه‌های غرب عربستان تبعیت می‌کند و محل استقرار آن تغییر می‌یابد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵). در طول فصل انتقالی سال، مرکز پرفشار عربستان نسبت به تابستان از قدرت بیشتری برخوردار است (مفیدی و جعفری، ۱۳۹۰). بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که این واچرخند همراه با جابجایی موقعیت خورشید به سمت عرض‌های بالاتر یا پایین‌تر منتقل شده و در تابستان‌های گرم و خشک بر ایران مستقر می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵؛ مفیدی، ۱۳۸۶). در این دوره سلول پرفشار به طور مداوم بر گستره‌ای از شمال عربستان، خلیج فارس و گاه جنوب غرب ایران تاثیر می‌گذارد و باعث تضعیف ناپایداری‌های جوی در این مناطق می‌شود (لشکری، ۱۳۷۵). بررسی موقعیت این سامانه در ترازهای مختلف جو نشان می‌دهد که بر روی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، مراکز واچرخندی بین طول‌های ۵۹ تا ۷۵ درجه شرقی و عرض‌های ۱۵ تا ۳۰ درجه شمالی استقرار دارند. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، تمرکز آن‌ها بیشتر در طول‌های ۴۵ تا ۷۵ درجه شرقی و عرض‌های ۱۰ تا ۲۵ درجه شمالی مشاهده می‌شود و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کلیه مراکز واچرخندی در پایین‌تر از عرض ۲۰ درجه شمالی قرار دارند (لشکری و محمدی، ۱۳۹۴).

این سامانه فشاری که جزئی از سامانه بزرگ مقیاس پرفشار/پیرارتفاع جنب‌حاره است، نخستین بار توسط لشکری (۱۳۷۵)، ۱۳۸۱، ۱۳۸۲) با عنوان «واچرخند شبه‌جزیره عربستان» نام‌گذاری شد. در پژوهش‌های بعدی، این سامانه با اسامی مختلفی مانند «واچرخند عربستان»^۲ (کریمی، ۱۳۸۶؛ خوشحال دستجردی، ۱۳۸۸؛ کریمی و فرج‌زاده، ۱۳۹۰؛ زنگنه، لشکری و مرادی، ۱۳۹۴؛ بلیانی و سلیقه، ۱۳۹۵؛ لشکری، متکان و محمدی، ۱۳۹۷؛ جعفری و لشکری، ۱۴۰۰؛ لشکری، جعفری و محمدی، ۱۴۰۰؛ کریمی و همکاران، ۱۴۰۰؛ سناده زاده، لشکری و دریاباری^۳، ۱۴۰۲)، «پیرارتفاع جنب حاره‌ای»^۳ (کریمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ مجیدی راد و هرآبادی، ۱۴۰۰) پرفشار جنب‌حاره‌ای^۴ (فرج زاده و همکاران، ۱۳۸۶؛ جهان بخشی، ۱۳۸۷؛ خوش اخلاق، عزیزی و رحیمی، ۱۳۹۱؛ لشکری و محمدی، ۱۳۹۴؛ علیجانی، طولابی نژاد و کربلائی، ۱۳۹۸؛ عساکره و فتاحیان، ۱۳۹۸)، «پرفشار عربی»^۵ (لشکری و محمدی، ۲۰۲۱؛ الغمدی و هرینگتون، ۲۰۲۲؛ کریمی و همکاران، ۱۴۰۰) و «واچرخند جنب‌حاره‌ای»^۶ (پرهیزکار و احمدی گیوی، ۱۳۹۱) شناخته شد. با گسترش مطالعات اقلیم‌شناسی و همدیدی، اصطلاح «واچرخند عربستان» به تدریج در منابع علمی ایران مورد استفاده قرار گرفت (لشکری و همکاران، ۱۴۰۰؛ جعفری و لشکری، ۱۴۰۰؛ کریمی و همکاران، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱).

با وجود پژوهش‌های گسترده درباره موقعیت، نقش و اهمیت این سامانه در گردش عمومی جو منطقه، همچنان ابهام‌هایی درباره گستره نفوذ، پویایی مکانی-زمانی و حتی نام‌گذاری آن وجود دارد. بررسی‌های صورت گرفته بیانگر این است که برخی مطالعات این سامانه را محدود به شبه‌جزیره عربستان دانسته‌اند، در حالی که شواهد همدیدی و اقلیمی نشان می‌دهد دامنه اثرگذاری این سامانه از این محدوده فراتر رفته و بخش‌های وسیعی از جنوب غرب آسیا و ایران را نیز دربرمی‌گیرد. بنابراین عنوان «واچرخند عربستان» لزوماً بازتاب دهنده‌ی ماهیت دقیق و گستره تاثیر آن نیست. از سوی دیگر، به دلیل هم‌پوشانی مفهومی با پرفشار جنب‌حاره‌ای، در ادبیات علمی داخلی و خارجی نوعی ناهمگونی در نام‌گذاری و توصیف آن مشاهده می‌شود. در برخی

1. Alghamdi & Harrington

2. Saudi Arabian Anticyclone /Arabian Anticyclone

3. Subtropical High

4. Subtropical High Pressure

5. Arabian High

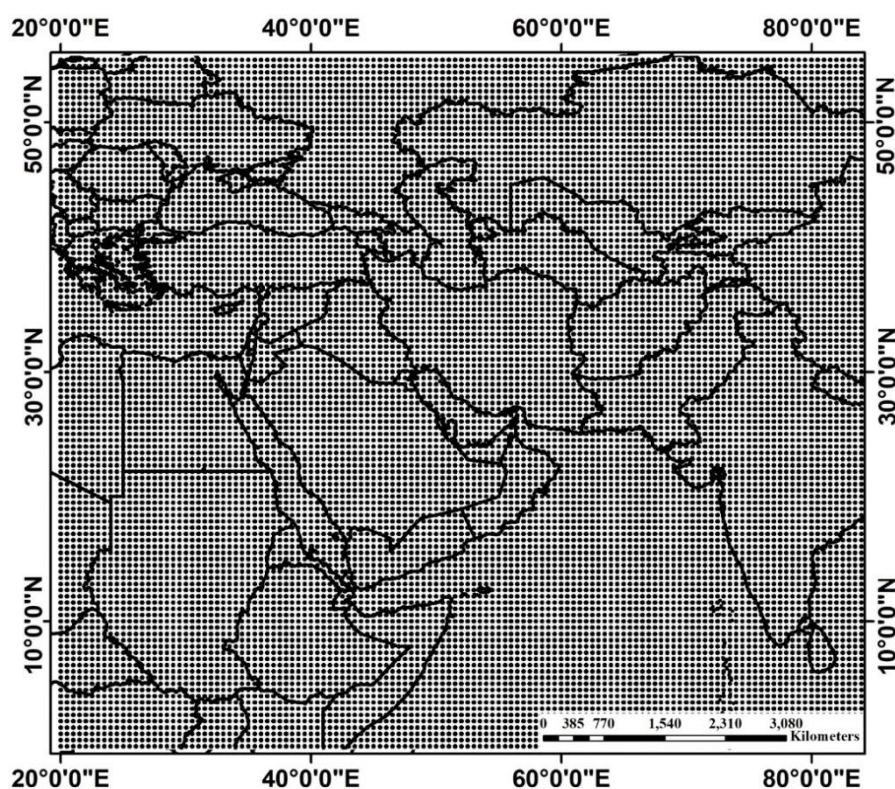
6. Subtropical Anticyclones

منابع داخلی نیز این سامانه با پرفشار جنب‌حاره‌ای یکسان فرض شده است (عزیزی و یوسفی، ۱۳۸۴). چنین کاستی‌هایی ضرورت طرح پرسش‌های بنیادی درباره موقعیت، پویایی مکانی-زمانی، نقش و نام‌گذاری سامانه را آشکار می‌سازد. بنابراین پژوهش حاضر در پی آن است تا با بررسی دقیق ویژگی‌های این سامانه در ترازهای مختلف جو (۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) در جنوب غرب آسیا تصویری روشن‌تر از ماهیت آن ارائه دهد و امکان بازتعریف علمی‌تر و دقیق‌تری از این سامانه را فراهم سازد. در این راستا، به سؤال‌های زیر پاسخ داده خواهد شد:

۱. موقعیت مکانی واچرخند مورد مطالعه در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال چگونه است؟
۲. این واچرخند در هر یک از ترازها، بیشترین تمرکز را در کدام مناطق جغرافیایی دارد؟
۳. آیا عنوان «واچرخند عربستان» توصیف مناسبی از ویژگی‌ها و گستره این سامانه ارائه می‌دهد؟
۴. آیا می‌توان با توجه به یافته‌ها، اصطلاح دقیق‌تری مانند «واچرخند جنوب غرب آسیا» را جایگزین کرد که بازتاب بهتری از موقعیت و اثرگذاری این سامانه در ترازهای مختلف جو باشد؟

روش پژوهش

در راستای اهداف پژوهش، در گام نخست داده‌های میانگین ماهانه ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال سری داده‌های شبکه‌بندی بازکاوی‌شده از نسخه پنجم (ERA5) مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت هواشناسی اروپا (ECMWF) برای دوره زمانی ۱۹۴۰ تا ۲۰۲۳ (۸۴ سال، ۱۰۰۸ ماه) اخذ گردید. این داده‌ها با قدرت تفکیک مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ درجه قوسی دقت بالایی برای تحلیل‌های اقلیمی فراهم می‌سازند (شکل ۱). محدوده جغرافیایی مورد مطالعه در این پژوهش بین طول‌های جغرافیایی ۲۰ تا ۹۰ درجه شرقی و عرض‌های ۰ تا ۵۵ درجه شمالی در نظر گرفته شده است که گستره‌ای وسیع از شرق آفریقا و شبه‌جزیره عربستان تا دریای عرب، خلیج فارس، پاکستان و جنوب ایران را دربرمی‌گیرد (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده مطالعه و توزیع فضایی داده‌های ERA5 مورد استفاده، ۶۲۱۰۱ گره داده برای هر ماه (۲۸۱*۲۲۱)

در مطالعات پیشین اشاره شده که تعیین دقیق موقعیت هسته مرکزی پرفشار جنب‌حاره‌ای در ترازهای پایین‌تر مانند ۹۲۵ و ۱۰۰۰ با دشواری همراه است. در حالیکه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای تعیین موقعیت هسته مرکزی آن در ترازهای زیرین مناسب‌تر است. در ترازهای بالاتر نظیر ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به دلیل گرایش مرکز واچرخند به عرض‌های پایین‌تر و گسترده‌گی فضایی آن، شناسایی دقیق مرکز بسته‌شده این سامانه با پیچیدگی و دشواری دیگری همراه است (لشکری و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین در این پژوهش سه تراز ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال مورد بررسی و تحلیل قرار خواهد گرفت.

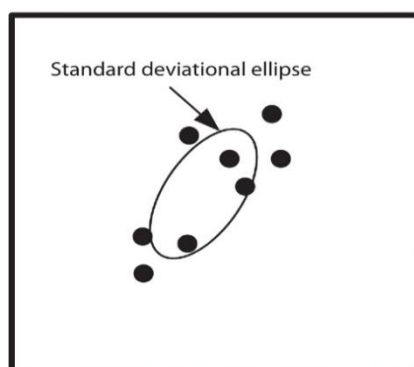
در گام نخست، داده‌های شبکه‌بندی در قالب NetCDF4 اخذ شدند. در گام دوم باین داده‌ها به منظور بهره‌برداری در فرایندهای تحلیلی با استفاده از اسکریپت‌نویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB به قالب‌های استاندارد و قابل‌استفاده در نرم‌افزارهای آماری و ترسیم نقشه تبدیل شدند. در ادامه موقعیت مکانی هسته واچرخند به صورت ماهانه گردید، به گونه‌ای که برای هر ماه یک هسته مستقل شناسایی و ثبت شد. از روش‌های رایج برای تعیین موقعیت جغرافیایی هسته مرکزی واچرخندها (اعم از موقعیت مداری-عرضی و نصف النهاری-طولی)، روش مرکز ثقل مبتنی بر بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل (gph) است. در این روش با استخراج بیشترین مقدار ژئوپتانسیل، موقعیت دقیق هسته واچرخند مشخص می‌شود. این شیوه در پژوهش‌های پیشین نیز به طور موثر مورد استفاده قرار گرفته است که به عنوان نمونه می‌توان به پژوهش لشکری و محمدی (۲۰۱۹) اشاره کرد. استفاده از هسته مرکزی واچرخند روشی مناسب برای تحلیل ساختار فضایی و بررسی مسیر جابجایی واچرخند به شمار می‌آید. در این پژوهش نیز برای محاسبه موقعیت مکانی مرکز واچرخند^۱ با تمرکز بر مفهوم هسته مرکزی واچرخند از رابطه (۱) استفاده گردید.

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه x_c و y_c مختصات هسته مرکزی واچرخند و w_i مرکز میانگین وزنی^۲ برای هر ماه تعریف می‌شود که وزن اختصاص یافته به هر نقطه بر اساس ارتفاع ژئوپتانسیل در آن نقطه است. این روش نسبت به میانگین‌گیری ساده یا همبستگی‌های مکانی توانایی بیشتری در تحلیل جابجایی‌های فضایی دارد و از دقت بالایی برخوردار است (علیجانی و همکاران، ۲۰۰۸).

علاوه بر تعیین موقعیت مکانی هسته‌های واچرخند، شناسایی جهت جغرافیایی توزیع آن‌ها نیز می‌تواند اطلاعات مناسب و ارزشمندی در خصوص مسیر و جهت جابجایی این سامانه فراهم آورد. بدین منظور در ادامه از ابزار تحلیل توزیع جهت‌دار^۳ در محیط نرم‌افزار GIS استفاده شد و جهت غالب توزیع هسته‌های واچرخند برای هرماه استخراج گردید. این ابزار با تعیین جهت‌گیری و الگوی توزیع فضایی پدیده‌ها، قادر است جهت‌گیری اصلی و میزان پراکندگی نقاط را نمایش دهد (شکل ۲). این تحلیل به ویژه برای درک الگوهای فضایی که دارای یک جهت غالب هستند اهمیت دارد (فلاح قاهره و کدخدا، ۱۳۹۶). در این پژوهش، استفاده از این روش امکان شناسایی دقیق‌تر الگوهای فضایی و درک بهتر مسیر جابجایی هسته‌های واچرخند را فراهم ساخت. در نهایت توزیع فضایی و جهت پراکنش هسته‌های استخراج شده برای هر ماه (برای هر ماه ۸۴ مرکز) برای تحلیل و تفسیر نتایج برروی نقشه ترسیم گردید.

1. Center of Concentration
2. Weighted Mean Center
3. Directional Distribution Analysis



شکل ۲. مفهوم تحلیل توزیع جهت‌دار (منبع: گرکوسیس^۱، ۲۰۲)

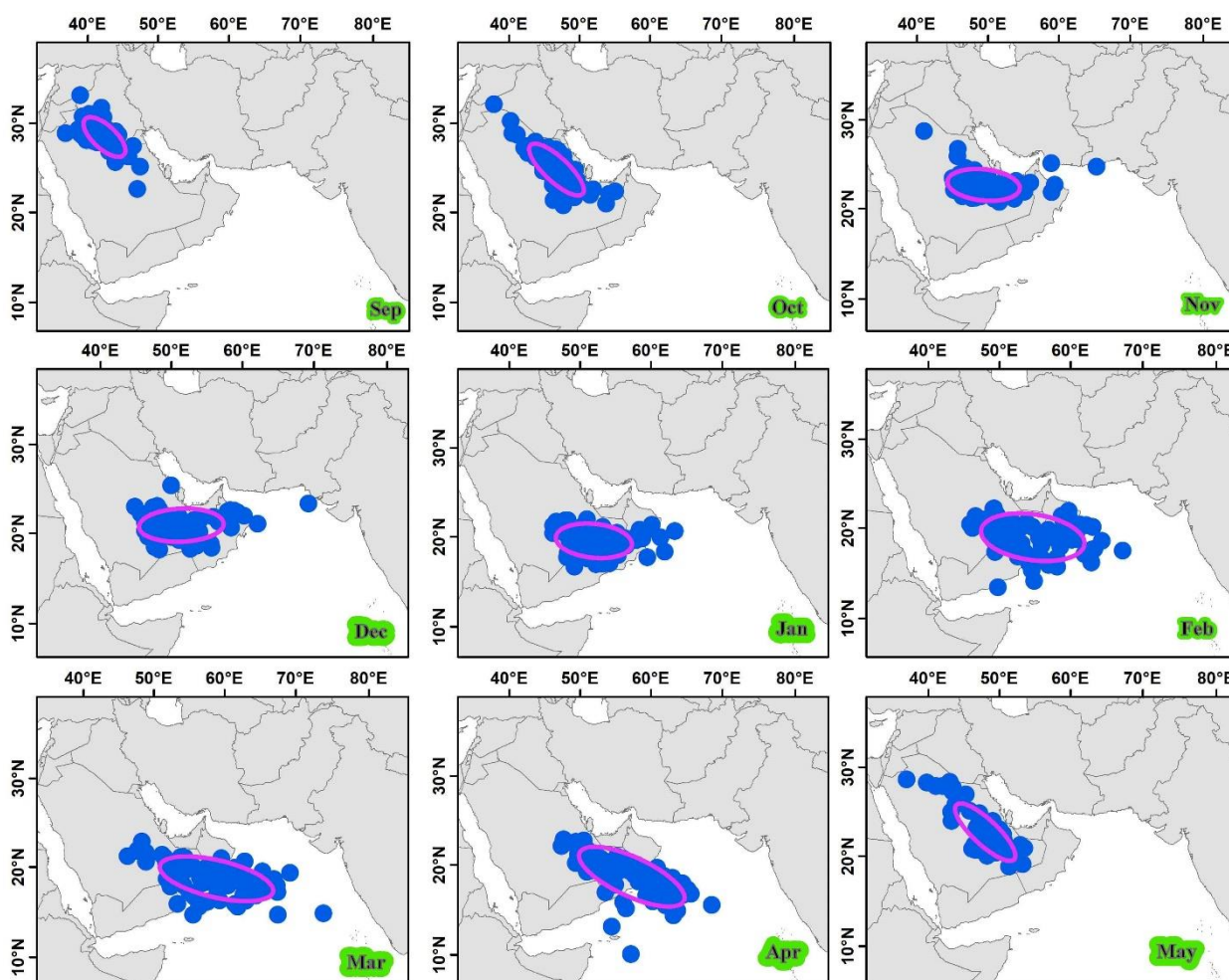
نتایج

تحلیل فصلی موقعیت هسته مرکزی واپرخند در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

تحلیل موقعیت ماهانه هسته مرکزی واپرخند در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در دوره ۸۴ ساله (۱۹۴۰-۲۰۲۳) نشان‌دهنده نوسان مکانی قابل توجه در طول سال است (شکل ۳). در بازه زمانی سپتامبر تا ژانویه، هسته واپرخندی به طور عمده بر روی خشکی‌های شبه‌جزیره عربستان و عمان متمرکز می‌شود. این تمرکز فضایی بیانگر استقرار به‌نسبه پایدار و تقویت ساختاری این سامانه در فصل‌های پاییز و زمستان است.

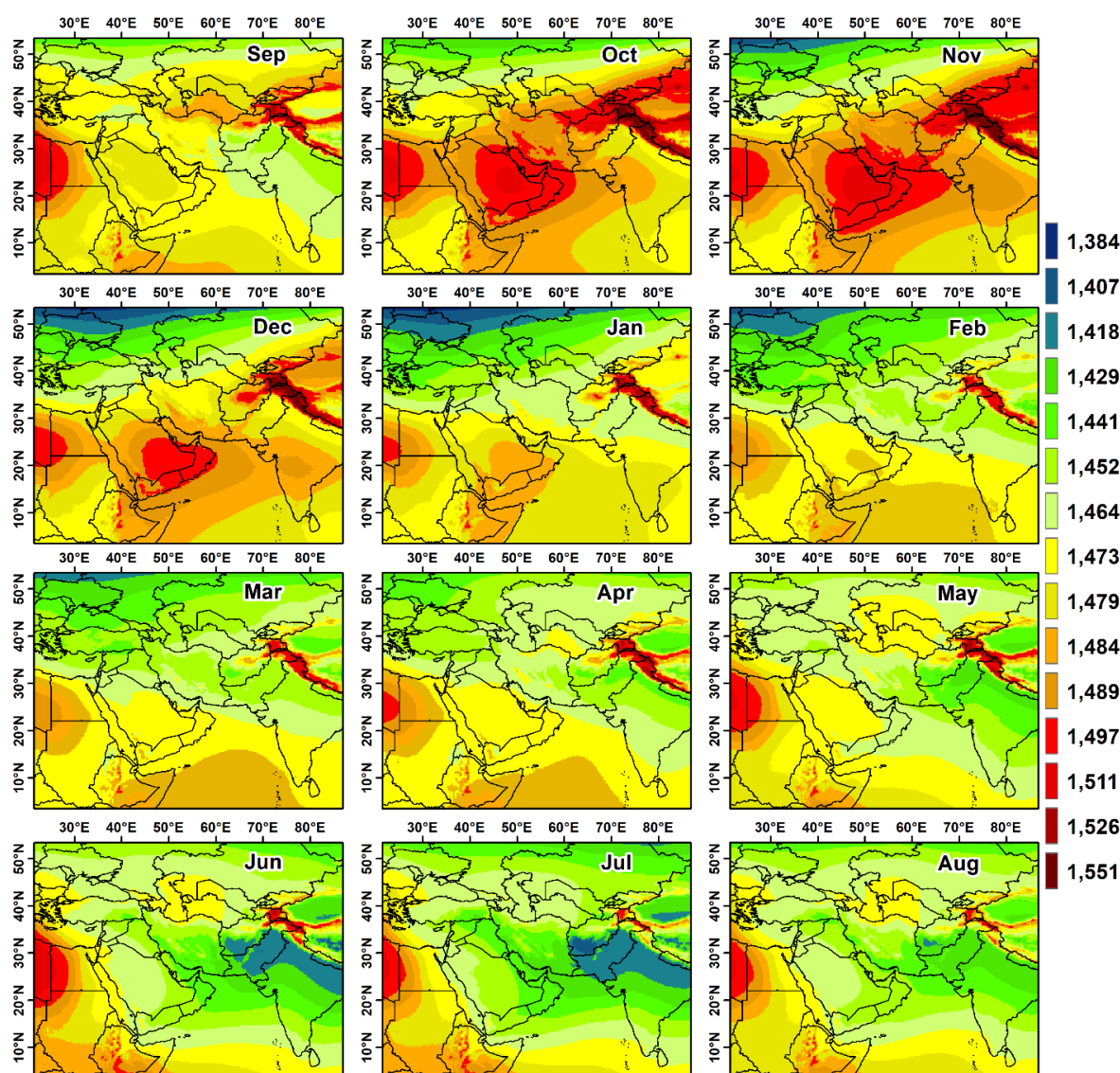
در ماه‌های دسامبر تا آوریل، تغییراتی در موقعیت جغرافیایی هسته مشاهده می‌شود به گونه‌ای که تمایل به جابجایی به عرض‌های جنوبی‌تر و گسترش بر روی آب‌های اطراف افزایش می‌یابد. این تغییر موقعیت افزایش واریانس مکانی و پراکندگی بیشتر موقعیت هسته واپرخندی را منعکس می‌سازد که با تضعیف ساختار سامانه در اثر افزایش فعالیت سامانه‌های کم‌فشار و تغییرات جوی فصلی مرتبط است.

عدم مشاهده واضح هسته واپرخندی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ماه‌های فصل تابستان (ژوئن، ژوئیه و اوت) می‌تواند ناشی از فعالیت و اثر سامانه مونسون جنوب آسیا در این ناحیه باشد (خوشحال، ۱۳۷۸؛ مفیدی و جعفری، ۱۳۹۰). در این زمان جریان جت تراز زیرین موسوم به سوماتالی یا شاخ آفریقا بر روی دریای عرب و خشکی‌های جنوب شبه جزیره عربستان (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۸) و نفوذ کم فشارهای گرمایی از روی خلیج فارس تا دشت‌های جنوب عراق که در بعضی از منابع به نام فرود خلیج فارس نامیده شده است مانع شکل‌گیری یا تثبیت هسته واپرخندی در جنوب غرب آسیا می‌شود (ماهوتچی و همکاران، ۲۰۲۳). سامانه مونسون علاوه بر شبه جزیره هند و پاکستان در جنوب شرق ایران و سواحل دریای عمان و همچنین حاشیه جنوبی شبه‌جزیره عربستان (یمن و عمان) با ایجاد همرفت قوی و بارش‌های سنگین ساختار گردش جو را از دیگر فصول متمایز می‌کند (غرابی و عبدالوهاب، ۲۰۰۹). نتایج حاکی از آن است که رفتار فصلی هسته مرکزی واپرخند در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، از تمرکز و پایداری در نیمه سرد سال به سمت پراکندگی و جابه‌جایی در نیمه گرم سال تغییر می‌کند. این تغییرات در موقعیت و رفتار هسته واپرخندی بازتابی از تعامل میان سامانه‌های فشار بالا (مانند واپرخند عربستان) و سامانه‌های فشار پایین (سامانه مونسونی جنوب آسیا)، ساختار همرفت منطقه‌ای و تأثیرات فصلی جغرافیایی بر دینامیک جو جنوب غرب آسیا است.



شکل ۳. موقعیت مکانی هسته‌های مرکزی واپرخند در جنوب غرب آسیا به صورت ماهانه (نقاط آبی) و جهت توزیع آن‌ها (بیضی قرمز) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (۲۰۲۳-۱۹۴۰). (منبع: یافته‌های پژوهش)

نقشه‌های میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال طی دوره بررسی شده بیانگر الگوهای جوی فصلی در منطقه جنوب غرب آسیا است (شکل ۴). در ماه‌های تابستان (ژوئن تا اوت)، اثرگذاری آشکار مونسون هند موجب نفوذ گسترده بادهای مرطوب جنوبی از اقیانوس هند به درون خشکی‌های شبه‌قاره هند می‌شود. این فرایند با شکل‌گیری سامانه‌های کم‌فشار حاره‌ای همراه است که شرایط ناپایداری، صعود و بارش‌های سنگین را در منطقه فراهم می‌سازد. حضور این سامانه‌های کم‌فشار سبب کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل و در نتیجه تضعیف یا عدم شکل‌گیری هسته‌های واپرخندی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در این بازه زمانی می‌گردد. از سپتامبر تا مه، هم‌زمان با عقب‌نشینی سامانه مونسونی و تقویت واپرخند جنب‌حاره، الگوی جوی منطقه تغییر یافته و واپرخند جنوب غرب آسیا به تدریج شکل می‌گیرد. این واپرخند در ماه‌های زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) به بیشینه قدرت خود می‌رسد و منجر به افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل، استقرار شرایط جوی پایدار و کاهش میزان بارش در بخش وسیعی از جنوب غرب آسیا می‌شود. در نتیجه، حضور فعال مونسون در تابستان و کاهش فشار جوی ناشی از آن، از شکل‌گیری هسته واپرخندی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال جلوگیری می‌کند و موجب حاکمیت شرایط جوی ناپایدار همراه با بارش‌های شدید در منطقه می‌گردد (شکل ۴).



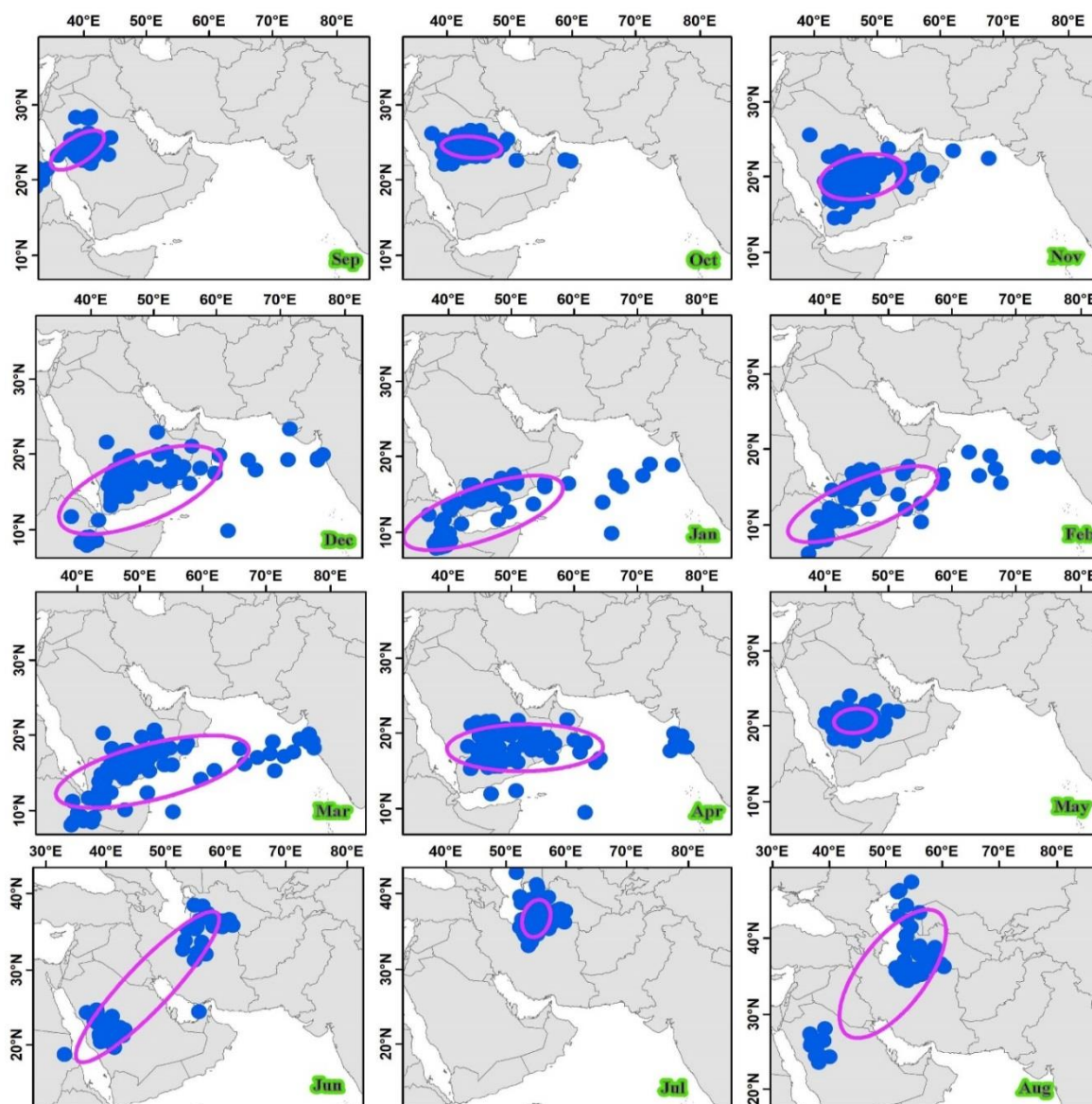
شکل ۴. مقادیر متوسط ماهانه ارتفاع ژئوتانسیل در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (۲۰۲۳-۱۹۴۰). (منبع: یافته‌های پژوهش)

تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

نقشه‌های موقعیت ماهانه هسته مرکزی واپرخندی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال طی دوره بلندمدت ۸۴ ساله (۱۹۴۰-۲۰۲۳) تغییرات مکانی قابل توجهی را در الگوی جوی جنوب‌غرب آسیا نشان می‌دهند (شکل ۵). در فصل پاییز (سپتامبر تا نوامبر)، هسته واپرخندی بیشتر بر روی خشکی‌های شبه‌جزیره عربستان و بخش‌هایی از عمان مستقر است که بیانگر تمرکز و پایداری نسبی سامانه در این بازه زمانی است (لشکری و محمدی، ۲۰۲۲). در ماه‌های زمستان (دسامبر تا فوریه)، هسته واپرخندی به عرض‌های جنوبی‌تر جابجا شده و گسترش آن بر روی آب‌های خلیج فارس قابل مشاهده است؛ پدیده‌ای که با افزایش پراکندگی مکانی همراه است و به احتمال زیاد از ناپایداری‌های فصلی و نفوذ سامانه‌های کم‌فشار نشأت می‌گیرد.

در دوره بهار (مارس تا مه)، جابجایی هسته واپرخند به سمت شرق و جنوب افزایش یافته و به دنبال آن، پهنه‌ی تأثیرگذاری آن در مقیاس منطقه‌ای گسترش می‌یابد. در ماه‌های تابستان (ژوئن تا اوت) هسته واپرخندی در برخی ماه‌ها یکی در شمال‌غرب عربستان و دیگری در شمال‌شرق دریای خزر ظاهر می‌شود (شکل ۵). برخی پژوهشگران از جمله مفیدی و زرین (۱۳۹۱) هسته واقع در شرق دریای خزر را با عنوان پراارتفاع/واپرخند ترکمنستان معرفی کرده‌اند. در ماه ژوئیه میزان پراکندگی مکانی کاهش

یافته و تمرکز نسبی سامانه در مقایسه با سایر ماه‌ها مشهود است. این ویژگی‌ها احتمالاً بازتابی از واکنش دینامیکی جو به نوسان‌های فصلی و شرایط منطقه‌ای در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال است. الگوی مکانی هسته واچرخندی در این تراز نشان می‌دهد که سیستم از یک تمرکز نسبتاً ثابت در فصل پاییز به سمت جابجایی و پراکندگی در فصل‌های زمستان و بهار حرکت کرده و سپس در تابستان بار دیگر به تمرکز نسبی بازمی‌گردد. همچنین مقایسه با تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که هسته واچرخندی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال تمایل بیشتری به سمت عرض‌های جنوبی دارد و گستردگی مکانی آن نیز به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.



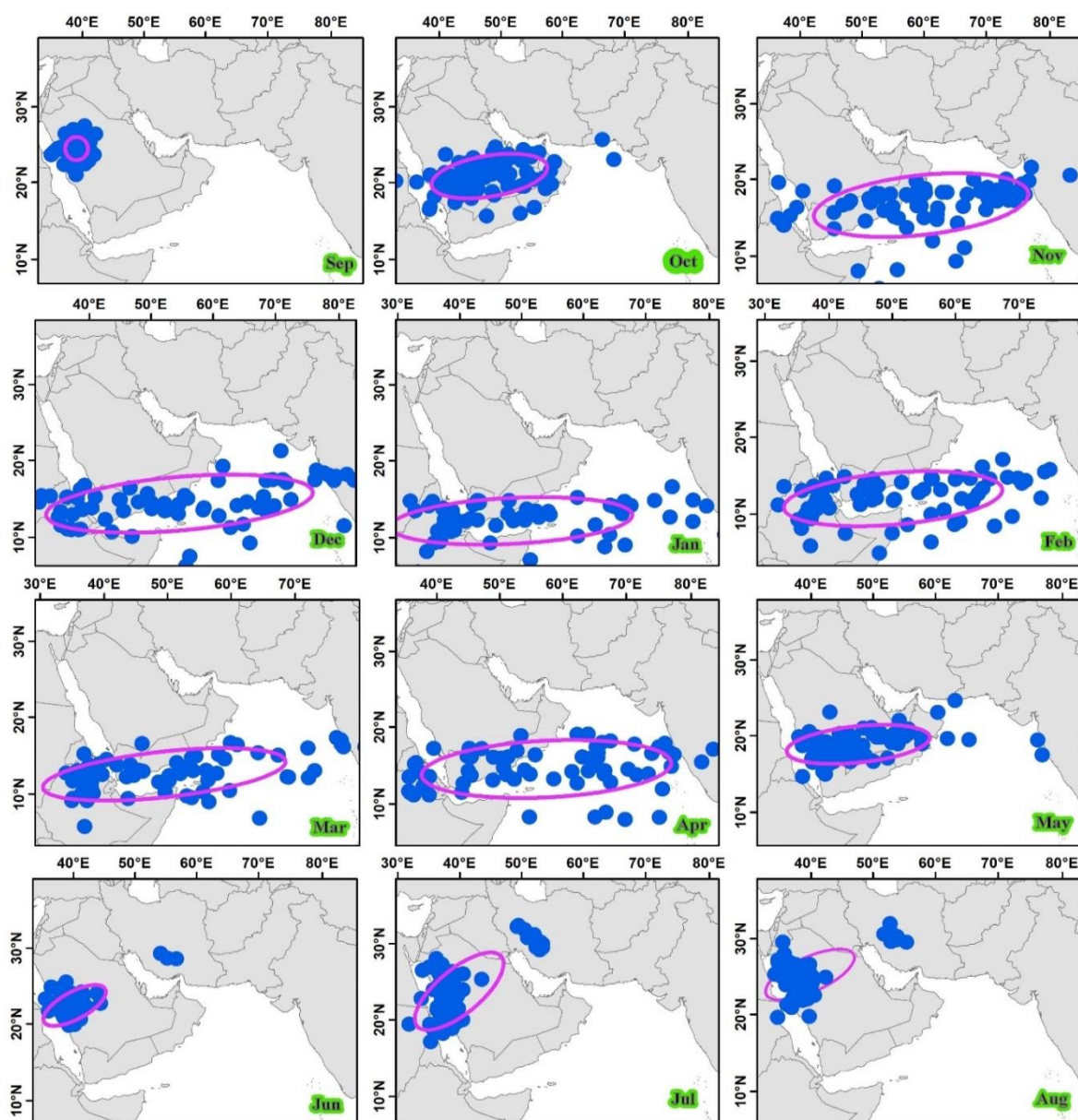
شکل ۵. موقعیت مکانی هسته‌های مرکزی واچرخند در جنوب غرب آسیا به صورت ماهانه (نقاط آبی) و جهت توزیع آن‌ها (بیضی قرمز) در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (۲۰۲۳-۱۹۴۰). (منبع: یافته‌های پژوهش)

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، موقعیت هسته مرکزی واچرخند طی دوره ۸۴ ساله، نوسان مکانی قابل توجهی را در مقایسه با ترازهای پایین‌تر نشان می‌دهد (شکل ۶). در ماه‌های گرم سال (ژوئن تا سپتامبر) این هسته عمدتاً بر روی خشکی‌های شمال و غرب

شبه‌جزیره عربستان و منطقه دریای سرخ متمرکز است و از پراکندگی مکانی نسبتاً کمی برخوردار می‌باشد؛ امری که نشان‌دهنده ثبات نسبی سیستم واچرخندی در این بازه زمانی است.

با آغاز فصل پاییز (اکتبر) تا پایان بهار (مه) پراکندگی مکانی هسته افزایش یافته و گسترش آن به‌ویژه در راستای طولی (شرق-غرب) به‌وضوح مشاهده می‌شود. در ماه اکتبر، جابجایی هسته به سمت جنوب و شرق اتفاق می‌افتد. در حالی که در ماه مه روند جابجایی معکوس شده و هسته به سمت شمال و غرب حرکت می‌کند. این تغییر نشان‌دهنده افزایش ناپایداری‌های فصلی و تأثیر دینامیک جو بر موقعیت هسته واچرخندی در این تراز است. در مقایسه با ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیشترین میزان جابجایی مکانی را تجربه کرده و تمایل بیشتری به انتقال به سمت عرض‌های جنوبی داشته است.



شکل ۶. موقعیت مکانی هسته‌های مرکزی واچرخند در جنوب غرب آسیا به صورت ماهانه (نقاط آبی) و جهت توزیع آن‌ها (بیضی قرمز) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (۱۹۴۰-۲۰۲۳). (منبع: یافته‌های پژوهش)

بحث و نتیجه گیری

بررسی‌های انجام شده طی چند دهه اخیر پیرامون غربی‌ترین هسته پرفشار جنب‌حاره‌ای مستقر بر اقیانوس اطلس تا غرب اقیانوس هند که در پژوهش‌های داخلی بیشتر با نام واچرخند عربستان شناخته می‌شود، بیانگر نقش برجسته این سامانه در کنترل الگوهای دما، بارش و تغییرات فصلی عناصر اقلیمی و به طور کلی در شکل‌گیری شرایط اقلیمی ایران به‌ویژه در نیمه جنوبی و غربی کشور است. این سامانه بسته به شرایط مکانی و زمانی می‌تواند نقش دوگانه‌ای به عنوان عامل بازدارنده یا تسهیل‌کننده در انتقال رطوبت و شکل‌گیری بارش ایران ایفا کند (لشکری و محمدی، ۲۰۲۱). در همین راستا پژوهش‌های مختلف از جمله فرج‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)، کریمی و همکاران (۱۳۹۰)، مفیدی و زرین (۱۳۹۱)، لشکری و همکاران (۱۳۹۵)، محمدی (۱۳۹۶)، کریمی و همکاران (۱۴۰۱)، فهیمی و همکاران (۱۴۰۳) بر اهمیت این سامانه در تبیین ویژگی‌های اقلیم ایران تأکید داشته‌اند.

پژوهش حاضر با هدف بازتعریف این واچرخند جنب‌حاره‌ای فعال در منطقه جنوب‌غرب آسیا، با تأکید بر محدوده عملکرد جغرافیایی آن و با استفاده از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام شد. تحلیل موقعیت هسته مرکزی واچرخند جنوب‌غرب آسیا در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد این سامانه دارای تغییرات مکانی و زمانی معنادار در طول سال است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، این هسته در ماه‌های سرد بیشتر بر خشکی‌های شبه‌جزیره عربستان متمرکز است در حالی که در ماه‌های گرم به سمت عرض‌های جنوبی‌تر و آب‌های اطراف جابجا می‌شود. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، هسته واچرخند در فصل پاییز و زمستان بیشتر بر روی شبه‌جزیره عربستان و خلیج فارس متمرکز است، اما در فصل گرم با پراکندگی قابل توجهی به سمت شرق و جنوب گسترش می‌یابد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز در ماه‌های گرم تمرکز اصلی هسته بر فراز خشکی‌های شمال و غرب شبه‌جزیره عربستان و دریای سرخ قرار دارد، در حالی که در ماه‌های سردتر پراکندگی بیشتری به سمت جنوب و شرق مشاهده می‌شود. این نوسان مکانی و فصلی بازتابی از اثرپذیری ساختار واچرخند از تغییرات فصلی و جوی منطقه است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که در فصل سرد تفاوت محسوسی میان موقعیت پرارتفاع در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که هسته پرارتفاع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تمایل بیشتری به سمت عرض‌های پایین‌تر جغرافیایی و نواحی سواحل غرب شبه‌قاره هند و خلیج عدن دارد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های پیشین از جمله کریمی و همکاران (۱۳۹۸) و لشکری و محمدی (۲۰۲۱) که بر ارتباط بین الگوهای پرارتفاع جنب‌حاره‌ای عربستان و بارش‌های ایران تأکید داشته‌اند، هم‌راستا است.

یافته‌های این پژوهش نشان داد که برخلاف تصور رایج این واچرخند موقعیت ثابت یا حتی نسبتاً ثابت و مشخصی ندارد، بلکه در ترازهای مختلف جو جابجایی‌های مکان‌مند و فصلی قابل توجهی را تجربه می‌کند. در دوره سرد سال، تمرکز اصلی آن بر بخش‌های جنوبی شبه‌جزیره عربستان، عمان، یمن و تا حدی بر فراز دریای عرب است در حالی که در دوره گرم سال به سمت بخش‌های شمالی‌تر شبه‌جزیره و حتی جنوب عراق متمایل می‌شود. همچنین در چند ماه تابستان ساختاری دوهسته‌ای شامل یک هسته بر فراز شمال شرق دریای خزر و دیگری بر خشکی‌های غرب عربستان مشاهده می‌شود؛ موضوعی که در برخی پژوهش‌ها به‌عنوان هسته‌ای مستقل (واچرخند ترکمنستان)، (مفیدی و جعفری، ۱۳۹۰) یا بخشی از همان پرارتفاع جنب‌حاره‌ای عربستان تفسیر شده است. اگرچه عنوان «واچرخند عربستان» (الغمدی و هرینگتون، ۲۰۲۳) یا «پرارتفاع جنب حاره‌ای» (لیو و همکاران، ۲۰۲۵) تا حدودی گویای ویژگی‌های کلی این سامانه است اما نمی‌تواند بیان‌گر کامل ویژگی‌های فصلی و جغرافیایی آن باشد. یافته‌های این پژوهش ضمن تأکید بر ماهیت پویا و متغیر سامانه، نشان می‌دهند که عنوان «واچرخند عربستان» نمی‌تواند بازتاب‌دهنده جامع واقعیت‌های همدیدی-جغرافیایی آن باشد. چراکه این سامانه در سطوح مختلف جو علاوه بر شبه‌جزیره عربستان، مناطقی چون عمان، خلیج فارس، دریای سرخ و حتی آسیای میانه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این‌رو، عنوان «واچرخند جنوب‌غرب آسیا» تعریف دقیق‌تر و علمی‌تری از گستره جغرافیایی، ماهیت فصلی و پویایی ترازبه‌تراز این سامانه ارائه می‌دهد. پیشنهاد می‌شود در متون علمی آینده، این سامانه با عنوان «واچرخند جنوب‌غرب آسیا» مورد استفاده قرار گیرد؛ چراکه این نام نه تنها قلمرو جغرافیایی واقعی آن را روشن‌تر بازنمایی می‌کند بلکه با مبانی واژه‌شناسی و روش‌شناسی تحلیل همدیدی نیز همخوانی بیشتری دارد. همچنین به‌منظور شناخت دقیق‌تر ماهیت هسته‌های تابستانه به‌خصوص هسته فراز شرق دریای خزر یا آسیای میانه، انجام پژوهش‌های تکمیلی با رویکرد همدید-دینامیکی توصیه می‌شود.

منابع

- بلیانی، سعید و سلیقه، محمد (۱۳۹۵). تحلیل و استخراج الگوهای جوی منجر به بارش‌های سنگین روزانه منطقه شمالی خلیج فارس مورد- مطالعه: خوشه‌های آبریز حله و مند. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳(۲)، ۷۹-۹۸.
<https://doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.79>
- پرهیزکار، داوود و احمدی گیوی، فرهنگ (۱۳۹۱). مطالعه ارتباط انسو (ENSO) با نوسان سالانه و اچرخند جنب حاره‌ای بر روی خاورمیانه در یک دوره سی ساله. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۳(۹)، ۵۵-۶۸.
- جعفری، مهناز و لشکری، حسن (۱۴۰۰). نقش منطقه همگرایی بین حاره‌ای (ITCZ) در تکوین و الگوی زبانه کم‌فشار سودانی در بارش‌های فراگیر و شدید جنوب ایران، *پژوهش‌های دانش زمین*. ۱۲(۳)، ۲۴۱-۲۲۳.
<https://doi.org/10.48308/esrj.2021.101037>
- جهان‌بخشی، مریم (۱۳۸۷). *تحلیل همدیدی ارتباط پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان با بارش‌های جنوب و جنوب‌غرب ایران*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ پژوه، فرشاد و جعفری، فرزانه (۱۳۹۷). آشکارسازی شرایط همدید مؤثر بر خشکسالی و ترسالی‌های شدید و فراگیر در نیمه‌شرقی ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۷(۳)، ۱۶۰-۱۳۵.
<https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.68353>
- حلیان، امیرحسین و شبانکاری، مهران (۱۳۹۰). نقش پرفشار جنب حاره، در توزیع مکانی بارش‌های روزانه‌ی ایران. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱(۱)، ۲۱-۱.
- خوش اخلاق، فرامرز؛ عزیزی، قاسم؛ لشکری، حسن و ماهوتچی، محمدحسن (۱۳۹۸). واکاوی الگوهای همدید- پوشی بارش‌های آبرسنگین فراگیر تابستانه جنوب‌شرق ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۲۳(۲)، ۹. ۱۸۵-۲۰۲.
doi: 10.30488/gps.2019.100865
- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ عزیزی، قاسم و رحیمی، مجتبی (۱۳۹۱). الگوهای همدید خشکسالی و ترسالی زمستانه در جنوب غرب ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۲(۲۵)، ۷۷-۵۷.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ خسروی، محمود و نظری‌پور، حمید (۱۳۸۸). شناسایی منشا و مسیر رطوبت بارش‌های فوق سنگین استان بوشهر. *جغرافیا و توسعه*، ۷(پیاپی ۱۶)، ۷-۲۸.
- خوشحال، جواد (۱۳۷۸). تأثیر پرفشار جنب‌حاره بر بارش‌های موسمی جنوب‌شرق و سواحل جنوبی ایران، *دانشکده و علوم انسانی دانشکده اصفهان*، ۲(۱۷-۱۸)، ۱۶۴-۱۳۷.
- رضیعی، طیب؛ مفیدی، عباس و زرین، آذر (۱۳۸۸). مراکز فعالیت و الگوهای گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی خاورمیانه و ارتباط آنها با بارش ایران. *فیزیک زمین و فضا*، ۳۵(۱)، ۱۴۱-۱۲۱.
<https://doi.org/10.22059/jesphys.2009.79975>
- زرین، آذر و مفیدی، عباس (۱۳۹۰). آیا پرفشار جنب‌حاره‌ای تابستانه بر روی ایران زیانه‌ای از پرفشار جنب‌حاره‌ای آذر است؟ «بررسی یک نظریه»، *یازدهمین کنگره انجمن جغرافیادانان ایران*، ۲۴ و ۲۵ شهریور ماه ۱۳۹۰، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۵-۱.
- زنگنه، سعید؛ لشکری، حسن و مرادی، محمد (۱۳۹۴). تحلیل سینوپتیکی پرفشار عربستان و اثر آن بر خشکسالی‌های جنوب و جنوب‌غرب ایران. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۵(۱۵)، ۳۱-۱۷.
- سلیقه، محمد (۱۳۸۲). مدل‌سازی اثرهای آب و هوایی کم‌فشارهای حراراتی در منطقه‌ی جنب‌حاره. *تحقیقات جغرافیایی*، ۱۸(۳)، ۹۰-۷۴.
- سلیقه، محمد و صادقی‌نیا، علیرضا (۱۳۸۸). بررسی تغییرات مکانی پرفشار جنب‌حاره در بارش‌های تابستانه نیمه جنوبی ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۸(۱۷)، ۹۸-۸۳.
<https://doi.org/10.22111/gdij.2010.1135>
- سنادی‌زاده، سودابه؛ لشکری، حسن و دریاباری، سیدجمال‌الدین (۱۴۰۲). الگوهای همدیدی منجر به وقوع فرین‌های دمایی بالا در دوره سرد ساحل جنوبی ایران. *جغرافیای طبیعی*، ۶۱، ۴۱-۲۳. ۱۶۰۱.1.20085656.1402.16.61.5.۲۳-۴۱
doi: 20.1001.1.20085656.1402.16.61.5.۲۳-۴۱

- عزیزی، قاسم و یوسفی، حسن (۱۳۸۴). زمان‌بندی ورود پرفشار سیبری به سواحل جنوبی دریای خزر. *مدرس علوم انسانی*، ۹(۴)، ۸۱-۱۰۰.
- عساکره، حسین و فتاحیان، مختار (۱۳۹۸). تحلیل تغییرات سالانه پشته پرفشار جنب‌حاره بر روی ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۳(۶۹)، ۱۹۱-۲۱۱.
- علیجانی، بهلول؛ طولابی‌نژاد، میثم و کربلایی درئی، علیرضا (۱۳۹۸). رفتارسنجی اثر گرمایش جهانی بر پرفشار جنب حاره. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)*، ۵۱(۱)، ۳۷-۵۰.
- فلاح قالهری، غلام‌عباس و کدخدای، الهام (۱۳۹۶). ارزیابی ساختار مکانی بارش نیم قرن اخیر دشت مشهد. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۳۹۶(۱۱)، ۳۹-۵۷. <https://doi.org/20.1001.1.23833254.1396.4.11.3.4>
- فهمی، هاله؛ فرجی، عبدالله و علیجانی، بهلول (۱۴۰۳). بررسی نقش پراارتفاع جنب‌حاره عربستان در تأمین رطوبت بارش‌های فرین فراگیر فصل سرد ایران زمین. آب و خاک، ۳۸(۵)، ۶۴۹-۶۶۷. doi: 10.22067/jsw.2024.87969.1408
- فرج‌زاده اصل، منوچهر؛ قائمی، هوشنگ؛ زرین، آذر و آزادی، مجید (۱۳۸۶). تحلیل الگوی فضایی پرفشار جنب‌حاره بر روی آسیا و آفریقا. *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، ۱۳(۱)، ۲۴۵-۲۱۹.
- قائم، هوشنگ؛ عساکره، حسین و فتاحیان، مختار (۱۳۹۶). تحلیل الگوی فضایی پشته پرفشار جنب‌حاره بر روی ایران. *اندیشه جغرافیایی*، ۱۶(۸)، ۱-۲۱.
- کاویانی، محمدرضا و علیجانی، بهلول (۱۳۷۸). *مبانی آب‌وهو/شناسی*. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها، تهران.
- کریمی احمدآباد، مصطفی و فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی-زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۱(۲۲)، ۱۲۷-۱۰۹.
- کریمی، مصطفی (۱۳۸۶). *تحلیل منابع رطوبتی بارش‌های ایران*، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- کریمی، مصطفی؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ بازگیر، سعید و جعفری، مهناز (۱۳۹۵). نقش گردش و ردسپهر پرفشار عربستان در بارش ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۸(۴)، ۵۸۷-۵۶۹. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60827>
- کریمی، مصطفی؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر و نوروزی، فهیمه (۱۳۹۸). الگوهای گردشی پراارتفاع جنب‌حاره‌ای عربستان در تراز میانی و ارتباط آن با بارش ایران. *پژوهش‌های جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۳(۶۹)، ۲۵۵-۲۳۳.
- کریمی، مصطفی؛ نوروزی، فهیمه؛ جعفری، مهناز؛ خوش‌اخلاق، فرامرز و شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۴۰۱). مشخصه‌های جغرافیایی-همدیدی واپرخند عربستان در تراز 850 hPa در روزهای بارش سنگین دوره سرد سال بر روی ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۹(۱)، ۱۵۱-۱۹۸.
- کریمی، مصطفی؛ نوروزی، فهیمه؛ جعفری، مهناز؛ خوش‌اخلاق، فرامرز و شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۴۰۰). هم‌زمانی تغییرات مکانی واپرخند عربستان در تراز 850 hPa با بارش‌های اکتبر تا مارس در ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۳(۴)، ۱۲۷-۱۴۴.
- کیانی‌پور، منیژه (۱۳۷۹). بررسی همدیدی پدیده‌النینو و ارتباط آن با ناهنجاری بارش‌های جنوب و جنوب غرب کشور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- کیخسروی، قاسم؛ شکیبا، علیرضا و حمیدپور، پگاه (۱۴۰۱). تحلیل الگوهای همدیدی و ترمودینامیک منجر به بارش‌های ابرسنگین و برآورد پهنه آبی حاصل از بارش‌ها در حوضه آبخیز کرخه. *مطالعات جغرافیای نواحی ساحلی*، ۳(۱)، ۸۳-۱۰۰. <https://doi.org/10.22124/gscj.2022.20667.1108>
- لشکری، حسن (۱۳۷۵). *الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب‌غربی ایران*، رساله دکتری، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- لشکری، حسن (۱۳۸۱). مسیریابی سامانه‌های سودانی ورودی به ایران. *مدرس*، ۶(۲)، ۱۵۶-۱۳۳.
- لشکری، حسن (۱۳۸۲). مکانسیم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۶(۱)، ۱-۱۸.

- لشکری، حسن؛ جعفری، مهناز و محمدی، زینب (۱۴۰۰). چرا بارش‌ها در جنوب و جنوب غرب ایران در ماه فوریه نسبت به سایر ماه‌های زمستان کاهش می‌یابد؟. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳، ۱۰۳-۸۱.
- لشکری، حسن و محمدی، زینب (۱۳۹۴). اثر موقعیت استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارش در جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۷(۱)، ۹۰-۷۳. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.53679>
- لشکری، حسن؛ متکان، علی اکبر و محمدی، زینب (۱۳۹۷). تحلیل الگوهای همدیدی منجر به بارش‌های زودرس جنوب و جنوب غرب ایران طی دوره آماری (۲۰۱۵-۱۹۷۹). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۲(۶۴)، ۲۴۷-۲۶۶.
- لشکری، حسن؛ متکان، علی اکبر؛ آزادی، مجید و محمدی، زینب (۱۳۹۵). تحلیل همدیدی نقش پرفشار عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در کوتاه‌ترین طول دوره بارشی جنوب و جنوب غرب ایران. *علوم محیطی*، ۱۴(۴)، ۷۴-۵۹.
- لشکری، حسن؛ متکان، علی اکبر؛ آزادی، مجید و محمدی، زینب (۱۳۹۶). تحلیل همدیدی نقش جنب‌حاره‌ای عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در خشکسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، *پژوهش‌های دانش زمین*، ۸(۳۰)، دوره ۸، ۱۶۳-۱۴۱. <https://doi.org/20.1001.1.20088299.1396.8.2.10.0>
- مجیدی راد؛ ندا و رحیمی هرآبادی، سعید. (۱۴۰۰). رفتارشناسی تغییرات زمانی- مکانی پرارتفاع جنب‌حاره و تاثیر آن در تشدید وقوع خشکسالی‌ها؛ با تاکید بر مدیریت واکنش‌های سیستم‌های روستایی. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۲(۵)، ۸۰-۵۹.
- محمدی، زینب (۱۳۹۶). تحلیل همدیدی نقش موقعیت مکانی پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در خشکسالی‌ها، *ترسالی‌ها، شروع، پایان و طول دوره بارشی در جنوب و جنوب غرب ایران*، رساله دکتری، به راهنمای حسن لشکری، دانشگاه شهید بهشتی.
- محمدی، زینب و لشکری، حسن (۱۳۹۷). نقش جابجایی مکانی پرفشار عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۰(۳)، ۵۰۹-۴۹۱. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.249422.1007165>
- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۹۰). *آب و هوای ایران*، انتشارات شریعه توس مشهد، چاپ اول، ۲۷۷.
- مشایخ، فرناز و لشکری، حسن (۱۴۰۲). تحلیل همدیدی ترسالی‌های شدید و خیلی شدید در جنوب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۵(۴)، ۲۵-۱. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2024.356775.1007755>
- مفیدی، عباس (۱۳۸۶). تحلیل گردش جو تابستانه‌ی بر روی جنوب غرب آسیا و ارتباط آن با بارش‌های تابستانه فلات ایران، رساله‌ی دکتری جغرافیای طبیعی، گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم، ۱۶۵.
- مفیدی، عباس و جعفری، سجاد (۱۳۹۰). بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گردو غباری تابستانه در جنوب غرب ایران. *مطالعه جغرافیای مناطق خشک*، ۲(۵)، ۴۵-۱۷.
- مفیدی، عباس و زرین، آذر (۱۳۹۱). بررسی ماهیت، ساختار و وردایی زمانی گردش بزرگ مقیاس جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۳(۱۱)، ۴۰-۱۵.
- مفیدی، عباس؛ زرین، آذر و فاسولو، جان (۱۳۸۹). گردش جو تابستانه در وردسپهر فوقانی بر روی جنوب غرب آسیا و وردایی زمانی آن در طی نیم قرن گذشته، *چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم*، تهران، ۲۹ آذر الی ۱ دی ماه ۱۳۸۹، ۱۶۰-۱۴۹.

References

- Alghamdi, A. S., & Harrington Jr, J. (2022). Spatiotemporal climatology of the Arabian subtropical anticyclone. *Physical Geography*, 43(5), 659-679.
- Alghamdi, A. S., & Harrington Jr, J. (2023). The symmetry & structural characteristics of the core of the Arabian subtropical anticyclone & associated surface climatology over Arabia: A spatial perspective. *Atmospheric Research*, 281, 106482.

- Alijani, B., Toulabi Nejad, M. & Karbalaie Darei, A. (2019). Investigating the Effects of Global Warming on Subtropical High Pressure. *Physical Geography Research*, 51(1), 33-50. doi: 10.22059/jphgr.2019.258677.1007223. (in Persian)
- Alijani, B., O'Brien, J., & Yarnal, B. 2008. Spatial analysis of precipitation intensity & concentration in Iran. *Theoretical & Applied climatology*, 94, pp.107-124. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0344-y>.
- Asakereh, H., & Fataheyman, M. (2019). Analysis of annual changes of subtropical high pressure ridge over Iran. *Journal of Geography & Planning*, 23(69), 191–211. <https://sid.ir/paper/362757/en>. (in Persian)
- Azizi, G., & Yosefi, H. (2006). Time Detection of Siberian High Pressure Arrival to the Southern Coasts of Caspian Sea. *Modarres Human Sciences*, 9(4(Tom 43)). 81-100.(in Persian)
- Balyani, S., & Saleghi, M. (2016). Analysis & extraction of atmospheric patterns leading to heavy daily rainfall in the northern Persian Gulf region: Case study of Helleh & Mond watersheds. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 3(2), 79–98. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.79>. (in Persian)
- Barry, R.G. & Carleton, A.M. (2001). *Synoptic & Dynamic Climatology*. Routledge, PP386. <https://doi.org/10.4324/9780203218181>
- Charabi, Y., & Abdul-Wahab, S. A. (2009). Synoptic aspects of the summer monsoon of southern Oman & its global teleconnections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D7)
- Davis, R. E., Hayden, B. P., Gay, D. A., Phillips, W. L., & Jones, G. V. (1997). The north atlantic subtropical anticyclone. *Journal of Climate*, 10(4), 728-744. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781108614528.004>
- Fahimi, H. , Faraji, A. & Alijani, B. (2024). The Effects of the Arabia Anticyclone (AA) on the Extreme & Widespread Precipitation of the Cold Season in Iran. *Water & Soil*, 38(5), 667-649. doi: 10.22067/jsw.2024.87969.1408. (in Persian)
- Fallah Ghalhari, G., & Kadkhoda, E. (2017). The evaluation of the spatial structure of Mashhad plain precipitation in the last half-century. *Journal of Hydrogeomorphology*, 4(11), 39–57. . (in Persian)
- Farajzadeh Asl M, Ghaemi H, Zarrin A, Azadi M. (2009), The Analysis of Spatial Pattern of Subtropical Anticyclones over Asia & Africa. (2009). 13 (1), 219-245. <http://hsm.spm.modares.ac.ir/article-21-8891-fa.html>. . (in Persian)
- Galarneau, T.J., Bosart, L.F. & Ayyer, A.R., (2008). Closed anticyclones of the subtropics & midlatitudes: A 54-yr climatology (1950–2003) & three case studies. *Synoptic—Dynamic Meteorology & Weather Analysis & Forecasting: A Tribute to Fred S&ers*, pp.349-392. <https://doi.org/10.1175/0065-9401-33.55.349>
- Ghaemi, H. , Asakereh, H. & Fattahyan, M. (2017). Spatial analysis of the subtropical high pressure stack on Iran. *Geographic Thought*, 8(16), 1-21. (in Persian)
- Grekousis, G. (2020). Spatial analysis methods & practice: describe–explore–explain through GIS. *Cambridge University Press*. pp 147-206.
- Halabian, A. H., & Shabankari, M. (2012). The role of subtropical high pressure in the spatial daily precipitation distribution in Iran. *Geography & Environmental Sustainability*, 1(1), 1–21. <https://sid.ir/paper/221211/en>. (in Persian)
- Hare, F.K. 1983, *Climate & Desertification*. WMO, 149PP.
- Hejazizadeh, Z., Pazhooh, F. & Jafari, F. (2018). The Relationship between Severe & Pervasive Droughts & Wet Years in Half East of Iran with Synoptic Troposphere Condition. *Journal of Geography & Environmental Hazards*, 7(3), 135-160. doi: 10.22067/geo.v0i0.68353. (in Persian)
- Hoskins, B., Neale, R., Rodwell, M. & YANG, G.Y. (1999). Aspects of the large-scale tropical atmospheric circulation. *Tellus B*, 51(1), 33-44. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.1999.00004.x>

- Jafari, M. & Lashkari, H. (2021). The role of InterTropical Convergence Zone (ITCZ) in the development & pattern of Sudanese low-pressure trough expansion in pervasive & severe rainfall in Southern Iran. *Researches in Earth Sciences*, 12(3), 223-241. doi: 10.48308/esrj.2021.101037. (in Persian)
- Jahanbakhshi, M. (2008). *Synoptic analysis of the relationship between the Arabian subtropical high-pressure system & precipitation in southern & southwestern Iran* (Master's thesis). Shahid Beheshti University. (in Persian)
- Karimi, M. (2007). *Analysis of moisture sources of precipitation in Iran* (Doctoral dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran). (in Persian)
- Karimi, M., Khoshakhlagh, F., Bazgir, S. & Jafari, M. (2016). The influence of lower tropospheric circulation of Arabian high pressure on Iran precipitation. *Physical Geography Research*, 48(4), 569-587. doi: 10.22059/jphgr.2016.60827. (in Persian)
- Karimi, M., Khoshakhlagh, F., shamsi por, A. A. & noruzi, F. (2019). Arabian subtropical High Pressure circulation patterns in the middle troposphere & its relationship with Iran's Precipitation. *Journal of Geography & Planning*, 23(69), 233-255. (in Persian)
- Karimi, M., Noruzi, F., Jafari, M., Khoshakhlagh, F. & Shamsipour, A. (2022). Arabian anticyclone's spatial variations at 850 hPa simultaneously with precipitation of October to March in Iran. *Physical Geography Research*, 53(4), 509-529. doi: 10.22059/jphgr.2022.330917.1007647. (in Persian)
- Karimi, M., Noruzi, F., Jafari, M., Khoshakhlagh, F. & Shamsipour, A. (2022). Arabian anticyclone's spatial variations at 850 hPa simultaneously with precipitation of October to March in Iran. *Physical Geography Research*, 53(4), 509-529. doi: 10.22059/jphgr.2022.330917.1007647. (in Persian)
- Karimi, M., & Farajzadeh, M. (2011). Moisture flux & spatial-temporal patterns of moisture supply resources in precipitation of Iran. *Journal of Geographical Sciences*, 19(22), 109-127. <https://sid.ir/paper/102406/en>. (in Persian)
- Karimi, M., Jafari, M., Norouzi, F., Khoshakhlagh, F., & Shamsipour, A. (2022). Atmospheric circulation & precipitation in Southwest Asia: The role of the Arabian Anticyclone in precipitation of Iran. *Journal of Atmospheric & Solar-Terrestrial Physics*, 238, 105933.
- Kaviani, M., & Alijani, B. (1999). *Fundamentals of meteorology*. Organization for Researching & Composing University Humanities Books, Tehran. (in Persian)
- Keikhosravi, G., Shakiba, A., & Hamidpour, P. (2022). Analysis of synoptic & thermodynamic patterns leading to extremely heavy rainfall & estimation of water area resulting from precipitation in Karkheh Basin. *Geographical Studies of Coastal Areas Journal*, 3(1(8)), 83-100. <https://sid.ir/paper/964797/en>. (in Persian)
- KhoshAkhlagh, F., azizi, G., lashkari, H. & Mahoutchi, M. H. (2019). Analysis of the Synoptic-Dynamic Patterns of Inclusive Summer Super-Heavy Rainfalls in Southeast of Iran. *Geographical planning of space quarterly journal*, 9(33), 185-202. doi: 10.30488/gps.2019.100865. (in Persian)
- Khoshakhlagh, F., Azizi, G., & Rahimi, M. (2012). The synoptic patterns of wintertime drought & wet period in southwestern Iran. *Journal of Geographical Sciences*, 12(25), 57-77. <https://sid.ir/paper/102111/en>. (in Persian)
- khoshal, G. , khosravei, M. & nazareipoor, H. (2009). Identification humidity resources & course of super heavy precipitation in Bushehr province. *Geography & Development*, 7(16), 7-28. doi: 10.22111/gdj.2009.1173. (in Persian)
- khoshhal, j. (1999). The effect of subtropical high pressure on monsoon rainfall in southeastern & southern coastal regions of iran. *daneshkadeh va olum-e ensani daneshkadeh esfahan*, 2(17-18), 137-164. (in Persian)

- Kianipour, M. (2000). *Synoptic analysis of El Niño & its relationship with precipitation anomalies in southern & southwestern Iran* (Master's thesis, Tarbiat Modares University). (in Persian)
- Krishnamurti, T.N., 1985. Summer monsoon experiment-A review. *Monthly Weather Review*, 113(9), pp.1590-1626. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1985\)113<1590:SMER>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1985)113<1590:SMER>2.0.CO;2)
- Lashkari, H. (1996). *Synoptic pattern of heavy rainfall in southwestern Iran* (Doctoral dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran). (in Persian)
- Lashkari, H. (2002). Tracking sudanean low systems entering Iran. *Modarres Human Sciences*, 6(2(Tome 25)), 133–156. <https://sid.ir/paper/6966/en>. (in Persian)
- Lashkari, H. (2004). The mechanism of forming, deepening & development of Sudan low & its effect in precipitation south & south western of Iran. *Geographical Research Quarterly*, 35(46), 1–18. (in Persian)
- Lashkari, H., Jafari, M. & Mohammadi, Z. (2021). Why Does Precipitation Decrease in the South & Southwest of Iran in February Compared to Other Winter Months? *Geography & Environmental Planning*, 32(3), 81-104. doi: 10.22108/gep.2021.125832.1370. (in Persian)
- Lashkari, H., Matkan, A., Azadi, M. & Mohamadi, Z. (2018). Synoptic patterns lead to premature precipitation in the South & South West of Iran during the period (1979-2015). *Journal of Geography & Planning*, 22(64), 247-266. . (in Persian)
- Lashkari, H., Matkan, A., Azadi, M. & Mohammadi, Z (2017). Synoptic analysis of the role of Saudi Arabia subtropical high pressure subtropical & polar jet streams & severe droughts in South & South West of Iran. *Researches in Earth Sciences*, 8(2), 141-163. (in Persian)
- Lashkari, H., Matkan, A., Azadi, M. & Mohammadi, Z. (2016). Synoptic analysis of Arabian subtropical high pressure & subtropical jet Stream in shortest period of precipitation in South & South West of Iran. *Advanced Environmental Sciences*, 14(4), 59-74. (in Persian)
- Lashkari, H. & Mohammadi, Z. (2019). Study on the role of annual movements of Arabian subtropical high pressure in the late start of precipitation in southern & southwestern Iran. *Theoretical & applied climatology*, 137, pp.2069-2076. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2716-x>
- Lashkari, H., & Mohamadi, Z. (2015). The role of Saudi Arabian sub-tropical high pressure on the rainfall systems on south & southwest Iran. *Physical Geography Research*, 47(1), 73–90. (in Persian)
- Lashkari, H., & Mohammadi, Z. (2022). Analysis of behavior pattern & thermodynamic structure of Arabian Anticyclone in early onset of precipitation in south & southwest of Iran.
- Liu, W., Shi, N., & Wang, H. (2025). Evolution of the western North Pacific subtropical high & impact of Asian precipitation from spring to summer. *Atmospheric Research*, 315, 107909.
- Mahoutchi, M. H., Abbasi, E., Khoshakhlagh, F., Rousta, I., Olafsson, H., Baranowski, P., & Krzyszczak, J. (2023). Atmospheric circulation patterns during the summertime precipitation in Southeastern Iran. *Atmosphere*, 14(11), 1673.
- Majidirad, N. & Rahimi Herabadi, S. (2021). The behavior of spatio-temporal spatial elevation changes & their impact on the intensification of droughts, with emphasis on the management of rural systems responses. *Climate Change Research*, 2(5), 59-80. doi: 10.30488/ccr.2020.261823.-1032. (in Persian)
- Mashayekh, F. & Lashkari, H. (2023). Synoptic analysis of extreme & extremely Wet Period in southern Iran. *Physical Geography Research*, 55(4), 1-25. doi: 10.22059/jphgr.2024.356775.-1007755. (in Persian)
- Masoudian, s. a. (2011). *Climate of Iran*. Mashhad: sharia toos publications. (in Persian)
- Mofidi, A., & Jafari, S. (2022). The Role of Regional Atmospheric Circulation over the Middle East on the Occurrence of Summer Dust-storms in Southwest Iran. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 2(5), 17-45. (in Persian)

- Mofidi, A. (2007). *Analysis of the summer atmospheric circulation over Southwest Asia & its relationship with summer rainfall on the Iranian Plateau* (Doctoral dissertation, Natural Geography – Climatology, Tarbiat Moallem University), 165 pp. (in Persian)
- Mofidi, A. & Zarrin, A. (2012). Investigating the Nature, Structure & Temporal Variations of Summertime Atmospheric Circulation over Southwest Asia. *Journal of Climate Research*, 1391(11), 15-40. (in Persian)
- Mofidi, A., Zarrin, A., & Fasullo, J. (2010, December 20–22). *Summer atmospheric circulation in the upper troposphere over Southwest Asia & its temporal variability during the past half century*. In Proceedings of the 4th Regional Conference on Climate Change (pp. 149–160). Tehran, Iran. (in Persian)
- Mohammadi, Z. (2017). Synoptic analysis of the role of the geographical position of the Arabian subtropical high pressure & subtropical jet stream in droughts, wet periods, onset, cessation & length of rainy season in south & southwest of Iran (Doctoral dissertation, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran) . (in Persian)
- Mohammadi, z., & Lashkari, h. (2018). Effects of spatial movement of arabia subtropical high pressure & subtropical jet on synoptic & thermodynamic patterns of intense wet years in the south & south west Iran. *physical geography research*, 50(3), 491-509. <https://doi.org/10.22059/jphgr.-2018.249422.1007165>. (in Persian)
- Mohammadi, Z., Lashkari, H., & Mohammadi, M. S. (2021). Synoptic analysis & core situations of Arabian anticyclone in shortest period precipitation in the south & southwest of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(12), 1172.
- Parhizkar, D., & Ahmadi Givi, F. (2012). A study on the relationship between ENSO & the annual fluctuation of the subtropical anticyclone over the Middle East during a thirty-year period. *Journal of Climatology Research*, 3(9), 55–68. (in Persian)
- Raziei, T., Mofidi, A. & Zarin, A. (2009). The 500 hpa atmospheric centers of action & circulation patterns over the Middle East & their relationship with precipitation in Iran. *Journal of the Earth & Space Physics*, 35(1), 121-141. doi: 10.22059/jesphys.2009.79975. (in Persian)
- Raziei, T., Mofidi, A., Santos, J.A. & Bordi, I., 2012. Spatial patterns & regimes of daily precipitation in Iran in relation to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 32(8), p.1226. <https://doi.org/10.1002/joc.2347>
- Rodwell, M.J. & Hoskins, B.J. (1996). Monsoons & the dynamics of deserts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122(534), pp.1385-1404. <https://doi.org/10.1002/qj.49712253408>
- Rodwell, M.J. & Hoskins, B.J. (2001). Subtropical anticyclones & summer monsoons. *Journal of Climate*, 14(15), 3192-3211. [https://doi.org/10.1175/1520-442\(2001\)014<3192:SAASM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-442(2001)014<3192:SAASM>2.0.CO;2)
- Saleghi, M. (2003). Modeling the climatic effects of thermal lows in the subtropical region. *Geographical Research*, 18(3), 74–90. (in Persian)
- saligeh, M. & sadegineia, A. (2010). Investigation Subtropical High Pressure Spatial Variations in Summer Rainfalls of the Southern Half of Iran. *Geography & Development*, 8(17), 83-98. doi: 10.22111/gdij.2010.1135. (in Persian)
- Sanadizadeh, S., Lashkari, H., & Daryabari, S. J. (2023). Synoptic patterns leading to extreme cold events during the cold season along southern coastal Iran. *Natural Geography*, 61, 23–41. (in Persian)
- Schulman, L.L. (1973). On the summer hemisphere Hadley cell. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 99(419), pp.197-201. <https://doi.org/10.1002/qj.49709941916>
- WU, G., LIU, Y. & LIU, P., 2004. Formation of the summertime subtropical anticyclones. In *East Asian Monsoon* (pp. 499-544). https://doi.org/10.1142/9789812701411_0014

- Zangeneh, S., Lashkari, H., & Moradi, M. (2015). Synoptic analysis of Saudi pressure & effect on drought the South & South West of Iran. *Geography & Environmental Sustainability*, 5(2), 17-31. (in Persian)
- Zarrin, A., & Mofidi, A. (2011). Is the summer subtropical high over Iran an extension of the Azores high? A critical review. In *Proceedings of the 11th Congress of the Iranian Geographers Association* (pp. 1–15). Shahid Beheshti University. (in Persian)