Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

An analysis of cyclonic dominant patterns on cold period precipitation in the mid-western of Iran

Rastegar Mohammdi[1] | **Mohammad Saligheh**[2] | **Mohammadhosein Naserzadeh**[3]✉ **Mehry Akbary**[4]

1. PhD student in Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. **E-mail:** std_rastegar365@khu.ac.ir
2. Professor, Department of Hydrology and Meteorology, Faculty of Geographical Sciences, Khwarazmi University, Tehran, Iran. **E-mail:** saligheh@khu.ac.ir
3. Corresponding author, Associate Professor, Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran **E-mail:** nasserzadeh@khu.ac.ir
4. Associate Professor, Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran **E-mail:** mehryakbary@khu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2020/12/21
Received in revised
2021/02/10
Accepted
2021/02/20
Published
2021/02/22
Published online
2025/09/23

Keywords:
Cyclonic Precipitation, Cyclone, cyclogenese, Cold Period, Midwest of Iran.

ABSTRACT

Extratropical cyclones, characterized by their frequency, duration, and intensity, serve as the primary drivers of mid- and high-latitude precipitation across the Mediterranean during the winter and autumn months. For this research, climatic variables obtained from the ECMWF network, featuring a temporal resolution of 6 hours and a spatial resolution of 0.25° × 0.25°, spanning from 1979 to 2016, were utilized. Additionally, precipitation data from four basin stations sourced from the Asfezari database for the same period were analyzed. Initially, geopotential height, temperature, humidity, and jet stream data for rainy days were extracted using MATLAB. Subsequently, a cyclonic center extraction algorithm was applied to identify cyclonic centers from the geopotential height data, based on the conditions that the geopotential height is at a minimum and the geopotential gradient is at a maximum. From the geopotential height matrix of rainy days (361×441×498), four distinct atmospheric patterns were identified through cluster analysis. The temporal and spatial frequency of these patterns, as well as the average temperature of cyclonic centers, were analyzed for the cold season months. The results indicated that the first pattern, identified as the Mediterranean trough pattern, is the most frequent, occurring 42% of the time. This pattern is characterized by the presence of a high-level system acting as a barrier, which deepens the low-level Mediterranean system and extends its axis toward the Red Sea. The interaction between low-level and high-level systems enhances instability, resulting in the highest precipitation levels among the identified patterns. Conversely, the fourth pattern, termed the western wind trough pattern, exhibits the lowest frequency at 10%. This pattern is characterized by a trough over the Caspian Sea; however, a high-level system in the southern region inhibits the entry of low-level systems, thereby confining cyclonic activity to the northern portion of the study area. Consequently, the isobars in the northern region assume a more orbital configuration, leading to a decreased influx of cyclones and, as a result, lower precipitation amounts compared to the other patterns. The analysis further revealed that cold-core cyclones accounted for 60% of occurrences in winter and 40% in autumn, while hot-core cyclones constituted 62% in winter and 38% in autumn. Notably, the frequency of hot-core cyclones increased relative to cold-core cyclones in winter, whereas an inverse trend was observed in autumn. Over the past decade, both the frequency and intensity of cyclones have diminished compared to the preceding two decades. In terms of cyclogenesis locations, the western part of the study area has consistently emerged as the most active region. Moreover, cyclogenesis activity exhibits a gradual increase from autumn to winter as the cold season progresses. These findings underscore the dynamic nature of extratropical cyclones and their significant role in shaping precipitation patterns across the Mediterranean region.

Cite this article: Mohammdi, Rastegar., Saligheh, Mohammad., Mohammadhosein, Naserzadeh., & Akbary., Mehry. (2025). An analysis of cyclonic dominant patterns on cold period precipitation in the mid-western of Iran. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (78), 130-157. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.2

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.2

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Extratropical synoptic systems, which govern the meteorological patterns of mid- and high-latitude regions, are integral to global atmospheric dynamics. Among these systems, extratropical cyclones are especially significant as they facilitate the transfer of heat and moisture toward the poles, thereby mitigating the temperature gradient between the equator and the poles. Cyclones are typically characterized by either a maximum relative vorticity core or a minimum sea-level pressure core. They are classified based on geographical features, formation mechanisms, location, depth of intensification, and internal core structure. Cyclone activity is closely linked to increased pressure gradients, relative humidity, and upward atmospheric motion, all of which significantly influence precipitation patterns in regions such as the Mediterranean and Iran .Research has indicated that Mediterranean cyclones, particularly during the cold season, are pivotal in determining precipitation across Iran, especially in the northwest. The highest frequency of cyclonic activity in the mid- and high latitudes of the Northern Hemisphere occurs during the winter and autumn months. Although previous studies have investigated the role of cyclones in various types of precipitation, this study seeks to identify the dominant cyclonic patterns and their relationship with cold-season precipitation utilizing high spatial resolution data.

Material and Methods

This study investigates cyclonic centers during the cold half of the year, focusing on two seasons: winter (January, February, March, and April, as atmospheric winter activity occasionally extends into April) and autumn (October, November, December). Two datasets were utilized: Daily precipitation data spanning from 1979 to 2016, collected from synoptic stations across four western border basins (West Border, Karkheh, Great Karun, and Jarahi-Zohreh), and obtained from the Asfazari database .Gridded data that includes geopotential height, humidity, and temperature at the 850 hPa level (selected due to its relevance in allowing cyclones to penetrate Iran's topography and its association with elevated moisture transport for precipitation), along with zonal and meridional winds at the 200 hPa level (chosen for jet stream analysis, as wind speeds peak in the upper troposphere and lower stratosphere at this elevation). These data were sourced from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) for the period from 1979 to 2016.

Results and Discussion

The study identified four dominant atmospheric patterns influencing precipitation during the cold season in the western half of Iran :Pattern 1: This pattern, accounting for 42% of occurrences, is associated with the highest precipitation. A strong low-pressure system over the eastern Mediterranean and Iraq, combined with moisture advection from the Red Sea, the Persian Gulf, and the Mediterranean, leads to significant precipitation. Average monthly precipitation ranges from 14 to 17 mm .Pattern 2: Representing 33% of occurrences, this pattern features a northeast-southwest trough axis and moisture advection similar to Pattern 1, resulting in instability and precipitation. Average monthly

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

precipitation ranges from 13 to 16 mm .Pattern 3: Characterized by a Sudan low-pressure system and a Siberian high-pressure system with a strong pressure gradient, this pattern enhances instability and moisture advection from surrounding seas, leading to precipitation. Average monthly precipitation ranges from 11 to 17 mm .Pattern 4: The least frequent pattern (10%), this pattern involves a trough of westerly winds and a Persian Gulf high-pressure system, generating pressure gradients and moisture supply that result in precipitation. Average monthly precipitation ranges from 10 to 14 mm .During the winter season, precipitation peaks in January and March due to increased thermal contrasts, with January being the second wettest month and exhibiting the highest cyclogenesis activity. In contrast, February experiences fewer cyclones due to temperature homogeneity. Over the past decade, the frequency of cyclones and the geopotential height of cyclonic centers have increased, intensifying cyclonic activity and precipitation.

Conclusion

This study concludes that winter exhibits the highest frequency of cyclonic centers during the cold season, accounting for approximately 53.21% of occurrences, while autumn comprises 46.78%. Over the past decade, the average geopotential height during winter has increased in January and March, resulting in elevated temperatures in cyclone centers. The frequency of cold-core cyclones in winter is 60%, compared to 62% for warm-core cyclones. In autumn, 40% of cyclones are classified as cold-core, while 38% are identified as warm-core. In the last decade, a comparison with the previous two decades reveals an increase in geopotential height, a rise in cyclone center temperatures, and a relative decrease in the proportion of cold-core cyclones compared to warm-core cyclones. These findings are consistent with the work of Alijani et al. (2015), who noted that higher geopotential heights diminish cold air intrusion, thereby contributing to warmer conditions in January. Such alterations are likely to influence cyclone center temperatures and precipitation patterns. Overall, the frequency and intensity of cyclones during the cold season have declined in the last decade relative to previous decades, aligning with the observations of Bayat et al. (2017), who reported a reduction in cyclone frequency over the past three decades. The strongest cyclones were recorded during the initial decade of the study period. Cyclogenesis and cyclone passage demonstrate heightened activity in regions such as the southern Alborz, the southern Caspian Sea, the Zagros Mountains, western and northwestern Iran, and the eastern Mediterranean. Maximum cyclogenesis activity occurs in January, while minimum activity is observed in October. As the cold season advances, cyclogenesis centers exhibit strengthening across various regions. Cyclones originating in western, northwestern, and southwestern Iran are particularly significant for western Iran. The eastern Mediterranean and western Iran persistently remain active in cyclogenesis during the cold season, corroborating the findings of Khosravi et al. (2012) and Bayat et al. (2017), which identified the eastern Mediterranean and Cyprus Island as primary centers of cyclogenesis influencing winter precipitation in Iran. These areas play a critical role in shaping precipitation patterns in western Iran, with cyclones forming over the eastern Mediterranean and Iraq.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۷۷۳۶-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۵۱۳۸-۲۵۸۸
https://jgs.khu.ac.ir/

واکاوی الگوهای غالب چرخندی بر روی بارش‌های دوره سرد در نیمه غرب میانی ایران

رستگار محمدی[۱]، محمد سلیقه[۲]، محمدحسین ناصرزاده[۳] ✉، مهری اکبری[۴]

۱. دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: std_rastegar365@khu.ac.ir

۲. استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: saligheh@khu.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: nasserzadeh@khu.ac.ir

۴. دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: mehryakbary@khu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۰/۰۱

تاریخ بازنگری:
۱۳۹۹/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۱۲/۰۲

تاریخ انتشار:
۱۳۹۹/۱۲/۰۴

تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
بارش چرخندی، چرخند، چرخندزایی، دوره سرد، غرب میانی ایران.

چکیده

چرخندهای برون‌حاره‌ای با توجه به فراوانی، مدت و شدت آن‌ها از عوامل اصلی بارش‌های عرض‌های میانه و بالا در سراسر مدیترانه در طی فصل زمستان و پاییز هستند. برای این پژوهش از داده‌های شبکه‌ای متغیرهای اقلیمی ECMWF با تفکیک زمانی ۶ ساعته و تفکیک مکانی ۰/۲۵*۰/۲۵ از سال ۱۹۷۹-۲۰۱۶ و داده‌های بارش ایستگاه‌های ۴ حوضه آبریز از پایگاه داده‌های اسفزاری از سال ۱۹۷۹-۲۰۱۶ استفاده شد. ابتدا ارتفاع ژئوپتانسیل، دما، رطوبت و رودباد روزهای بارشی در محیط متلب استخراج شد. سپس با استفاده از الگوریتم استخراج مراکز چرخندی، این مراکز از روی ارتفاع ژئوپتانسیل با این شروط که ارتفاع ژئوپتانسیل کمینه و شیو ژئوپتانسیل بیشینه باشد استخراج شدند. در ادامه از روی ماتریس ارتفاع ژئوپتانسیل روزهای بارشی (۴۹۸×۴۴۱×۳۶۱) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای ۴ الگوی جوی استخراج شدند. همچنین فراوانی رخ داد زمانی و مکانی ماهانه و میانگین دمایی مراکز چرخندی این الگوها در ماه‌های فصول سرد به دست آمد. نتایج نشان داد که الگوی اول ناوه مدیترانه‌ای است که بیشترین فراوانی را به میزان ۴۲ درصد دارا می‌باشد. این الگو فرود آن به علت وجود زبانه‌های از پر ارتفاع که به حالت مانع عمل می‌کند باعث عمیق شدن کم ارتفاع مدیترانه شده است و محور آن تا روی دریای سرخ کشیده شده است و به دلیل برخورد زبانه‌های کم ارتفاع و پر ارتفاع درروی منطقه ناپایداری تشدید شده و بیشترین بارش‌ها را در میان الگوها باعث شده است. در مقابل الگوی چهارم که کمترین فراوانی را به میزان ۱۰ درصد را دارا می‌باشد که الگوی ناوه‌ای بادهای غربی است که درروی دریای خزر عمیق شده اما به علت قرارگیری پر ارتفاع در جنوب منطقه مانع ورود کم ارتفاع شده و در بخش شمالی منطقه موردمطالعه مستقرشده است و به این دلیل کنتورها در شمال منطقه حالت مداری دارند درنتیجه چرخندهای کم‌تری وارد منطقه شده و منجر به کمترین میانگین بارش در بین الگوها شده است. همچنین نتایج نشان داد که درصد فراوانی چرخندهای هسته سرد در زمستان ۶۰ درصد و در پاییز ۴۰ درصد بوده است ولی درصد فراوانی چرخندهای هسته گرم در فصل زمستان ۶۲ درصد و در فصل پاییز ۳۸ درصد بوده که در زمستان درصد فراوانی چرخندهای هسته گرم نسبت به درصد چرخندهای هسته سرد افزایش پیداکرده است در مقابل در پاییز درصد فراوانی چرخندهای هسته گرم نسبت به هسته سرد کاهش پیداکرده است. در دهه اخیر هم از فراوانی رخداد تعداد چرخندها و هم از شدت چرخندها نسبت به دو دهه گذشته کاسته شده است. ازلحاظ مکانی غرب منطقه موردمطالعه ازلحاظ چرخندزایی همیشه فعال بوده است و با ورود به دوره سرد از پاییز به‌طرف زمستان مکان‌های چرخندزایی هم به‌تدریج فعال‌تر می‌شوند.

استناد: محمدی، رستگار؛ سلیقه، محمد؛ ناصرزاده، محمدحسین؛ و اکبری، مهری (۱۴۰۴). واکاوی الگوهای غالب چرخندی بر روی بارش‌های دوره سرد در نیمه غرب میانی ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۸)، ۱۵۷-۱۳۰.
http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.2

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

مقدمه

سامانه‌های همدیدی برون‌حاره‌ای شامل الگوهای روزانه آب و هوایی در عرض‌های میانه و بالایی هستند (لیم و سایموند،۲۰۰۷: ۲۶۷۵). چرخندهای برون‌حاره‌ای نمونه‌ای از این سامانه‌های برون‌حاره‌ای هستند که نقش اساسی در سیستم آب‌وهوای زمین بازی می‌کنند، گرما و رطوبت را به‌طرف قطب انتقال می‌دهند و شیو دما بین استوا و قطب را کاهش می‌دهند (میشل و همکاران ۲۰۱۷: ۶۹۰۵، اورت و هر ۱۹۷۶: ۷۸۱، ژانگ و روسو ۱۹۹۷: ۲۳۵۸، جونگ و همکاران ،۲۰۰۶: ۱۸۴۰). روش‌های مفهومی مختلفی برای تعریف چرخند وجود دارد. یکی این‌که چرخند عبارت است از هسته تاوایی نسبی بیشینه (تاوایی زمین گرد). دیگر این‌که چرخند عبارت است از هسته کمینه فشار تراز دریا (ارتفاع ژئوپتانسیل) که یک هم‌فشار بسته مرز آن را تعیین می‌کند (ورنلی و شویرز ،۲۰۰۶: ۲۴۸۶، شم و اسپرینگر ،۲۰۱۵: ۲۹۹۱). به نقل از شم و همکاران (۲۰۱۸) سولبرگ و بیرکنس چرخند را این‌چنین توصیف کرده‌اند « تفاوت اساسی در بین توده‌های هوای مختلف که یک توده‌هوا از آن‌ها سرد و یکی دیگر گرم است»(شم و همکاران،۲۰۱۸: ۱۵۱). بسته به تعریف چرخند، تعداد چرخندها و آماره‌های آن‌ها (مثل مکان چرخند) تغییر پیدا می‌کند. همه هسته‌های کمینه‌ای فشار تراز دریا تحت عنوان چرخند به شمار نمی‌آیند، زیرا بسیاری از آن‌ها خیلی ضعیف یا خیلی نزدیک به هم هستند، پس باید محدودیت‌هایی (مانند آستانه‌ای برای کمینه شیو فشار، یا کمینه فاصله بین مراکز کم‌فشار یا محدودیت‌های دیگر) اعمال گردد (لیونلو و همکاران ،۲۰۰۶: ۳۲۳). چرخندها را می‌توان برحسب ویژگی‌های جغرافیایی، سازوکار پدیدآورنده آن‌ها، مکان اولیه تولد آن‌ها، میزان تعمیق آن‌ها و نوع فضای داخلی هسته چرخند دسته‌بندی کرد. برحسب ویژگی‌های جغرافیایی به چرخندهای حاره‌ای، برون حاره، سامانه‌های کم‌فشار اطلسی، چرخندهای آفریقایی، کم‌فشارهای خاورمیانه‌ای و مدیترانه‌ای تقسیم‌بندی می‌گردند. ازلحاظ دینامیک پیچیده و سازوکارهای متنوع پدیدآورنده چرخندها می‌توان به چرخندهای بادپناهی، کم‌فشارهای حرارتی، چرخندهای شبه توفندی کوچک‌مقیاس نام برد (لیونلو و همکاران،۲۰۰۶: ۳۱۸). ازلحاظ مکان اولیه تولد چرخندها می‌توان چرخندهای ایستا و چرخندهای مهاجر نام برد که چرخندهای ایستا چرخندهایی هستند که فاصله میان محل چرخند میرایی تا محل چرخندزایی آن‌ها کمتر از ۴۰۰ کیلومتر باشد، برعکس، چرخندهای مهاجر چرخندهایی هستند که محل چرخند میرایی آن‌ها بیش از ۴۰۰ کیلومتر تا محل چرخندزایی فاصله داشته باشد (نیلسن و دول ،۱۹۹۲: ۱۱۵۸). ازلحاظ میزان تعمیق یافتگی انواع چرخند انفجاری قوی و ضعیف را شامل می‌شود، روشی که به‌طور گسترده برای تعریف چنین "بمبی(چرخند انفجاری)" موردقبول است، این است که فشار مرکزی داخل هسته چرخند به کمتر از ۱ برگرون (یعنی اینکه افت فشار ۲۴ هکتوپاسکال در ۲۴ ساعت کاهش یابد) کاهش پیدا کند (کاتو ،۲۰۱۶: ۶). بر اساس دمای فضای داخلی هسته چرخند به چند گروه: چرخند حاره‌ای ساختار هسته گرم عمیق و چرخند برون‌حاره‌ای با هسته سرد عمیق و چرخند مرکب دارای ساختار هسته گرم پایینی-هسته سرد بالایی تقسیم می‌شود(یاناز و نینو ،۲۰۱۵: ۳۶۹۹). عواملی که در شکل‌گیری، گسترش و میزان شدت و اندازه چرخند مؤثر هستند شامل افزایش شدت پتانسیل، افزایش شیو فشار، افزایش رطوبت نسبی در وردسپهر میانی و تشدید حرکات صعودی است (یاناز و نینو،۲۰۱۵: ۳۶۷۰). در میان چرخندها، چرخندهای برون‌حاره‌ای با توجه به فراوانی، مدت‌زمان و شدت آن‌ها نقش مهمی در آب‌وهوای منطقه برون حاره به‌ویژه سراسر مدیترانه دارند (رادینوویچ ،۱۹۸۷). چرخندهای برون‌حاره‌ای بازیگران اصلی عرض‌های میانه و بالا به‌ویژه در فصل زمستان و پاییز هستند و طبق تعریف انجمن هواشناسی امریکا چرخندهای برون حاره چرخندهای با مقیاس همدیدی هستند که ساختار چرخند حاره‌ای را نداشته باشند (لوکانچیچ ،۲۰۱۶: ۵). فعالیت چرخندها معیارهای برای نشان دادن وضعیت جو هستند. بدین‌صورت اطلاع و آگاهی از خصوصیات، فراوانی وقوع و مسیر چرخندها درک تغییرات آب‌وهوای محلی و توصیف آن را روشن‌تر می‌کند. فراوانی رخداد چرخندی بر بارش‌ها در مناطق مختلف تأثیرگذار است برای نمونه در ناحیه مدیترانه با افزایش رخداد فراوانی چرخندی بارش‌ها افزایش می‌یابد و با کاهش آن بارش‌ها کم می‌شود (ایران نژاد و همکاران،۱۳۸۸: ۹۱). زمانی که چرخندهای مهاجر در دوره سرد سال به غرب ایران وارد می‌شوند عامل صعود را فراهم می‌کنند، به‌طور مثال سهم فراوانی چرخندهای مدیترانه‌ای را در بارش‌های سالانه ایران

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

به‌ویژه در شمال غرب را در حدود ۴۹/۹ درصد نسبت داده‌اند، پس فراوانی رخ داد تعداد چرخندی در منطقه‌ای معین باعث می‌شود تا یکی از عوامل بارش فراهم شود (علیجانی،۱۳۷۴: ۸۷؛ بیاتی خطیبی و همکاران،۱۳۷۸: ۱۵). محققانی مختلفی در سراسر جهان هم پژوهش‌های مشابه درزمینه رخ داد چرخندی و شدت، مدت و فراوانی آن‌ها روی بارش را بررسی کرده‌اند ازجمله کلاین (۱۹۵۸) در بررسی فراوانی چرخند و واچرخندها در ارتباط با میانگین گردش‌ها در نیم‌کره شمالی نتیجه گرفت که مناطق با بیشینه بالای تولید چرخند در ماه فوریه در جنوبی‌ترین مناطق نیم‌کره شمالی حدوداً در عرض‌های ۴۲ درجه شمالی است و در ماه اوت در شمالی‌ترین قسمت نیم‌کره شمالی در حدود عرض ۶۰ درجه شمالی است. همچنین در بهار نسبت به پاییز فراوانی رخداد چرخند جنوبی‌تر است و بیشترین فراوانی رخداد چرخندی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی مشاهده می‌شود. ویتاکر و هورن (۱۹۸۴) با تمرکز بر روی فراوانی چرخندزایی در امتداد سواحل شرقی آسیا و امریکای شمالی نشان دادند که یک منطقه عمده چرخندزایی در خلیج جنوا که فراوانی رخ داد بیشینه چرخندزایی در فصل سرد است و در فصل گرم منطقه رخ داد بیشینه چرخندزایی به‌طرف قطب حرکت می‌کند. آلپرت و همکاران (۱۹۹۰) فراوانی رخ داد چرخندی در فصول مختلف مدیترانه را انجام دادند و نشان دادند در فصول سرد رخ داد چرخندی زیاد است و در فصل گرم به‌شدت کاهش می‌یابد. چن و همکاران (۱۹۹۱) در تحقیقی در جنوب شرق آسیا مشخص کردند که مناطقی با بیشترین رخداد فراوانی چرخندزایی عبارت‌اند از: طرف بادپناه کوه‌های آلتایی-سایان و کوه‌های بزرگ زینگان لینگ ۲- شرق دریای چین و دریای ژاپن؛ که اولی مربوط به چرخند بادپناهی و دومی مربوط به چرخند ساحلی است که چرخندهای بادپناهی آلتایی-سایان در تمام فصول رخ می‌دهد و اوج آن‌ها در ماه آوریل تا می و اوت تا سپتامبر است درحالی‌که چرخندزایی ساحلی فقط در طول فصل سرد اتفاق می‌افتد و در تابستان و اوایل پاییز ناپدید می‌شود. تریگو و همکاران (۱۹۹۹) در بررسی چرخندهای مدیترانه‌ای مشخص نمودند که بیشترین فراوانی فصلی چرخندی در منطقه مدیترانه در فصول سرد رخ می‌دهد و در غرب مدیترانه در زمستان بیشترین فراوانی را دارد. سایموند و کی (۲۰۰۰) با بررسی رفتار چرخندهای برون حاره نشان دادند که میانگین تعداد چرخند در هر فصل بین ۳۵ تا ۳۸ چرخند است و بیشترین تراکم چرخندی در عرض‌های ۶۰ درجه رخداده است. تریگو و داکامار (۲۰۰۰) نشان دادند که بین فراوانی رخداد چرخند مدیترانه و بارش کشور پرتغال همبستگی قوی و معنی‌داری وجود دارد. ماهراس و همکاران (۲۰۰۱) در توزیع اقلیم‌شناسی زمانی-مکانی چرخندهای منطقه مدیترانه نشان دادند که در غرب منطقه مدیترانه فراوانی رخ داد و شدت چرخندها در زمستان بیشینه است و ازلحاظ مکانی در مرکز قبرس در دوره سرد تنوع روزانه چرخندها با توجه به سازوکار به وجود آورنده آن‌ها بیشتر است. گوجارو و همکاران (۲۰۰۶) در تغییرپذیری زمانی گردش‌های چرخندی زمینگرد در مدیترانه نتیجه گرفتند در شرق مدیترانه در تابستان و پاییز فراوانی کم‌فشارهای حرارتی افزایش داشته است. سایموند و همکاران (۲۰۰۸) در عرض‌های بالا نشان دادند که در زمستان بالاترین تراکم چرخند بین نروژ و سوالبارد و به‌طرف شرق تا دریای بارنتز و کارا دیده می‌شود. ولی در تابستان بیشترین تعداد چرخندها در مرکز شمالگان یافت می‌شود و در کل تعداد کل چرخندها در زمستان بیش از تابستان است. فلوکاس و همکاران (۲۰۱۰) در دسته‌بندی مسیر چرخندها بر اساس حوزه تشکیل آن‌ها در شرق مدیترانه نشان دادند که منشأ تشکیل اکثر چرخندها منطقه قبرس و جنوب شرقی دریای اژه می‌باشد و به شرق مدیترانه می‌رسند. ضیا و ژو (۲۰۱۸) با مسیریابی و بررسی ویژگی‌های چرخندها در منطقه جیانگاهی در حوضه رودخانه‌ی یانگ تسه نتیجه گرفتند که فراوانی چرخندهای حوضه در ماه می بیشینه و در ماه دسامبر کمینه است، زیرا برخورد هوای سرد در بهار با هوای گرم خارج‌شده از جنوب غرب پرفشار جنب حاره باعث می‌شود که بیشینه چرخندها در این فصل (بهار) رخ دهد. المزروئی و آود (۲۰۱۶) مشخص نمودند که فراوانی رخ داد چرخندزایی در بخش شمالی منطقه مدیترانه در ماه پاییز و بهار زیاد است. شولتز و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که فراوانی بیشینه چرخندزایی در سراسر اقیانوس اطلس شمالی و اقیانوس آرام شمالی در نیم‌کره شمالی در زمستان و سراسر اقیانوس جنوبی و شرق استرالیا و نیوزلند در نیمکره جنوبی در زمستان اتفاق می‌افتد. کاوسی و موحدی (۱۳۹۳) در پژوهشی به بررسی همدیدی کنش‌های چرخندی روی ایران پرداختند و نتیجه گرفتند که بیشینه فراوانی چرخندی در سه تراز اول

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

جو در فصل زمستان و در فصل پاییز در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی است. بیات و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی اقلیم‌شناسی چرخندهای باران‌زایی زمستانه ایران را موردبررسی قراردادند و به این نتیجه رسیدند که بخش شرقی دریای مدیترانه بخصوص جزیره قبرس، دریای اژه، دریای آدریاتیک، دریای سرخ و منطقه سودان و همچنین کشور عراق از مهم‌ترین کانون‌های رخ داد چرخندزایی زمستانه ایران می‌باشند. پس با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه مشخص شد که تابه‌حال پژوهشی که با دقت زیاد و باقدرت تفکیک ۰/۲۵*۰/۲۵ که با دقت بالا اغلب چرخندهای که رخ می‌دهد را تشخیص دهد و این‌که رخ داد بارش در ارتباط با مراکز چرخندی و چرخندزایی در این منطقه پژوهشی انجام نگرفته است و با توجه به این‌که در شناسایی مراکز چرخندی مقیاس تفکیک مکانی از ارزش والایی برخوردار است و ممکن است اغلب در تفکیک‌های پایین اغلب مراکز چرخندی قابل‌تشخیص نباشند، پژوهش حاضر باهدف واکاوی الگوهای غالب چرخندی بر روی بارش‌های دوره سرد است.

داده و روش کار

در این پژوهش به‌منظور بررسی رخداد مراکز چرخندی در نیمه سرد سال در دو فصل زمستان (ژانویه، فوریه، مارس و آوریل که به جهت ادامه فعالیت‌های جوی زمستان که گاهاً تا ماه آوریل هم ادامه پیدا می‌کنند لحاظ شد) و پاییز (اکتبر، نوامبر، دسامبر) از دودسته داده که ۱- بارش روزانه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ ایستگاه‌های سینوپتیک در ۴ حوضه آبخیز مرزی غرب، کرخه، کارون بزرگ و جراحی و زهره از پایگاه داده‌ای اسفزاری از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ و ۲- داده‌های شبکه‌ای (ارتفاع ژئوپتانسیل، رطوبت و دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی به این دلیل این سطح انتخاب شد که سطح پایه‌ای است که ناهمواری‌های ایران اجازه ورد چرخندها را در این سطح به ایران می‌دهند همچنین بیشترین رطوبت تزریق‌شده برای بارش‌ها در این سطح جابجا می‌شود و باد مداری و باد نصف‌النهاری تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال به این دلیل در قسمت‌های بالایی وردسپهر و لایه‌های پایینی پوش سپهر سرعت بادها به حداکثر می‌رسند و رودبادها شکل می‌گیرند تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال برای بررسی رودباد انتخاب شد) مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جوی (ECMWF) از سال ۱۹۷۹-۲۰۱۶ استفاده‌شده است که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) ارائه‌شده است.

جدول (۱) مشخصات داده‌های مورداستفاده در طول دوره آماری

Name	Extent	Resolution	Cells	Scale	Parameters
Era-Interim	X: 35-55; Y: 30-40	0.25 × 0.25	81 × 41	Hourly-6	Geopotential Height Specific Humidity Air Temperature U-Wind V-Wind
Asfezari	X: 45-52.5; Y: 30-36	-	-	Daily	precipitation

با توجه به تفکیک مکانی داده‌های مورداستفاده چارچوبی به‌اندازه ۸۱ یاخته طولی و ۴۱ یاخته عرضی تشکیل شد که درمجموع ۳۳۲۱ یاخته مکانی و ۱۴۸۸ مشاهده زمانی برای یک سال مورد و برای کل دوره آماری ۵۳۵۶۸ مشاهده زمانی را در برمی‌گیرد که جهت استخراج چرخند و مکان‌های چرخندزایی به کار گرفته شد. در این مطالعه از رویکرد محیطی به گردشی استفاده‌شده است که در این رویکرد محقق الگوهای گردشی جو را برحسب شرایط محیطی خاصی که در سطح رویه رخداده است تعیین می‌کند (یارنال ،۱۹۹۳). با توجه به این رویکرد ابتدا بارش‌های روزانه حوضه‌های مذکور را با روش صدک‌گیری و انتخاب صدک ۹۵ که برابر با بارش‌های ۱۰ میلی‌متر بود انتخاب شدند، بارش‌های روزانه‌ی که زیر این صدک بودند حذف شدند که ۹۵ درصد از بارش‌ها بارشی زیر ۱۰ میلی‌متر داشتند. تنها تعداد ۴۹۸ روز که دارای بارشی بالای ۱۰ میلی‌متر بود باقی ماندند. سپس با توجه به‌روزهای بارشی که بارشی بالای ۱۰ میلی‌متر داشتند، سپس الگوهای جوی ارتفاع ژئوپتانسیل، رطوبت، دما و رودباد روزهای بارشی به دست آمد در ادامه الگوهای چرخندی این روزها که با این

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

الگوریتم برای شناسایی چرخند و آشکارسازی آن‌ها به‌کاررفته است، مراکز چرخندی روزهای بارشی استخراج شدند که این الگوریتم به این صورت است: ۱- یاخته‌های که ارتفاع ژئوپتانسیل آن‌ها نسبت به هر ۸ همسایه پیرامون کمینه باشد (آلپرت و همکاران،۱۹۹۰) ۲- میانگین منطقه‌ای بزرگی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی ۹ یاخته موجود در پنجره موردبررسی دست‌کم ۱ متر بر ۲۵ کیلومتر باشد (بلندر و شوبرت ،۲۰۰۰) شرط دوم چرخندهای ضعیف را حذف می‌کند و تنها چرخندهای قوی باقی می‌مانند. الگوریتم خروجی در نرم‌افزار متلب شامل خروجی‌های به‌صورت زیر است: ۱-Cnt که با کد صفر و یک مشخص‌شده است که کد یک نشان از تشکیل چرخند و کد صفر عدم تشکیل آن ۲-Z که ارتفاع ژئوپتانسیل مرکز چرخند را نسبت به هر هشت همسایه را نشان می‌دهد ۳-Gr بزرگی شیو ژئوپتانسیل هر یاخته را نشان می‌دهد که ۱ ژئوپتانسیل متر بر هر ۲۵ کیلومتر است. شیو ارتفاع ژئوپتانسیل به طریق معادله (۱) محاسبه می‌شود (مارتین ،۲۰۰۶: ۱۰).

$$\nabla\varnothing = (\frac{\partial\varnothing}{\partial x})i + (\frac{\partial\varnothing}{\partial y})\,\mathrm{j} \quad (۱)$$

رابطه (۱)

$\nabla\emptyset$ شیو ارتفاع ژئوپتانسیل که یکای آن متر بر کیلومتر است.∂x بیانگر مختصات متریک طول جغرافیایی است. $\partial\ y$ بیانگر مختصات متریک عرض جغرافیایی است. $\partial\emptyset$ تغییرات شیو ارتفاع ژئوپتانسیل در راستای محورهای x و y است که مفهوم آن شیو فشار است (مارتین،۲۰۰۶: ۱۰). به دلیل اینکه در معادلات جوی از مختصات متریک استفاده می‌شود و مقدار متریک عرض جغرافیایی متناسب با مقدار cos مختصات کروی عرض جغرافیایی است که مقدار آن در هر مدار متفاوت است بنابراین به هر عرض جغرافیایی وزن متناسب با مقدار متریک آن داده‌شده است. سپس میانگین وزنی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل مربوط محاسبه‌شده است که میانگین وزنی آن از معادلات (۲ و ۳) محاسبه می‌شود (کاوسی و موحدی،۱۳۹۳: ۱۰۱).

$$wi = \frac{1}{2}\left(\cos\varphi s + \cos\varphi n\right) \quad (۲)$$

رابطه (۲)

$$MRGr = \frac{1}{\sum_{i=1}^{9} \mathrm{wi}} \sum_{i=1}^{9} wiGr \quad (۳)$$

رابطه (۳)

$MRGr$ میانگین وزنی شیو ژئوپتانسیل. wi وزن هر یاخته. φs عرض جغرافیایی گذرانده شده از جنوب یاخته موردبررسی. φn عرض جغرافیایی گذرانده شده از شمال یاخته موردبررسی. بزرگی شیو ژئوپتانسیل مراکز چرخندی از رابطه (۴) محاسبه می‌شود که بزرگی شیو ژئوپتانسیل برای هر یاخته مکانی محاسبه می‌کند (مارتین،۲۰۰۶: ۲۵).

$$Gr = \sqrt{Grx^2 + Gry^2} \quad (۴)$$

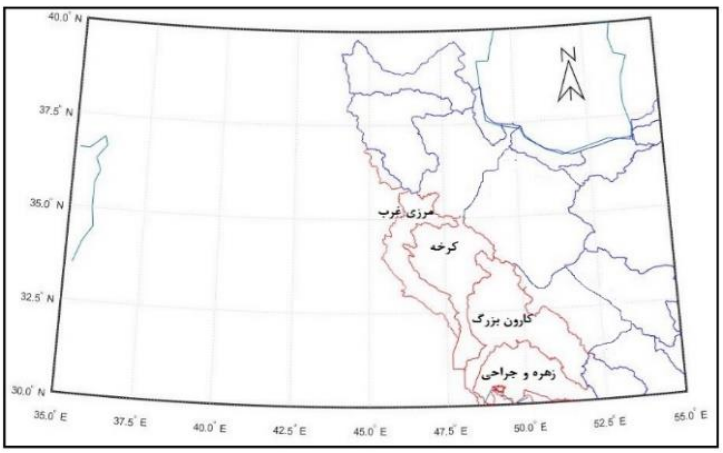
رابطه (۴)

که بزرگی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل است که یکای آن برحسب متر بر کیلومتر است.

در ادامه از روی ماتریس ارتفاع ژئوپتانسیل روزهای بارشی (۴۹۸×۴۴۱×۳۶۱) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، درجه همانندی ارتفاع ژئوپتانسیل تمام یاخته‌ها با استفاده از فاصله اقلیدسی و روش ادغام وارد خوشه‌بندی گردید که ۴ الگوی جوی و مراکز چرخندی این الگوها استخراج شدند که هر الگو بیان‌کننده الگوی جوی روزهای بارشی است که این الگوها را دارا بودند. سپس نوع مراکز چرخندی ازلحاظ دمای (هسته‌های سرد و یا گرم) به این صورت که با استفاده از کمینه ارتفاع ژئوپتانسیل، گرادیان شیو ژئوپتانسیل و دما در تراز موردمطالعه به دست آمد تا نقش هرکدام از هسته‌های دمایی (سرد و گرم) بر روی بارش‌ها مشخص شود. همچنین الگوهای رطوبتی جهت مشاهده مکان تغذیه رطوبتی و رود باد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال به دست آمد. بعلاوه درصد فراوانی مکانی -زمانی ماهانه رخ داد مراکز چرخندی را در پنجره جوی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

مذکور استخراج شد به دلیل این‌که منشأ چرخندهای که آب‌وهوای ایران به‌ویژه غرب را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در خارج از مرزهای سیاسی ایران و در غرب ایران تا حوالی دریای مدیترانه قرار دارد (علیجانی،۱۳۷۴: ۳۶). به همین دلیل این منطقه به‌عنوان محدوده موردمطالعه جهت اثر چرخندها و چرخندزایی بر بارش‌های حوضه‌های مذکور انتخاب شد شکل (۱). درنهایت نقشه‌های مکانی رخداد ماهانه مراکز چرخندی با توجه به رخداد چرخند در یاخته‌های مشخص که دارای طول و عرض جغرافیایی خاصی بودند برای پی بردن به مکان‌های رخداد چرخندی در طی ماه‌های مختلف به دست آمد تا به نقش رخداد مراکز چرخندی و چرخندزایی در بارش پی ببریم.



شکل (۱). محدوده موردمطالعه حوضه‌های آبریز و محدوده پنجره جوی ۸۱*۴۱ یاخته مکانی

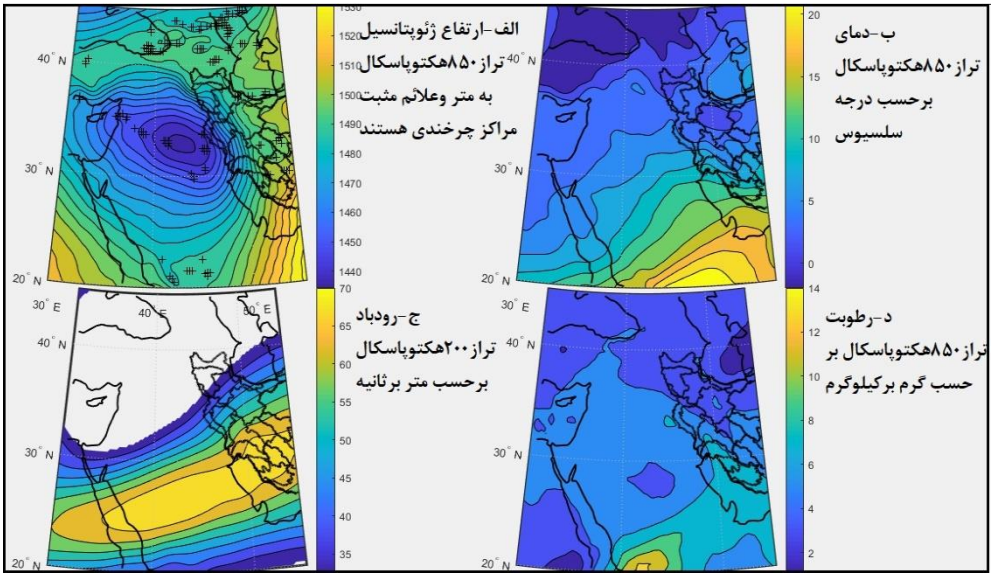
نتایج

به‌منظور واکاوی مراکز چرخندی مؤثر در بارش‌های دوره سرد در قالب ۷ ماه (ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، اکتبر، نوامبر، دسامبر) در حوضه‌های نیمه غرب میانی ایران، الگوهای جوی و مراکز چرخندی روزهای بارشی موردبررسی قرار گرفت تا نقش این الگوهای غالب و مراکز چرخندی آن‌ها در بارش مشخص شود که ۴ الگو جوی به دست آمد که در زیر تشریح خواهد شد.

الگوی اول: در این الگو هسته کم ارتفاع قوی درروی شرق مدیترانه و مرکز عراق قرارگرفته است که محور آن شمال غرب–جنوب شرقی است و زبانه پر ارتفاعی بر روی خلیج‌فارس مستقر است شکل (۲-الف). این الگو فراوان‌ترین نوع الگو در بین سایر الگوها است و به‌طور متوسط در ۴۲ درصد از ایام دوره سرد دیده می‌شود. این الگو ناوه مدیترانه است که به‌طرف شرق جابجا شده است و درروی مرکز عراق قرارگرفته است. در مرکز ناوه هسته کمینه ارتفاع ژئوپتانسیل و بیشینه شیو ژئوپتانسیل برقرار است و چرخندزایی رخداده است و چون منطقه‌ی موردمطالعه در طرف راست محور ناوه قرار دارد که محل همگرایی و صعود است، همچنین برخورد زبانه‌های پر ارتفاع و کم ارتفاع درروی منطقه موردمطالعه گرادیان فشار به وجود آمده است درنتیجه ناپایداری تشدید شده است. نقشه دما شکل (۲-ب) که در آن اختلاف دما درروی منطقه را نشان می‌دهد تائید کننده گرادیان شدید فشار و ناپایداری روی منطقه است. با قرارگیری قسمت سمت چپ خروجی رودباد درروی منطقه که محل واگرایی سطح بالا و همگرایی سطح زمین است شکل (۲-ج) به تشدید این ناپایداری کمک نموده است. مرکز کم ارتفاع روی عراق و زبانه¬ی پر ارتفاع روی خلیج‌فارس دارای نقش تقویتی برای همدیگر در انتقال رطوبت هستند. این شرایط باعث می‌شوند که رطوبت از روی دریای سرخ، خلیج‌فارس و دریای مدیترانه به منطقه تزریق شود شکل (۲-د). درنتیجه با فراهم بودن همه عوامل و تزریق رطوبت به داخل منطقه، چرخندهای زایش یافته بارش روزهای که این الگو را دارا بودند باعث شده است. میانگین ماهانه بارش‌های ناشی از این الگو در ماه ژانویه ۱۷/۱ میلی‌متر در ماه فوریه ۱۶ میلی‌متر، ماه مارس ۱۶/۴ میلی‌متر، ماه آوریل ۱۴/۷ میلی‌متر، ماه اکتبر ۱۲/۵ میلی‌متر، نوامبر ۱۶/۱ میلی‌متر و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

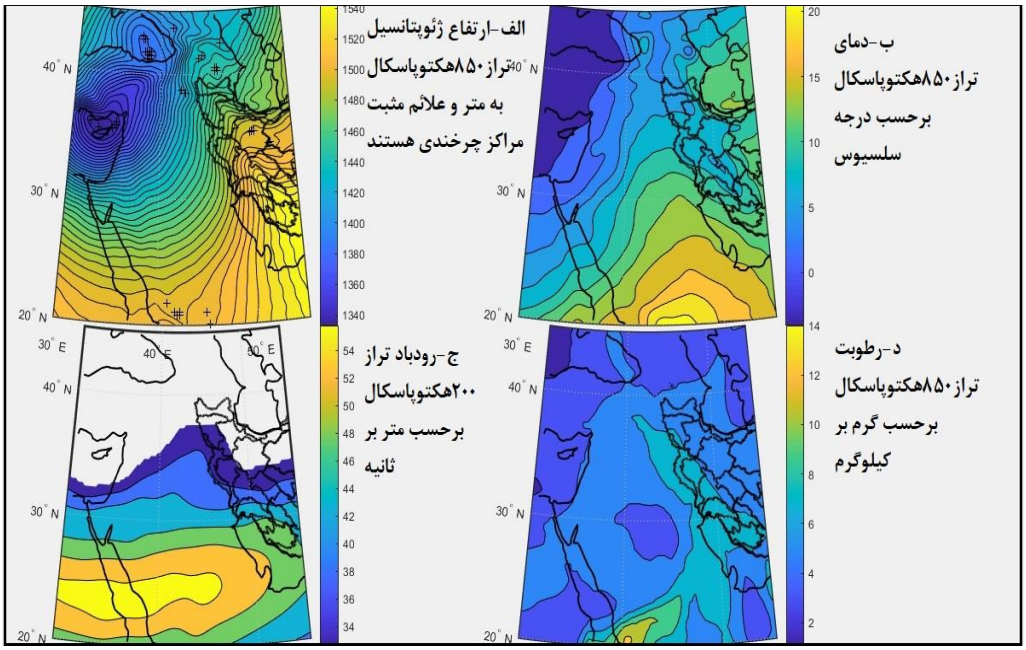
در ماه دسامبر ۱۵/۶ میلی‌متر است. درمجموع الگوی اول در فصل زمستان دارای ۱۶ میلی‌متر از بارش‌های زمستانه و در فصل پاییز به‌طور میانگین دارای ۱۴/۸ میلی‌متر از بارش‌های پاییزی را سبب شده‌اند، شکل (۲).



شکل (۲). الگوی جوی اول روزهای بارشی در طی دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶

الگوی دوم: در این الگو محور ناوه شمال شرق-جنوب غربی است و منطقه غرب ایران در قسمت راست محور و محل صعود ناوه قرار می‌گیرد شکل (۳-الف). این الگو به‌طور متوسط در ۳۳ درصد از ایام دوره سرد دیده می‌شود. در این الگو به دلیل قرارگیری زبانه‌های پر ارتفاعی که بر روی منطقه مستقر است پربندهای ناوه عمیق شده و حالت نصف‌النهاری پیداکرده است. درروی منطقه به دلیل برخورد زبانه‌های کم ارتفاع و پر ارتفاع گرادیان شیو فشار وجود دارد. شکل (۳-ب) که بیان‌کننده اختلاف دمای ۱۰ درجه‌ای روی منطقه بیان‌کننده گرادیان شیو فشار است که منجر به ناپایداری شده است. رودباد با سرعت ۳۴ تا ۴۶ متر بر ثانیه بر روی منطقه مستقر است که باعث ناپایداری در لایه‌های زیرین می‌شود شکل (۳-ج). شرایط صعود در منطقه فراهم است و چرخندهای زایش یافته با حرکت شرق سوی خود، هنگامی‌که به روی منطقه می‌رسند، در این زمان کم ارتفاع روی شمال شرق مدیترانه و پر ارتفاع روی جنوب کشور با حرکت پاد-ساعت‌گرد و ساعت‌گرد خود رطوبت را از دریای سرخ، خلیج‌فارس و دریایی مدیترانه به داخل منطقه تزریق می‌کنند شکل (۳-د)؛ و بارش روزهای که این الگو را داشتند سبب می‌شود. میانگین بارش‌های این الگو در ماه ژانویه ۱۶/۵ میلی‌متر، در ماه فوریه ۱۴/۱ میلی‌متر، در ماه مارس ۱۵ میلی‌متر، در ماه آوریل ۱۲/۹ میلی‌متر، اکتبر ۱۵/۸ میلی‌متر، نوامبر ۱۳/۳ میلی‌متر و در ماه دسامبر ۱۵/۵ میلی‌متر است؛ که ازلحاظ فصلی در فصل زمستان ۱۴/۶ میلی‌متر و در فصل پاییز ۱۴/۹ میلی‌متر از بارش‌ها می‌باشد شکل (۳).

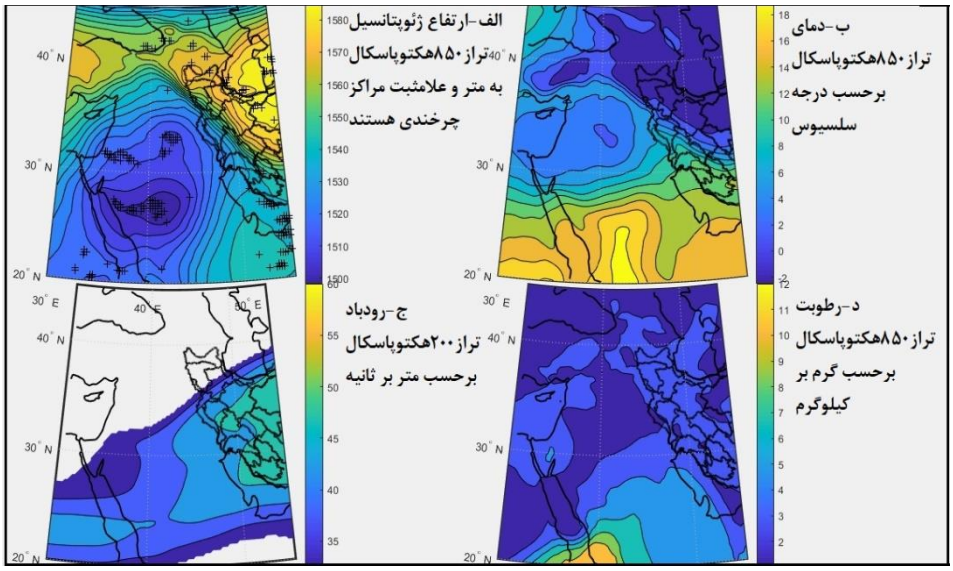
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]



شکل (۳). الگوی جوی دوم روزهای بارشی در طی دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶

الگوی سوم: در این الگو یک هسته کم ارتفاع بسیار قوی بر روی جنوب شرق مدیترانه و جنوب عراق قرارگرفته است که کم ارتفاع سودان است به‌طرف شمال شرق جابجا شده و روی عربستان قرارگرفته است و یک هسته پر ارتفاع بر روی شمال شرق کشور قرارگرفته است که پرفشار سیبری است که به‌طرف جنوب غرب حرکت نموده و بر روی شمال شرق ایران قرارگرفته است. زبانه‌های این دو کم ارتفاع و پر ارتفاع درروی منطقه موردمطالعه به هم رسیده‌اند و گرادیان شیو فشار را باعث شده‌اند شکل (۴-الف). اختلاف دمای ۱۴ درجه درروی منطقه شکل (۴-ب) دلیلی بر وجود شیو شدید فشار می‌باشد که نشان‌دهنده فراهم بودن ناپایداری روی منطقه است. وجود هسته سرعت ۴۵ متر بر ثانیه در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی باعث تقویت صعود و همگرایی در ترازهای زیرین می‌شود شکل (۴-ج) و درنتیجه ناپایداری را تقویت می‌کند. به دلیل وجود کمینه ارتفاع ژئوپتانسیل در مرکز کم ارتفاع و اختلاف ارتفاع بین مرکز کم ارتفاع و پر ارتفاع، شیو ژئوپتانسیل افزایش‌یافته درنتیجه چرخندزایی رخداده است. کم ارتفاع روی منطقه که براثر مجاورت با پر ارتفاع تقویت‌شده و رطوبت را از روی دریای سرخ، خلیج‌فارس و به مقدار کم‌تر از دریای مدیترانه به داخل منطقه تزریق نموده است شکل (۴-د). چرخندهای زایش یافته به‌طرف شمال شرق حرکت نموده و وارد منطقه موردمطالعه شده و چون عوامل صعود و رطوبت مهیا است منجر با بارش روزهای که این الگو را داشتند می‌شود. به این صورت که میانگین بارش‌های ماهانه آن در ماه ژانویه ۱۵/۵ میلی‌متر در ماه فوریه ۱۳/۳ میلی‌متر، در ماه مارس ۱۲/۶ میلی‌متر، در ماه آوریل ۱۷/۷ میلی‌متر، اکتبر ۱۱/۸ میلی‌متر، نوامبر ۱۷/۵ میلی‌متر و در ماه دسامبر ۱۱/۱ میلی‌متر را سبب شده است. ازلحاظ فصلی در فصل زمستان ۱۴/۸ میلی‌متر و در فصل پاییز ۱۳/۵ میلی‌متر از بارش‌ها را این الگو سبب شده است شکل (۴).

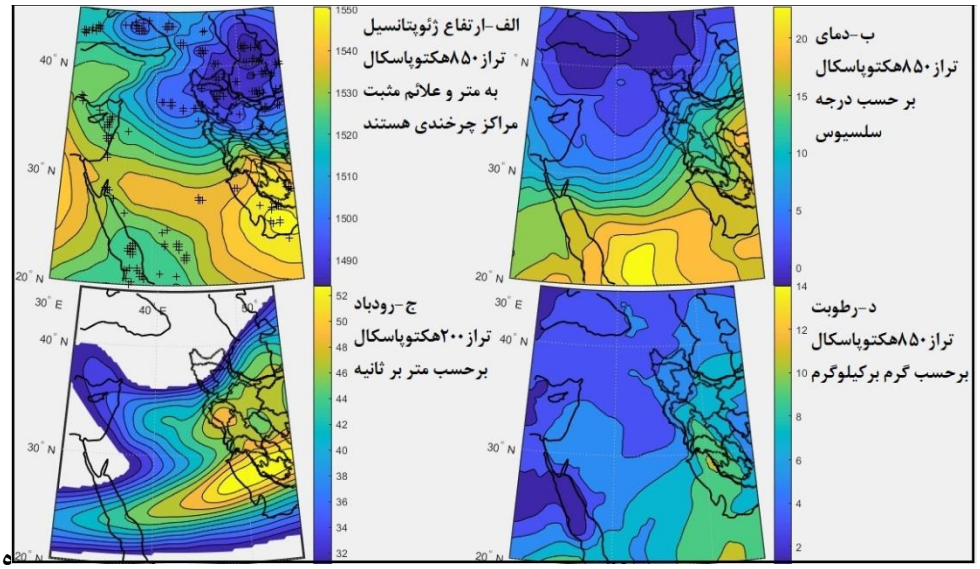
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]



شکل (۴). الگوی جوی سوم روزهای بارشی در طی دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶

الگوی چهارم: این الگو تقریباً عکس الگوی سوم است، ناوه بادهای غربی حالت نصف‌النهاری پیداکرده است و بر روی دریای خزر مستقرشده و کم ارتفاع قدرتمندی را شکل داده است. هسته پر ارتفاع عربستان به‌طرف شمال شرق جابجا شده و بر روی خلیج‌فارس قرارگرفته که زبانه‌های آن تا جنوب منطقه موردمطالعه کشیده شده است شکل (۵-الف). زبانه‌های این دو پر ارتفاع و کم ارتفاع درروی منطقه موردمطالعه به‌بهم برخورد نموده و درنتیجه به دلیل اختلاف دمای ۱۵ درجه‌ای (نقشه ۵-ب) این دوزبانه، باعث گرادیان شیو فشار درروی منطقه شده و منجر به ناپایداری شده است. در تقویت این ناپایداری رودباد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی با هسته بیش از ۵۰ متر بر ثانیه شکل (۵-ج). نقش داشته و باعث تقویت صعود در ترازهای زیرین شده است. به دلیل حرکت ساعت‌گرد و پاد-ساعت‌گرد دو مرکز کم ارتفاع و پر ارتفاع در مجاورت هم منجر به تقویت همدیگر شده و باعث مکش رطوبت از دریاهای جنوبی و دریای مدیترانه به داخل منطقه شده است شکل (۵-د). به دلیل وجود شرایط رخ داد چرخندزایی در داخل هسته‌های کم ارتفاع، چرخند متولدشده به‌طرف منطقه موردمطالعه حرکت می‌کنند و چون عوامل صعود فراهم است و رطوبت هم تزریق‌شده است درنتیجه چرخندها، بارش‌های روزهای که این الگو را داشتند سبب می‌شود. بارش ماهانه این الگو به این صورت است که میانگین ماه ژانویه ۱۴/۲ میلی‌متر، ماه فوریه ۱۴/۷ میلی‌متر، مارس ۱۴/۷ میلی‌متر، ماه آوریل ۱۳/۵ میلی‌متر، اکتبر ۱۰/۳ میلی‌متر، نوامبر ۱۰/۶ میلی‌متر و در ماه دسامبر ۱۴/۸ میلی‌متر و ازلحاظ فصلی فصل زمستان ۱۴/۲ میلی‌متر و فصل پاییز ۱۱/۹ میلی‌متر و دارای کم‌ترین فراوانی تکرار است و در ۱۰ درصد ایام دوره سرد دیده می‌شود شکل(۵).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]



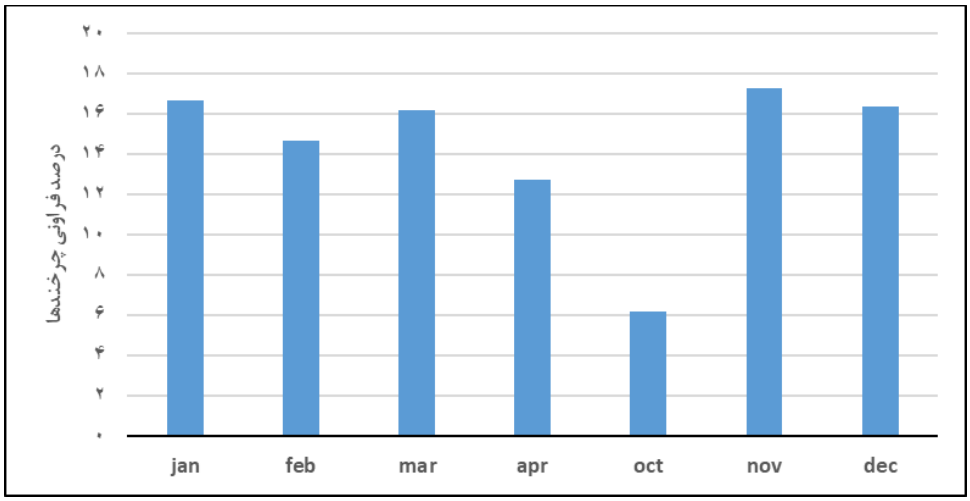
شکل (۵). الگوی جوی چهارم روزهای بارشی در طی دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶

فصل زمستان

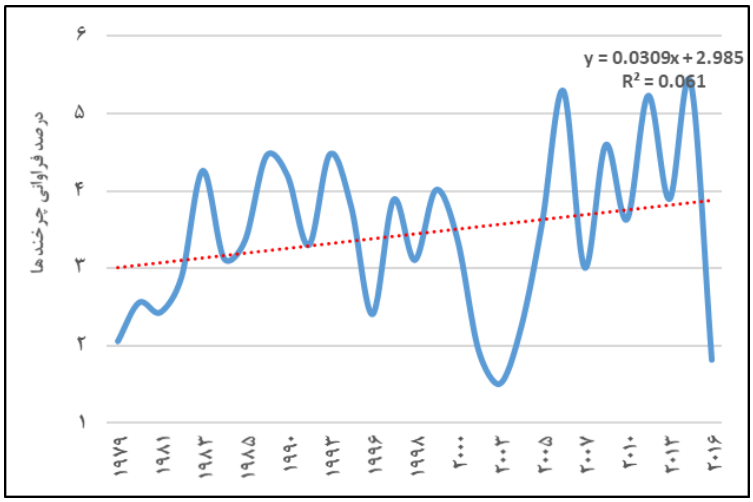
ماه ژانویه

خط روند رخداد مراکز چرخندی در ماه ژانویه در شکل (۷) نشان داده‌شده است. این نقشه نشان می‌دهد که در دهه اخیر تعداد چرخندها نسبت به دو دهه گذشته افزایش داشته است بدین ترتیب که خط روند آن از ۳ درصد در دهه اول به حدود ۴ درصد در دهه سوم رسیده است. تعداد کل فراوانی رخداد چرخندهای این ماه ۱۶/۷ درصد بوده است شکل (۶) که دومین ماه ازلحاظ فراوانی رخداد کل چرخندها بوده است؛ زیرا ماه ژانویه همراه با گستردگی بادهای غربی بر منطقه است. همچنین، تضاد دمای ناشی از فصل زمستان و پاییز در این ماه آشکار است که باعث رخداد فراوانی چرخندی در این ماه شده است. قوی‌ترین چرخند در بین تعداد کل چرخندهای این ماه دارای مرکزی با ارتفاع ژئوپتانسیل ۲۹۲۴ متر بوده است. فراوانی رخداد مکانی چرخندی به این صورت مشخص شد که مکان رخداد هر چرخند روی یاخته موردبررسی دارای مختصات جغرافیایی می‌باشد که مختصات جغرافیایی این چرخندها که طول و عرض آن‌ها بود رسم شد و مکان‌های چرخندزایی به این صورت مشخص گردید که فراوانی رخداد چرخندی در طول ماه ژانویه در شکل (۹) نشان داد که بیشترین رخداد چرخندی بر روی منطقه جنوب البرز، جنوب دریای خزر، مرکز، غرب و شمال غرب ایران، جنوب زاگرس، شرق و شمال شرق مدیترانه قرار دارد و تا بیش از ۴۰۰ مورد در ماه می‌رسد. در نقشه‌های مکان‌های چرخندزایی رنگ تیره نشان‌دهنده مکان‌های هستند که چرخندزایی در آن‌ها ضعیف بوده و رنگ روشن نشان‌دهنده مکان‌های فعال چرخندزایی است (باید متذکر شد که مربع‌های سفید در مکانی خاص نشان‌دهنده فاقد چرخندزایی است یعنی در جای که چرخندزایی وجود نداشته است از نقشه حذف‌شده است و به‌صورت مربع‌های سفید ظاهرشده است) بنابراین بیشترین فراوانی چرخندزایی ماه ژانویه بر روی منطقه غرب ایران و روی مدیترانه قرار دارد. میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی در دوره آماری موردبررسی افزایش چشمگیری از ارتفاع ژئوپتانسیل را در سال‌های اخیر نسبت به دو دهه گذشته نشان می‌دهد و این افزایش بر میزان تشدید چرخند اثر می‌گذارد. به همین دلیل، دمای مراکز چرخند در دهه اخیر افزایش نشان داده است شکل (۸). در این ماه فراوانی رخداد چرخندهای هسته سرد ۷۵ درصد و چرخندهای هسته گرم ۲۵ درصد بوده است. ازلحاظ الگوهای بارشی این ماه ۲۵ درصد ایام ماه ژانویه الگوی اول،۱۷ درصد الگوی دوم،۱۸ درصد الگوی سوم و ۲۴ درصد الگوی چهارم دیده شد.

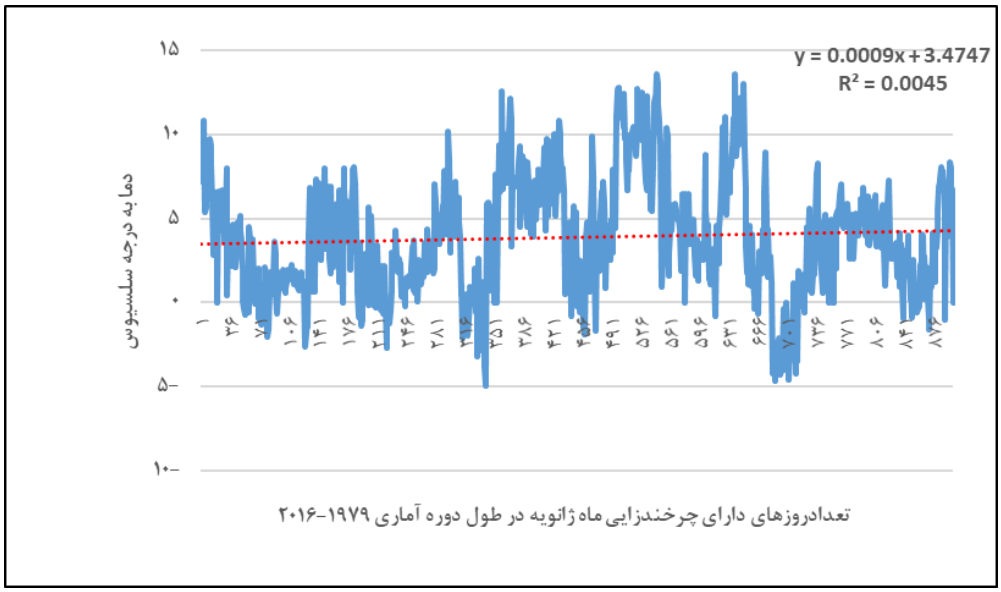
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]



شکل (۶). درصد فروانی رخداد چرخندی ماه‌های دوره سرد سال در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶

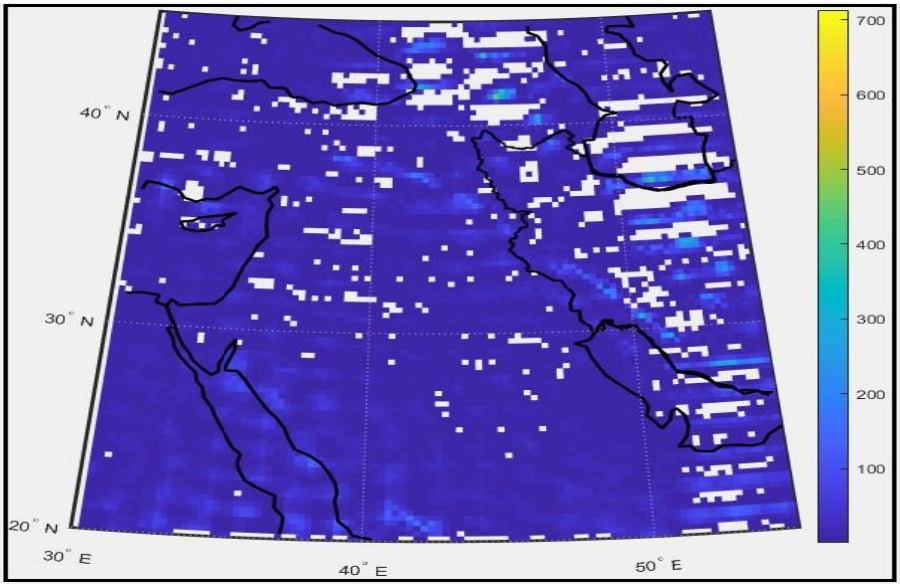


شکل (۷). درصد فراوانی تعداد چرخندها در ماه ژانویه در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶



شکل (۸). میانگین دمای مراکز چرخندی در ماه ژانویه در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

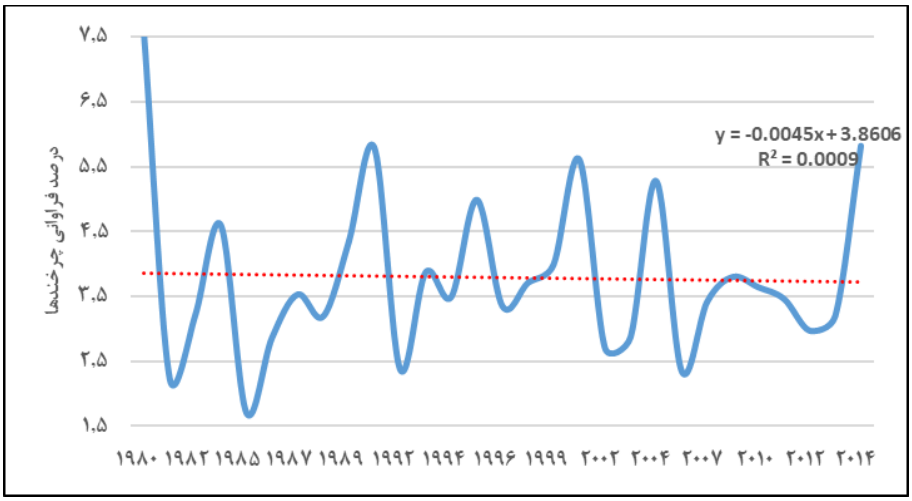


شکل (۹). مکان چرخندزایی و گذر چرخندی در ماه ژانویه در طول سال‌های آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶(آبی پررنگ چرخندزایی ضعیف و طیف رنگی متمایل به زرد چرخندزایی، مربع‌های سفید نشانه عدم رخ داد چرخندزایی)

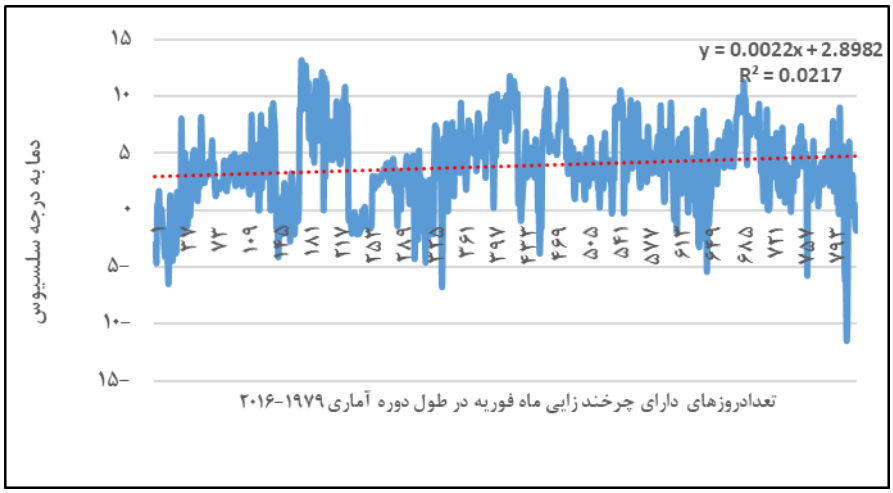
ماه فوریه

روند فراوانی رخ داد چرخندی در دومین ماه زمستان صرف‌نظر از یک کاهش خیلی جزئی در طول سه دهه تقریباً ثابت بوده است شکل (۱۰). فراوانی تعداد کل چرخندهای این ماه ۱۴/۶ درصد بوده است شکل (۶) که نسبت به ماه قبل کاهش داشته است. علت این کاهش، همسانی آغاز و انتهای دما در طی ماه فوریه است که موجب افت شدید تشکیل چرخندها می‌باشد. برعکس، تضاد بالای حرارتی دما در ماه ژانویه و مارس موجب اختلاف فاحش وجود چرخندها نسبت به ماه فوریه شده است. مرکز قوی‌ترین چرخند در این ماه ۲۹۱۸ متر ارتفاع داشته است. ازلحاظ فراوانی رخداد مکانی در ماه فوریه شکل (۱۲) بیشترین چرخندها بر روی جنوب البرز، جنوب دریای خزر، مرکز، غرب و شمال غرب ایران، جنوب زاگرس، شرق و شمال شرق مدیترانه رخداده است. در این ماه نسبت به ماه ژانویه در اغلب جاهای ایران و شرق مدیترانه و غرب منطقه موردمطالعه تعداد رخ داد چرخندی بیشتر شده است؛ اما در این ماه مثل ماه ژانویه همچنان عدم رخداد چرخند در غرب ایران تا روی مدیترانه کم‌تر از جاهای دیگر است. میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل در این ماه در طول سه دهه دوره آماری تقریباً ثابت مانده است ولی میانگین دمای مراکز چرخندی شکل (۱۱) در طول دوره آماری بخصوص در این ماه در دهه اخیر افزایش نشان داده است. فراوانی رخداد چرخندهای هسته سرد ۷۱ درصد و چرخندهای هسته گرم ۲۹ درصد بوده است که نسبت به ماه قبل از درصد چرخندهای هسته سرد کاسته شده است و درصد چرخندهای هسته گرم افزایش داشته است. در ۲۳ درصد این ماه الگوهای بارشی اول،۱۵ درصد الگوی دوم،۹ درصد الگوی سوم و ۲۷ درصد از بارش‌ها را الگوی چهارم دیده‌شده است.

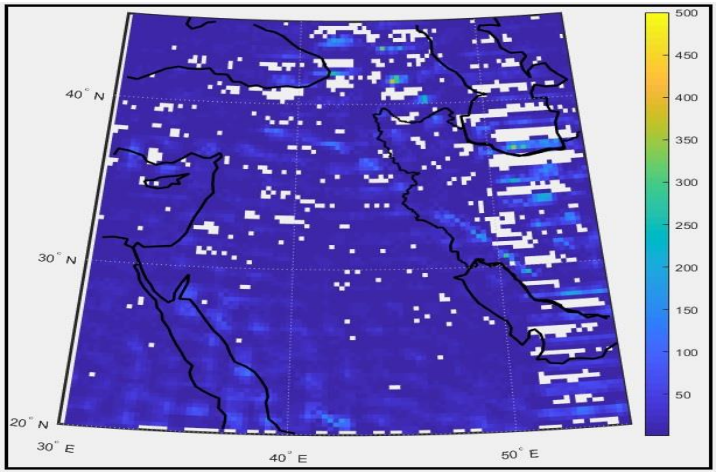
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]



شکل (۱۰). درصد فراوانی رخداد چرخندها در ماه فوریه در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶



شکل (۱۱). میانگین دمای مراکز چرخندی در ماه فوریه در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶

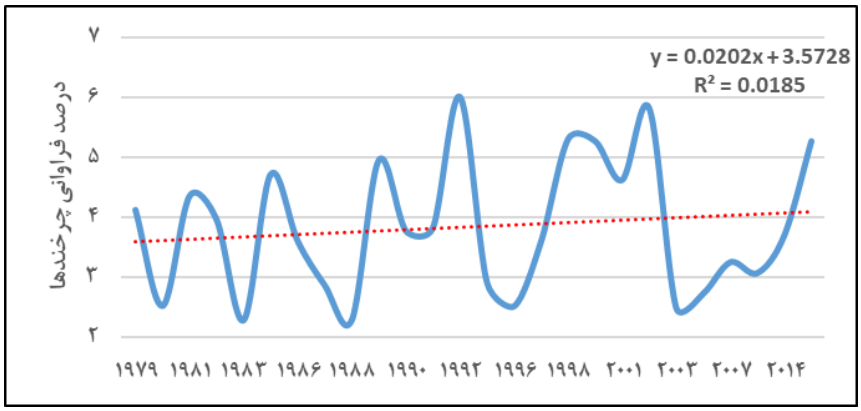


شکل (۱۲). مکان چرخندزایی و گذر چرخندی در ماه فوریه در طول سال‌های آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶، (آبی پررنگ چرخندزایی ضعیف و طیف رنگی متمایل به زرد چرخندزایی، مربع‌های سفید نشانه عدم رخ داد چرخندزایی)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

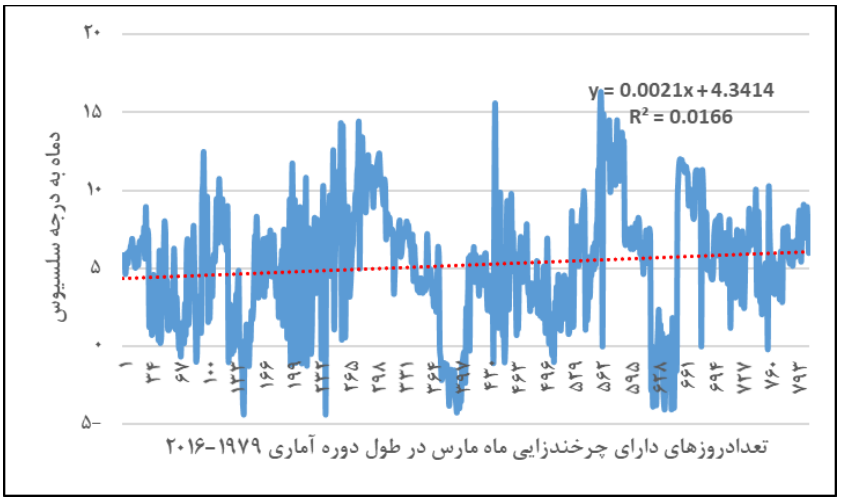
رخداد مراکز چرخندی در ماه مارس

نمودارهای سری زمانی فراوانی رخداد چرخندی در طول دوره آماری در ماه مارس نشان داد که فراوانی چرخندی در طول دوره آماری در دهه اخیر نسبت به دو دهه قبل روند افزایشی را نشان می‌دهد یعنی در دهه اول خط روند زیر ۳/۷ درصد بوده است ولی در دهه آخر به بالای ۴/۱ درصد هم رسیده است شکل (۱۳) که دلیل افزایش فراوانی رخداد چرخندها در دهه اخیر نسبت به دو دهه گذشته به‌طور کامل نیازمند واکاوی همدیدی است. فراوانی تعداد کل چرخندها در این ماه نسبت به دیگر ماه‌های فصل زمستان ۱۶/۱ درصد می‌باشد (شکل ۶) فراوانی تعداد کل چرخندها در این ماه نسبت به ماه فوریه افزایش داشته است زیرا به‌تدریج تضادهای دمایی ناشی از ورود به فصل بهار آشکار می¬شود که خود باعث افزایش فراوانی تعداد چرخندها می‌شود. شدیدترین مرکز چرخندی ۲۹۴۴ متر ارتفاع ژئوپتانسیل دارد. بااینکه تعداد چرخندهای این ماه نسبت به ماه قبل افزایش داشته است ولی از شدت مرکز چرخندی نسبت به ماه قبل کاسته شده است. در این ماه فراوانی رخداد چرخندهای هسته سرد ۷۸ درصد و چرخندهای هسته گرم ۲۲ درصد بوده است که نسبت به ماه قبل فراوانی چرخندهای هسته سرد افزایش داشته و فراوانی چرخندهای هسته گرم کاهش داشته است. همچنین، ازنظر الگوهای بارشی، الگوهای این ماه به این صورت که الگوی نوع اول ۱۵ درصد ایام، الگوی دوم ۲۱ درصد، الگوی سوم ۲۴ درصد و الگوی چهارم ۱۳ درصد دیده‌شده است. فراوانی رخداد مکانی این ماه هم به این صورت است شکل (۱۵) که همچنان بیشترین مکان گذر و یا رخ داد چرخندی در جنوب البرز، جنوب دریای خزر و جنوب زاگرس و مرکز ایران و در غرب و شمال غرب ایران، شرق مدیترانه بیشترین مکان‌های رخداد چرخندی را دارا هستند که نسبت به ماه قبل شمال غرب و غرب نسبتاً فعال‌تر بوده است. میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل (هم که به‌نوعی بیان‌کننده قدرت چرخند می‌باشد) در این ماه هم افزایش داشته است، پس از شدت چرخندها کاسته شده است. همچنین میانگین دمای مراکز چرخندی شکل (۱۴) در این ماه هم در دهه اخیر افزایش داشته است که به‌نوعی بیان‌کننده ارتباط مستقیم بین ارتفاع ژئوپتانسیل و دمای مراکز چرخندی است که با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل در این ماه و ماه‌های قبل دمای مراکز چرخندی هم افزایش داشته است. به‌طورکلی در این ماه در دهه اخیر نسبت به دو دهه گذشته میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل افزایش پیداکرده است و میانگین دمای مراکز چرخندی هم افزایش پیداکرده است.

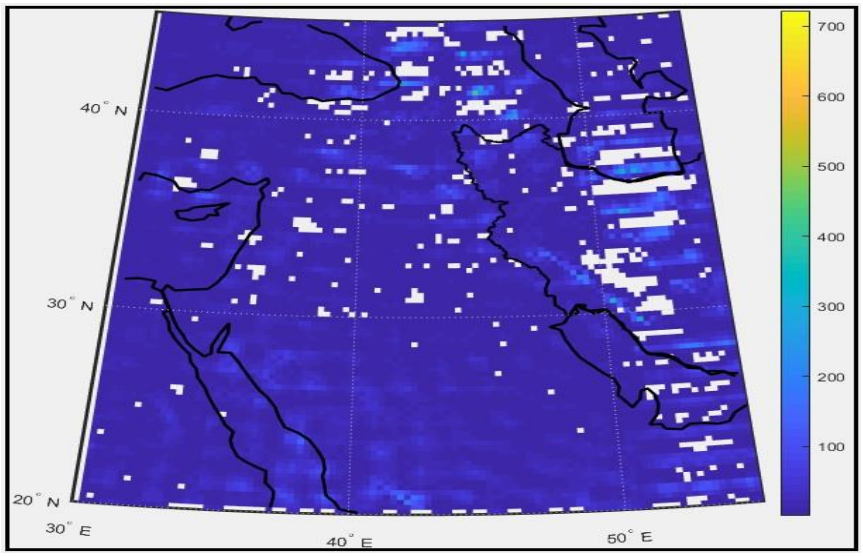


شکل (۱۳). درصد فراوانی رخ داد چرخندها در ماه مارس در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]



شکل (۱۴). میانگین دمای مراکز چرخندی در ماه مارس در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶



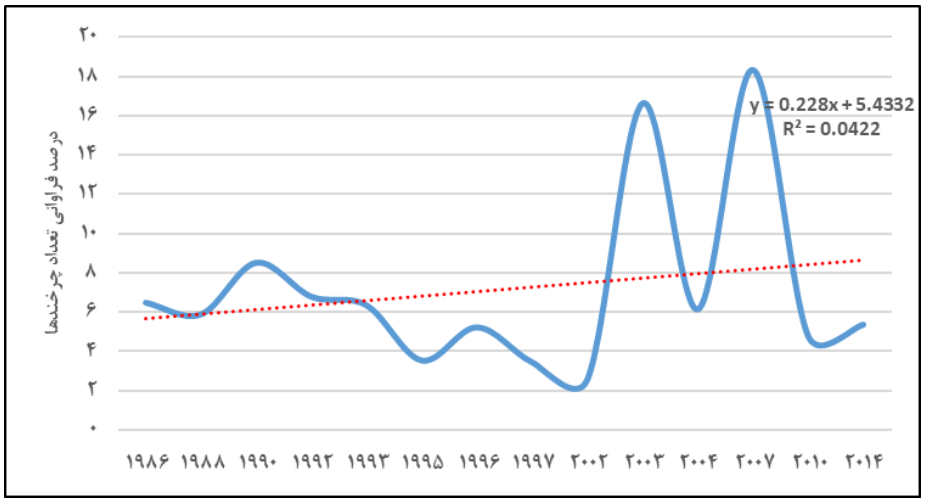
شکل (۱۵). مکان چرخندزایی و گذر چرخندی در ماه مارس در طول سال‌های آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶، (آبی پررنگ چرخندزایی ضعیف و طیف رنگی متمایل به زرد چرخندزایی، مربع‌های سفید نشانه عدم رخ داد چرخندزایی)

ماه آوریل

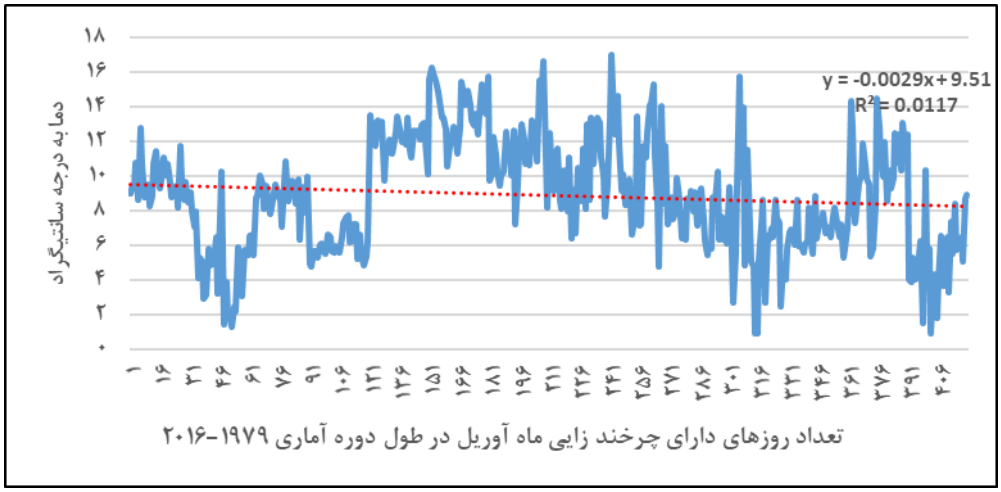
ماه آوریل اولین ماه فصل بهار است اما به علت اینکه ممکن است ازلحاظ آب و هوایی بخشی از ویژگی‌های زمستان را داشته باشد در این پژوهش هم این ماه به‌عنوان یکی از ماهای فصل زمستان موردبررسی قرار گرفت. نمودار فراوانی رخ داد چرخند در سال‌های موردبررسی در ماه آوریل نشان داد که دارای روند افزایشی بود. به‌این‌ترتیب که در دوره اول خط روند از ۵/۹ درصد به ۸/۳ درصد در دوره سوم می‌رسد شکل (۱۶). فراوانی رخ داد تعداد کل چرخندهای این ماه شکل (۶) در طول دوره آماری ۱۲/۷ درصد می‌باشد که کمترین تعداد در ماه زمستان می‌باشد یکی از دلایل کاهش فروانی رخداد تعداد چرخندها در این ماه پس‌روی تدریجی بادهای غربی است و متعاقباً از بین رفتن تدریجی تضاد دمایی توده‌هواها و یکنواختی آن‌ها است که یکی از عوامل اصلی در چرخند میرایی است. ارتفاع ژئوپتانسیل شدیدترین چرخند در این ماه ۲۹۶۹ متر بوده است که ازنظر تعداد چرخند و شدت چرخند نسبت به ماه مارس کاهش چشمگیری داشته است. میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی در حال کاهش است یعنی اینکه چرخندهای این ماه ازلحاظ قدرت در حال شدت گرفتن هستند. میانگین دمای مراکز چرخندی شکل (۱۷) در دهه اخیر نسبت به دو دهه گذشته کاهش داشته است که با

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

کاهش میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل میانگین دمای مراکز چرخندی هم کاهش پیداکرده است. به‌طور کل در این ماه در دهه اخیر نسبت به دو دهه قبل هم فراوانی رخداد چرخندها افزایش داشته است و هم میانگین دمای مراکز چرخندی و ارتفاع ژئوپتانسیل نسبت به دو دهه گذشته کاهش داشته است. بارش‌های این ماه در طول دوره آماری بیشتر ناشی از چرخندهای هسته سرد با فراوانی رخداد ۷۵ درصد و چرخندهای هسته گرم ۲۵ درصد بوده است. ازلحاظ الگوهای بارشی، الگوهای بارشی این ماه به این صورت که الگوی اول در ۴ درصد ایام این ماه دیده‌شده است، الگوی دوم ۵ درصد، الگوی سوم ۶ درصد و الگوی چهارم ۴ درصد. فراوانی مکانی رخداد چرخند شکل (۱۸) هم به این صورت است که نسبت به ماه مارس در این ماه هسته بیشینه رخ داد چرخندی در جنوب البرز، جنوب دریای خزر، جنوب زاگرس و مرکز ایران و همچنین در غرب و شمال غرب ایران، شرق مدیترانه به کم‌تر از ۳۵۰ عدد در ماه رسیده است. همچنین رخ داد چرخند در غرب ایران و شرق دریای مدیترانه و شمال عربستان به کمترین تعداد خود در ماه زمستان رسیده است و در شرق مدیترانه تا غرب ایران ازلحاظ عدم رخداد چرخند نسبت به ماه‌های قبل این منطقه در حال کاهش رخداد چرخندی است؛ که گویای این واقعیت است که با پیش روی به‌سوی ماه‌های گرم رخ داد چرخندی هم به‌طرف عرض‌های بالاتر منتقل خواهد شد.

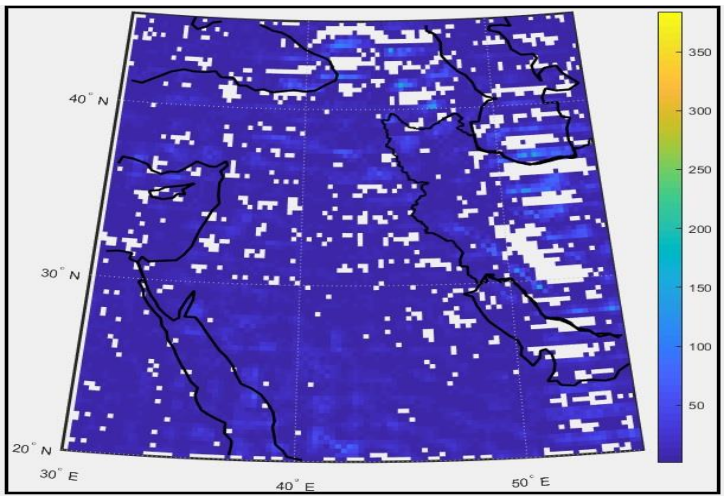


شکل (۱۶). درصد فراوانی رخداد چرخندها در ماه آوریل در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶



شکل (۱۷). میانگین دمای مراکز چرخندی در ماه آوریل در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]



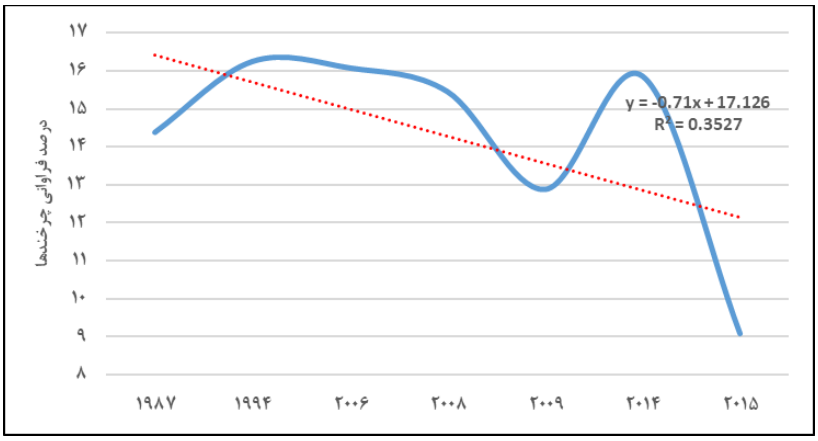
شکل (۱۸). مکان چرخندزایی و گذر چرخندی در ماه آوریل در طول سال‌های آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶، (آبی پررنگ چرخندزایی ضعیف و طیف رنگی متمایل به زرد چرخندزایی، مربع‌های سفید نشانه عدم رخ داد چرخندزایی)

فراوانی رخداد آماری مراکز چرخندی در فصل پاییز

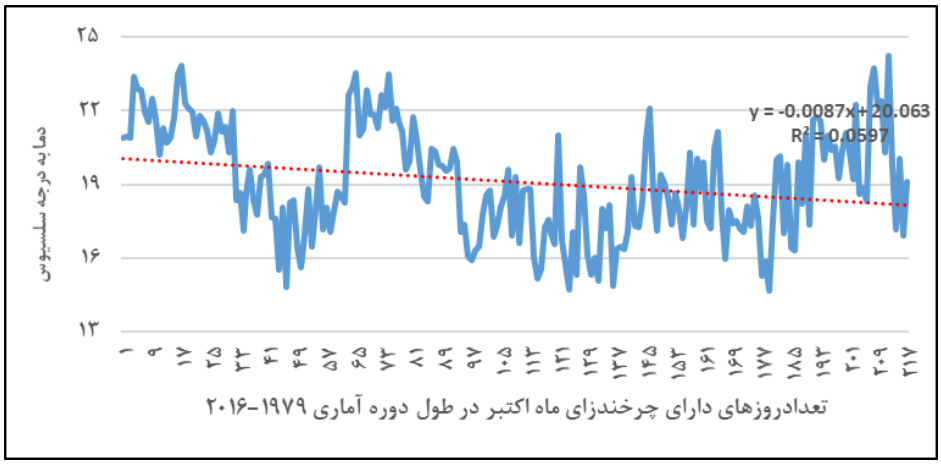
ماه اکتبر

اولین ماه فصل پاییز ماه اکتبر است که درواقع شروع دوره سرد و فصل سرد با این ماه شروع می‌شود. فراوانی رخ داد چرخند در طول دوره آماری در این ماه مثل ماه‌های قبل در دهه اخیر کاهش داشته است شکل (۱۹). فراوانی تعداد کل چرخندهای این ماه ۶/۲ درصد بوده است که کمترین تعداد در بین تمام ماهای دوره سرد می‌باشد شکل (۶). با توجه به این‌که ماه اکتبر ماه آغازین فصل سرد و پایانی فصل گرم است و بادهای غربی به‌تدریج وارد می‌شوند یعنی شروع دوره سرد همیشه تدریجی‌تر از پایان دوره سرد می‌باشد و تضاد حرارتی هنوز برجسته نیست و توده‌های هوا بیشتر مشخصات توده‌های دوره گرم را دارا هستند که ازلحاظ جبهه‌زایی ضعیف و درنتیجه چرخندزایی هم تضعیف می‌شود. شدیدترین چرخند در این ماه ۳۰۹۸ متر ارتفاع ژئوپتانسیل داشته است که هنوز نسبت به دوره فصل سرد زمستان چرخندهای این ماه شدت و قدرت نگرفته‌اند. میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل این ماه در حوالی ۳۱۰۰ ژئوپتانسیل است و تقریباً ثابت است. میانگین دمای مراکز چرخندی در این ماه شکل (۲۰) در دهه اخیر نسبت به دو دهه قبل کاهش داشته است به‌طوری‌که خط روند از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۱۸ درجه سانتی‌گراد رسیده است. بارش‌های این ماه در طول دوره آماری بیشتر ناشی از چرخندهای هسته سرد با فراوانی رخداد ۷۵ درصد بوده است و چرخندهای هسته گرم با فراوانی رخداد ۲۵ درصد بوده است. ازلحاظ الگوهای بارشی، الگوهای بارشی این ماه به این صورت که الگوی اول ۲ درصد، الگوی دوم ۴ درصد، الگوی سوم ۱ درصد و الگوی چهارم ۴ درصد در ایام این ماه دیده‌شده‌اند. فراوانی مکانی رخ داد چرخندی شکل (۲۱) در این ماه هسته‌های بیشینه در جنوب البرز، جنوب دریای خزر، آذربایجان، مرکز ایران، جنوب زاگرس و شمال غرب ایران و شرق و شمال شرق مدیترانه است که کمتر از ۱۸۰ چرخند در ماه است و نسبت به ماهای قبل کاهش چشمگیری داشته است و کمترین میزان چرخندزایی ازلحاظ مکانی در بین ماهای سرد سال را دارا می‌باشد. در غرب ایران به‌ویژه روی عراق تا شرق مدیترانه ازلحاظ عدم رخ داد چرخند نسبت به سایر ماه‌ها در این منطقه بیشتر بوده است (مربع‌های سفید نشانه عدم تشکیل چرخند است).

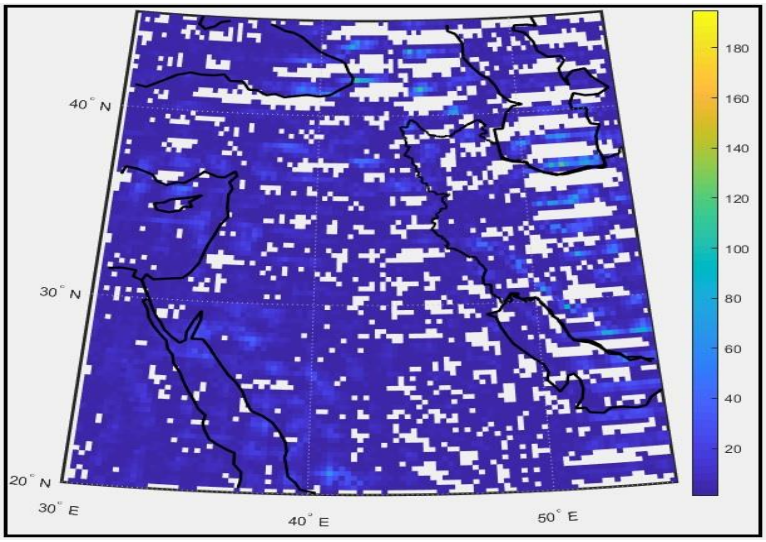
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]



شکل (۱۹). درصد فراوانی رخ داد چرخندها در ماه اکتبر در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶



شکل (۲۰). میانگین دمای مراکز چرخندی در ماه اکتبر در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶



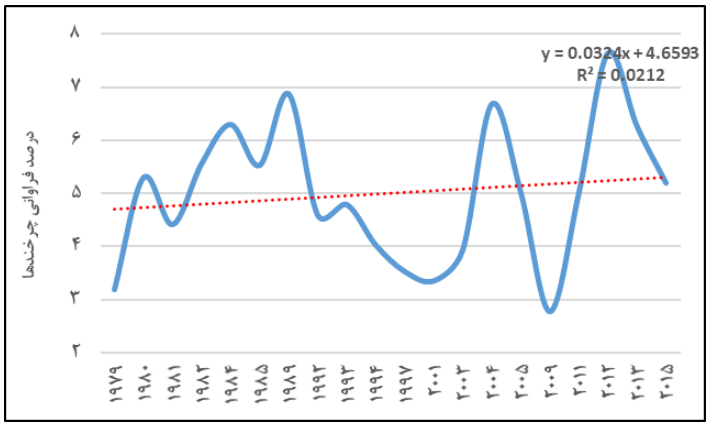
شکل (۲۱). مکان چرخندزایی و گذر چرخندی در ماه اکتبر در طول سال‌های آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶، (آبی پررنگ چرخندزایی ضعیف و طیف رنگی متمایل به زرد چرخندزایی، مربع‌های سفید نشانه عدم رخداد چرخندزایی)

ماه نوامبر

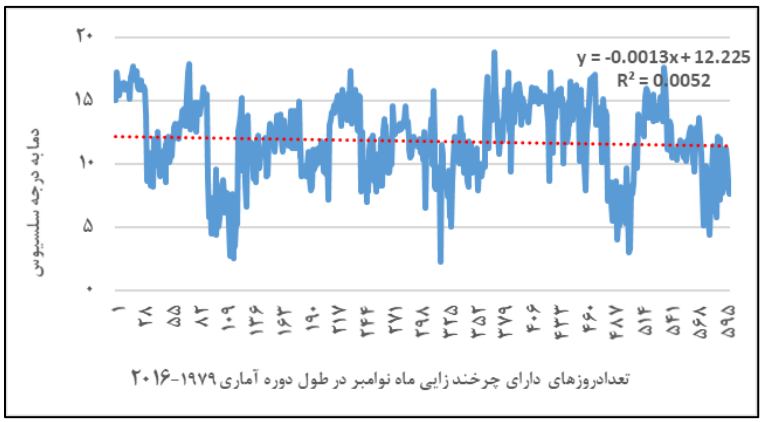
در ماه نوامبر برخلاف ماه اکتبر، در دهه اخیر نسبت به دو دهه گذشته دارای روند افزایشی بوده است و خط روند از ۴/۸

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

درصد در دهه اول به ۵/۲ درصد در دهه سوم رسیده است شکل (۲۲). فراوانی تعداد کل چرخندهای این ماه شکل (۶) به ۱۷/۳ درصد رسیده است که هم بالاترین مقدار در فصل پاییز و هم در فصل زمستان است و دلیل احتمالی آن وجود تضاد حرارتی شدید ناشی از ورود توده‌های هوای سرد با شروع دوره سرد و گرمای باقی‌مانده ناشی از فصل گرم است که باعث بیشترین رخداد چرخندزایی در کل دوره سرد شده است. همچنین، دارای شدیدترین چرخند در کل دوره سرد با ارتفاع ژئوپتانسیل ۲۴۳۶ متر بوده است. میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی در این ماه در حوالی ۳۰۰۰ تا ۳۱۰۰ متر است که در تعدادی از مراکز چرخندی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تا ۲۵۰۰ متر می‌رسد. در این ماه روند میانگین دمای مراکز چرخندی در دهه اخیر نسبت به دو دهه گذشته کاهش داشته است شکل (۲۳). فراوانی رخداد چرخندهای هسته سرد در این ماه ۸۰ درصد و چرخندهای هسته گرم ۲۰ درصد بوده است که نسبت به ماه اکتبر درصد چرخندهای هسته سرد افزایش داشته و به بالاترین میزان در دوره آماری رسیده است که فراوانی رخداد چرخندهای هسته سرد به ۸۰ درصد رسیده است. فراوانی رخداد چرخندهای هسته گرم نیز در این ماه به کمترین میزان خود در طول فصول دوره سرد یعنی به ۲۰ درصد رسیده است. ازلحاظ الگوهای بارشی در این ماه ۱۲ درصد ایام الگوی اول،۱۲ درصد الگوی دوم،۱۵ درصد الگوی سوم و ۱۳ درصد الگوی چهارم دیده می‌شود. فراوانی مکانی رخ داد چرخند با توجه به شکل (۲۴) نشان می‌دهد که در این ماه مراکز چرخندی در بیشتر جاهای ایران و بیرون از ایران که شامل جنوب البرز، جنوب دریای خزر، جنوب زاگرس و مرکز ایران و همچنین در بیرون از منطقه موردمطالعه در غرب و شمال غرب ایران، شرق مدیترانه بیشترین مکان‌های رخداد چرخندی نسبت به ماه قبل دوباره فعال‌شده‌اند که بالای ۴۵۰ مورد چرخند در ماه می‌رسند. در غرب کشور تا شرق مدیترانه عدم رخ داد چرخند نسبت به ماه قبل کم شده است و اغلب در غرب منطقه موردمطالعه چرخندی زایی وجود دارد.

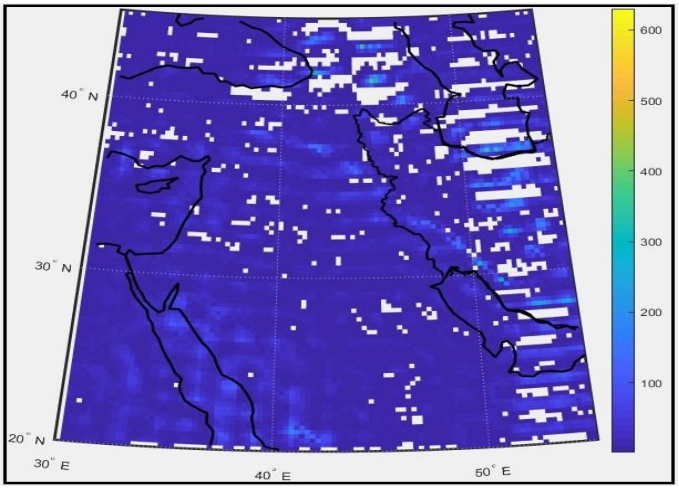


شکل (۲۲). درصد فراوانی رخداد چرخندها در ماه نوامبر در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶



شکل (۲۳). میانگین دمای مراکز چرخندی در ماه نوامبر در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

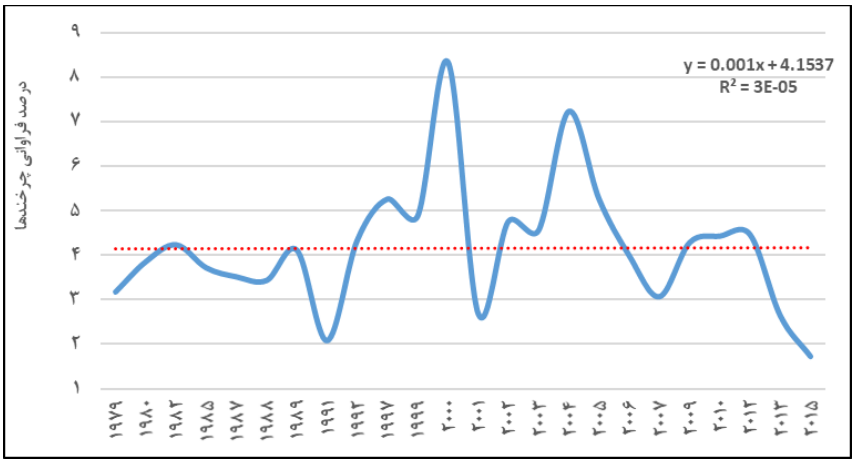


شکل (۲۴). مکان چرخندزایی و گذر چرخندی در ماه نوامبر در طول سال‌های آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶(آبی پررنگ چرخندزایی ضعیف و طیف رنگی متمایل به زرد چرخندزایی، مربع‌های سفید نشانه عدم رخداد چرخندزایی)

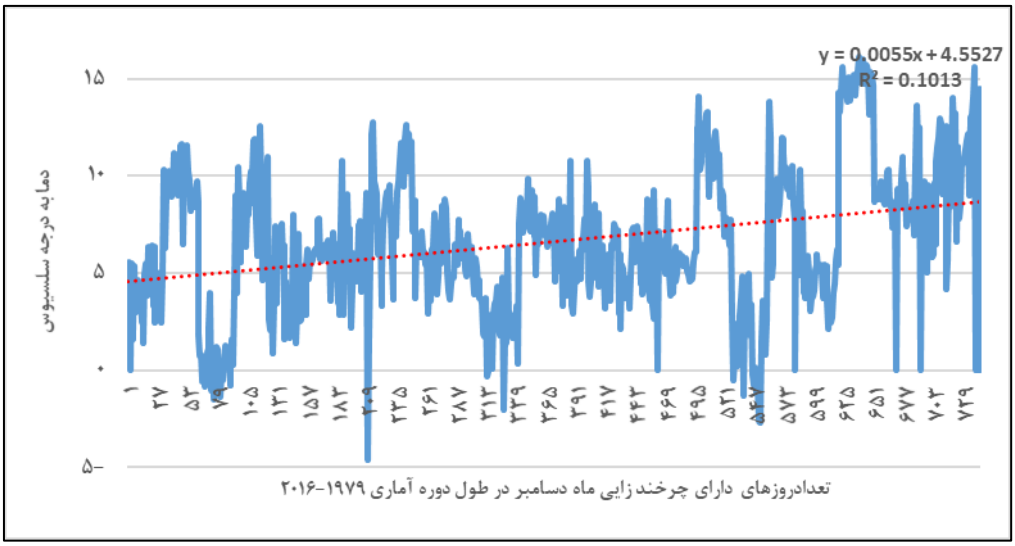
دسامبر

در ماه دسامبر در هر سه دهه موردبررسی، فراوانی رخ داد چرخند تقریباً ثابت است. ولی در سال ۲۰۰۰ یک اوج افزایشی دیده شد که به حدود ۸/۴ درصد رسیده است شکل (۲۵). فراوانی رخ داد تعداد کل چرخندهای این ماه ۱۶/۳ درصد بوده است شکل (۶) که نسبت به ماه قبل کاهش داشته است چون در این ماه توده‌های هوا ازلحاظ دمایی متجانس‌تر شده و تضاد دمایی کم شده است. قوی‌ترین چرخند در این ماه ارتفاع ژئوپتانسیل مرکز آن ۳۰۱۰ متر بوده است که ازنظر تعداد چرخندها و قدرت آن‌ها نسبت به ماه قبل کاهش چشمگیری داشته است. میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز چرخندی ماه دسامبر در دهه اخیر نسبت به دو دهه گذشته روند افزایشی دارد که از ۳۰۵۰ متر تا ۳۱۵۰ متر اختلاف ارتفاع در مراکز چرخندی وجود دارد. همچنین دمای مراکز چرخندی شکل (۲۶) در دهه گذشته نسبت به دو دهه قبل افزایش پیداکرده است که این افزایش می‌تواند در ارتباط با افزایش میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل باشد که نشان‌دهنده تغییر اقلیم در دهه گذشته نسبت به دو دهه قبل می‌باشد؛ که یکی از پارامترها در بحث تغییر اقلیم افزایش دمای کره زمین می‌باشد که ارتفاع ژئوپتانسیل آیینه دمای کره زمین می‌باشد که این افزایش را در دهه اخیر نشان داده است. پس به تبعیت از این، میانگین دمای مراکز چرخندی هم در دهه اخیر نسبت به دو دهه قبل افزایش پیداکرده است و از ۵ درجه سانتی‌گراد به حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دهه اخیر رسیده است. فراوانی رخداد چرخندهای هسته سرد این ماه ۷۵ درصد و چرخندهای هسته گرم ۲۵ درصد بوده است که نسبت به ماه قبل فراوانی چرخندهای هسته سرد ۵ درصد کاهش داشته و از ۸۰ درصد در ماه قبل به ۷۵ درصد در این ماه رسیده است و چرخندهای هسته گرم با افزایش ۵ درصدی در این ماه نسبت به ماه قبل از ۲۰ درصد به ۲۵ درصد رسیده است. ازلحاظ الگوهای بارشی ۱۹ درصد ایام این ماه را الگوی اول،۲۶ درصد الگوی دوم،۲۸ درصد الگوی سوم و ۱۳ درصد الگوی نوع چهارم دیده‌شده است. فراوانی مکانی رخ داد چرخندی در این ماه با توجه به شکل (۲۷) نشان داد که نسبت به ماه قبل افزایش در تعداد چرخندها در مکان‌های جنوب البرز، جنوب دریای خزر، جنوب زاگرس و مرکز ایران و همچنین در بیرون از منطقه موردمطالعه در غرب و شمال غرب ایران، شرق مدیترانه وجود دارد و نسبت به ماه قبل این افزایش بارز است و به بالای ۶۰۰ مورد چرخند در ماه می‌رسد. از غرب کشور تا شرق مدیترانه نسبت به ماه قبل ازلحاظ چرخندزایی افزایش داشته است.

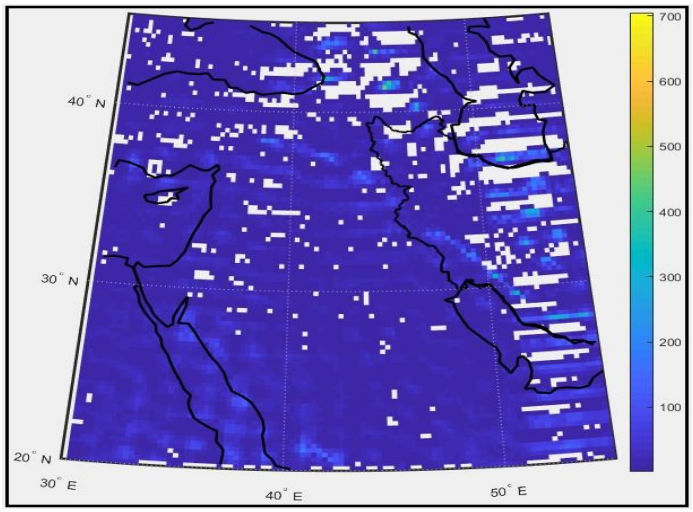
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]



شکل (۲۵). درصد فراوانی رخ داد چرخندها در ماه دسامبر در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶



شکل (۲۶). میانگین دمای مراکز چرخندی در ماه دسامبر در طول دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶



شکل (۲۷). مکان چرخندزایی و گذر چرخندی در ماه دسامبر در طول سال‌های آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۶ (آبی پررنگ چرخندزایی ضعیف و طیف رنگی متمایل به زرد چرخندزایی، مربع‌های سفید نشانه عدم رخداد چرخندزایی)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

جدول (۲). تعداد و درصد نوع دمای هسته‌های چرخندی هرماه

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	اکتبر	نوامبر	دسامبر	فصل زمستان	فصل پاییز
تعداد چرخندهای هسته سرد	۶۶	۵۳	۵۸	۱۵	۱۲	۴۰	۷۸	۱۹۲	۱۳۰
تعداد چرخندهای هسته گرم	۲۲	۲۱	۱۶	۵	۴	۱۰	۲۵	۶۴	۳۹
درصد چرخندهای هسته سرد	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۸۰	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۴۰
درصد چرخندهای هسته گرم	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۶۲	۰/۳۸

جدول (۳). درصد الگوهای مشاهده‌شده هرماه در طول دوره آماری

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	اکتبر	نوامبر	دسامبر
الگوی ۱	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۴	۰/۲	۰/۱۲	۰/۱۹
الگوی ۲	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۵	۰/۴	۰/۱۲	۰/۲۶
الگوی ۳	۰/۱۸	۰/۹	۰/۲۴	۰/۶	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲۸
الگوی ۴	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۴	۰/۴	۰/۱۳	۰/۱۳

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

آشکارسازی روند تغییرات فراوانی رخ داد زمانی_مکانی مراکز چرخندزایی و الگوهای روزهای بارشی پژوهش اخیر نشان داد که از بین الگوهای جوی که سبب بارش‌ها شده بودند، ۴ الگو به دست آمد. از میان آن‌ها الگوی اول در ۴۲ درصد ایام دوره سرد دیده می‌شود که در فصل زمستان ۶۷ درصد و پاییز ۳۳ درصد الگوی اول تکرار می‌شود. میانگین بارش زمستانه این الگو ۱۶ میلی‌متر و پاییز ۱۴/۸ میلی‌متر است. الگوی دوم در ۳۲ درصد ایام دوره سرد دیده می‌شود که در فصل زمستان ۵۷ درصد و در فصل پاییز ۴۳ درصد دیده‌شده است. ازلحاظ بارش فصلی الگوی دوم زمستان با میانگین ۱۴/۶ میلی‌متر و پاییز ۱۴/۹ میلی‌متر است. الگوی سوم در ۱۵ درصد ایام دوره سرد دیده می‌شود که در فصل زمستان ۵۶ درصد و در فصل پاییز ۴۴ درصد دیده‌شده است. میانگین بارش این الگو در فصل زمستان ۱۴/۸ میلی‌متر و در پاییز ۱۳/۵ میلی‌متر است. الگوی بارشی روزهای چهارم در ۱۰ درصد ایام دوره سرد تکرار می‌شود که در فصل زمستان ۷۲ درصد و در فصل پاییز ۲۸ درصد دیده‌شده است. میانگین بارش فصل زمستان این الگو ۱۴/۲ میلی‌متر و فصل پاییز ۱۱/۹ میلی‌متر است. این الگو کمترین فراوانی رخداد در بین سایر الگوها را دارا است. در دوره سرد، زمستان دارای بیشترین فراوانی رخداد مراکز چرخندی با حدود ۵۳/۲۱ درصد و پاییز با ۴۶/۷۸ درصد است. میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل در زمستان در دهه اخیر در ماه‌های ژانویه و مارس افزایش داشته است و به تبعیت دمای مراکز چرخندی هم در ماه‌های که ارتفاع ژئوپتانسیل افزایش داشته دمای مرکز چرخندها هم افزایش داشته است. همچنین فراوانی رخ داد چرخندهای هسته سرد در فصل زمستان ۶۰ درصد و چرخندهای هسته گرم ۶۲ درصد و در فصل پاییز ۴۰ درصد چرخندهای هسته سرد و ۳۸ درصد چرخندهای هسته گرم مشاهده‌شده است. در دهه گذشته نسبت به دو دهه قبل افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل، افزایش دمای مرکز چرخندها و کاهش نسبت چرخندهای هسته سرد نسبت به هسته گرم رخداده است که با پژوهش علیجانی و همکاران (۱۳۹۴) که نتیجه گرفتند با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل منجر به عدم ریزش هوای سرد می‌شود و ماه ژانویه گرم‌تری را باعث شود همسو است. این تغییرات می‌تواند بر دمای مرکز چرخندی و هم بر نوع بارش اثرگذار باشد. در کل در طول دوره آماری در دهه اخیر نسبت به دو دهه گذشته از فراوانی رخ داد چرخندی در دوره سرد کاسته شده است که با پژوهش بیات و همکاران (۱۳۹۶) که نتیجه گرفتند که تعداد چرخندها در طول سه دهه اخیر کاهش داشته است همسو می‌باشد. ازلحاظ شدت مراکز چرخندی در دهه اخیر نسبت به دو دهه قبل کاسته شده و قوی‌ترین چرخندها در دهه اول دوره آماری رخداده‌اند. در این پژوهش از شیو ژئوپتانسیل و کمینه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل برای شناسایی مرکز چرخندی و چرخندزایی بهره گرفته‌شده است احتمال می‌رود کاهش رخداد فراوانی چرخند و شدت چرخندها در دهه اخیر ناشی از افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل است که به‌نوعی آیینه دمای کره زمین و بیان‌کننده دمای آن است که با پژوهش حیدری و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

خوش‌اخلاق (۱۳۹۷) نتیجه گرفتند که در دهه اخیر ارتفاع ژئوپتانسیل افزایش پیداکرده است همسو است. بیشترین مکان چرخندزایی و گذر چرخندی در جنوب البرز و دامنه بادپناهی آن، جنوب دریای خزر و دامنه باد پناهی زاگرس، جنوب زاگرس، غرب و شمال غرب ایران، شرق مدیترانه می‌باشند. در مکان‌های یادشده حداکثر فعالیت چرخندزایی در ژانویه و کمترین آن در اکتبر روی می‌دهد که با شروع دوره سرد، از اکتبر هر چه به‌طرف زمستان پیش رویم مراکز چرخندزایی در مکان‌های مختلف تقویت می‌شود. چرخندزایی درروی البرز و جنوب دریایی خزر و روی زاگرس به‌وضوح در تمام ماها رخداده است. چرخندهای زایش شده در غرب و شمال غرب و جنوب غرب ایران اهمیت زیادی در منطقه غرب ایران دارند توجه به این نکته ضروری است که در دوره سرد در شرق مدیترانه و غرب ایران ازنظر چرخندزایی فعال بوده است و همیشه چرخندزایی اتفاق افتاده است که با پژوهش خسروی و همکاران (۱۳۹۱) و بیات و همکاران (۱۳۹۶) که نتیجه گرفتند که کانون اصلی چرخندزایی ایران در زمستان درروی شرق مدیترانه و جزیره قبرس است همسو است که منطقه در فصل زمستان متأثر از چرخندهای است که شرق مدیترانه و روی عراق کانون تشکیل آن‌ها است.

منابع

ایران‌نژاد، پرویز؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ محمد نژاد، علیرضا (۱۳۸۸). اثر مراکز چرخندزایی مدیترانه بر بارش سالانه ایران در دوره ۱۹۶۰-۲۰۰۲، *مجله ژئوفیزیک ایران*، دوره ۳، شماره ۱، صفحه ۹۱-۱۰۵.

بیات، علی؛ سلیقه، محمد؛ اکبری، مهری (۱۳۹۶). اقلیم‌شناسی سیکلون‌های بارانزای زمستانه ایران، *مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، دوره ۴، شماره ۲، صفحه ۱-۱۸.

بیاتی خطیبی، مریم؛ جهانبخش اصل، سعید؛ فرشی فروغ، جواد (۱۳۷۸). تجزیه‌وتحلیل سینوپتیکی بارش‌های منطقه شمال غرب ایران، *مجله دانش کشاورزی*، دوره ۹، شماره ۱، صفحه ۵۵-۷۰.

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

خسروی، محمود؛ موحدی، سعید؛ هاشمی عنا، سید کرامت؛ حیدری، بهروز (۱۳۹۱). بررسی همدیدی کنش‌های چرخندی ترازهای مختلف جوی ایران در سال ۱۳۶۹، *مجله جغرافیا و توسعه*، دوره ۱۲، شماره ۳۵، صفحه ۸۳-۹۵.

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

کاوسی، رضا؛ موحدی، سعید (۱۳۹۳). بررسی همدیدی کنش‌های چرخندی بر روی ایران در سال ۱۳۷۱، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، دوره ۲۹، شماره ۱۱۵، صفحه ۹۷-۱۱۲.

مارتین، جاناتان (۲۰۰۶). دینامیک جو در عرض‌های میانه، برگردان سید ابوالفضل مسعودیان، *انتشارات دانشگاه اصفهان*.

یارنال، برنت (۱۹۹۳). اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، برگردان سید ابوالفضل مسعودیان، *انتشارات دانشگاه اصفهان*.

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

Alpert, P, Neeman, B. U, & Shay-El, Y. (1990). Intermonthly variability of cyclone tracks in the Mediterranean. Journal of Climate, 3(12), 1474-1478.

Blender, R, & Schubert, M. (2000). Cyclone tracking in different spatial and temporal resolutions. Monthly Weather Review, 128(2), 377-384.

Catto, J. L. (2016). Extratropical cyclone classification and its use in climate studies. Reviews of Geophysics, 54(2), 486-520.

Chen, S. J, Kuo, Y. H, Zhang, P. Z, & Bai, Q. F. (1991). Synoptic climatology of cyclogenesis over East Asia, 1958-1987. Monthly Weather Review, 119(6), 1407-1418.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

Guijarro, J. A, Jansa, A, & Campins, J. (2006). Time variability of cyclonic geostrophic circulation in the Mediterranean. Advances in Geosciences, 7, 45-49.

Jung, T, Gulev, S. K, Rudeva, I, & Soloviov, V. (2006). Sensitivity of extratropical cyclone characteristics to horizontal resolution in the ECMWF model. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography, 132(619), 1839-1857.

Klein, W. H. (1958). The frequency of cyclones and anticyclones in relation to the mean circulation. Journal of Meteorology, 15(1), 98-102.

Lionello, P, Bhend, J, Buzzi, A, Della-Marta, P. M, Krichak, S. O, Jansa, A. & Trigo, R. (2006). Cyclones in the Mediterranean region: climatology and effects on the environment. In Developments in earth and environmental sciences (Vol. 4, pp. 325-372). Elsevier.

Maheras, P, Flocas, H. A, Patrikas, I, & Anagnostopoulou, C. (2001). A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: spatial and temporal distribution. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 21(1), 109-130.

Michaelis, A. C, Willison, J, Lackmann, G. M, & Robinson, W. A. (2017). Changes in winter North Atlantic extratropical cyclones in high-resolution regional pseudo–global warming simulations. Journal of Climate, 30(17), 6905-6925.

Nielsen, J. W, & Dole, R. M. (1992). A survey of extratropical cyclone characteristics during GALE. Monthly Weather Review, 120(7), 1156-1168.

Oort, A. H, & Vonder Haar, T. H. (1976). On the observed annual cycle in the ocean-atmosphere heat balance over the Northern Hemisphere. Journal of Physical Oceanography, 6(6), 781-800.

Radinović, D. (1987). Mediterranean cyclones and their influence on the weather and climate. World Meteorological Organization.

Schemm, S, & Sprenger, M. (2015). Frontal-wave cyclogenesis in the North Atlantic–a climatological characterisation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 141(693), 2989-3005.

Schemm, S, Sprenger, M, & Wernli, H. (2018). When during their life cycle are extratropical cyclones attended by fronts. Bulletin of the American Meteorological Society, 99(1), 149-165.

Schultz, D. M, Bosart, L. F, Colle, B. A, Davies, H. C, Dearden, C, Keyser, D, ... & Winters, A. C. (2019). Extratropical Cyclones: A Century of Research on Meteorology's Centerpiece. Meteorological Monographs, 59, 16-1.

Simmonds, I, & Keay, K. (2000). Mean Southern Hemisphere extratropical cyclone behavior in the 40-year NCEP–NCAR reanalysis. Journal of Climate, 13(5), 873-885.

Simmonds, I, Burke, C, & Keay, K. (2008). Arctic climate change as manifest in cyclone behavior. Journal of Climate, 21(22), 5777-5796.

Trigo, I. F, Davies, T. D, & Bigg, G. R. (1999). Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. Journal of climate, 12(6), 1685-1696.

Trigo, R. M, & DaCamara, C. C. (2000). Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 20(13), 1559-1581.

Wernli, H, & Schwierz, C. (2006). Surface cyclones in the ERA-40 dataset (1958–2001). Part I: Novel identification method and global climatology. Journal of the atmospheric sciences, 63(10), 2486-2507.

Whittaker, L. M, & Horn, L. H. (1984). Northern Hemisphere extratropical cyclone activity for four mid-season months. Journal of Climatology, 4(3), 297-310.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]

Xia, L, & Zhou, Y. (2018). Tracking Jianghuai Cyclones in China and Their Climate Characteristics. Atmosphere, 9(9), 341.

Yanase, W, & Niino, H. (2015). Idealized numerical experiments on cyclone development in the tropical, subtropical, and extratropical environments. Journal of the Atmospheric Sciences, 72(9), 3699-3714.

Zhang, Y. C, & Rossow, W. B. (1997). Estimating meridional energy transports by the atmospheric and oceanic general circulations using boundary fluxes. Journal of climate, 10(9), 2358-2373.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.222.5]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.2]