




<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>  
Geography and Environmental Planning  
E-ISSN: 2252- 0910  
Document Type: Research Paper  
Vol. 35, Issue 3, No.95, Autumn 2024, pp. 161- 188  
Received: 10/07/2024 Accepted: 18/11/2024

## Impact of Westerly Winds Troughs and Ridges on Droughts Extent in Iran

Sousan Heidari<sup>1</sup>, Mostafa Karimi <sup>\* 2</sup>, Ghasem Azizi<sup>3</sup>, Ali Akbar Shamsipour<sup>4</sup>

1- Ph.D., Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran  
heidari.s@ut.ac.ir

2- Associate professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran  
Mostafakarimi.a@ut.ac.ir@ut.ac.ir

3- Professor., Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran  
ghazizi@ut.ac.ir

4- Associate professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran  
shamsipr@ut.ac.ir

### Abstract

The consecutive droughts experienced in Iran over recent years have highlighted the need to analyze atmospheric structures and their effects on precipitation patterns and drought conditions. This study investigated the location and spatial variations of key atmospheric circulation components, particularly synoptic systems, such as ridges and troughs, in relation to the extent of monthly droughts across Iran. Using ERA5 data, which included 500 hPa geopotential heights and precipitation data with a spatial resolution of 0.25°, the analysis covered the period from 1979 to 2021. Monthly drought extent percentages (September to May) were calculated using the Rainfall Anomaly Index (RAI) and categorized into 5 levels. The axes, as well as the southern and northern limits of ridges and troughs, were extracted and mapped from western Iran to the eastern Atlantic. The results indicated that during periods of widespread drought, the trough axis shifted from 30°E in September and May to 10°E in other months, while the ridge axis remained centered over central to western Iran throughout the year. Conversely, in months without drought, the trough axis was located between 30° and 40°E and the ridge axis spanned from 0° to 20°E. Notably, during widespread droughts, the southern limit of troughs was observed over North Africa, while the northern limit of ridges extended from Russia to Central Asia. The displacement of ridge axes between drought and non-drought months (approximately 50°) was significantly greater than the shifts

\*Corresponding Author

Heidari, S. , Karimi, M. , Azizi, G. and Shamsipour, S. (2024). Impact of westerly winds troughs and ridges on droughts extent in iran.. *Geography and Environmental Planning*, 35 (3), 161 - 188 .



2252-0910 © University of Isfahan

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



10.22108/gep.2024.142104.1655

observed in the trough axes. This displacement, particularly of the southern trough limit and the northern ridge limit, accounted for the decreased precipitation and increased drought conditions observed in December, January, and March. The eastward and westward shifts of ridges and troughs might indicate a change in Iran's precipitation regime influenced by variations in regional atmospheric circulation within the broader context of planetary circulation.

**Keywords:** Ridge, Trough, Synoptic Systems, Westerly Winds, Drought, Iran.

### Introduction

Westerly winds are a vital component of mid-latitude atmospheric systems, playing a crucial role in transferring weather conditions across different regions. In the northern hemisphere during winter, these winds generate synoptic systems that can extend from several hundred to several thousand kilometers, forming 3 primary long waves: the long wave of eastern America, eastern Asia, and the Mediterranean. Research suggests that a key convergence point for the westerlies at the 500 hPa level is situated over the Mediterranean Sea. The strong meridional flow of these winds, particularly in winter, significantly influences the weather patterns of the affected areas.

Moreover, the Mediterranean region is impacted by air masses originating from the Atlantic Ocean, resulting in a northward influx toward the western Mediterranean. The Mediterranean long wave is shaped by the interactions between subtropical high pressure and the polar vortex with its seesaw pattern reflecting meridional movements. These atmospheric flows characterized by deep troughs and strong ridges have a profound effect on weather conditions and precipitation across various regions. Spatial variations in the Westerly winds depend on the fluctuations in the range and depth of pressure systems, which are crucial for the transport of air masses and moisture. These changes can lead to significant precipitation anomalies and contribute to widespread droughts. In Southwest Asia, particularly in Iran, the high variability in precipitation often results in severe and prolonged drought conditions. This study aimed to examine the impacts of changes in mid-latitude atmospheric circulation patterns on drought occurrences in Iran, focusing on the roles of troughs and ridges in influencing precipitation and drought events in this region.

### Materials & Methods

To achieve the research objective of examining droughts in Iran with the spatial changes of troughs and ridges, we utilized monthly data on precipitation and geopotential height (in gpm) at the 500 hPa level. This level was chosen because it represented a critical point for westerly winds, where friction was minimal. The data were collected and analyzed for the period from 1979 to 2021. The Rainfall Anomaly Index (RAI) was employed to identify monthly droughts using monthly precipitation data from the ECMWF- ERA5 database. The RAI assessed drought severity and classified it into 5 categories: very severe, severe, moderate, mild, and non-drought. Geographic positions of the trough and ridge axes spanning from 40°W to 70°E and 10°N to 70°N were extracted using ArcGIS software. We calculated the average positions of these axes for each month. Finally, the relationship between the spatial changes of the trough and ridge features and the extent of drought areas in Iran was analyzed using regression analysis.

### Research Findings

The results indicated that the axes of troughs and ridges in the Mediterranean wave activity region exhibited significant spatial shifts in relation to drought areas. When drought extent in Iran was limited (less than 20% of the area), the ridge axes were positioned from the central to western Mediterranean, occasionally extending to the eastern North Atlantic. In contrast, during widespread droughts (over 80% of the area), the ridge axes shifted to span from the eastern Mediterranean to western Iran. Conversely, the trough axes were found in the central to western Mediterranean during extensive drought periods, while during less severe droughts, they were located in the eastern Mediterranean up to 40°E longitude. The study also revealed that the southern limit of the troughs—

indicative of their depth and southward extension—shifted southward and westward during widespread droughts.

The positioning of the ridges and troughs was crucial for determining Iran's precipitation patterns. Specifically, a ridge over the eastern Mediterranean was associated with reduced rainfall and increased drought severity. Changes in the spatial positions of these ridges and troughs significantly impacted drought conditions in Iran. Shifts in the ridge axes toward the eastern Mediterranean and trough axes toward the western Mediterranean correlated with decreased rainfall and a higher incidence of drought in Iran. Conversely, strong ridges over western Europe and the western Mediterranean could enhance precipitation in Iran by facilitating the formation of deep troughs in the eastern Mediterranean. These findings underscored the critical influence of regional atmospheric circulation patterns on Iran's climate, particularly regarding rainfall distribution and occurrence of droughts.

### **Discussion of Results & Conclusion**

This study explored the relationship between drought extent in Iran and the spatial positioning of key synoptic atmospheric systems, emphasizing the role of Mediterranean troughs and ridges associated with the westerlies. Analysis of monthly ERA5 precipitation and 500 hPa geopotential height data revealed that the location of these systems significantly influenced drought severity and extent across Iran. Shifts in their position or wavelength within the Mediterranean wave track of the westerlies affected climate and precipitation patterns in Southwest Asia, including Iran. During widespread droughts, Mediterranean troughs shifted eastward toward the Atlantic and western Mediterranean, resulting in the formation of a strong ridges over the eastern Mediterranean. This shift obstructed rain-bearing systems from reaching Iran, exacerbating drought conditions. Conversely, when the trough axis moved toward central Mediterranean areas, the eastern ridge expanded over Iran, further contributing to drought. In periods of limited drought, the trough axis was situated in the eastern Mediterranean and sometimes extended over Southwest Asia, while the ridge axis remained active over the western Mediterranean. These configurations facilitated greater moisture influx into Iran, mitigating drought severity.


The findings suggested that shifts in the southern and northern boundaries of the trough and ridge axes closely correlated with monthly drought trends. For example, the westward shift of ridge axes in October, April, and particularly November, alongside the eastward movement of troughs, corresponded with reduced drought extent, allowing westerly winds and moist flows to penetrate Iran. These results provided valuable insights into how drought conditions in Iran were influenced by the positioning of Mediterranean troughs and ridges, which were also affected by broader atmospheric circulation patterns, such as the North Atlantic Oscillation (NAO) and Arctic Oscillation (AO).



## اثر موقعیت ناوه و پشته بادهای غربی بر گستره خشکسالی‌های ایران

سوسن حیدری، دانش آموخته دکترای آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

Heidari.s@ut.ac.ir

مصطفی کریمی\* ، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

قاسم عزیزی، استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

ghazizi@ut.ac.ir

علی اکبر شمسی‌پور، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

shamsipr@ut.ac.ir

### چکیده

خشکسالی‌های متوالی سال‌های اخیر در ایران اهمیت تحلیل ساختارهای جوی و اثر آن را بر الگوهای بارش و خشکسالی افزایش داده است. هدف از پژوهش حاضر بررسی موقعیت و تغییرات مکانی اجزای کلیدی گردش جو و سامانه‌های هم‌دید منطقه از جمله پشته‌ها و ناوه‌های جوی در ارتباط با گستره خشکسالی‌های ماهانه ایران است. در این مطالعه از داده‌های ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و بارش داده‌های ERA5 با دقت ۰/۲۵ درجه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۱ استفاده شد. درصد مساحت خشکسالی‌های ماهانه (سپتامبر تا می) با شاخص RAI در پنج طبقه محاسبه و موقعیت محور و حد جنوبی و شمالی ناوه‌ها و پشته‌ها در گستره‌ای از غرب ایران تا شرق اقیانوس اطلس استخراج و ترسیم شد. نتایج نشان داد که محور ناوه در خشکسالی‌های فراگیر از ۳۰ درجه شرقی در سپتامبر و می به ۱۰ درجه شرقی در سایر ماه‌ها و محور پشته در تمام ماه‌ها در محدوده مرکز تا غرب ایران و در مقابل، محور ناوه‌ها در ماه‌های فاقد خشکسالی بین ۳۰ تا ۴۰ درجه شرقی و محور پشته‌ها در ماه‌های فاقد خشکسالی از ۰ تا ۲۰ درجه شرقی مستقر بوده است. حد جنوبی ناوه‌ها در خشکسالی‌های فراگیر در شمال آفریقا و حد شمالی پشته‌ها در محدوده روسیه تا آسیای میانه مشاهده شد. میزان جابه‌جایی محور پشته‌ها بین ماه‌های خشکسالی فراگیر و فاقد خشکسالی (حدود ۵۰ درجه) بسیار بیشتر از تغییر موقعیت محور ناوه‌ها بوده است. جابه‌جایی حد جنوبی ناوه‌ها و به‌خصوص حد شمالی پشته‌ها، کاهش بارش و افزایش خشکسالی را در ماه‌های دسامبر، ژانویه و مارس (در پژوهش‌های قبلی به‌طور مشخص به آن اشاره شده است) توجیه می‌کند؛ به‌طوری که در این ماه‌ها به‌ترتیب پشته‌ها و ناوه‌ها جابه‌جایی شرق و غرب‌سو داشته است. این شاید نمایانگر تغییر رژیم بارش ایران متأثر از تغییر اجزای گردش جو منطقه در بستر گردش جو سیاره‌ای باشد.

واژه‌های کلیدی: پشته، ناوه، سامانه‌های هم‌دید، بادهای غربی، خشکسالی، ایران

\*نویسنده مسئول

حیدری، سوسن، کریمی، مصطفی، عزیزی، قاسم و شمسی‌پور، علی اکبر. (۱۴۰۳). اثر موقعیت ناوه و پشته‌های بادهای غربی بر گستره خشکسالی‌های ایران جغرافیا و

برنامه‌ریزی محیطی، ۳۵ (۳)، ۱۸۸-۱۶۱.



## مقدمه

بادهای غربی به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی سامانه‌های جوئی در عرض‌های میانی شناخته می‌شود. این جریان‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی به الگوهای سینوپتیکی دارد (Toggweiler, 2009, P. 1434؛ علیجانی، ۱۳۷۴). این بادهای با توجه به جریان‌های نصف‌النهاری قوی‌تر در زمستان نیمکره شمالی با سامانه‌های همدیدی شرایط اقلیمی عرض‌های میانی را به مناطق دیگر انتقال می‌دهند (Raziei et al., 2012, P. 1056). الگوی بادهای غربی در مقیاس سیاره‌ای شامل سه موج بلندی است که شرق آمریکا، شرق آسیا و منطقه مدیترانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین یکی از نقاط فعالیت و اثرگذاری بادهای غربی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (Palmen & Newton, 1969; Harman, 1976) و ترازهای بالای ورسپهر روی دریای مدیترانه واقع شده است.

موج بلند مدیترانه که با برهم‌کنش پیچیده بین پرفشار جنب‌حاره و تاوه قطبی شکل می‌گیرد، تأثیر عمیقی بر دینامیک‌های جوئی این منطقه دارد (حجازی‌زاده، ۱۳۷۶، ص. ۲۳؛ مرادی و خیراندیش، ۱۳۸۰). این فرآیندها یک الگوی الاکنگی دارد که نشان‌دهنده حرکات نصف‌النهاری است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۲۶۳). در این حالت جریان‌های نصف‌النهاری با ناوهای عمیق و پشته‌های قوی همراه می‌شود که از پدیده عمده بادهای غربی است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۲۵۵). یکی از دلایل اصلی تشکیل ناوه و عمیق شدن آن گسترش تاوه قطبی به عرض‌های پایین‌تر در این منطقه است (علی‌دادی، ۱۳۸۹). عمیق شدن ناوه باعث ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به عرض‌های پایین و ایجاد ناپایداری می‌شود که این فرآیند شرایط لازم را برای شروع دوره مرطوب فراهم می‌کند (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۵؛ کیانیان و همکاران، ۱۳۹۷). هرچه شدت و محدوده ناوه عمیق‌تر باشد درمقابل، مرکز پرفشار جنب‌حاره به سمت عرض‌های جنوبی‌تر (کمتر از ۲۵ درجه عرض جغرافیایی شمالی) منتقل می‌شود (مرادی، ۱۳۸۱، ص. ۷۱). از سویی دیگر، با ضعیف شدن و جابه‌جایی شمال‌سوی تاوه قطبی و موقعیت جریان‌های جت انتقال، انرژی از عرض‌های جغرافیایی بالا به سمت عرض‌های پایین‌تر کاهش می‌یابد و به دنبال آن بادهای غربی از منطقه خارج و شرایط پایداری حاکم می‌شود (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶، ص. ۱۴۷). در این شرایط انتقال هوای گرم از عرض‌های پایین به سمت عرض‌های بالاتر رخ می‌دهد و پشته‌های قوی شکل می‌گیرد. این وضعیت بیشتر با پایداری هوا و عدم وقوع بارش و درنهایت، وقوع شدیدترین خشکسالی‌ها همراه است (پروین، ۱۳۹۰، ص. ۹۰؛ پروین، ۱۳۹۶، ص. ۳۸).

تغییرات مکانی بادهای غربی با افزایش (کاهش) دامنه و عمق سامانه‌های فشاری همراه است (علیجانی، ۱۳۷۸ الف، ص. ۱۱۵). این تغییرات در قالب عمیق شدن جریان‌های جوئی به سمت عرض‌های پایین‌تر و یا کاهش دامنه امواج روی مدیترانه همراه با افزایش/کاهش فراوانی سامانه‌های جوئی ظاهر می‌شود. پژوهش Enfield et al. (2001) نشان می‌دهد که این تغییرات نقش اساسی در انتقال توده‌های هوا و رطوبت از سطح‌های آبی دارد. تغییرات یادشده در بُعد زمان و مکان نقش مهمی در بی‌هنجاری‌های بارش و در نتیجه، بروز بارش‌های فوق‌سنگین و خشکسالی‌های گسترده در مناطق وسیع واقع در عرض‌های میانی دارد (Huang et al., 2013, P. 3962). این شرایط برای مناطقی با تغییرپذیری بارشی بالا مانند جنوب غرب آسیا اهمیت زیادی دارد. علاوه بر آن، جنوب غرب آسیا به‌عنوان یک منطقه مهم در تغییرات اقلیمی مطرح است. با توجه به تظاهرات گرمایش جهانی کاهش بارش در

دهه‌های آینده در این منطقه پیش‌بینی شده است (حیدری و خوش‌اخلاق، ۱۳۹۷، ص. ۹۱؛ Lilach & Yonaton, 2023). موقعیت جغرافیایی جنوب غرب آسیا در مرز بین اقلیم عرض‌های میانه، مدیترانه‌ای و خشک جنب‌حاره قرار دارد. از جمله ویژگی‌های مهم بارشی این منطقه تغییرپذیری زیاد بارش در طول سال است (Lockwood, 1988, P. 85). به همین دلیل، آن را مستعد وقوع خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت کرده است (Trewartha & Horn, 1980; Alpert et al., 2002, P. 4; Hasanean & Almazroui, 2015, P. 592). ایران یکی از کشورهای جنوب غرب آسیاست که در کمربند بیابانی نیمکره شمالی واقع شده و یکی از بارزترین نمونه‌های جغرافیای-اقلیمی گفته‌شده در بالاست. از ویژگی‌های مهم اقلیمی ایران تغییرپذیری شدید بارش آن است.

محققان در مطالعات متعددی سازوکار و مسیرهای ناوه و چرخند مدیترانه‌ای را بررسی کرده‌اند؛ از جمله: مسیرهای چرخندی ثانویه در غرب و شرق دریای مدیترانه (Nicolaidis et al., 2004)، چرخندزایی (Bengtsson et al., 2006)، جابه‌جایی‌های چرخندها در غرب مدیترانه (Campins et al., 2006)، مسیرهای چرخندی شرق مدیترانه (Flocas et al., 2010)، تغییرات مکانی-زمانی ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (Alijani, 2002)، چرخندهای مدیترانه (احمدی‌گیوی و نصرافهانی، ۱۳۸۲)، مسیر توفان مدیترانه و نوسان اطلس شمالی (اسعدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ رضائیان و همکاران، ۱۳۹۳)، تغییرات مکانی ناوه مدیترانه (علیجانی و نظاماتی، ۱۳۹۶) و تأثیر نوسانات اطلس شمالی بر ارتباط بین مسیرهای توفان اطلس شمالی و مدیترانه (ملاشرفی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین، مطالعاتی در زمینه پایش چرخندهای شرق مدیترانه و رابطه آنها با تغییرات دوره خشک و تر (Kutiel et al., 1998, P. 60)، مراکز فعالیت و الگوهای گردش جوئی زمستانه (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۸)، فراوانی ورود چرخندهای مدیترانه‌ای به ایران (عساکره و خجسته، ۱۴۰۰) و تغییرات گردش‌های جوئی بر موقعیت مدیترانه (میرزایی و همکاران، ۱۴۰۲) انجام شده است.

همچنین، مطالعاتی نیز در زمینه علل همدید خشکسالی انجام شده است؛ اما در بیشتر آنها به نوع و چگونگی پیکربندی الگوهای همیدی که به خشکسالی‌های منجر می‌شود، توجه شده است. این پژوهش‌ها شامل بررسی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۷۶)، الگوهای سینوپتیکی منجر به خشکسالی‌های پاییزه و زمستانه در استان خراسان رضوی (موسوی بایگی و اشرف، ۱۳۹۰)، الگوهای همدید خشکسالی و ترسالی زمستانه در جنوب غرب ایران (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۱)، تأثیر سامانه‌های مدیترانه‌ای بر خشکسالی غرب ایران (محمدنژاد و همکاران، ۱۳۹۲)، الگوهای همدید بر دوره‌های ترسالی و خشکسالی ایران مرکزی (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۴)، تحلیل همدید پرفشار جنب حاره عربستان و رودباد جنب حاره در خشکسالی‌های شدید و جنوب غرب ایران (لشکری و همکاران، ۱۳۹۶)، آب‌وهواشناختی رژیم بارش غرب میانی ایران (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۹)، مکانیسم جوئی بر رخداد ناهنجاری‌های شدید بارشی شرق ایران (گوهری و همکاران، ۱۴۰۱) و ناهنجاری‌های همیدی منجر به خشکسالی‌های و ترسالی‌های فراگیر ایران (محمودی و همکاران، ۱۴۰۱) است؛ با این حال با وجود پژوهش‌های گسترده الگوهای کلی گردش جو و تأثیر آنها بر بارش مطالعات کمتری در زمینه نقش تغییرات مکانی و زمانی اجزای گردش جو (ناوه‌ها و پشته‌هایی) در وقوع و شدت خشکسالی

ایران انجام شده است. در این مطالعات هنوز شناخت کافی و دقیقی از تغییرات مکانی اجزای سینوپتیکی کلیدی مانند ناوه‌ها و پشته‌ها و تأثیر آنها بر نوسانات بارشی و به‌ویژه خشکسالی در ایران وجود ندارد. با توجه به اینکه دریای مدیترانه به‌عنوان یک منطقه گذرگاهی برای توده‌های هوای ورودی از اقیانوس اطلس به سمت جنوب غرب آسیا عمل می‌کند (اسعدی و همکاران، ۱۳۹۰)، مطالعه دقیق‌تر روی تغییرات و دینامیک‌های بادهای غربی برای درک ناهنجاری‌های بارشی از جمله خشکسالی و سیل بر این منطقه ضروری است. محققان در پژوهش حاضر برای پرکردن خلأهای موجود در مطالعات پیشین تمرکز خود را بر تغییرات مکانی اجزای موج بادهای غربی (ناوه‌ها و پشته‌ها) و مؤثر بر خشکسالی ایران قرار داده‌اند. برخلاف پژوهش‌های قبلی که محققان در آن بیشتر به تحلیل گردش جو و الگوهای همدید پرداخته‌اند، پژوهشگران این مطالعه در نظر دارند که با هدف بررسی مکان‌محور اجزای گردش جو (ناوه‌ها و پشته‌ها) منطقه نقش تغییرات مکانی عمق ناوه‌ها و بلندی پشته‌ها را در نوسانات بارشی و خشکسالی‌های ماهانه ایران تا حد امکان روشن کنند. نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای بهبود مدل‌های پیش‌بینی خشکسالی و نوسانات بارشی نیز استفاده شود. این امر به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان محیط زیست کمک می‌کند تا با اطلاعات دقیق‌تر و پیش‌بینی‌های بهبودیافته استراتژی‌های مؤثرتری را برای مدیریت بحران‌های آبی و مواجهه با شرایط اقلیمی پیش رو تدوین کنند.

### منطقه مطالعه شده

ایران دومین کشور بزرگ در جنوب غرب آسیاست (شکل ۱ الف). این سرزمین تنوع چشمگیری در ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی دارد که شامل اقلیم‌های خشک تا مرطوب می‌شود (Azari et al., 2021). حدود ۳۵/۵٪ از مساحت آن بسیار خشک و تنها ۱۰٪ آن مرطوب است (Saboohi et al., 2012). این تنوع جغرافیایی که از دو رشته‌کوه اصلی زاگرس و البرز در شمال و غرب تا دو بیابان خشک دشت کویر و دشت لوت در مرکز و شرق گسترده است، منجر به توزیع ناهمگون بارش در سراسر ایران شده است. بارش سالانه ایران بسیار کمتر از میانگین جهانی است (شریف و همکاران، ۱۴۰۲) و بیشتر در فصل‌های زمستان و بهار رخ می‌دهد (Kiany et al., 2018).

### داده و روش پژوهش

در این مطالعه برای بررسی اثر موقعیت و تغییرات مکانی ناوه و پشته بر خشکسالی‌های ایران از دو داده ماهانه بارش در محدوده سرزمینی ایران (شکل ۱ ب) و ارتفاع ژئوپتانسیل (برحسب gpm) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در محدوده همدید مؤثر بر بارش ایران در محدوده‌ای از ۴۰ درجه غربی تا ۷۰ درجه شرقی و از ۱۰ تا ۷۰ درجه شمالی (شکل ۱ ب) استفاده شده است. انتخاب این تراز به دلیل آن است که یکی از مهم‌ترین مناطق فرود بادهای غربی بر فراز دریای مدیترانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرار دارد (Harman, 1976; Palmen & Newton, 1969). تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مدل تک‌لایه‌ای جو زمین به‌عنوان لایه میانی جو شناخته شده و نیروی اصطکاک در آن ناچیز است (Holton,



12, P. 2004). این ویژگی ها تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را به سطحی ایده آل برای مطالعه الگوهای جوئی تبدیل می کند. داده های استفاده شده در مقیاس ماهانه از پایگاه (https://www.ecmwf.int) ECMWF-Era5 با دقت ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه و در بازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۱ برای ماه های سپتامبر تا می جمع آوری و تحلیل شده است.

### خشکسالی ماهانه

برای پایش خشکسالی شاخص های متعددی وجود دارد و یکی از چالش های مطالعات خشکسالی استفاده از شاخص مناسب است. در پژوهش هایی که برای پیشنهاد شاخص مناسب با توجه به شرایط جغرافیایی-اقلیمی مانند ایران انجام شده شاخص های مانند SPI (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۴)، SPEI (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶) و RAI (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱؛ حجازی زاده و همکاران، ۱۴۰۰؛ حیدری و همکاران، ۱۴۰۲) پیشنهاد شده است. در پژوهش حاضر برای شناسایی خشکسالی های ماهانه از شاخص ناهنجاری بارش RAI (Rainfall Anomaly Index) که به عنوان یکی از مناسب ترین شاخص های خشکسالی برای مناطق اقلیمی مانند ایران معرفی شده، استفاده شده است. این شاخص با رابطه های (۱ و ۲) به دست می آید (Van Rooy, 1965).

$$RAI = 3 \left[ \frac{p_i - \bar{p}}{\bar{m} - \bar{p}} \right] \quad (1)$$

$$RAI = -3 \left[ \frac{p_i - \bar{p}}{\bar{x} - \bar{p}} \right] \quad (2)$$

در این شاخص  $p_i$  بارش مدنظر،  $\bar{p}$  میانگین بارش،  $\bar{m}$  میانگین ده نمونه از بیشترین مقادیرهای بارش رخ داده در دوره آماری،  $\bar{x}$  میانگین ده نمونه از کمترین مقادیرهای بارش رخ داده در دوره آماری است. طبقه بندی شدت خشکسالی RAI در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: طبقه بندی شدت خشکسالی شاخص RAI

Table 1: Classification of drought severity according to the RAI index

ارزش	شدت خشکسالی	ارزش	شدت خشکسالی
-1.2 - -0.3	ضعیف	< -3	بسیار شدید
-0.3 >	عدم خشکسالی	-3 - -2.1	شدید
		-2.1 - -1.2	متوسط

منبع: Van Rooy, 1965

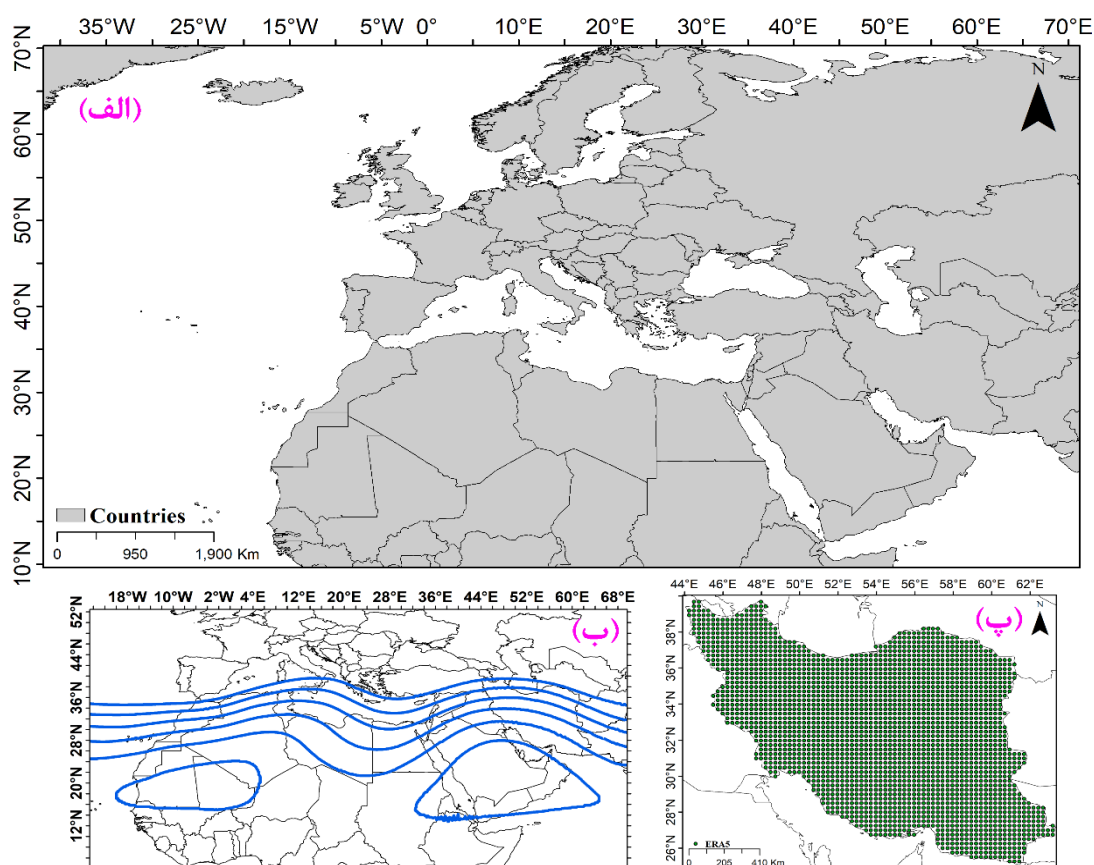
در این مطالعه منظور از شدت های مختلف خشکسالی شرایط خشکسالی است. در گام بعد با استفاده از رابطه زیر درصد گستره خشکسالی ماهانه برای دوره مطالعاتی (۱۹۷۹-۲۰۲۱) محاسبه شد (رابطه ۳).

$$PDA = \frac{\sum_{i=1}^n g_n}{n} \times 100 \quad (3)$$

PDA درصد گستره خشکسالی، gn تعداد گره‌های تحت شرایط خشکسالی، n تعداد همه گره‌های واقع در محدوده ایران است. در نهایت، برای بررسی ارتباط گستره خشکسالی‌های ماهانه ایران و موقعیت و تغییرات مکانی ناوه و پشته‌ها درصد مساحت خشکسالی در ۵ طبقه، صفر تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰، ۶۰ تا ۸۰ و ۸۰ تا ۱۰۰ درصد دسته‌بندی شد.

### موقعیت و تغییرات ناوه و پشته‌ها

موقعیت مکانی محورهای ناوه و پشته با استفاده از داده‌های ژئوپتانسیل ماهانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در محدوده ۴۰ درجه غربی تا ۷۰ درجه شرقی و ۱۰ تا ۷۰ درجه شمالی (شکل ۱ الف) به صورت دستی با ترسیم نقشه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS استخراج شد (به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است). با توجه به تعداد بالای محور و موقعیت شمالی جنوبی ناوه و پشته‌ها برای هر ماه میانگین محور ناوه و پشته‌های هر ماه با توجه به درصد مساحت خشکسالی نمایش داده شده است. این باعث می‌شود که موقعیت محورها و تغییرات حد جنوبی (شمالی) ناوه‌ها (پشته‌ها) در ارتباط با درصد مساحت خشکسالی‌ها مشخص و قابل تفسیر باشد.



شکل ۱: (الف) محدود همدید مطالعه‌شده، (ب) داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و (پ) پراکنش داده‌های بارش ERA5 روی ایران

(منبع: نویسندگان)

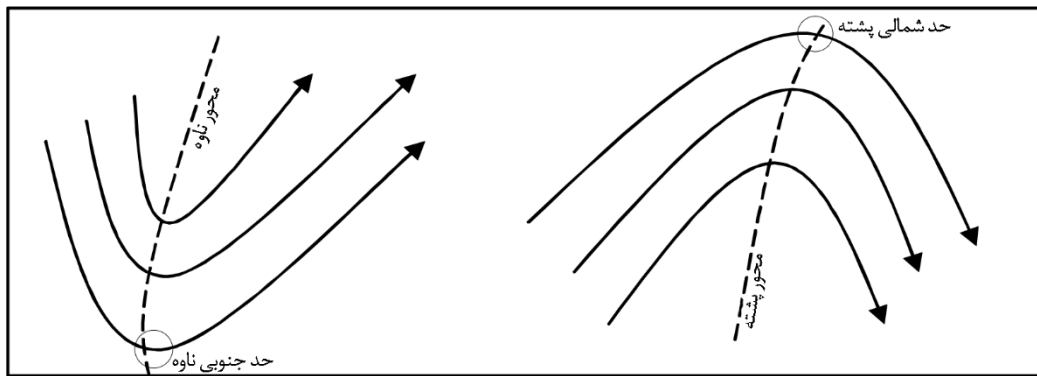
Figure 1: (a) Synoptic boundaries of the study area, (b) Geopotential height data, and (c) Spatial distribution of ERA5 precipitation data over Iran

## روند تغییرات مکانی ناوه و پشته ها

در این مطالعه با هدف بررسی روند تغییرات مکانی ناوه ها و پشته ها در طول زمان از رابطه رگرسیون خطی استفاده (رابطه ۴) شد (Galton, 1886).

$$Y = mX + b \quad (4)$$

این معادله برای هر ماه از دوره مطالعه شده روند تغییرات حد جنوبی ناوه ها و حد شمالی پشته ها را نشان می دهد. در صورتی که شیب خط رگرسیون مثبت باشد، نشان دهنده جابه جایی شمال و شرق سوی و در صورتی که شیب خط رگرسیون منفی باشد، نشان دهنده جابه جایی جنوب و غرب سوی موقعیت حد شمالی ناوه ها و حد جنوبی پشته ها است. پس از تعیین شیب خط رگرسیون با توجه به تعداد سال های مطالعه میزان جابه جایی محاسبه شد.



شکل ۲: طرح نمایشی استخراج محور، حد جنوبی و شمالی ناوه و پشته ها (منبع: نویسندگان)

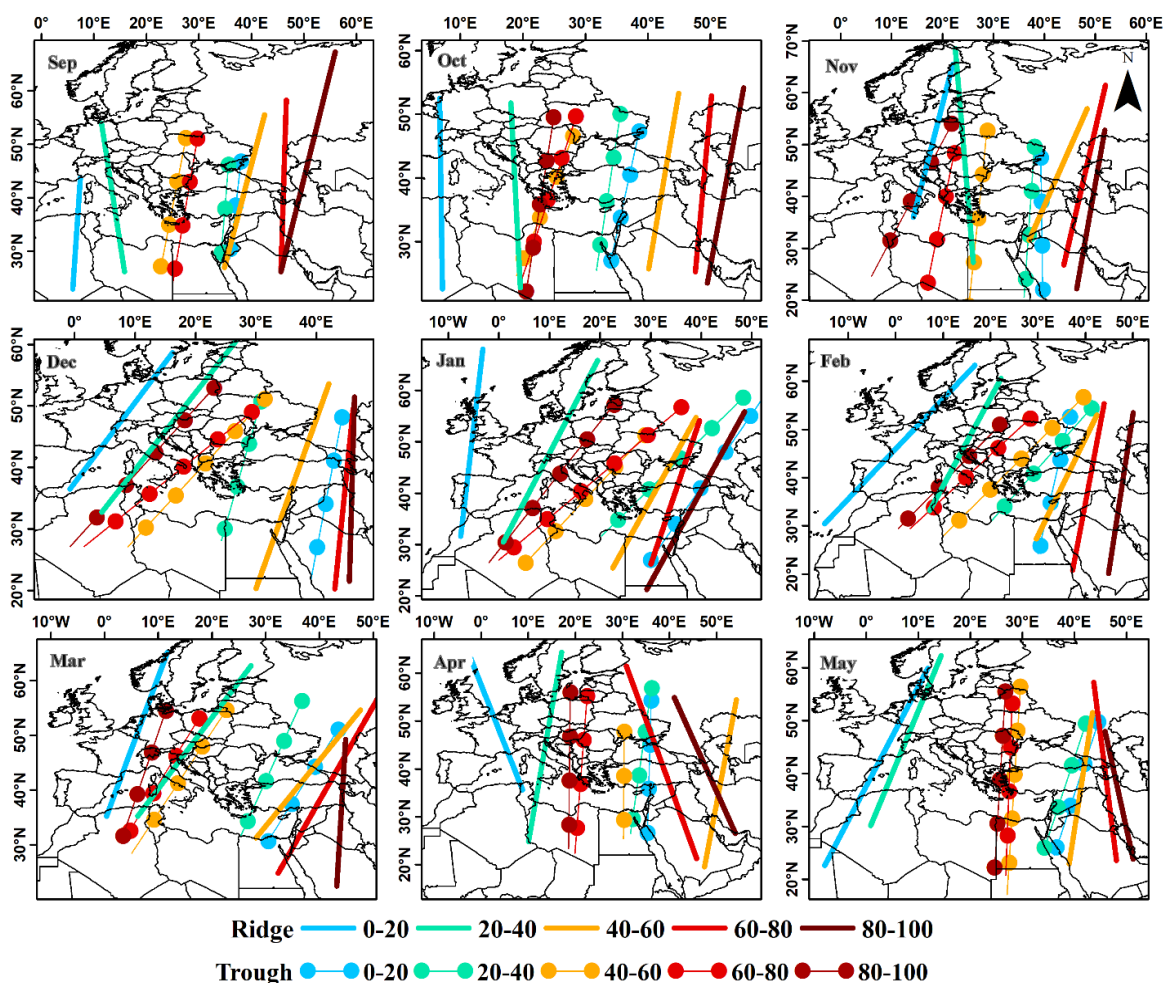
Figure 2: Schematic representation of the extraction of the axis, southern, and northern limits of troughs and ridges

## یافته های پژوهش و تجزیه و تحلیل

ارتباط بین محور ناوه و پشته با گستره خشکسالی های ماهانه

شکل ۳ میانگین موقعیت مکانی محور ناوه ها و پشته ها را در منطقه فعالیت موج مدیترانه ای نشان می دهد. با توجه به تعداد زیاد محورهای ناوه و پشته برای ۴۲ سال دوره مطالعاتی (۴۲ محور ناوه و ۴۲ محور پشته) میانگین موقعیت این محورها با توجه به درصد گستره (در ۵ طبقه) خشکسالی های هر ماه ارائه شده است. در نگاه کلی در همه ماه ها محور پشته ها نسبت به محور ناوه ها با توجه به گستره خشکسالی ها جابه جایی مکانی بسیار بیشتری داشته است. محور پشته ها در زمان هایی که مساحت خشکسالی در ایران اندک تا کمتر از ۲۰ درصد بوده به طور تقریبی در دو موقعیت مرکز تا غرب مدیترانه و گاه شرق اقیانوس اطلس شمالی و در ماه هایی که خشکسالی های فراگیر (بیش از ۸۰ درصد مساحت) و نیمه فراگیر (بین ۶۰ تا ۸۰ درصد مساحت) در کشور رخ داده در سواحل شرقی مدیترانه تا غرب ایران بوده است. هرچقدر محور پشته ها شرقی تر (نزدیک به ایران و غرب ایران) استقرار یافته گستره خشکسالی ها بیشتر شده است. محور ناوه ها به طور واضح، برخلاف محور پشته ها در زمان هایی که کشور در خشکسالی های وسیع

قرار داشته، در مدیترانه مرکزی تا غربی مستقر بوده و در مقابل، در ماه‌های با گستره خشکسالی کم در مدیترانه شرقی تا طول جغرافیایی ۴۰ درجه شرقی استقرار داشته است. محور پشته‌ها در دوره‌های خشکسالی‌های فراگیر به استثنای ماه ژانویه که در شرق مدیترانه مشاهده شده، در دیگر ماه‌ها در غرب ایران و در ماه‌های بدون خشکسالی در غربی‌ترین موقعیت خود در غرب مدیترانه دیده می‌شود. **محمودی و همکاران (۱۴۰۱ب)** در پژوهش خود اشاره کرده‌اند که در اکتبرها و نوامبرها ترسالی‌های فراگیر هسته‌های هم‌گرایی شار رطوبتی روی دریای مدیترانه قرار می‌گیرد.



شکل ۳: میانگین موقعیت مکانی ماهانه محور ناوه و پشته‌ها با توجه به درصد گستره (رنگ‌ها) خشکسالی‌های ماهانه ایران (۲۰۲۱-۱۹۷۹). خط توپر (محور پشته) و نقطه خط‌ها (محور ناوه) است. (منبع: نویسندگان)

**Figure 3: Monthly average location of the ridge and trough axes concerning the percentage extent (colors) of monthly droughts across Iran (1979–2021). The solid line represents the ridge axis, and the dashed lines represent the trough axis.**

یکی از مهم‌ترین سازوکار بارش‌های ایران (به‌جزء فصل تابستان) ناوه‌های شکل گرفته در جریان باد غربی در شرق مدیترانه است. تغییر موقعیت مکانی این ناوها به سمت غرب و پیامد آن قرارگیری محور پشته روی ایران است. به عبارت دیگر، جابه‌جایی پشته به سمت شرق دریا مدیترانه و شمال عراق باعث کاهش بارش‌ها بر ایران می‌شود

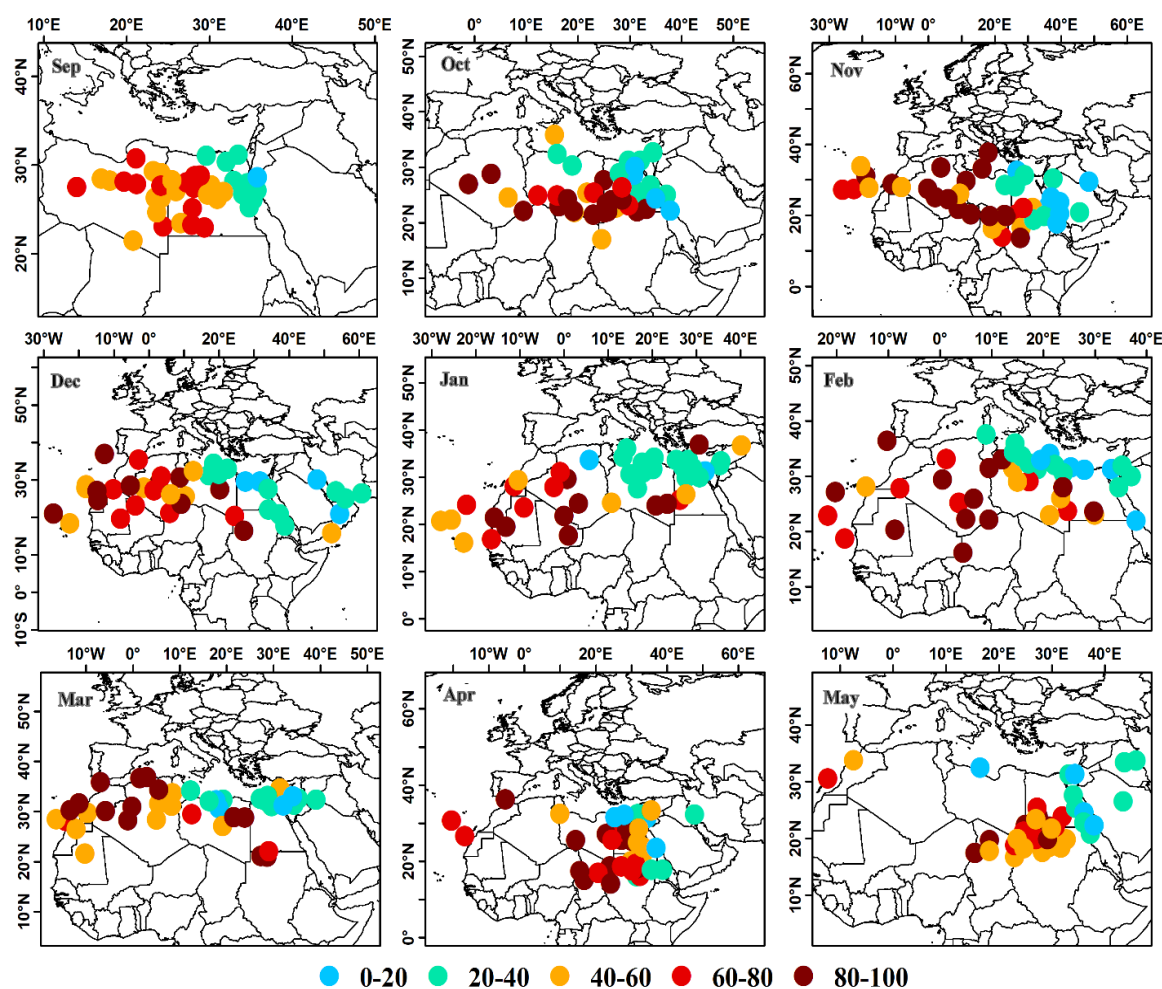
(خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۷۶، ص. ۱۳۶؛ خوش‌اخلاق، ۱۳۷۷؛ خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۵۷). همان‌طور که نتایج پژوهش حاضر نشان داد شرایط گفته‌شده باعث رخداد خشکسالی‌های گسترده در کشور می‌شود؛ اما درمقابل، با تقویت و استقرار پشته قوی در غرب مدیترانه و بر اروپای غربی با گسترش شاخه جنوبی جریان‌های غربی روی مدیترانه ناوه شرق مدیترانه را شکل می‌دهد. این شرایط باعث تقویت و عمیق‌تر شدن ناوه مذکور می‌شود (de Vries et al., 2013, P. 7087). پیامد این رخداد، بارش‌های مناسب روی ایران است. همان‌گونه که پیشتر اشاره شد و در شکل ۳ آورده شده است، رخداد و گستره خشکسالی در ایران به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد.

### موقعیت حد جنوبی ناوه و حد شمالی پشته در خشکسالی‌های ایران

حد جنوبی ناوه‌ها که نمایانگر عمق ناوه و گسترش جنوب‌سوی امواج بادهای غربی در منطقه است در شکل ۴ آمده است. موقعیت جغرافیایی حد جنوبی ناوه‌ها در زمان خشکسالی‌های فراگیر و نیمه‌فراگیر در همه ماه‌ها نسبت به ماه‌های با رخداد خشکسالی کم‌وسعت کمی به سمت جنوب و به‌طور واضح به سمت غرب جابه‌جا شده است (شکل ۴). این شرایط به جزء یکی دو رخداد در دو ماه ژانویه و آوریل در ماه‌های دیگر به‌روشنی دیده می‌شود. در رخداد خشکسالی‌های وسیع بر ایران، پراکندگی حد جنوبی ناوه‌های مدیترانه از ۳۰ درجه غربی الی ۳۰ درجه شرقی بوده که این پراکندگی در ماه‌های سرد سال بسیار محسوس‌تر است. در ماه‌های دوره گذار، سپتامبر، آوریل و می (به‌جزء دو، سه رخداد خاص در کشور) (در رخداد خشکسالی‌های وسیع در کشور) پراکندگی موقعیت حد جنوبی ناوه کمتر بوده است و بیشتر در موقعیت مصر، لیبی و شمال سودان دیده می‌شود؛ اما حد جنوبی ناوه‌ها در زمان‌های بدون خشکسالی یا رخداد خشکسالی‌های کم‌وسعت نسبت به زمان رخداد خشکسالی‌های فراگیر شرقی و تا حدودی شمالی‌تر بوده است. حد جنوبی ناوه‌ها در این زمان‌ها در سه موقعیت مشخص سواحل جنوبی دریای مدیترانه در شمال شرق آفریقا، شمال دریای سرخ و تعداد اندک‌تری حوالی خلیج فارس مشاهده شده است. **رئسی و محمودی (۱۴۰۲)** موقعیت قرارگیری حد جنوبی ناوه را در ارتباط با ویژگی بارش تأیید کرده‌اند.

الگوی پراکنش حد شمالی پشته‌ها در رخداد خشکسالی‌های نیمه‌فراگیر و فراگیر ایران عکس پراکنش حد جنوبی ناوه‌هاست (شکل ۵)؛ اما الگوی پراکنش مداری و نصف‌النهاری موقعیت‌ها همانند پراکنش حد جنوبی ناوه‌ها در جهت نصف‌النهاری بسیار مشهودتر است. همان‌گونه که گفته شد در رخداد خشکسالی‌های نیمه‌فراگیر و فراگیر حد شمالی پشته‌ها در شرق موقعیتشان در رخداد خشکسالی‌های پراکنده و با گستره کم دیده می‌شود که برعکس جابه‌جایی موقعیت حد جنوبی ناوه در این دو زمان است. در زمان رخداد‌های خشکسالی نیمه‌فراگیر تا فراگیر موقعیت شمالی پشته‌ها بین دریای سیاه تا نصف‌النهار ۶۰ درجه شرقی متغیر بوده است. موقعیت مداری آنها نیز در همین شرایط خشکسالی اندکی جنوبی‌تر از شرایط بدون خشکسالی یا خشکسالی کم‌وسعت است. پراکندگی حد شمالی پشته‌ها در دوره سرد برخلاف پراکندگی بیشتر نصف‌النهاری حد جنوبی ناوه‌ها کمتر و در ماه‌های دوره گذار (سپتامبر، آوریل و می) بیشتر بوده است. محور ناوه‌ها و حد جنوبی آنها به‌همراه موقعیت محور پشته‌ها و حد شمالی آنها به‌روشنی نشان می‌دهد که قرارگیری ناوه‌ها در شرق مدیترانه تا غرب ایران و گسترش آنها تا نیمه دریای سرخ همراه با وجود پشته بلند (حد

شمالی از مرکز اروپا تا اسکانندیناوی) در مرکز و غرب مدیترانه می‌تواند باعث رخداد بارش‌های مناسب روی ایران و در نتیجه، کاهش وقوع خشکسالی شود. برعکس، هرگاه محور پشته‌ها در شرق مدیترانه تا ایران و محور ناوه‌ها در مرکز تا غرب مدیترانه قرار داشته باشد، شرایط برای رخداد بارش بر ایران نامساعد بوده است. در این میان، رخداد خشکسالی‌های گاه وسیع در کشور دیده می‌شود. این نتایج می‌تواند گواهی نقش بسیار اساسی اجزای گردش جو منطقه جنوب غرب آسیا و حوضه مدیترانه در اقلیم و به‌خصوص بارش ایران باشد. همان‌گونه که در پژوهش‌های قبلی بیان شده است، چرخندهای شرق مدیترانه و به‌طور خاص در اطراف قبرس (محور و موقعیت ناوه‌های مشخص شده در زمان خشکسالی‌های کم) نقش تعیین‌کننده‌ای در سال‌های مرطوب ایران دارند (جعفریگلو و همکاران، ۱۳۸۸، ص. ۸۳؛ یاراحمدی و مریانجی، ۱۳۹۰، ص. ۱۰۵؛ صلاحی و عالی جهان، ۱۳۹۲، ص. ۷۳؛ خسروی و همکاران، ۱۳۹۳، ص. ۸۳).

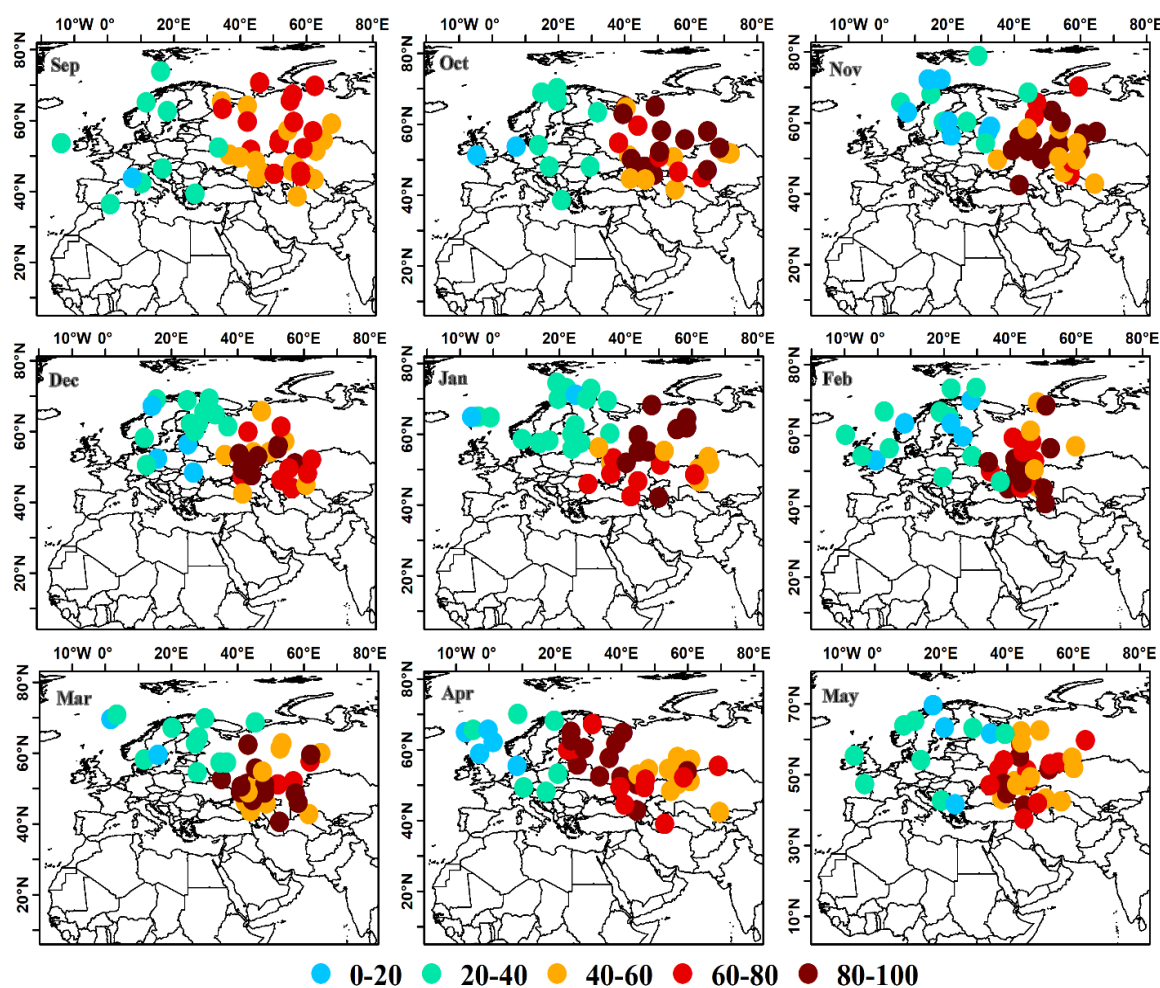


شکل ۴: موقعیت مکانی حد جنوبی ناوه‌ها با توجه به درصد گستره (رنگ‌ها) خشکسالی‌های ماهانه ایران در دوره (۱۹۷۹-۲۰۲۱) (منبع: نویسندگان)

Figure 4: Location of the southern boundary of troughs in relation to the percentage extent (colors) of monthly droughts across Iran during the period 1979–2021

عمق ناوه ها تحت تأثیر تغییرات مداری پشته ها قرار دارد. تغییرات طولی و عرضی پشته ها منجر به تغییرات عرضی ناوه مدیترانه می شود؛ به طوری که تشدید شیو فشار بین پشته و ناوه روی اروپا بر موقعیت مکانی ناوه مدیترانه تأثیرگذار است. زمانی که محور ناوه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر شرق مدیترانه چندان عمیق نباشد و دورتر از نصف النهار ۴۷/۵ درجه طول شرقی واقع شود، بارش های کمتری در کشور رخ خواهد داد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۱). وجود یک ناوه بزرگ و عمیق بر شرق مدیترانه و دریای سرخ موجب ایجاد جریان های جنوب غربی روی ایران می شود. وجود واچرخند روی دریای عمان (عرب) در ترکیب با ناوه عمیق شرق مدیترانه ضمن ایجاد جریان های هوا با رطوبت مناسب و گسترش گردش چرخندی، پتانسیل زیادی را برای ایجاد بارش های فراگیر بر ایران ایجاد می کند (علیجانی، ۱۳۷۸، ص. ۷؛ رضیئی و همکاران، ۱۳۸۸، ص. ۱۷؛ کیانیان و همکاران، ۱۳۹۵، ص. ۱۷۵؛ پوراصغر و همکاران، ۱۳۹۶، ص. ۱۴۵؛ کریمی احمدآباد و همکاران، ۱۳۹۸، ص. ۲۳۳؛ کاشکی و همکاران، ۱۴۰۱، ص. ۲۰۸؛ دلدازهی و همکاران، ۱۴۰۲، ص. ۴۵؛ فروتن و صلاحی، ۱۴۰۲، ص. ۳۵۲؛ جلیلیان و ذوالفقاری، ۱۴۰۳، ص. ۲۴۰). چنین شرایطی باعث رخداد کمتر خشکسالی و حتی شرایط بدون خشکسالی در کشور می شود (کریمی احمدآباد و همکاران، ۱۳۹۸، الف، ص. ۵۶۳؛ Karimi et al., 2022, P. 959).

با افزایش جابه جایی شمال سوی ارتفاع زیاد، جنب حاره پشته روی شرق مدیترانه و غرب ایران تقویت می شود، در این زمان تاوایی مثبت جریانات تراز فوقانی با شکل گیری ناوه روی شرق اطلس و غرب مدیترانه به دور از منطقه مؤثر بر بارش جنوب غرب آسیا افزایش می یابد و پشته در بازوی شرقی ناوه مذکور به دلیل کاهش تاوایی مثبت و افزایش تاوایی منفی تشکیل می شود. این وضعیت نشان دهنده افزایش صعود و ناپایداری در منطقه شرق اطلس و غرب مدیترانه و خشکسالی های فراگیر در شرق مدیترانه و ایران است. تعدادی از محققان نیز به صورت همدیدی به این نتایج رسیده اند (عطایی، ۱۳۸۸، ص. ۵۷؛ کیانیان و همکاران، ۱۳۹۵، ص. ۱۷۵؛ پروین، ۱۳۹۶، ص. ۲۸).



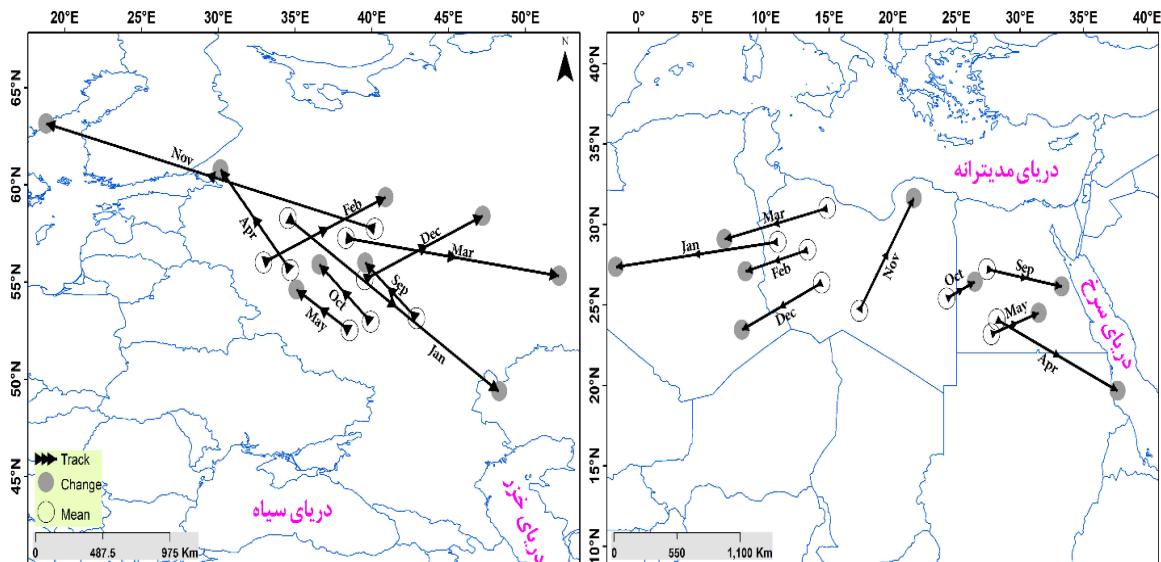
شکل ۵: موقعیت مکانی حد شمالی پشته‌ها با توجه به درصد گستره (رنگ‌ها) خشکسالی‌های ماهانه ایران در دوره (۱۹۷۹-۲۰۲۱) (منبع: نویسندگان)

Figure 5: Location of the northern limits of ridges concerning the percentage extent (colors) of monthly droughts across Iran during the period 1979-2021

روند تغییرات مکانی میانگین ماهانه حد شمالی پشته و حد جنوبی ناوه در خشکسالی‌های ایران در این مطالعه برای تبیین روشن‌تر ارتباط بین ویژگی موج‌های باد غربی (ناوه شرق و پشته غرب مدیترانه) و وسعت خشکسالی‌های ایران میانگین موقعیت فضایی و تغییرات حد شمالی محور پشته و حد جنوبی محور ناوه در طی بازه زمانی ۴۲ ساله برای هر ماه محاسبه و ترسیم شد (شکل ۶). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، موقعیت مکانی حد شمالی محور پشته در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر، آوریل و می نسبت به قبل به سمت غرب و شمال‌غرب میانگین خود جابه‌جا شده است. در مقابل، در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس تمایل جابه‌جایی به سمت جنوب شرق، شرق و شمال میانگین موقعیت آنها بوده است (شکل ۶). بیشترین جابه‌جایی مربوط به ماه‌های ژانویه، نوامبر، مارس و آوریل به ترتیب ۱۳، ۱۴، ۹ و ۶ درجه و در مقابل، کمترین جابه‌جایی مربوط به ماه می با ۳ درجه است. در شکل ۶ (سمت راست) مشاهده می‌شود که حد جنوبی محور ناوه‌ها در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر، آوریل و می به سمت

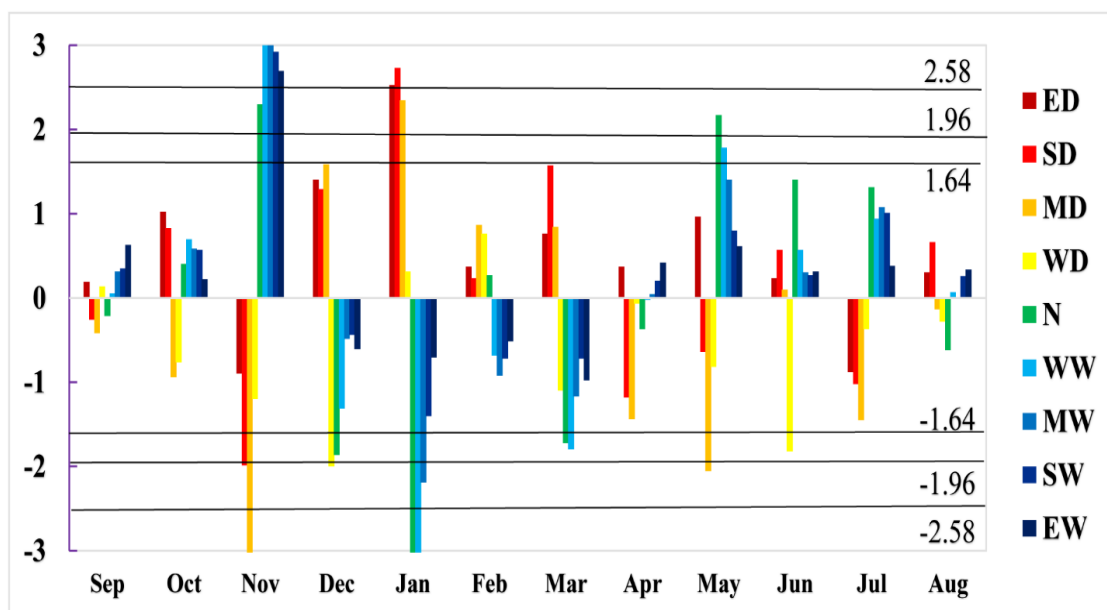


شمال شرق و شرق میانگین خود جابه جا شده است؛ در حالی که در ماه های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس جابه جایی به سمت جنوب غرب و غرب میانگین موقعیت آنها بوده است. بیشترین جابه جایی به ترتیب ۱۱، ۹، ۷ و ۶ درجه مربوط به ماه های ژانویه، آوریل، نوامبر و دسامبر بوده و کمترین جابه جایی در ماه اکتبر با ۲ درجه مشاهده شده است. با مشاهده جابه جایی های متفاوت موقعیت مکانی حد گسترش پشته ها و عمق ناوه در ماه های مختلف، بررسی ارتباط جابه جایی ها با شرایط خشکسالی های ایران مدنظر قرار گرفت. همان طور که در شکل ۷ مشاهده می شود، بیشترین روند کاهشی گستره خشکسالی در کشور در ماه نوامبر ثبت شده است. در همین ماه بیشترین جابه جایی غرب سوی حد شمالی پشته و شمال سو و تا حدی شرق سوی ناوه مشاهده شده است. این شرایط در دو ماه آوریل و می البته با جابه جایی کمتر و نیز روند کاهشی مساحت خشکسالی کمتر دیده می شود. در مقابل، در ماه های بارشی اصلی کشور دسامبر، ژانویه و مارس جابه جایی شرق سو در حد شمالی پشته ها و جابه جایی غرب سو در حد جنوبی ناوه ها مشاهده می شود. این تغییر موقعیت با روند افزایشی درصد گستره خشکسالی در کشور در همین ماه ها توافق دارد. به طور خاص، نتایج برخی پژوهش ها نشان داده است که در ماه های اکتبر و نوامبر به دلیل فراهم شدن شرایط ناپایداری جوئی بارش های پاییزی تمایل به افزایش دارد (حجازی زاده و همکاران، ۱۴۰۳، ص. ۲۸). این افزایش بارش که در آن بهبود شرایط همزمان با جابه جایی غرب سوی حد شمالی ناوه ها و شرق سوی پشته ها رخ می دهد، می تواند نشان دهنده ارتباط میان این الگوهای جوئی و کاهش گستره خشکسالی در ماه نوامبر باشد. این روند که نشان دهنده همسویی میان جابه جایی سامانه های جوئی و تغییرات بارش و خشکسالی است در ماه های آوریل و می هرچند با شدت کمتر مشاهده شد.



شکل ۶: میانگین ماهانه موقعیت مکانی (دایره توخالی) حد شمالی پشته (چپ) و حد جنوبی ناوه (راست) به همراه تغییرات مکانی آنها (دایره خاکستری) در دوره (۱۹۷۹-۲۰۲۱) (منبع: نویسندگان)

Figure 6: Monthly average location (hollow circles) of the northern boundary of ridges (left) and the southern boundary of troughs (right), along with their spatial variations (gray circles) during the period 1979-2021



شکل ۷: روند تغییرات گستره شدت ترسالی-خشکسالی‌های ماهانه ایران (منبع: کریمی و حیدری، ۱۴۰۲، ص. ۱۴۲)

Figure 7: Trend of changes in the extent of monthly wet-drought severity across Iran

### نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی ارتباط بین گستره خشکسالی‌های ایران و موقعیت مکانی ویژگی‌های گردش جوی سامانه‌های همدید با تأکید بر نقش ناوه‌ها و پشته‌های بادهای غربی در منطقه مدیترانه انجام شد. نتایج حاصل از تحلیل داده‌های بارش و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ماهانه به وضوح نشان داد که موقعیت مکانی این سامانه‌ها به‌طور چشمگیری بر شدت و گستره خشکسالی‌ها در ایران تأثیر می‌گذارد. هرگونه تغییر موقعیت و کاهش یا افزایش طول موج آنها در موج محل مدیترانه‌ای بادهای غربی بر اقلیم و رخداد بارش در جنوب غرب آسیا و ایران اثرگذار است.

در راستای دستیابی به هدف‌های پژوهش مشخص شد که در دوره‌هایی که خشکسالی‌های فراگیر در ایران رخ داده، ناوه‌های مدیترانه به سمت شرق اطلس و غرب مدیترانه جابه‌جا و عمیق‌تر شده است. این تغییرات از طرفی، منجر به تشکیل پشته‌های قوی در شرق مدیترانه شده و از طرف دیگر، از ورود سامانه‌های بارشی به ایران جلوگیری کرده و در نهایت، خشکسالی‌های فراگیر را به دنبال داشته است. هرچقدر محور این ناوه به سمت مرکز مدیترانه جابه‌جا شود، محور پشته شرقی به سمت غرب ایران گسترش بیشتری می‌یابد که این خود خشکسالی‌های کاملاً فراگیر را برای ایران در پی خواهد داشت. در این حالت، مرکز پراارتفاع جنوب غرب آسیا در هنگام نفوذ به عرض‌های بالا به‌گونه‌ای به سوی غرب جابه‌جا می‌شود که منجر به ایجاد یک پشته قوی روی ایران می‌شود.

در مقابل، در دوره‌هایی که گستره خشکسالی اندک بوده، محور ناوه مدیترانه در شرق (محلی با فراوانی بالای پیچانه‌های تراز میانی جو در منطقه است) و حتی روی خشکی‌های جنوب غرب آسیا مستقر می‌شود. در چنین شرایطی محور پشته عکس رخداد خشکسالی‌های گسترده در مدیترانه غربی فعال می‌شود.

در نتایج پژوهش حاضر این نکته تأیید شد که روند موقعیت مکانی حد جنوبی و شمالی محور ناوه و پشته در ماه‌های مختلف حاکی از هماهنگی بالای این جابه‌جایی‌ها با روند گستره خشکسالی‌های ماهانه است. جابه‌جایی حد شمالی پشته‌ها در ماه‌های اکتبر، آوریل، می و به‌طور ویژه، نوامبر به سمت غرب و تا حدودی شمال موقعیت میانگین خود به‌همراه جابه‌جایی شرق‌سوی حد جنوبی ناوه‌ها در همان ماه‌ها با کاهش گستره خشکسالی در ماه‌های مذکور هماهنگ است. این شرایط باعث نفوذ بیشتر بادهای غربی، عقب‌نشینی پرفشار جنب‌حاره و به‌دنبال آن شار رطوبت مناسب با جریان‌های جنوب غربی، رخداد بارش و در نتیجه، کاهش گستره خشکسالی شده است. در مقابل، جابه‌جایی ناوه به غرب و جنوب غرب میانگین موقعیت خود ناوه شرق اطلس را عمیق‌تر کرده است که این شرایط باعث ایجاد پشته قوی در شرق مدیترانه و عدم ورود سامانه‌های بارش‌زا به منطقه جنوب غرب آسیا و ایران می‌شود. این نتایج می‌تواند به درک روش‌تری از تأثیر خشکسالی ایران از موقعیت مکانی ناوه‌ها و پشته‌های بادهای غربی در منطقه مدیترانه که خود متأثر از رفتار گردش جو و نمایه‌های آن مانند NAO و AO است، کمک کند.

## منابع

- احمدی‌گیوی، فرهنگ، و نصرافهانی، محمدعلی (۱۳۸۲). مطالعه چرخندهای مدیترانه در دوره یک‌ساله و تأثیر آن بر آب‌وهوای خاورمیانه. *فیزیک زمین و فضا*، ۲۹(۲)، ۶۶-۷۸.
- [https://jesphys.ut.ac.ir/article\\_10842.html?lang=fa](https://jesphys.ut.ac.ir/article_10842.html?lang=fa)
- اسعدی، علی، احمدی‌گیوی، فرهنگ، قادر، سرمد، و محب‌الحجه، علیرضا (۱۳۹۰). بررسی دینامیک مسیر توفان مدیترانه از دیدگاه شار فعالیت موج راسبی. *ژئوفیزیک ایران*، ۵(۴)، ۳۱-۴۵.
- [https://www.ijgeophysics.ir/article\\_40731.html?lang=fa](https://www.ijgeophysics.ir/article_40731.html?lang=fa)
- بروغنی، مهدی، مرادی، حمیدرضا، و زنگنه اسدی، محمدعلی (۱۳۹۴). پهنه‌بندی و تعیین بهترین شاخص خشکسالی در استان خراسان رضوی. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۶(۱۹)، ۷۰-۸۴.
- [https://jargs.hsu.ac.ir/article\\_161383.html](https://jargs.hsu.ac.ir/article_161383.html)
- پروین، نادر (۱۳۹۰). الگوهای سینوپتیکی شدیدترین خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۶(۱)، ۸۹-۱۰۷.
- [https://jgr.ui.ac.ir/article\\_17885.html](https://jgr.ui.ac.ir/article_17885.html)
- پروین، نادر (۱۳۹۶). بررسی مرکز تغییرات تراز میانی جو مؤثر بر روزهای خشک در حوضه آبریز زاب کوچک با استفاده از PCA. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۷(۴۶)، ۲۳-۴۳.
- <https://jgs.khu.ac.ir/article-1-2834-fa.html>
- پوراصغر، فرناز، قائمی، هوشنگ، جهانبخش، سعید، و ساری صراف، بهروز (۱۳۹۶). تأثیر دمای سطح آب اقیانوس هند بر تغییرات بارش نیمه جنوبی کشور. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۸(۲)، ۱۴۵-۱۶۶.
- <https://doi.org/10.22108/gep.2017.98103.0>
- جعفری‌گلو، منصور، خوش‌اخلاق، فرامرز، و اوجی، روح‌الله (۱۳۸۸). موقعیت و فراوانی فصلی مسیره‌های چرخندی در ترسالی‌های غرب میانی ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۱(۶۸)، ۷۱-۸۴.
- [https://jpghr.ut.ac.ir/article\\_21497.html](https://jpghr.ut.ac.ir/article_21497.html)

جلیلیان، آذر، و ذوالفقاری، حسن (۱۴۰۳). کاربرد نرم‌افزار IDV در تحلیل‌های هم‌دید-دینامیک شار رطوبت بارش‌های سنگین. *دگرگونی‌ها و مخاطرات آب‌وهوایی*، ۳(۵)، ۲۲۹-۲۵۴.

[https://cccd.znu.ac.ir/article\\_714762.html](https://cccd.znu.ac.ir/article_714762.html)

حجازی‌زاده، زهرا، دارند، محمد، علیجانی، بهلول، ناصرزاده، محمدحسین، و میرزایی، نبی (۱۴۰۳). واکاوی تغییرات گردش جوی مؤثر بر تأخیر زمانی بارش فراگیر و مؤثره پاییزه. *دگرگونی و مخاطرات آب‌وهوایی*، ۳(۵)، ۲۷-۶۴.

[https://cccd.znu.ac.ir/article\\_714756.html](https://cccd.znu.ac.ir/article_714756.html)

حجازی‌زاده، زهرا (۱۳۷۶). بررسی سینوپتیکی نرمال پرفشار جنب‌حاره. *رشد آموزش جغرافیا*، (۴۵)، ۲۰-۲۵.

<https://ensani.ir/fa/article/147595>

حجازی‌زاده، زهرا، پژوه، فرشاد، و شکیب، هانیه (۱۴۰۰). واکاوی و مقایسه چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین بهترین شاخص در جنوب شرق ایران. *جغرافیا*، ۱۹(۶۸)، ۱-۲۶.

[https://mag.iga.ir/article\\_245211.html?lang=fa](https://mag.iga.ir/article_245211.html?lang=fa)

حجازی‌زاده، زهرا، جعفرپور، زین‌العابدین، و پروین، نادر (۱۳۸۶). بررسی و شناسایی الگوهای سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مولد سیلاب‌های مخرب و فراگیر سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)*، ۷(۵)، ۱۲۵-۱۵۵.

<https://jgs.khu.ac.ir/article-1-545-fa.html>

حیدری، سوسن، کریمی، مصطفی، عزیزی، قاسم، و شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۴۰۲). کمی‌سازی، چالش اولیه ارزیابی و مدیریت ریسک خشکسالی. *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۱۱(۱)، ۱۹۲-۲۰۶.

<https://doi.org/10.22034/grd.2023.20370.1588>

حیدری، محمدامین، و خوش‌اخلاق، فرامرز (۱۳۹۷). واکاوی اثر گرمایش جهانی بر منطقه کم‌فشار سودان دریای سرخ و ارتباط آن با بارش‌های جنوب غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۹(۲)، ۹۱-۱۱۲.

<https://doi.org/10.22108/gep.2018.97982.0>

خسروی، محمود، موقری، علیرضا، و منصوری دانشور، محمدرضا (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های PNI, RAI, SIP و SPI برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی ایران با مقایسه دو روش درونیابی IDW و مدل ارتفاعی رقومی DEM.

[https://ges.razi.ac.ir/article\\_200.html](https://ges.razi.ac.ir/article_200.html)، ۲(۴)، ۵۳-۷۰.

خسروی، محمود، موحدی، سعید، هاشمی‌عنا، سیدکرامت، و حیدری، بهروز (۱۳۹۳). بررسی هم‌دید کنش‌های چرخندی ترازهای مختلف جوی ایران در سال ۱۳۶۹. *جغرافیا و توسعه*، ۱۲(۳۵)، ۸۳-۹۶.

<https://doi.org/10.22111/gdij.2014.1556>

خوش‌اخلاق، فرامرز، کریمی احمدآباد، مصطفی، جاسمی، سید میثم، و کاک، سیف‌الله (۱۳۹۹). واکاوی آماری-هم‌دید تغییرپذیری آب‌وهواشناختی رژیم بارش غرب میانی ایران با تأکید بر رخداد خشکسالی. *پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی*، ۱(۱)، ۶۲-۸۲.

<https://doi.org/10.30488/ccr.2020.235986.1004>

خوش‌اخلاق، فرامرز (۱۳۷۷). تحقیق در خشکسالی‌های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل‌های سینوپتیک [رساله منتشر شده دکتری]. دانشگاه تبریز.

خوش‌اخلاق، فرامرز، قائمی، هوشنگ، و زاهدی، مجید (۱۳۷۶). بررسی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در

ایران. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲(۱۲)، ۱۳۶-۱۵۴. <https://ensani.ir/fa/article/233348>

خوش اخلاق، فرامرزی، عزیزی، قاسم، و رحیمی، مجتبی (۱۳۹۱). الگوهای همدید خشکسالی و ترسالی زمستانه در جنوب غرب ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۲ (۲۵)، ۵۷-۷۷.

<https://jgs.khu.ac.ir/article-1-652-fa.html>

دلدارزهی، زاهد، محمودی، پیمان، و خسروی، محمود (۱۴۰۲). سازوکارهای انتقال رطوبت دریای عرب در خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران. *جغرافیا و برنامه و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۵ (۱)، ۴۵-۷۲.

<https://doi.org/10.22108/gep.2023.136560.1571>

رضائیان، مهتاب، محب‌الحجه، علیرضا، احمدی‌گیوی، فرهنگ، و نصراصفهان‌ی، محمدعلی (۱۳۹۳). تحلیل آماری-دینامیکی رابطه بین مسیر توفان مدیترانه و نوسان اطللس شمالی بر مبنای فرایافت فعالیت موج. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۰ (۲)، ۱۳۹-۱۵۲.

<https://doi.org/10.22059/jesphys.2014.50639>

رضیئی، طیب، عزیزی، قاسم، محمدی، حسن، و خوش اخلاق، فرامرزی (۱۳۸۹). الگوهای روزانه گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی ایران و خاورمیانه. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۲ (۴)، ۱۷-۳۴.

[https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_22200.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_22200.html)

رضیئی، طیب، مفیدی، عباس، و رزین، 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)، ۱۲۱-۱۴۱.

<https://doi.org/10.22059/jesphys.2009.79975>

رئسی، واحد، و محمودی، پیمان (۱۴۰۲). بررسی ساختار سه بُعدی چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر و شمال غرب ایران با منشا دریای مدیترانه در دوره سرد سال. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۴۰۲ (۵۴)، ۱۴۹-۱۷۳.

[https://clima.irimo.ir/article\\_178897.html](https://clima.irimo.ir/article_178897.html)

شریف، مرتضی، عبداللهی، عطاالله، حیدری، سوسن، و کیانی، ابوذر (۱۴۰۲). پایش پنجاه سال تغییرات جنگل‌های کران‌رودی شهرستان گتوند با استفاده از تصاویر سنجنش از راه دور. *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۳۱ (۳)، ۲۰۳-۲۲۴.

[https://ijfpr.areeo.ac.ir/article\\_129970\\_en.html?lang=fa](https://ijfpr.areeo.ac.ir/article_129970_en.html?lang=fa)

صلاحی، برومند، و عالی جهان، مهدی (۱۳۹۲). تحلیل سینوپتیک مخاطرات اقلیمی شهرستان یاسوج (مطالعه موردی: بارش سنگین ۲۰ اسفند). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲ (۱)، ۷۳-۹۰.

<https://doi.org/10.22067/geo.v2i1.18679>

عساکره، حسین، و خجسته، آتوسا (۱۴۰۰). فراوانی ورود چرخندهای مدیترانه‌ای به ایران و اثر آنها بر بارش‌های فراگیر. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۰ (۲۷)، ۱۵۹-۱۷۶.

<https://doi.org/10.22111/jneh.2020.33171.1632>

عطایی، هوشمند (۱۳۸۸). بررسی الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جو در سال‌های کم‌بارش ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۰ (۱)، ۴۳-۵۸.

<https://ensani.ir/fa/article/23971>

علیجان‌ی، بهلول (۱۳۷۸ الف). *نوسانات مکانی و زمانی ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در مدیترانه و اثر آن بر اقلیم ایران در ماه فوریه*. دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور، تهران.

<https://civilica.com/doc/11741>

علیجان‌ی، بهلول (۱۳۷۸ ب). *بررسی سینوپتیک الگوهای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در خاورمیانه در دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ نیوار*، ۱ (۴۵-۴۴)، ۷-۲۹.

<https://www.sid.ir/paper/447944/fa>

- علی‌جان، بهلول (۱۳۷۴). *آب‌وهوای ایران*. انتشارات دانشگاه پیام‌نور.
- علی‌جان، بهلول، و دوستان، رضا (۱۳۹۱). شناسایی کانون‌های کنترل‌کننده اقلیم و الگوهای فشار مربوط در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال جو ایران در دوره سرد سال. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱۰(۲)، ۲۵۵-۲۷۹.  
<https://doi.org/10.22067/geography.v0i0.23259>
- علی‌جان، بهلول، و نظاماتی، حسین (۱۳۹۶). بررسی تغییرات مکانی فرود مدیترانه. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۸(۲)، ۷۹-۹۲.  
<https://doi.org/10.22108/gep.2017.97959.0>
- علی‌دادی، معصومه (۱۳۸۹). *تاوه قطبی و نقش آن در تعیین نوع و مقدار بارش در غرب میانی ایران* [پایان‌نامه منتشر نشده کارشناسی ارشد]. دانشگاه تهران.
- علیزاده، تیمور، عزیزی، قاسم، و ایمان، روستا (۱۳۹۱). واکاوی الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جو هنگام رخداد بارش‌های فراگیر و غیرفراگیر در ایران. *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۱۶(۴)، ۱-۲۴.  
<https://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-7724-fa.html>
- فاطمی، مهران، امیدوار، کمال، نارنگی فرد، مهدی، و حاتمی بیگلر خدایم، بهمن (۱۳۹۴). شناخت الگوهای هم‌دید مؤثر بر دوره‌های ترسالی و خشکسالی در ایران مرکزی. *جغرافیای طبیعی*، ۱۹(۲۹)، ۱۹-۴۰.  
[https://journals.iau.ir/article\\_521374.html](https://journals.iau.ir/article_521374.html)
- فروتن، مهدی، و صلاحی، برومند (۱۴۰۲). واکاوی هم‌دید امواج سرمایی شهر اردبیل و برآورد دوره‌های بازگشت و تغییرات آن در سال‌های آینده. *جغرافیا و روابط انسانی*، ۵(۴)، ۳۵۲-۳۶۹.  
<https://doi.org/10.22034/gahr.2023.382838.1800>
- کاشکی، عبدالرضا، حسینی، سیدمحمد، زندی، رحمان، و حاجی‌محمدی، حسن (۱۴۰۱). بررسی ماهواره‌ای-هم‌دید بارش‌های فراگیر برف در غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۶(۸۲)، ۱۸۹-۲۱۰.  
<https://doi.org/10.22034/gp.2021.48741.2914>
- کریمی احمدآباد، مصطفی، خوش‌اخلاق، فرامرز، شمسی‌پور، علی‌اکبر، و نوروزی، فهیمه (۱۳۹۸). الگوهای گردشی پراارتفاع جنب حارهای عربستان در تراز میانی و ارتباط آن با بارش ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۳(۶۹)، ۲۳۳-۲۵۵.  
[https://journals.tabrizu.ac.ir/article\\_9961.html](https://journals.tabrizu.ac.ir/article_9961.html)
- کریمی احمدآباد، مصطفی، جعفری مهناز، خوش‌اخلاق، فرامرز، و بازگیر، سعید (۱۳۹۸). نقش تغییرات رطوبت انتقال یافته در رخداد خشکسالی و ترسالی ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۱(۴)، ۵۴۵-۵۶۵.  
<https://doi.org/10.22059/jphgr.2019.244445.1007134>
- کریمی، مصطفی، و حیدری، سوسن (۱۴۰۲). تغییرپذیری و روند تغییرات شدت-گستره ترسالی و خشکسالی در ایران. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۶)، ۱۲۹-۱۵۰.  
<https://doi.org/10.22111/jneh.2022.42519.1905>
- کیانیان، محمدکیا، حاجی محمدی، حسن، کابلی، سیدحسن، مشکئی، علیرضا، و عسگری، حمیدرضا (۱۳۹۷). مطالعه و شناسایی الگوهای دینامیکی هم‌دید مؤثر بر رخداد خشکسالی‌های استان سمنان. *آمایش جغرافیایی فضا*، ۸(۲۸)، ۱۹-۳۲.  
[https://gps.gu.ac.ir/article\\_70616.html](https://gps.gu.ac.ir/article_70616.html)

کیانیان، محمدکیا، صالح پورجم، امی، حاجی محمدی، حسن، و رسولی، فهمیه (۱۳۹۵). بررسی و ارتباط خشکسالی و ترسالی های غرب ایران با الگوهای سینوپتیکی جو. *آمایش جغرافیایی فضا*، ۶(۲۲)، ۱۷۵-۱۹۱.

[https://gps.gu.ac.ir/article\\_44777.html](https://gps.gu.ac.ir/article_44777.html)

گوهری، فاطمه، حاجی محمدی، حسن، و حاجیوند پایداری، سمیه (۱۴۰۱). شناسایی مکانسیم جوئی حاکم بر رخداد ناهنجاری های شدید بارشی شرق ایران. *پژوهش های تغییرات آب و هوایی*، ۳(۱۰)، ۳۳-۴۶.

<https://doi.org/10.30488/cer.2022.341170.1079>

لشکری، حسن، متکان، علی اکبر، آزادی، مجید، و محمدی، زینب (۱۳۹۶). تحلیل همدید نقش پرفشار جنب حاره ای عربستان و رودباد جنب حاره ای در خشکسالی های شدید جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش های دانش زمین*،

۱(۲)، ۱۶۳-۱۴۱. [https://esrj.sbu.ac.ir/article\\_96278.html?lang=fa](https://esrj.sbu.ac.ir/article_96278.html?lang=fa)

محمدنژاد، علیرضا، احمدی گیوی، فرهنگ، و ایران نژاد، پرویز (۱۳۹۲). اثر سامانه های مدیترانه ای بر خشکسالی غرب ایران. *فیزیک فضا و زمین*، ۳۹(۳)، ۹۷-۱۱۰. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35601>

محمودی، پیمان، حمیدیان پور، محسن، و سنایی، مهدی (۱۴۰۱ الف). ویژگی های هم گرایی شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی ها و ترسالی های فراگیر ایران. *پژوهش های اقلیم شناسی*، ۱۴۰۱(۵۲)، ۱۴۳-۱۶۸.

[https://clima.irimo.ir/article\\_172925.html](https://clima.irimo.ir/article_172925.html)

محمودی، پیمان، طاوسی، تقی، و کردی تمندانی، صابره (۱۴۰۱ ب). شناسایی الگوهای ناهنجاری های هم دیدی منجر به خشکسالی ها و ترسالی های فراگیر ایران. *پژوهش جغرافیایی طبیعی*، ۵۴(۱)، ۱-۲۰.

[https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_85752.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_85752.html)

مرادی، حمیدرضا (۱۳۸۱). تحلیل هم دیدی بارش های ساحل جنوبی دریای خزر در شش ماه سرد سال. *علوم و فنون دریایی*، ۱(۲)، ۶۱-۷۲. <http://document.unaux.com/45641/amp>

مرادی، حمیدرضا، و خیراندیش، محمد (۱۳۸۰). تاوه قطبی تأثیر آن بر روی بارش های کشور. *نیوار*، (۴۳-۴۲)، ۸۳-۱۰۰. <https://www.sid.ir/paper/431348/fa>

ملاشرفی، آمنه، محب الحجه، علیرضا، و احمدی گیوی، فرهنگ (۱۳۹۸). مطالعه اثر نوسان اطلس شمالی بر رابطه بین مسیرهای توفان اطلس شمالی و مدیترانه با استفاده از داده های بازتحلیل NCEP/NCAR و JRA-55. *فیزیک*

*زمین و فضا*، ۴۵(۲)، ۴۲۳-۴۴۰. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2019.267521.1007050>

موسوی بایگی، محمد، و اشرف، بتول (۱۳۹۰). مطالعه الگوهای سینوپتیکی منجر به خشکسالی های پاییزه و زمستانه.

*پژوهش های حفاظت آب و خاک*، ۱۸(۴)، ۱۶۷-۱۸۴. [https://jwsc.gau.ac.ir/article\\_183.html](https://jwsc.gau.ac.ir/article_183.html)

میرزایی، نبی، علیجانی، بهلول، حجازی زاده، زهرا، دارند، محمد، و ناصرزاده، محمدحسین (۱۴۰۲). اثر تغییرات گردش های جوئی عرض های میانی بر موقعیت ناوه مدیترانه و رخداد بارش های فوق سنگین ایران. *فیزیک زمین*

*و فضا*، ۵۰(۲)، ۵۴۰-۵۲۱. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2024.367094.1007571>

یاراحمدی، داریوش، و مریانجی، زهره (۱۳۹۰). تحلیل الگوی دینامیکی و هم دیدی بارش های سنگین در جنوب

غرب خزر و غرب ایران (مطالعه موردی: بارش ۱۴/۸/۱۳۸۳). *پژوهش های جغرافیایی*، ۴۳(۷۶)، ۱۰۵-۱۲۰.

[https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_23073.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_23073.html)

یوسفی، مسعود، انصاری، حسین، مساعدی، ابوالفضل، و صمدی، سیده زهرا (۱۳۹۶). بررسی تأثیر ناحیه آب‌وهوایی بر میزان همبستگی تعدادی از پارامترهای هواشناسی با شاخص‌های خشکسالی هواشناسی. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۳(۳)، ۱۹۷-۱۹۴. [https://www.iwrr.ir/article\\_42702.html](https://www.iwrr.ir/article_42702.html)

## References

- Ahmadi Givi, F., & Nasrasafhani, Ma. (2012). A study of the mediterranean gyres in a one-year period and its effect on the climate of the Middle East (2003). *Journal of the Earth and Space Physics*, 9(2), 66-78. [https://jesphys.ut.ac.ir/article\\_10842.html?lang=fa](https://jesphys.ut.ac.ir/article_10842.html?lang=fa) [In Persian].
- Alidadi, M. (2010). *Polar vortex and its role in determining the type and amount of precipitation in the middle west of Iran* [Unpublished Doctoral dissertation], University of Tehran. [In Persian].
- Alijani, B. (1995). *Climate of Iran*. Payame Noor university publications. [In Persian].
- Alijani, B. (1999a). *Spatial and temporal fluctuations of the surface height of 500 hPa in the mediterranean and its effect on Iran's climate in February*. The Second Regional Climate Change Conference, Iran Meteorological Organization, Tehran. <https://civilica.com/doc/11741> [In Persian].
- Alijani, B. (1999b). A synoptic survey of 500 hectopascal surface patterns in the Middle East during 1961-1990. *Newar*, 1(44-45), 7-29. <https://www.sid.ir/paper/447944/fa> [In Persian].
- Alijani, B. (2002). Variations of 500 hPa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with the climate of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 72, 41-54. <https://doi.org/10.1007/s007040200011>
- Alijani, B., & Doostan, R. (2013). Identifying the controlling centers of the climate of Iran and their pressure patterns in the 500 hPa level during cold period of the year. *Journal of Geography and Regional Development*, 10(2), 255-279. <https://doi.org/10.22067/geography.v0i0.23259> [In Persian].
- Alijani, B., & Nezamati, H. (2017). Spatial and temporal analysis of the mediterranean trough. *Geography and Environmental Planning*, 28(2), 79-92. <https://doi.org/10.22108/gep.2017.97959.0> [In Persian].
- Alizadeh, T., Azizi, Q., & Rosta, I. (2011). Analyzing circulation patterns at the 500 haP level of the atmosphere during widespread and non-pervasive rainfall events in Iran. *Space Planning and Preparation*, 16(4), 1-24. <https://hsm.sp.modares.ac.ir/article-21-7724-fa.html> [In Persian].
- Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Yekutieli, D., Colacino, M., Diodato, L., Ramis, C., Homar, V., Romero, R., & Michaelides, S. (2002). The paradoxical increase of mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29(11), 1-4. <https://doi.org/10.1029/2001GL013554>
- Asadi, A., Ahmadi-Givi, F., Ghader, S., & Mohebalhojeh, A. (2016). Dynamic analysis of the mediterranean storm track using Rossby wave activity and fluxes. *Iranian Journal of Geophysics*, 5(4), 31-45. [https://www.ijgeophysics.ir/article\\_40731.html?lang=fa](https://www.ijgeophysics.ir/article_40731.html?lang=fa) [In Persian].
- Asakereh, H., & Khojasteh, A. (2021). Frequency of entrance mediterranean cyclones to Iran and their impact on widespread precipitation. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(27), 159-176. <https://doi.org/10.22111/jneh.2020.33171.1632> [In Persian].
- Atai, H. (2008). Investigating the circulation patterns of the 500 hectopascal level of the atmosphere in the years of low rainfall in Iran. *Geography And Environmental Planning*. 20(1), 43-58. <https://ensani.ir/fa/article/23971> [In Persian].
- Azari, M., Oliaye, A., & Nearing, M. A. (2021). Expected climate change impacts on rainfall erosivity over Iran based on CMIP5 climate models. *Journal of Hydrology*, 593, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125826>
- Bengtsson, L., Hodges, K.I., & Roeckner, E. (2006). Storm tracks and climate change. *Journal of Climate*, 19(15), 3518-3543. <https://doi.org/10.1175/JCLI3815.1>
- Boroghani, M., Moradi, H., & Zangane Asadi, M. (2015). Zoning and determination of the best index in khorasan razavi. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 6(19), 70-84. [https://jargs.hsu.ac.ir/article\\_161383.html](https://jargs.hsu.ac.ir/article_161383.html) [In Persian].



- Campins, J., Jansà, A., & Genovés, A. (2006). Three-dimensional structure of western mediterranean cyclones. *International Journal of Climatology*, 26(3), 323-343. <https://doi.org/10.1002/joc.1275>
- de Vries, A.J., Tyrlis, E., Edry, D., Krichak, S.O., Steil, B., & Lelieveld, J. (2013). Extreme precipitation events in the Middle East: Dynamics of the Active red sea trough. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(13), 7087-7108. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50569>
- Deldarzehi, Z., Mahmoudi, P., & Khosravi, M. (2024). Arabian sea's moisture transfer mechanisms in pervasive dry and wet periods of Iran. *Geography and Environmental Planning*, 35(1), 45-72. <https://doi.org/10.22108/gep.2023.136560.1571> [In Persian].
- Enfield, D.B., Mestas-Nuñez, A.M., & Trimble, P.J. (2001). The atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental US. *Geophysical Research Letters*, 28(10), 2077-2080. <https://doi.org/10.1029/2000GL012745>
- Fatemi, M., Omidhar, K., Narangi Fard, M., & Hatami Biglou Khodakarm, B. (2014). Recognizing the synoptic patterns affecting drought and drought periods in central Iran. *Natural Geography*, 8(29), 19-40. [https://journals.iau.ir/article\\_521374.html](https://journals.iau.ir/article_521374.html) [In Persian].
- Flocas, H.A., Simmonds, I., Kouroutzoglou, J., Keay, K., Hatzaki, M., Bricolas, V., & Asimakopoulos, D. (2010). On cyclonic tracks over the eastern mediterranean. *Journal Of Climate*, 23(19), 5243-5257. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3426.1>
- Foroutan, M., & Salahi, B. (2023). Synopsis analysis of cold waves in Ardabil city and estimation of return periods and its changes in the coming years. *Geography And Human Relationships*, 5(4), 352-369. <https://doi.org/10.22034/gahr.2023.382838.1800> [In Persian].
- Galton, F. (1886). Regression towards mediocrity in hereditary stature. *The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 15, 246-263. <https://doi.org/10.2307/2841583>
- Gohari, F., Haji Mohammadi, H., & Hajivandpaydari, S. (2022). Identification of atmospheric mechanism governing the occurrence of severe rainfall anomalies in eastern Iran. *Climate Change Research*, 3(10), 33-46. <https://doi.org/10.30488/ccr.2022.341170.1079> [In Persian].
- Harman, H.H. (1976). *Modern factor analysis*. University of Chicago press.
- Hasanean, H., & Almazroui, M. (2015). Rainfall: Features and variations over Saudi Arabia a review. *Climate*, 3(3), 578-626. <https://doi.org/10.3390/cli3030578>
- Heidari, M. A., & Khoshakhlagh, F. (2019). Examining the effect of climate change on Sudan-Red Sea low-pressure region and its relation with precipitation in the southwest of Iran. *Geography And Environmental Planning*, 29(2), 91-112. <https://doi.org/10.22108/gep.2018.97982.0> [In Persian].
- Heidari, S., Karimi, M., Azizi, G., & Shamsipour, A. (2023). Quantification the first challenge of drought risk assessment and management. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 11(1), 192-206. <https://doi.org/10.22034/grd.2023.20370.1588> [In Persian].
- Hejazizadeh, Z. (1998). Synoptic investigation of normal high pressure. *Development of Geography Education*, (45), 20-25. <https://ensani.ir/fa/article/147595> [In Persian].
- Hejazizadeh, Z., Darand, M., alijani, B., naserzadeh, M. H., & mirzaei, N. (2024). Investigation variation in atmospheric circulation affecting the time delay of comprehensive and effective autumn precipitation. *Climate Change and Climate Disaster*, 3(5), 27-64. [https://cccd.znu.ac.ir/article\\_714756.html](https://cccd.znu.ac.ir/article_714756.html) [In Persian].
- Hejazizadeh, Z., Jafarpour, Z., & Parveen, N. (2006). Investigation and identification of synoptic patterns of level 500 hectopascals generating destructive and widespread floods in the catchment area of Lake Urmia. *Applied Research of Geographical Sciences (Geographical Sciences)*, 7(10), 155-125. <https://jgs.khu.ac.ir/article-1-545-fa.html> [In Persian].
- Hejazizadeh, Z., Pajooh, F., & Shakiba, H. (2021). Analyzing the accuracy of drought indicators and determining the best climatic indicators in southeastern Iran. *Geography*, 19(68), 5-21. [https://mag.iga.ir/article\\_245211.html?lang=fa](https://mag.iga.ir/article_245211.html?lang=fa) [In Persian].
- Holton, J.R. (2004). *An introduction to dynamic meteorology*. Elsevier academic press.
- Huang, W., Chen, F., Feng, S., Chen, J., & Zhang, X. (2013). Interannual precipitation variations in the mid-latitude Asia and their association with large-scale atmospheric circulation. *Chin. Sci. Bull*, 58, 3962-3968. <https://doi.org/10.1007/s11434-013-5970-4>

- Jafarbeglou, M., Khoshakhlagh, F., & Ouji, R. (2010). Seasonal location and frequency of cyclonic tracks in wet periods of midwest of Iran. *Physical Geography Research*, 41(68), 71-84. [https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_21497.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_21497.html) [In Persian].
- Jalilian, A., & Zolfaghari, H. (2024). The use of IDV software in synoptic-dynamic analysis of moisture flux of heavy Rainfalls (Case study: Heavy rainfalls from 25 to 30 february 2015 in Iran). *Climate Change and Climate Disaster*, 3(5), 229-254. [https://cccd.znu.ac.ir/article\\_714762.html](https://cccd.znu.ac.ir/article_714762.html) [In Persian].
- Karimi Ahmadabad, M., Jafari, M., Khoshakhlagh, F., & Bazgir, S. (2019a). The role of transmitted moisture changes in occurrence of drought and wet years in Iran. *Physical Geography Research*, 51(4), 545-562. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2019.244445.1007134> [In Persian].
- Karimi, M., & Heidari, S. (2023). Variability and trend of changes in the severity-area of drought and wet in Iran. *Journal Of Natural Environmental Hazards*, 12(36), 129-150. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.42519.1905> [In Persian].
- Karimi, M., Jafari, M., Bazgeer, S., Khoshakhlagh, F., & Moghbel, M. (2022). Comparison of annual moisture flux variability during dry and wet years over Iran. *Water Resources*, 49(6), 959-972. <https://doi.org/10.1134/S0097807822060057>
- Karimi, M., Khoshakhlagh, F., Shamsi Por, A. A., & Noruzi, F. (2019b). Arabian subtropical high pressure circulation patterns in the middle troposphere and its relationship with Iran's precipitation. *Journal of Geography and Planning*, 33(69), 233-255. [https://journals.tabrizu.ac.ir/article\\_9961.html](https://journals.tabrizu.ac.ir/article_9961.html) [In Persian].
- Kashki, A., Hosseini, S. M., Zandi, R., & Hajimohammadi, H. (2022). Survey of snow coverage satellites in western Iran. *Geography and Planning*, 26(82), 819-210. <https://doi.org/10.22034/gp.2021.48741.2914> [In Persian].
- Khoshakhlagh, F. (1998). *Research in widespread droughts in Iran using synoptic analysis* [Unpublished Doctoral dissertation]. University of Tabriz. [In Persian]
- Khoshakhlagh, F., Karimi Ahmad Abad, M., Jasemi, S. M., & Kaki, S. (2020). Statistical - Synoptic analysis on the climatic variability of the rainfall regime in the mid-west of Iran with emphasis on the occurrence of severe droughts. *Climate Change Research*, 1(1), 63-82. <https://doi.org/10.30488/ccr.2020.235986.1004> [In Persian].
- Khoshakhlagh, F., Azizi, Q., Rahimi, M. (2011). Coexistence patterns of drought and winter drought in southwest Iran. *Applied Research in Geographical Sciences*, 12(25), 57-77. <https://jgs.khu.ac.ir/article-1-652-fa.html> [In Persian].
- Khoshakhlagh, F., Ghaemi, H. & Zahadayi, M. (1997). Investigating the monthly patterns of drought and drought in Iran. *Geographical Research*, 2(12), 154-136. <https://ensani.ir/fa/article/233348> [In Persian].
- Khosravi, M., Movahedi, S., Hashemiana, S. K., & Heydari, B. (2014). A Synoptic Analysis of Cyclonic Activities at Different Levels of Iran Atmosphere Case study: Year 1990. *Geography and Development*, 12(35), 83-96. <https://doi.org/10.22111/gdij.2014.1556> [In Persian].
- Khosravi, M., Movaqqari, A., & Mansouri Daneshvar, M. R. (2013). Evaluating the PNI, RAI, SIP and SPI indices in mapping drought intensity of Iran: Comparing the interpolation method and digital elevation model (DEM). *Geography and Environmental Sustainability*, 2(5), 53-70. [https://ges.razi.ac.ir/article\\_200.html](https://ges.razi.ac.ir/article_200.html) [In Persian].
- Kianian, M. K., Haji Mohamdi, H., Kaboli, S. H., Meshki, A. R., & Asgari, H. R. (2018). Studying and identifying of dynamic synoptic patterns affecting droughts occurrence in semnan province. *Geographical Planning of Space*, 8(28), 19-32. [https://gps.gu.ac.ir/article\\_70616.html](https://gps.gu.ac.ir/article_70616.html) [In Persian].
- Kianian, M.K., Saleh Pourjam, A., Haji Mohammadi, H., & Rasouli, F. (2017). Review and relationship between western Iranian wet years and drought and atmospheric synoptic patterns. *Geographical Planning of Space*, 6(22), 175-192. [https://gps.gu.ac.ir/article\\_44777.html](https://gps.gu.ac.ir/article_44777.html) [In Persian].
- Kiany, M. S. K., Balling Jr, R. C., Cervený, R. S., & Krahenbuhl, D. S. (2018). Diurnal variations in seasonal precipitation in Iran from TRMM measurements. *Advances In Space Research*, 62(9), 2418-2430. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.07.003>

- Kutiel, H., Maheras, P., & Guika, S. (1998). Singularity of atmospheric pressure in the eastern mediterranean and its relevance to interannual variations of dry and wet spells. *International Journal of Climatology: A Journal Of The Royal Meteorological Society*, 18(3), 317-327. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19980315\)18:3%3C317::AID-JOC246%3E3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19980315)18:3%3C317::AID-JOC246%3E3.0.CO;2-Z)
- Lashkari, H., Mutkan, AA., Azadi, M., & Mohammadi, Z. (2017). Synoptic analysis of the role of Saudi Arabia subtropical high pressure subtropical and polar jet streams and severe droughts in south and south west of Iran. *Researches in Earth Sciences*, 8(2), 141-163. [https://esrj.sbu.ac.ir/article\\_96278.html?lang=fa](https://esrj.sbu.ac.ir/article_96278.html?lang=fa) [In Persian].
- Lilach, G., & Yonaton, G. (2023). Middle eastern cloud distillation throughout the holocene-quantified using oxygen isotopes from speleothems and deep-sea cores. *Quaternary Science Reviews*, 307, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108053>
- Lockwood, J.G. (1988). Climate and climatic variability in semi-arid regions at low latitudes. In: Parry, M.L., Carter, T.R., Konijn, N.T. (eds) *The impact of climatic variations on agriculture*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-2965-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2965-4_3)
- Mahmoudi, P., Hamidianpour, M., & Sanaei, M. (2023a). Characteristics of moisture flux convergence in pervasive wet and dry periods in Iran. *Journal of Climate Research*, 13(52), 143-168. [https://clima.irimo.ir/article\\_172925.html](https://clima.irimo.ir/article_172925.html) [In Persian].
- Mahmoudi, P., Tavousi, T., & Kordi Tamandani, S. (2022). Identifying patterns of synoptic anomalies resulting in pervasive droughts and wet periods in Iran. *Physical Geography Research*, 54(1), 1-20. [https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_85752.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_85752.html) [In Persian].
- Mirzaei, N., Alijani, B., Hejazizadeh, Z., Darand, M., & Nasserzadeh, M. H. (2024). The effect of mid-latitude atmospheric circulation changes on the position of the Mediterranean trough and the occurrence of super heavy precipitation in Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(2), 521-540. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2024.367094.1007571> [In Persian].
- Mohammadnejad, A., Ahmadi-Givi, F., & Irannejad, P. (2013). Effect of mediterranean systems on drought in west of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 39(3), 97-110. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35601> [In Persian].
- Mollasharifi, A., Mohebalhojeh, A. R., & Ahmadi-Givi, F. (2019). A study of the impacts of the NAO on the relation between the North Atlantic and Mediterranean storm tracks using the NCEP/NCAR and JRA-55 reanalysis data. *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(2), 423-440. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2019.267521.1007050> [In Persian].
- Moradi, H. (2002). Synoptic analysis of the precipitation of the southern coast of the Caspian Sea in six cold months of the year. *Marine Science and Technology*, 1(2), 61-72. <http://document.unaux.com/45641/amp> [In Persian].
- Moradi, H., & Khairandish, M. (2001). Effect of polar vortex on the country's rainfall. *Newar*, (42-43), 83-100. <https://www.sid.ir/paper/431348/fa> [In Persian].
- Mousavi Baighi, M., & Ashraf, B. (2012). The study of synoptic patterns that caused autumn and winter droughts in Khorasan Razavi province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(4), 167-184. [https://jwsc.gau.ac.ir/article\\_183.html](https://jwsc.gau.ac.ir/article_183.html) [In Persian].
- Nicolaides, K., Michaelides, S. & Karacostas, T. (2004). Spatial distribution of some dynamic parameters during the evolution of selected depressions over the area of Cyprus. *International Journal of Climatology*, 24(14), 1829-1844. <https://doi.org/10.1002/joc.1105>
- Palmen, J. P., & Newton, C. W. (1969). *Atmosphere circulations systems*. Academic Press.
- Parvin, N. (2011). Synoptic patterns of the most severe drought over uremia lake basin. *Geographical Research*, 26(1), 89-108. [https://jgr.ui.ac.ir/article\\_17885.html](https://jgr.ui.ac.ir/article_17885.html) [In Persian].
- Parvin, N. (2016). Investigating the centre of mid-atmospheric changes affecting dry days in the Zab Koch watershed using PCA. *Applied Research in Geographical Sciences*, 17(46), 23-43. <https://jgs.khu.ac.ir/article-1-2834-fa.html> [In Persian].
- Pourasghar, F., Ghaemi, H., Jahanbakhsh, S., & Sarisarraf, B. (2017). Variability of precipitation in southern part of iran and linkage to indian ocean sea surface temperature. *Geography And Environmental Planning*, 28(2), 145-166. <https://doi.org/10.22108/gep.2017.98103.0> [In Persian].

- Raisi, V., & Mahmoudi, P. (2023). Investigating three-dimensional structure of cyclones causing pervasive precipitation in western and northwestern Iran with origin in the mediterranean sea in the cold spells of the year. *Journal of Climate Research*, 14(54), 149-173. [https://clima.irimo.ir/article\\_178897.html](https://clima.irimo.ir/article_178897.html) [In Persian]
- Raziei, T., Azizi, G., Mohammadi, H., & Khoshakhlagh, F. (2011). 500 Hpa Wintertime daily circulation types over Iran and the middle east. *Physical Geography Research*, 42(4), 17-34. [https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_22200.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_22200.html) [In Persian].
- Raziei, T., Bordi, I., Pereira, L.S., Corte-Real, J., & Santos, J.A. (2012). Relationship between daily atmospheric circulation types and winter dry/wet spells in western Iran. *International Journal of Climatology*, 32(7), 1056-1068. <https://doi.org/10.1002/joc.2330>
- Raziei, T., Mofidi, A., & Zarin, A. (2009). The 500 hpa atmospheric centers of action and circulation patterns over the middle east and their relationship with precipitation in Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 35(1), 121-141. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2009.79975> [In Persian].
- Rezaeian, M., Mohebalhojeh, A., Ahmadi-Givi, F., & Nasr-Esfahany, M. (2014). A statistical-dynamical analysis of the relation between the Mediterranean storm track and the north atlantic oscillation based on wave activity diagnostics. *Journal of the Earth and Space Physics*, 40(2), 139-152. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2014.50639> [In Persian]
- Saboochi, R., Soltani, S., & Khodaghohi, M. (2012). Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical And Applied Climatology*, 109, 529-547. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0590-5>
- Salahi, B., & Alijahan, M. (2013). Synoptic analysis of climatic hazards in yasouj municipality: A case study of an episode of heavy rain on 11th March 2011. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 2(1), 73-90. <https://doi.org/10.22067/geo.v2i1.18679> [In Persian].
- Sharif, M., A., Kakroodi, A., Heidari, S., & Kiani, A. (2023). Monitoring fifty-year changes in riparian forests of gotvand county Iran using remote sensing images. *Iranian Journal of Forest And Poplar Research*, 31(3), 211-231. [https://ijfpr.areeo.ac.ir/article\\_129970\\_en.html?lang=fa](https://ijfpr.areeo.ac.ir/article_129970_en.html?lang=fa) [In Persian].
- Toggweiler, J.R. (2009). Shifting westerlies. *Science*, 323(5920), 1434-1435. <https://doi.org/10.1126/science.1169823>
- Trewartha, G.T., & Horn, L.H. (1980). *An introduction to climate*. McGraw-Hill.
- Van Rooy, M.P. (1965). A rainfall anomaly index (RAI), Independent of the Time and Space. *Notos*, 14, 43-48.
- Yarahmadi, D., & Mryanji, Z. (2011). The analysis of dynamic and synoptic patterns of heavy rainfall in the south west of caspian sea and west of Iran (Case study: Rainfall on 04/11/ 2004). *Physical Geography Research*, 43(76), 105-120. [https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_23073.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_23073.html) [In Persian].
- Yosefi, M., Ansari, H., Mosaedi, A., & Samadi, S. Z. (2017). The effect of climatic regions in correlation of meteorological drought indexes with some of meteorological parameters. *Iran-Water Resources Research*, 13(3), 194-197. [https://www.iwrr.ir/article\\_42702.html](https://www.iwrr.ir/article_42702.html) [In Persian].