



Research Article

Investigation of the statistical characteristics, temporal trends, and elevational distribution of extreme precipitation events in southern Iran during the last three solar activity cycles

Ali Esmaili¹, Hassan Lashkari^{*1} , Zeynab Mohammadi²

1-Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, University of shahid beheshti, Tehran, Iran

2-Independent Researcher in Synoptic Climatology, Tehran, Iran

Received: 14 Feb 2026 Accepted: 26 May 2026

Extended Abstract

Introduction

Examining the intensity and patterns of extreme precipitation in recent years has become one of the important topics of climatological studies, because these events are closely related to global warming and changes in energy within the atmospheric system. Global studies indicate that in many regions, including Central Europe and the western United States, the intensity and frequency of extreme precipitation have shown an increasing trend. In some mid latitude and subtropical regions such as Southeast Asia and the Mediterranean Basin, an increase in precipitation intensity has occurred simultaneously with a decrease in the number of rainy days, which has led to a temporal concentration of rainfall and an increase in hydrological hazards. The results of studies in the Eastern Mediterranean, the Indian subcontinent, and research related to large scale atmospheric factors such as atmospheric rivers and synoptic patterns also emphasize the role of atmospheric systems in strengthening extreme precipitation. In Iran, numerous studies have examined the intensity, frequency, and spatial patterns of extreme precipitation. The results of these studies show that the Sudan Low is the most important factor producing heavy rainfall in the southern part of the country, and its activity is influenced by the Arabian anticyclone and the subtropical jet stream. Some studies have also pointed to the role of solar cycles in the temporal variability of precipitation and have reported a reduction in the temporal distribution of rainfall and a tendency toward convective events during recent cycles. In addition, elevation is also effective in intensifying extreme precipitation, and at elevations higher than 1500 m the effect of topography on increasing rainfall intensity becomes more significant. The importance of this issue in southern Iran becomes greater because this region lies under the simultaneous influence of several moisture sources and atmospheric systems. Proximity to the Persian Gulf, the Gulf of Oman, and the Arabian Sea, together with the influence of Sudanese and Mediterranean systems and southern airflows, creates conditions in which precipitation in this region often has an unstable, convective, and torrential nature. On the other hand, the presence of the extensive Zagros Mountains in the northern and eastern parts of this region causes elevation to play an important role in intensifying or weakening precipitation. Therefore, studying extreme precipitation in southern Iran without simultaneous attention to atmospheric mechanisms, the elevation of stations, and large-scale temporal variability cannot provide a complete picture of the behavior of these events.

Citation: Esmaili, A. et al, 2026. Investigation of the statistical characteristics, temporal trends, *Res. Earth. Sci.* 17(2), (113-135) DOI: 10.48308/esrj.2026.107328

* Corresponding author E-mail address: h-Lashkari@sbu.ac.ir



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Nevertheless, many previous studies have either focused on synoptic factors or examined temporal variations separately, and the simultaneous relationship between solar cycles and the altitudinal distribution of extreme precipitation has received less attention. Therefore, the present study, with an integrated approach, examines the simultaneous role of solar cycles and elevation classes in the changes of extreme precipitation structure in southern Iran. The main objective of the research is to analyze the trends and altitudinal pattern of extreme precipitation intensity in this region during the last three solar cycles in the period 1986–2019.

Materials and Methods

The study area of this research is southern Iran, including the provinces of Ilam, Lorestan, Khuzestan, Chaharmahal and Bakhtiari, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, Fars, Bushehr, Hormozgan, Kerman, and Sistan and Baluchestan. The data used include daily precipitation time series from the main and auxiliary synoptic stations of the Iran Meteorological Organization. Considering the objective of the research in examining the relationship between extreme precipitation and solar activity, the statistical period of the study was adjusted to three complete solar cycles (cycles 22, 23, and 24) corresponding to the years 1986–2019. To increase the accuracy of spatial analyses, in each 11-year cycle only stations with complete data were included in the calculations; therefore, the number of stations increased from 31 in cycle 22 to 59 in cycle 23 and 99 in cycle 24. In the first stage, the maximum 24-hour precipitation data were examined in terms of quality. The results showed that about 96% of the data had no defects, and for the 4% of data with gaps statistical reconstruction methods were used. In order to ensure data reliability, homogeneity and normality tests were also performed using the Anderson–Darling test at the 95% confidence level. In the next step, considering the importance of topography in precipitation distribution, the stations were classified based on 500-meter elevation classes in order to examine the effect of elevation on extreme precipitation intensity in each solar cycle. Then, to identify heavy precipitation events, a threshold of 10 mm was considered based on the R10mm index introduced by ETCCDI. Finally, the frequency of precipitation events was calculated in 10 mm classes, and the changes in their intensity and frequency in different solar cycles and elevation classes were analyzed and compared.

Results and Discussion

The results of this study show that the maximum 24-hour precipitation on the southern coasts of the country does not follow a linear trend. In other words, with increasing elevation precipitation does not show a uniform increasing pattern. Instead, precipitation variability is a combination of convective and orographic processes in which thermodynamic processes dominate over topographic effects. As a result, below the 500 m level, with the onset of convective flows, convective rainfall begins, but extreme precipitation with values exceeding 100 mm, which occurs at higher elevation classes, does not occur. Access to abundant moisture sources from the warm southern seas and the mechanisms of atmospheric systems affecting the region with tropical characteristics cause convective eddies to form along the coastal belt as soon as the first unstable conditions dominate the region. Subsequently, coastal topography increases the intensity of convective instability. These conditions continue up to an elevation of about 1000 m, after which extreme 24-hour precipitation shows a noticeable decrease in the 1000–1500 m elevation class. Above 1500 m, the increasing trend continues up to about 2500 m, where meteorological stations are located. In fact, the 1000–1500 m elevation class represents a turning point where the convective structure of systems changes into a combined convective–orographic structure. It seems that the moisture advected into the incoming systems in the lower layer is discharged by intense convective showers, and in the 1000–1500 m elevation class convective systems face a lack of moisture due to the discharge of moisture in the lower layer. In addition, according to the synoptic and thermodynamic pattern governing precipitation systems in this region, the moisture sources feeding the systems differ at different levels. In these patterns, in the lower levels, due to strong moisture advection—especially during the dominance of the Siberian and Tibetan high pressure tongues—moisture is advected into the Sudan system in the lower layer, and with the addition of moisture sources from the Intertropical Convergence Zone above the 850 hPa level through southern flows ahead of troughs, heavy and flood producing rainfall in higher elevations is greatly intensified (Mashayekh et al., 2023). However, in some particular synoptic patterns, convection can also occur at the lower levels if sufficient moisture is available, producing torrential rainfall. For example, during the precipitation system of 28 Azar 1404, the 24-hour precipitation amount at Khark Island station reached 137.9 mm

and at Qeshm station 135.2 mm. In some events, precipitation intensity has even exceeded 200 mm and has been accompanied by widespread and destructive floods, including the floods of 27–28 Azar 1404 and 6–7 Esfand 1402. In addition, in the elevation classes of 1500–2000 and 2000–2500 m the intensity of 24-hour precipitation has increased. The number of months with an average precipitation of more than 100 mm has increased significantly. During the 33-year statistical period, in the elevation class of 1500–2000 m a total of 21 months and in the class of 2000–2500 m 42 months with a monthly average 24-hour precipitation of more than 100 mm were reported. In terms of the month of occurrence of the highest 24 hour means, December occurred four times, January three times, March four times, and November four times. Therefore, the main concentration of extreme precipitation in southern Iran in terms of temporal distribution is between November and March. Among these months, February has the lowest frequency in producing extreme precipitation. This issue highlights the combined role of orographic uplift and the strengthening of convective instability. Comparison of solar cycles also showed that cycle 23 experienced the highest intensity and frequency of extreme precipitation. The examination of monthly distribution also indicates that the peak occurrence of extreme precipitation is in January, followed by a noticeable decrease in February and a renewed increase in March, while after April such events occur rarely and in a scattered manner.

Conclusion

Therefore, the occurrence of torrential rainfall—especially in the elevated areas of Fars, Bushehr, and Hormozgan provinces, where precipitation mostly occurs in liquid form—represents one of the most important climatic hazards in these provinces. Considering that these events can be predicted within the framework of synoptic patterns and that their main temporal concentration occurs in December and January, issuing effective early warnings before the occurrence of such torrential rainfall and proper runoff management can play an important role in reducing the damages caused by these phenomena. The results of this study also showed that the systems responsible for the main precipitation of both the warm and cold seasons in southern Iran, either independently or in combination with other atmospheric systems, have particular dynamical and thermodynamical structures that show considerable similarity with tropical precipitation systems. Among them, the Sudan Low, in a suitable configuration with the Arabian and Siberian anticyclonic systems, plays the most important role in supplying moisture for precipitation during the cold season in this region (Jafari et al, 2021; Lashkari et al, 2020; Mohammadi et al, 2022; Lashkari et al, 2015; Mohammadi et al, 2019; Lashkari and Mohammadi, 2023; Zarrin et al, 2005; Mohammadi et al, 2012).

Keywords: Altitudinal precipitation distribution, Extreme precipitation, Solar cycles, Southern Iran, Tropical precipitation systems.

واکاوی مشخصه‌های آماری، روند تغییرات و توزیع ارتفاعی بارش‌های فرین در پهنه جنوبی ایران طی سه چرخه اخیر فعالیت‌های خورشیدی

علی اسمعیلی^۱، حسن لشکری^{۱*}، زینب محمدی^۲

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- پژوهشگر مستقل اقلیم‌شناسی سینوپتیک، تهران، ایران.

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۲۵ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۵/۰۳/۰۵

چکیده گسترده

مقدمه

بررسی شدت و الگوهای بارش‌های فرین در سال‌های اخیر به یکی از موضوعات مهم مطالعات اقلیمی تبدیل شده است، زیرا این رخدادهای ارتباط نزدیکی با گرمایش جهانی و تغییرات انرژی در سامانه جو دارند. پژوهش‌های جهانی نشان می‌دهد که در بسیاری از مناطق، از جمله اروپای مرکزی و غرب ایالات متحده، شدت و فراوانی بارش‌های فرین روندی افزایشی داشته است. همچنین در برخی مناطق عرض‌های میانی و جنب‌حاره‌ای مانند جنوب شرق آسیا و حوضه مدیترانه، افزایش شدت بارش‌ها همزمان با کاهش تعداد روزهای بارانی مشاهده شده که موجب تمرکز زمانی بارش و افزایش مخاطرات هیدرولوژیکی شده است. نتایج مطالعات در شرق مدیترانه، شبه‌قاره هند و پژوهش‌های مرتبط با عوامل مقیاس بزرگ جوی مانند رودخانه‌های جوی و الگوهای سینوپتیک نیز بر نقش سامانه‌های جوی در تقویت بارش‌های فرین تأکید دارند. در ایران نیز مطالعات متعددی به بررسی شدت، فراوانی و الگوهای فضایی بارش‌های فرین پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد سامانه کم‌فشار سودانی مهم‌ترین عامل ایجاد بارش‌های سنگین در جنوب کشور است و فعالیت آن تحت تأثیر واپرخند عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای قرار دارد. برخی تحقیقات همچنین به نقش چرخه‌های خورشیدی در تغییرپذیری زمانی بارش‌ها اشاره کرده و کاهش توزیع زمانی و گرایش بارش‌ها به رخدادهای رگباری در چرخه‌های اخیر را گزارش کرده‌اند. علاوه بر این، عامل ارتفاع نیز در تشدید بارش‌های فرین مؤثر است و در ارتفاعات بالاتر از ۱۵۰۰ متر اثر توپوگرافی بر افزایش شدت بارش‌ها بیشتر می‌شود. اهمیت این موضوع در پهنه جنوبی ایران از آنجا دوچندان می‌شود که این منطقه در محل اثرگذاری همزمان چندین منبع رطوبتی و سامانه جوی قرار دارد. مجاورت با خلیج فارس، دریای عمان، دریای عرب و همچنین اثرپذیری از سامانه‌های سودانی، مدیترانه‌ای و جریان‌های جنوبی، شرایطی را فراهم می‌کند که بارش‌ها در این ناحیه اغلب ماهیتی ناپایدار، رگباری و سیل‌آسا داشته باشند. از سوی دیگر، وجود ناهمواری‌های گسترده زاگرس در بخش‌های شمالی و شرقی این پهنه، موجب می‌شود عامل ارتفاع نقش مهمی در تشدید یا تضعیف بارش‌ها ایفا کند. بنابراین، مطالعه بارش‌های فرین در جنوب ایران بدون توجه همزمان به سازوکارهای جوی، موقعیت ارتفاعی ایستگاه‌ها و نوسانات زمانی بزرگ‌مقیاس، نمی‌تواند تصویر کاملی از رفتار این رخدادهای ارائه دهد.

استناد: اسمعیلی، ع. و همکاران، ۱۴۰۵. واکاوی مشخصه‌های آماری، روند تغییرات و توزیع ارتفاعی بارش‌های فرین، پژوهشهای دانش

زمین: ۱۷(۲)، (۱۳۵-۱۱۳)، DOI: 10.48308/esrj.2026.107328

E-mail: h-Lashkari@sbu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

با وجود این، بسیاری از پژوهش‌های پیشین یا بر عوامل سینوپتیک تمرکز داشته‌اند یا تغییرات زمانی را به‌طور جداگانه بررسی کرده‌اند و ارتباط همزمان چرخه‌های خورشیدی با پراکنش ارتفاعی بارش‌های فرین کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این‌رو پژوهش حاضر با رویکردی تلفیقی به بررسی همزمان نقش چرخه‌های خورشیدی و طبقات ارتفاعی در تغییر ساختار بارش‌های فرین در جنوب ایران می‌پردازد. هدف اصلی تحقیق، تحلیل روندها و الگوی ارتفاعی شدت بارش‌های فرین در این منطقه طی سه چرخه اخیر خورشیدی در دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه این پژوهش، پهنه جنوبی ایران شامل استان‌های ایلام، لرستان، خوزستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، فارس، بوشهر، هرمزگان، کرمان و سیستان و بلوچستان است. داده‌های مورد استفاده شامل سری زمانی بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک اصلی و فرعی سازمان هواشناسی کشور است. با توجه به هدف تحقیق در بررسی ارتباط بارش‌های فرین با فعالیت‌های خورشیدی، دوره آماری پژوهش بر سه چرخه کامل خورشیدی (چرخه‌های ۲۲، ۲۳ و ۲۴) منطبق بر سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ تنظیم شد. برای افزایش دقت تحلیل‌های فضایی، در هر چرخه ۱۱ ساله تنها ایستگاه‌هایی که دارای داده‌های کامل بودند وارد محاسبات شدند؛ به همین دلیل تعداد ایستگاه‌ها از ۳۱ ایستگاه در چرخه ۲۲ به ۵۹ ایستگاه در چرخه ۲۳ و ۹۹ ایستگاه در چرخه ۲۴ افزایش یافت. در مرحله نخست، داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته از نظر کیفیت بررسی شد. نتایج نشان داد حدود ۹۶ درصد داده‌ها فاقد نقص بوده و برای ۴ درصد داده‌های دارای خلأ از روش‌های بازسازی آماری استفاده شده است. همچنین به‌منظور اطمینان از پایایی داده‌ها، آزمون‌های همگنی و نرمال بودن با استفاده از آزمون اندرسون - دارلینگ در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. در گام بعد، با توجه به اهمیت توپوگرافی در توزیع بارش‌ها، ایستگاه‌ها بر اساس طبقات ارتفاعی ۵۰۰ متری دسته‌بندی شدند تا اثر ارتفاع بر شدت بارش‌های فرین در هر چرخه خورشیدی بررسی شود. سپس برای شناسایی رخداد‌های بارش سنگین، آستانه ۱۰ میلی‌متر بر اساس شاخص R10mm ارائه شده توسط ETCCDI در نظر گرفته شد. در نهایت، فراوانی رخداد‌های بارشی در طبقات ۱۰ میلی‌متری محاسبه و تغییرات شدت و فراوانی آن‌ها در چرخه‌های مختلف خورشیدی و در طبقات ارتفاعی گوناگون مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سواحل جنوبی کشور از یک روند خطی پیروی نمی‌کند. به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع بارش‌ها سیر صعودی یکنواختی را طی نمی‌کند. بلکه تغییرات بارشی ترکیبی از پدیده‌های همرفتی و اروگرافیک می‌باشد که نقش پدیده‌های ترمودینامیکی بر پدیده توپوگرافی غلبه دارد. در نتیجه در زیر تراز ۵۰۰ متری با شروع جریانات همرفتی، بارش‌های رگباری شروع شده ولی هیچگاه بارش‌های فرین با ارقام بیش از ۱۰۰ میلی‌متر که در طبقات ارتفاعی بالاتر رخ می‌دهد، اتفاق نمی‌افتد. دسترسی به منابع رطوبتی فراوان دریاهای گرم جنوبی و ساز و کار سامانه‌های موثر بر منطقه با ویژگی‌های حاره‌ای سبب می‌شود با حاکمیت اولین شرایط ناپایداری بر منطقه ادی‌های همرفتی شکل گرفته در نوار ساحلی شروع شود. در ادامه پدیده توپوگرافی ساحلی بر شدت ناپایداری همرفتی افزوده می‌شود. این شرایط تا ارتفاع ۱۰۰۰ متر تداوم داشته و سپس در طبقه ارتفاعی بارش‌های رین ۲۴ ساعته کاهش محسوسی دارد. در صورتی که مجدداً از ارتفاع ۱۵۰۰ متر به بالا روند افزایشی تا ارتفاع ۲۵۰۰ متری که ایستگاه هواشناسی دایر بوده است، ادامه دارد. به واقع طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متری نقطه عطف تبدیل ساختار همرفتی سامانه‌ها به ترکیبی از ساختار همرفتی و اروگرافیک می‌باشد به نظر می‌رسد رطوبت فرارفت شده بدرون سامانه‌های ورودی در لایه زیرین با رگبارهای شدید همرفتی تخلیه شده و در طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر سامانه‌های همرفتی به دلیل تخلیه رطوبتی در لایه زیرین با کمبود رطوبت مواجه می‌شود. مزید بر این که با توجه به الگوی همدیدی و ترمودینامیکی حاکم بر سامانه‌های بارشی این منطقه و منابع رطوبتی تغذیه کننده سامانه‌ها در ترازهای مختلف متفاوت است. در این الگوها در ترازهای زیرین بدلیل شدت رطوبت فرارفت شده بویژه در زمان غلبه زبانه پرفشار سیبری و تبت در فرارفت رطوبت بدرون سامانه سودانی در لایه زیرین و افزوده شدن منابع رطوبتی منطقه همگرایی حاره‌ای در

ترازهای ۸۵۰ هکتوپاسکال به بالا از طریق جریانات جنوبی جلو ناوه بارش‌های سیلابی و شدید در ارتفاعات بالا بشدت تشدید می‌شود (مشایخ و همکاران، ۱۴۰۲). با این همه گاه در الگوهای همدیدی خاصی پدیده همرفت در صورت تغذیه رطوبتی مناسب در همان ترازهای زیرین نیز رخ داده و بارش‌های سیل آسیابی را رقم می‌زند. به عنوان نمونه، در سامانه بارشی ۲۸ آذر ۱۴۰۴، مقدار بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه جزیره خارک ۱۳۷/۹ میلی‌متر و در ایستگاه قشم ۱۳۵/۲ میلی‌متر ثبت شد. در برخی رخدادهای شدت بارش حتی از ۲۰۰ میلی‌متر نیز فراتر رفته و با سیلاب‌های گسترده و مخرب همراه بوده است؛ از جمله می‌توان به سیلاب‌های ۲۷ و ۲۸ آذر ۱۴۰۴ و ۶ و ۷ اسفند ۱۴۰۲ اشاره کرد. علاوه بر آنکه در طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر بر شدت بارش‌های ۲۴ ساعته افزوده شده است. تعداد ماه‌های با معدل بارش بیش از ۱۰۰ میلی‌متر بطور قابل توجهی زیاد شده است. به طوری که در دوره آماری ۳۳ ساله در طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ مجموعاً در ۲۱ ماه و در طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر ۴۲ ماه با میانگین ماهانه بارش ۲۴ ساعته بیش از ۱۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. از لحاظ ماه وقوع بالاترین میانگین‌های ۲۴ ساعته، دسامبر ۴ مرتبه، ژانویه ۳ مرتبه، مارس ۴ مرتبه و نوامبر ۴ مرتبه تکرار شده است. بنابراین تمرکز اصلی بارش‌های حدی در جنوب کشور ایران از لحاظ پراکنش زمانی در محدوده ماه‌های نوامبر تا مارس می‌باشد. در این میان ماه فوریه کمترین فراوانی را در ایجاد بارش‌های فرین داشته است. موضوعی که ترکیب نقش صعود اوروگرافیک و تقویت ناپایداری همرفتی را برجسته می‌سازد. مقایسه سیکل‌های خورشیدی نیز نشان داد که سیکل ۲۳ بیشترین شدت و فراوانی بارش‌های حدی را تجربه کرده است. بررسی پراکنش ماهانه نیز حاکی از اوج وقوع بارش‌های فرین در ژانویه، کاهش محسوس در فوریه و افزایش مجدد در مارس است، در حالی که از آوریل به بعد، این رخدادهای به صورت پراکنده و نادر مشاهده می‌شوند.

نتیجه‌گیری

بنابراین، وقوع بارش‌های سیل آسا - به‌ویژه در ارتفاعات استان‌های فارس، بوشهر و هرمزگان که عمدتاً به صورت بارش مایع رخ می‌دهند، یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی این استان‌ها به شمار می‌آید. با توجه به اینکه این رخدادهای در چارچوب الگوهای همدیدی قابل پیش‌بینی هستند و بیشترین تمرکز زمانی آن‌ها در ماه‌های دسامبر و ژانویه مشاهده می‌شود. صدور پیش‌آگاهی‌های مؤثر قبل از وقوع این بارش‌های سیل آسا و مدیریت بهینه رواناب می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارات ناشی از این پدیده‌ها را ایفا کند. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که سامانه‌هایی که بار اصلی بارش‌های دوره‌ی گرم و سرد سال را در منطقه‌ی جنوبی ایران بر عهده دارند، چه به صورت مستقل و چه در حالت ادغام با سایر سامانه‌های جوی، از ساختارهای دینامیکی و ترمودینامیکی ویژه‌ای برخوردارند که شباهت قابل توجهی با سامانه‌های بارشی حاره‌ای دارند. در این میان، سامانه کم‌فشار سودانی در یک آرایش مناسب با سامانه‌های واچرخندی عربستان و سبیری مهم‌ترین نقش را در تأمین رطوبت بارش‌های دوره‌ی سرد سال این منطقه ایفا می‌کند (Jafari et al, 2021; Lashkari et al, 2020; Mohammadi et al, 2022; Lashkari et al, 2015; Mohammadi et al, 2019; Lashkari and Mohammadi, 2023; Zarrin et al, 2005; Mohammadi et al, 2012).

واژگان کلیدی: بارش‌های فرین، پهنه‌بندی ارتفاعی بارش، چرخه‌های خورشیدی، جنوب ایران، سامانه‌های بارش حاره‌ای.

مقدمه

بررسی تغییرپذیر شدت بارش و الگوهای فرین آن، به عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی در دینامیک‌های اقلیمی، در دهه‌های اخیر در مقیاس جهانی مورد توجه قرار گرفته است. برخلاف نوسانات کوتاه‌مدت و گذرا، تغییرات ساختاری در رخدادهای فرین پیوند نزدیکی با گرمایش جهانی و دگرگونی در ترازهای انرژی اتمسفر دارد. مطالعات

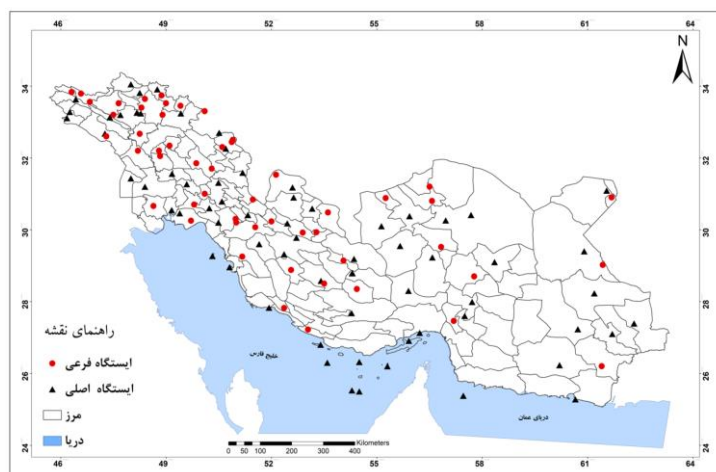
بین‌المللی نشان می‌دهد که شدت و فراوانی رویدادهای بارش فرین در بسیاری از مناطق جهان افزایش یافته است؛ به‌گونه‌ای که در اروپای مرکزی، از جمله لهستان، روند افزایشی معنی‌داری در شدت این بارش‌ها گزارش شده است (Pinksewar et al, 2019) و در غرب ایالات متحده نیز تشدید رخدادهای حدی در ارتباط با تغییرپذیری‌های اقلیمی مشاهده شده است (Howarth et al, 2019).

قبلی غالباً یا بر عوامل سینوپتیک تمرکز داشته‌اند و یا نوسانات زمانی را به صورت مجزا بررسی کرده‌اند. نوآوری و ضرورت تحقیق حاضر در اتخاذ یک رویکرد سیستماتیک برای واکاوی همزمان «پیکربندی ارتفاعی بارش‌های فرین» در پیوند با «گام‌های زمانی چرخه‌های خورشیدی» است. در واقع، این تحقیق به دنبال پاسخ به این پرسش کلیدی است که چگونه برهم‌کنش نوسانات برون‌زمینی (فعالیت خورشیدی) و فاکتورهای فیزیوگرافیک (در ۵ طبقه ارتفاعی)، منجر به تغییر ساختار بارش‌ها در پهنه جنوبی ایران شده است؛ موضوعی که در مطالعات پیشین به صورت یکپارچه مورد تحلیل قرار نگرفته است. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر، واکاوی روندها و پراکنش ارتفاعی شدت بارش‌های فرین در جنوب ایران طی سه چرخه اخیر خورشیدی (۱۹۸۶-۲۰۱۹) است.

منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی این پژوهش، نیمه جنوبی ایران (از ۲۵° تا ۳۴° شمالی و ۵۰° تا ۶۵° شرقی) شامل ۱۰ استان جنوبی، جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی است (شکل ۱). این پهنه با دارا بودن دامنه ارتفاعی بسیار وسیع (از ۲- متر در جزیره خارک تا بیش از ۴۴۰۰ متر در ارتفاعات داخلی)، یکی از ناهمگن‌ترین مناطق توپوگرافیک کشور محسوب می‌شود. از منظر سینوپتیک، این منطقه تحت کنترل برهم‌کنش سامانه کم‌فشار سودانی، توده‌های مرطوب مدیترانه‌ای و واچرخند جنب‌حاره‌ای عربستان قرار دارد که در ترکیب با صعود اجباری ناشی از ناهمواری‌های زاگرس، پتانسیل بالایی برای وقوع رخدادهای بارش فرین و سیلاب‌های مخرب فراهم می‌آورد (Alijani, 2003; Mohammadi and Lashkari, 2018). موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه به تفکیک نوع ایستگاه همدید (اصلی و فرعی) در شکل ۱ نمایش داده شده است. جزئیات دقیق شامل مختصات جغرافیایی و تراز ارتفاعی هر ایستگاه به منظور جلوگیری از شلوغی نقشه، در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

تحلیل‌های منطقه‌ای حاکی از آن است که در نواحی عرض‌های میانی و جنب‌حاره‌ای (مانند جنوب شرق آسیا و حوضه مدیترانه)، افزایش چشمگیر در شدت بارش‌ها همزمان با کاهش تعداد روزهای بارانی رخ داده که منجر به تمرکز زمانی بارش و جهش پتانسیل مخاطرات هیدرولوژیکی شده است (Li et al, 2020). در همین راستا، نتایج مدل‌سازی‌ها در شرق حوضه مدیترانه نشان می‌دهد که حداکثر بارندگی روزانه با دوره بازگشت ۵۰ ساله، در سناریوهای آینده با افزایش قابل توجهی همراه خواهد بود (George et al, 2021). همچنین، ارزیابی شاخص‌های فرین بارش در شبه‌قاره هند (Gupta et al, 2020)، و مطالعات مرتبط با عوامل مقیاس بزرگ جوی نظیر رودخانه‌های جوی (Christian Shields et al, 2023) و الگوهای سینوپتیک غالب (Xiaoke Xu et al, 2023)، بر اهمیت شناخت سازوکارهای تقویت‌کننده بارش‌های فرین و نقش برهم‌کنش سامانه‌های جوی تأکید دارند. در ایران، تمرکز عمده پژوهش‌ها بر تبیین شدت، فراوانی و الگوهای فضایی بارش‌های فرین، به‌ویژه در نیمه جنوبی کشور، معطوف بوده است. بر پایه مطالعات کلاسیک، سامانه کم‌فشار سودانی به‌عنوان مهم‌ترین عامل مولد بارش‌های سنگین در جنوب ایران معرفی شده است (Lashkari, 1996). فعال‌سازی این سامانه به شدت تحت تأثیر موقعیت واچرخند عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای قرار دارد (Mohammadi and Lashkari, 2018). از سوی دیگر، نقش چرخه‌های خورشیدی در نوسانات زمانی بارش‌های منطقه‌ای نیز مورد توجه قرار گرفته است؛ به‌طوری که در دو چرخه اخیر (۲۳ و ۲۴)، کاهش توزیع زمانی بارش و گرایش آن به سمت رگباری‌شدن گزارش شده است (Mashayekh et al, 2022). افزون بر عوامل زمانی، پراکنش ارتفاعی نیز از کلیدی‌ترین عوامل فضایی در دینامیک بارش‌های فرین است؛ به طوری که در ارتفاعات بالاتر از ۱۵۰۰ متر، اثرگذاری توپوگرافی بر تشدید بارش‌ها به‌صورت معنی‌دار افزایش می‌یابد (Mohammadi et al, 2018). با وجود گستردگی پژوهش‌ها، یک شکاف دانشی اساسی در مطالعات اقلیمی جنوب ایران دیده می‌شود: پژوهش‌های



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1: Location of the study area

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های همدید اصلی نیمه جنوبی کشور

Table 1: Characteristics of the main synoptic stations in the southern half of the country

Station Name	Longitude	Latitude	Elevation	Station Name	Longitude	Latitude	Elevation
Ahvaz	48.4	31.2	22.5	Baft	56.58	29.23	2280
Bostan	48.0	31.43	7.8	Shahdad	57.68	30.41	482
Behbahan	50.23	30.6	313	Sirjan	55.66	29.55	1767
Abadan	46.26	33.28	6.6	Shahr-e-Babak	55.13	30.1	1834.1
Omidyeh	49.39	30.46	43.9	Kerman	56.96	30.26	1754
Masjedsoleyman	49.17	31.56	320.5	Rafsanjan	55.93	30.38	1524
Bandar Mahshahr	49.16	30.55	6.2	Kahnuj	57.71	27.99	499
Ramhormoz	49.59	31.27	150.5	Safashahr	53.16	30.59	2251
Bandar Deyr	51.93	27.83	4	Eghlid	52.63	30.9	2300
Bushehr	50.81	28.96	9	Neyriz	54.35	29.19	1632
Khark Island	50.32	29.27	-1.2	Doroodzan	52.45	30.18	1652
Darreh Shahr	47.4	33.13	670	Abadeh	52.6	31.18	2030
Dehloran	47.26	32.68	232	Fasa	53.41	28.58	1288
Ilam	46.43	33.63	1337	Kazerun	51.65	29.6	840
Mehran	46.18	33.11	150	Lar	54.28	27.68	792
Aligudarz	49.42	33.24	2022	Zarghan	52.71	29.78	1596
Alashtar	48.25	33.81	1567	Shiraz	52.36	29.32	1484
Noorabad Delfan	48.0	34.05	1859	Dehdasht	50.59	30.79	793.3
Borujerd	48.75	33.91	1629	Dogonbadan	50.49	30.2	726
Khorramabad	48.17	33.26	1147.8	Yasuj	51.33	30.41	1816.3
Borujen	51.18	31.59	2260	Zabol	61.54	31.09	498.2
Koohrang	50.7	31.26	2285	Zahedan	60.9	29.4	1370
Lordegan	50.49	31.31	1580	Iranshahr	60.72	27.23	591.1
Shahrekord	50.51	32.7	2048.9	Khash	61.19	28.23	1427
Hasan Abad	54.3	28.79	1098.2	Saravan	62.32	27.39	1182
Qeshm Island	55.91	26.91	6	Chabahar	60.65	58.28	8
Abu Musa	45.5	25.5	6.6	Nikshahr	60.2	26.23	510
Kish Island	53.59	26.3	30	Safi Abad	48.28	33.24	143
Bandar Lengeh	54.5	26.32	22.7	Darab	54.3	28.8	1098
Siri Island	54.29	25.53	4.4	Mehrestan	61.7	27.1	1271
Bandar Abbas	56.22	27.13	9.8	Haji Abad	55.9	28.3	931

Minab	57.5	27.6	29.6	Lavan	53.4	26.8	22
Jask	57.45	25.38	5.2	Tonb Bozorg	55.3	26.2	-1
Bam	58.35	29.1	1066.9	Pol-e-Dokhtar	47.7	33.2	71

جدول ۲: مشخصات ایستگاه های همدید فرعی نیمه جنوبی کشور

Table 2: Characteristics of the secondary synoptic stations in the southern half of the country

Name	Longitude	Latitude	Elevation	Name	Longitude	Latitude	Elevation
Aghajari	49.8	30.7	143	Azna	49.41	33.45	1871.8
Dehdez	50.3	31.7	1457	Rimeleh	48.4	33.64	1650
Gotvand	48.8	32.2	70	Saman	50.87	32.44	2075
Shush	48.2	32.2	65	Parsian	53.04	27.22	59
Abdana	47.3	32.6	232	Rudan	57.19	27.46	219.6
Badr Abad	48.3	33.4	1155	Jiroft	57.77	28.7	722
Romeshgan	47.5	33.2	1089	Laleh Zar	56.83	29.52	2775
Sepid Dasht	48.9	33.2	1021	Zarand	56.57	30.8	1670
Ardal	50.1	33.3	2054	Anar	55.25	30.88	1409
Ilbegi	50.9	32.5	1883	Izadkhast	52.13	31.53	2188
Farsan	50.6	32.3	2062	Estahban	54.05	29.14	1690
Ravar	56.5	31.2	1192	Zehak	61.68	30.9	495
Jahrom	53.5	28.5	1082	Mirjaveh	61.43	29.02	836
Likak	50.1	31	760	Imamzadeh Jafar	50.98	30.3	668
Basht	51	30.2	921	Si Sakht	51.47	30.84	2133.4
Rask	64.4	26.2	406	Noorabad Mamasani	51.54	30.07	972
Hendijan	49.41	30.25	3	Sepidan	52	30.23	2201
Lali	49.1	32.34	365	Arsanjan	53.28	29.93	1676
Shadegan	48.64	30.66	3	Takht-e Jamshid	52.89	29.92	1605
Hosseinih	48.25	32.67	354	Bavanat	53.61	30.48	2231
Shushtar	48.83	32.05	67	Zarrin Dasht	54.43	28.35	1029
Izeh	49.86	31.85	767	Firouzabad	52.56	28.88	1362
Borazjan	51.17	29.25	89.9	Sarableh	46.58	33.79	1045
Jam	52.36	27.82	659	Kouhdasht	47.65	33.52	1197.8
Ivan	46.31	33.83	1170	Silakhor	48.87	33.74	1496.9
Lumar	46.83	33.56	850	Doroud	49	33.52	1522.3

مواد و روش ها

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، پهنه جنوبی ایران شامل استان های ایلام، لرستان، خوزستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، فارس، بوشهر، هرمزگان، کرمان و سیستان و بلوچستان است. داده های مورد نیاز شامل سری زمانی بارش روزانه از شبکه ایستگاه های سینوپتیک اصلی و فرعی سازمان هواشناسی کشور استخراج گردید. با توجه به هدف تحقیق مبنی بر واکاوی پیوند بارش های فرین با فعالیت های خورشیدی، دوره آماری پژوهش بر سه چرخه کامل فعالیت خورشیدی (چرخه های ۲۲، ۲۳ و ۲۴) منطبق بر سال های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ میلادی

(یک دوره ۳۳ ساله) تنظیم شد. جهت بیشینه سازی دقت تحلیل های فضایی، از روش «انتخاب متغیر» استفاده شد؛ به این صورت که در هر چرخه ۱۱ ساله، تمامی ایستگاه هایی که دارای آمار کامل و بدون نقص بودند وارد محاسبات شدند. بر این اساس، تعداد ایستگاه های مورد مطالعه از ۳۱ ایستگاه در چرخه ۲۲، به ۵۹ ایستگاه در چرخه ۲۳ و ۹۹ ایستگاه در چرخه ۲۴ افزایش یافت (شکل ۱).

گام های اجرایی تحقیق به شرح زیر انجام گرفت: گام اول (کنترل کیفیت و پیش پردازش): داده های حداکثر بارش ۲۴ ساعته بازبینی و ناهنجاری های آماری آنها

بحث و نتایج

تغییرات حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل خورشیدی ۲۲ (طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۰ متر) در این طبقه ارتفاعی در سیکل ۲۲، تعداد ۱۴ ایستگاه در سیکل ۲۳ تعداد ۲۵ ایستگاه و در سیکل ۲۴ تعداد ۲۶ ایستگاه دارای آمار کامل و پیوسته بوده‌اند. جدول ۳ میانگین حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته ایستگاه‌ها را در سیکل ۲۲ را ارائه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که در این طبقه ارتفاعی، بیشترین شدت میانگین ۱۱ ساله حداکثر بارش ۲۴ ساعته با مقدار ۵۴ میلی‌متر در ماه دسامبر به ثبت رسیده است. برای سیکل ۲۳ این مقدار ۶۴ میلی‌متر در ماه ژانویه و برای سیکل ۲۴ به ۴۷ میلی‌متر در ماه نوامبر رخ داده است. بالاترین میانگین ماهانه حداکثر بارش ۲۴ ساعته در سیکل ۲۲ با مقدار ۱۳۳/۱۸ میلی‌متر مربوط به ماه مارس در سال آبی ۱۹۹۶-۱۹۹۷ در سیکل ۲۳ این بارش با مقدار ۱۲۱ میلی‌متر در ماه ژانویه سال آبی ۱۹۹۷-۱۹۹۸ و در سیکل ۲۴ این پدیده با مقدار میانگین ۱۰۲/۲۳ میلی‌متر در ماه نوامبر سال آبی ۲۰۱۸-۲۰۱۹ به ثبت رسیده است. بارش‌های بیش از ۱۰۰ میلی‌متر در هریک از ماه‌ها و در هر سیکل در متن جداول‌های لایه شده است. تعداد نمونه‌هایی که در آن متوسط بارش‌های حداکثر ۲۴ ساعته بیش از ۱۰۰ میلی‌متر بوده است در سیکل ۲۲ به ۵ مورد در سیکل ۲۳ این تعداد به فقط یک مورد و در سیکل ۲۴ هم فقط یک مورد بوده است.

شناسایی شد. بررسی صحت داده‌ها نشان داد که ۹۶ درصد از داده‌ها فاقد نقص بوده و برای ۴ درصد باقی مانده که شامل داده‌های خلأ بود، از روش‌های بازسازی آماری استفاده شد. برای اطمینان از پایداری نتایج، آزمون‌های همگنی و نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون اندرسون-دارلینگ در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. گام دوم (تفکیک ارتفاعی): با توجه به نقش تعیین‌کننده توپوگرافی در توزیع مکانی بارش‌های فرین، ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس طبقات ارتفاعی ۵۰۰ متری دسته‌بندی شدند تا اثر مؤلفه ارتفاع بر شدت بارش‌ها در هر چرخه خورشیدی به دقت ارزیابی شود.

گام سوم (تعیین آستانه‌های فرین): در این پژوهش، جهت تحلیل تداوم و شدت بارش‌ها، آستانه ۱۰ میلی‌متر به عنوان مبنای شروع بارش‌های سنگین در نظر گرفته شد. این انتخاب بر اساس شاخص R10mm ارائه شده توسط کارگروه تخصصی شناسایی، پایش و شاخص‌های تغییر اقلیم صورت گرفته است که به عنوان یک استاندارد جهانی در واکاوی رخدادهای فرین اقلیمی شناخته می‌شود (Zhang et al, 2011).

گام چهارم (تحلیل آماری و مقایسه‌ای): فراوانی رخدادهای بارشی در طبقات ۱۰ میلی‌متری (از ۱۰ میلی‌متر تا مقادیر بیشینه) تفکیک و شمارش شد. در نهایت، تغییرات فراوانی و شدت این بارش‌ها به تفکیک هر چرخه خورشیدی و در طبقات مختلف ارتفاعی مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفت.

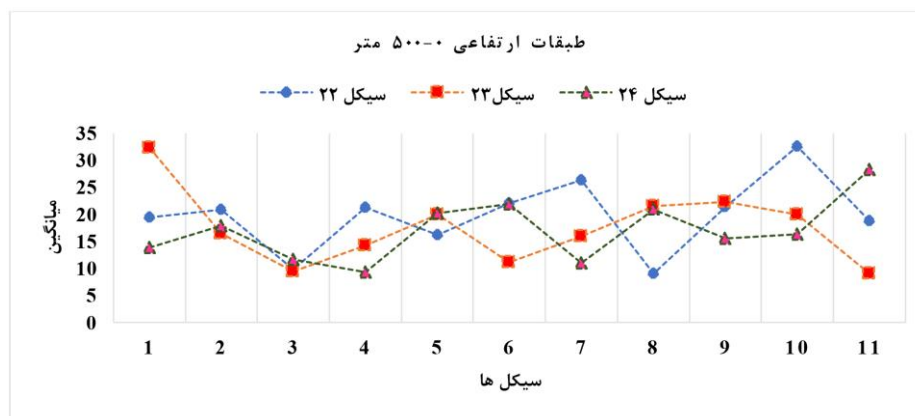
جدول ۳: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل خورشیدی ۲۲ برای طبقه ارتفاعی ۰ تا ۵۰۰ متر

Table 3: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 22 across the 0–500 m Elevation Band

Month	1986-87	1987-88	1988-89	1989-90	1990-91	1991-92	1992-93	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	Average
October	0.75	21.43		0.16	5.85	23.41	0.11	2.85	5.73	8.45	0.61	6.3
November	60.58	4.72	8.87	20.31	12.64	6.08	10.69	8.61	99.06	0.63	2.89	21.37
December	58.05	44.77	31.76	105.92	10.32	90.14	10.86	9.1	16.08	100.59	17.71	54.18
January	5.9	39.29	13.1	38.09	64.22	65.13	42.52	38.67	10.87	101.18	51.11	42.73
February	18.05	84.96	24.38	66.51	38.36	45.81	105.11	1.82	32.92	59.89	1.27	43.55
March	83.27	23.78	31.78	8	57.91	26.5	12.14	35.36	51.3	94.37	133.18	50.69
April	3.15	26.17	6.24	15.7	5.61	4.81	34.29	6.65	25.63	19.37	17.13	14.97
May	0.1	0.08	1.49	0.13	0	3.02	2.19	2.5	0.87	2.27	1.37	1.27
June	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0.18	2.39	0.87	0.32
July	2.71	1.72	0	0	0	0	0	0.48	13.29	0.93	0.03	1.74
August	1.59	0.23	0.31	0	0	0.22	0.17	2.13	0	0	0	0.42
September	0.08	0	0.02	0	0	0	0	0.01	0.54	0	0	0.05
Average	19.52	20.85	9.83	21.23	16.24	22.09	26.32	9.01	21.37	23.51	18.85	19.8

منطقه می‌شوند. با توجه به ماهیت عمدتاً همرفتی بارش‌ها در جنوب ایران و اینکه فرارفت رطوبت از دریا‌های گرم جنوبی در مرحله نخستین شکل‌گیری و تکوین ابرهای همرفتی صورت می‌گیرد، بارش‌های فرین در این ترازها از شدت بالایی برخوردار نیستند. همان‌طور که داده‌های جداول سه‌گانه چرخه‌ها نیز نشان می‌دهد، به‌جز یک مورد استثنا، در سایر سال‌ها بارش‌های فرین با مقادیر بیش از ۱۰۰ میلی‌متر در این طبقه ارتفاعی گزارش نشده است.

بر اساس شکل ۲ میانگین کلی ۱۱ ساله هر سیکل با رقم ۱۹/۸ برای سیکل ۲۲ و ۱۷/۴۹ برای سیکل ۲۳ و ۱۶/۹۹ برای سیکل ۲۴ از سیکل ۲۲ به سمت سیکل ۲۴ در تراز ارتفاعی ۵۰۰-۰ شدت بارش‌ها کاهش یافته است. علیرغم این که در بعضی از سیکل‌ها روند افزایشی یا کاهشی حاکم بوده است. این طبقه ارتفاعی، نخستین مرحله از آغاز فعالیت سامانه‌های بارشی در منطقه مطالعاتی محسوب می‌شود؛ زیرا عمده سامانه‌های بارشی از نواحی جنوبی وارد



شکل ۲: تغییرات حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۰ متر سه سیکل

Fig. 2: Variations in Maximum 24-Hour Precipitation in the 0–500 m Elevation Class during Solar Cycle 24 and across the Three Solar Cycles

۹۲/۳۴ میلی‌متر در ماه ژانویه و در سیکل ۲۴ با رقم ۵۸/۷۴ میلی‌متر در ماه نوامبر رخ داده است. پدیده قابل توجه وقوع میانگین‌های ماهانه بیش از ۱۰۰ میلی‌متر در تعداد زیادی از ایستگاه‌ها و ماه‌های سال در این طبقه ارتفاعی است. به طوری که در سیکل ۲۲ در شش مورد در سیکل ۲۳ در ۸ مورد و در سیکل ۲۴ در ۴ مورد میانگین بارش‌های ۲۴ ساعته به بیش از ۱۰۰ میلی‌متر رسیده است. میانگین بالاترین‌های بالای ۱۰۰ میلی‌متر در سیکل ۲۲ تا ۱۷۸/۵۱ میلی‌متر در سیکل ۲۳ تا ۱۵۴/۶۹ و در سیکل ۲۴ تا ۱۳۲/۸۸ میلی‌متر نیز رسیده است. مقادیر میانگین بالای ۱۰۰ میلی‌متر در متن جداول با رنگ قرمز مشخص شده است.

تغییرات حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل خورشیدی ۲۲ (طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ متر)

در این طبقه ارتفاعی در سیکل ۲۲ فقط سه ایستگاه در سیکل ۲۳ حدود ۶ ایستگاه دارای آمار کامل بوده ولی در سیکل ۲۴ تعداد این ایستگاه‌ها تا ۱۶ ایستگاه رسیده است. معدل ۱۱ ساله حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل خورشیدی ۲۲، ۲۳/۳۸ میلی‌متر در سیکل ۲۳، ۲۵/۷۴ میلی‌متر و در سیکل ۲۴ خورشیدی این عدد به ۲۴/۸۰ میلی‌متر رسیده است. به این ترتیب شدت بارش‌ها در سیکل ۲۳ بیش از دو سیکل قبل و بعد از آن بوده است. بالاترین شدت ماهانه بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل ۲۲ با رقم ۴۹/۵۱ میلی‌متر در ماه مارس در سیکل ۲۳ با رقم

جدول ۴: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل خورشیدی ۲۲ برای طبقه ارتفاعی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر

Table 4: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 22 across the 500–1000 m Elevation Band

Month	1986-87	1987-88	1988-89	1989-90	1990-91	1991-92	1992-93	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	Average
October	0.5	9.71	0	0	15.5	15.51	6.65	11.21	0	0.4	5.4	5.4
November	71.25	0	9.5	44.5	17.71	3.51	0	148.46	1.51	16.76	31.03	31.03
December	48	79.7	25.85	106.17	19.31	178.51	0.4	39.71	98.34	7.4	59.25	59.25

January	13.5	72.65	27.4	56.22	84.28	70.07	37.8	17.6	110.82	52.06	52.92	52.92
February	16.75	50.05	31.36	83.4	41.01	58.8	0.1	125.16	78.26	1.06	44.42	44.42
March	73.7	34	57.35	2.01	72.51	40.06	6.7	40.97	72.51	122.46	49.51	49.51
April	5.5	19.9	18.5	6.05	4.6	17.51	21.2	40.27	27.77	32.76	18.51	18.51
May	10.8	0	1.5	1	0	6.1	4.2	10.6	0.36	2.01	6.5	3.91
June	1	0	6	0.05	0.01	0	0.5	4	13.01	5.2	2.7	2.7
July	4	19.75	13.01	0	1	0.01	0	41.11	2.91	0.01	1.36	7.56
August	7	13.5	4.5	4.01	0	0	0	12.5	4	0.01	3.75	4.47
September	0	0	0	0	0	0.01	3	0.45	0	6.5	0	0.9
Average	21	25.19	16.25	25.28	20.03	32.5	11.41	14.31	36.22	34.23	20.81	23.38

جدول ۵: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل ۲۳ طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ متر

Table 5: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 23 across the 500–1000 m Elevation Band

Month	1997-98	1998-99	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	Average
October	18.35	0.85	0.20	4.72	1.30	0.08	0.04	1.60	0	2.25	0.45	2.71
November	45.67	0.34	3.51	40.04	29.10	15.34	7.77	31.27	47.73	28.44	1.65	22.80
December	90.5	3.04	27.35	83.32	148.27	59.36	93.29	154.17	75.73	129.60	42.82	82.49
January	149.89	88.33	104.69	22.17	95.09	57.88	154.69	108.89	81.07	40.81	111.33	92.34
February	65.64	95.64	18.02	11.59	41.99	54.01	14.98	44.42	47.64	56.35	4.09	41.30
March	78.01	59.26	4.05	26.42	34.92	61.34	8.19	54.81	29.98	53.30	0.02	37.30
April	3.89	2.51	0.07	0.05	55.35	30.79	22.98	5.19	33.42	42.40	7.08	18.52
May	2.07	0	0	3.23	0.27	1.07	3.24	3.24	0.05	2.18	2.05	1.43
June	0.72	0.17	0	1.94	0.10	0	0	0.62	0.07	23.60	0	2.47
July	4.42	1.70	1.27	0.152	0.05	3.93	0.67	3.67	0.84	3.55	0.52	1.92
August	5.8	3.40	2.60	6.10	8.25	10.33	2.12	2.50	0.70	0.65	8.22	4.60
September	2.17	0.05	0.09	0.04	1	0	0.07	0	2.17	0.67	5.32	1.05
Average	38.93	21.27	13.49	16.68	34.64	24.51	25.54	34.28	26.62	31.98	15.29	25.74

جدول ۶: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل ۲۴ طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ متر

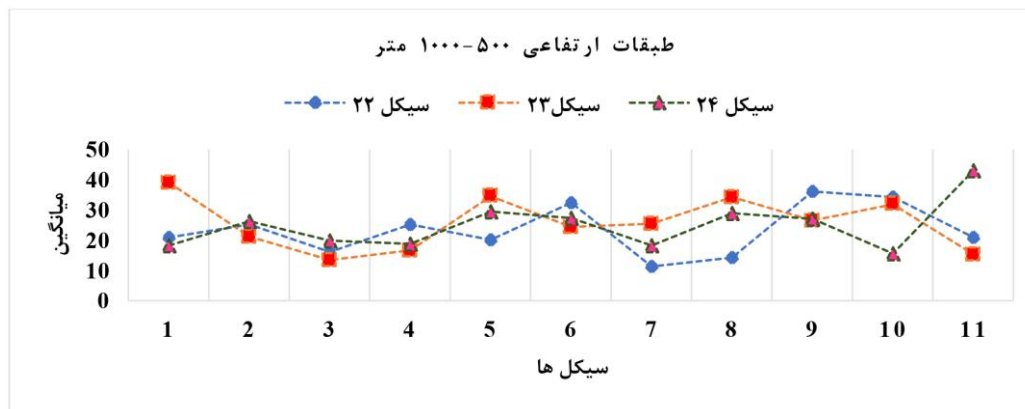
Table 6: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 24 across the 500–1000 m Elevation Band

Month	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	Average
October	14.43	10.49	0.11	10.89	9.6	1.14	15.6	44.94	2.35	0	28.93	12.58
November	46.69	71.05	1.75	67.76	78.83	74.89	62.29	59.58	16.01	34.18	132.9	58.74
December	14.37	106.9	11.71	0.44	86.4	27.53	8.26	89.97	49.66	10.72	28.56	39.5
January	30.49	18.34	91.04	27.92	41.17	105.6	18.94	49.98	39.14	14.28	66.58	45.76
February	21.21	55.07	69.62	76.52	32.23	29.81	23.64	12.66	121.2	58.65	75.01	52.33
March	56.13	12.91	35.7	20.06	17.74	52.67	68.98	32.09	73.58	4.63	98.25	42.97
April	28.99	23.69	15.97	15.95	34.89	20.5	2.8	45.2	5.56	44.58	57.94	26.91
May	1.05	12.07	3.26	1.92	35.5	4.55	6.1	4.82	7.02	18.95	15.85	10.09
June	1.62	0.51	0.07	0.1	0.27	0.02	2.47	0.03	0	0.29	1.5	0.62
July	0.6	1.14	0.49	0.02	2.8	1.42	4.19	1.61	2.92	0.07	7.49	2.06
August	3	3.99	9.31	1.65	13.22	9.52	0.47	2.68	3.41	0.14	1.89	4.48
September	0.65	0.36	0.4	0.93	1.37	0.22	5.12	1.74	3.03	1.77	1.15	1.52
Average	18.27	26.38	19.95	18.68	29.5	27.32	18.24	28.8	26.99	15.69	43	24.8

به‌طوری که معدل بارش‌های ۲۴ ساعته از مقادیر کمتر از ۲۰ میلی‌متر در تراز قبل، به محدوده ۲۵ میلی‌متر در این طبقه افزایش یافته است. به نظر می‌رسد با افزایش ارتفاع، علاوه بر تشدید ناپایداری‌های اورتوگرافیک (ناهمواری‌سازه)، به دلیل ماهیت حاره‌ای سامانه‌های ورودی

تحلیل شکل ۳ نشان‌دهنده تشدید بارش‌های فرین در چرخه ۲۴ در طبقه ارتفاعی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر، نسبت به چرخه‌های خورشیدی ۲۲ و ۲۳ است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در این طبقه ارتفاعی نسبت به تراز قبلی، افزایش محسوسی در هر سه چرخه مشاهده می‌گردد؛

و پتانسیل بالای رطوبت‌پذیری آن‌ها، فرارفت رطوبت از دریا‌های گرم جنوبی منجر به تقویت سلول‌های همرفتی کومه‌ای شکل شده و در نهایت، تشدید و تقویت بارش‌ها را در این بازه ارتفاعی رقم زده است.



شکل ۳: تغییرات حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ متر سه سیکل

Fig. 3: Variations in Maximum 24-Hour Precipitation in the 500–1000 m Elevation Class during Solar Cycle 24 and across the Three Solar Cycles

ماهانه گزارش شده با رقم ۱۱۱/۱۷ میلی‌متر در ماه دسامبر سال آبی ۱۹۸۶-۱۹۸۷ در سیکل ۲۳ با رقم میانگین ۱۱۶/۱ میلی‌متر از دسامبر سال آبی ۲۰۰۴-۲۰۰۵ و در سیکل ۲۴ با رقم ۱۳۳/۴۳ میلی‌متر از ماه فوریه ۲۰۱۶-۲۰۱۷ گزارش شده است. بر عکس طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ در این طبقه ارتفاعی تعداد ماه‌هایی که میانگین بارش ۲۴ ساعته بیش از ۱۰۰ میلی‌متر را تجربه کرده‌اند کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد. به طوری که در هر سیکل بیش از دو مورد میانگین بیش از ۱۰۰ گزارش نشده است.

تغییرات حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل‌های سه گانه (طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۵۰۰)

جدول ۷-۹ پراکنش ماهانه و سالانه میانگین حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سه سیکل تا ۲۴ را نشان می‌دهند. در این طبقه ارتفاعی بالاترین میانگین ماهانه ۱۱ ساله در سیکل ۲۲ با رقم ۳۹/۷۱ میلی‌متر در ماه دسامبر در سیکل ۲۳ با عدد ۴۷/۳ میلی‌متر در ماه ژانویه و در سیکل ۲۴ با رقم ۵۰/۹۳ در ماه فوریه گزارش شده است. به این ترتیب در این طبقه ارتفاعی از سیکل ۲۲ تا ۲۴ حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته تشدید شده است. در سیکل ۲۲ بالاترین شدت

جدول ۷: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل خورشیدی ۲۲ برای طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر

Table 7: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 22 across the 1000–1500 m Elevation Band

Month	1986-1987	1987-1988	1988-1989	1989-1990	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	Average
October	0.10	3.57	0.06	0	0	1.66	14.92	0.25	4.42	6.55	0.53	2.91
November	23.96	0	0.59	12.77	3.70	4.96	0.33	1.14	23.56	0.63	1.03	6.60
December	111.17	11.95	23.11	26.76	12.07	29.43	94.18	0.04	21.10	103.61	2.39	39.71
January	1.62	46.14	5.12	44.70	73.08	47.59	55.78	24.57	6.12	69.02	43.60	37.12
February	8.25	43.48	19.58	43.50	32.65	17.63	43.95	9.37	56.64	43.46	7.23	29.61
March	42.85	14.36	35.12	3.17	65.77	18.29	26.92	48.48	37.07	72.58	49.40	37.63
April	2.43	15.02	9.89	7.00	3.65	14.42	9.21	9.91	27.56	12.60	27.46	12.65
May	12.30	0	0.14	5.49	0.57	18.89	0.72	13.41	9.18	7.49	2.18	6.39
June	0.62	2.83	0.10	0.06	0.03	0	0.95	0	1.42	1.91	10.29	1.65
July	1.55	9.08	4.20	0.29	0	0.10	0.06	7.78	7.39	0.09	1.23	2.88
August	0.29	1.44	0.46	0.02	0.06	0.93	0.03	5.83	0.29	4.50	0.29	1.28
September	0	0.35	1.14	0	1.90	0.04	0	0.36	0	0.97	0	0.43
Average	17.09	12.35	8.29	12.06	16.12	12.83	20.59	10.09	16.23	26.95	11.39	14.90

جدول ۸: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل ۲۳ طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر

Table 8: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 23 across the 1000–1500 m Elevation Band

Month	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	Average
October	13.98	0.14	0	3.12	0	0.07	0.05	0.01	0	0.07	0.37	1.61
November	24.17	0	1.46	19.13	1.44	8.94	0.07	6.47	24.18	6.82	0.69	8.48
December	33.08	0	2.16	30.1	34.4	11.53	31.43	116	4.99	63.52	5.77	30.28
January	58.81	49.4	63.55	7.53	38.35	30.57	102.1	50	27.94	22.35	70	47.32
February	36.04	75.1	1.47	17.14	22.07	33.21	4.15	49.1	12.39	32.81	1	25.86
March	44.2	37.5	8.29	11.11	14.96	39.49	4.13	27.4	17.13	33.8	0	21.63
April	5.57	1.99	0.05	0.28	16.77	6.73	12.85	2.67	18.7	11.92	1.71	7.2
May	0.47	0.3	0.95	0.45	1.31	1.94	2.21	7.68	0.62	1.82	0.26	1.63
June	0.58	0	0	2.55	0.22	0	0	1.72	0	26.53	0.1	2.88
July	0.07	3.23	0	0.05	0.01	7.33	1.62	2.76	0.3	0.95	0.09	1.49
August	1.53	0	4.6	0.05	0.03	0.18	0	0.01	4.28	0.08	0.58	1.09
September	0.43	0.15	0.38	0.29	1.96	0	0.03	0	0.03	0	0	0.32
Average	18.24	14.01	6.91	7.65	10.96	11.72	13.22	21.99	9.21	16.72	6.71	12.48

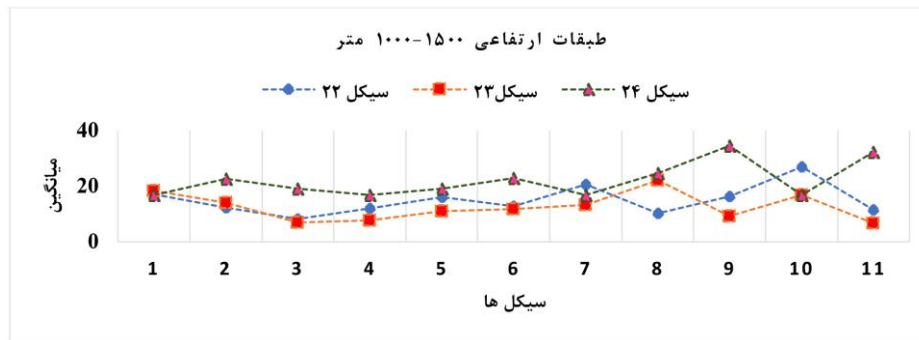
جدول ۹: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل ۲۴ طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر

Table 9: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 24 across the 1000–1500 m Elevation Band

Month	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	Mean
October	13.69	16.03	0.39	16.54	10.11	0.84	17.44	39.79	0.27	0.17	24.68	12.72
November	31.53	45.75	7.42	28.62	31.68	60.29	44	59.78	9.06	22.67	56.56	36.12
December	20.24	65.18	11.76	1.66	39.23	27.46	8.88	60.85	33.76	7.48	41.85	94.28
January	23.6	16.15	79.47	29.19	40.43	69.26	22.51	37.64	45.61	8.93	34.27	37
February	19.4	54.58	61.45	59.65	28.85	28.85	28.83	14.02	133.43	70.98	60.75	50.93
March	43.35	19.28	33.82	28.32	11.03	54.42	60.29	38.81	75.87	5.05	103.73	43.08
April	42.52	31.96	21.9	24.52	29.94	27.32	8.4	34.37	12.14	50.31	44.68	29.82
May	2.3	18.3	9.53	4.19	24.25	2.85	7.04	7.81	8.85	25.75	13.2	11.27
June	1.71	0.44	0	0.11	0.32	0.22	0.11	0	0	2.14	0.22	0.47
July	0	0	0.22	1.09	1.72	0.2	1.46	2.55	34.67	1.49	3.47	4.26
August	0.77	2.08	2.66	3.76	10.02	1.81	0.03	0.51	34.16	5.7	1.43	5.72
September	3.46	0.03	0	0.25	0.25	3.66	0	25.09	25.09	0.9	0.71	3.55
Average	16.88	22.48	19.05	16.89	18.95	22.79	16.89	24.68	34.41	16.18	32.13	21.99

بارش بیش از ۱۰۰ میلی‌متر نیز به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. به نظر می‌رسد به دلیل تشدید پدیده همرفتی در طبقه ارتفاعی قبلی و تخلیه رطوبتی شدید، علی‌رغم افزایش ارتفاع و تأثیر بیشتر پدیده اوروگرافیک، سامانه‌های همرفتی رطوبت مناسبی دریافت نمی‌کنند. این امر ناشی از حاکمیت واچرخند عربستان در لایه‌های میانی وردسپهر و زبانه پرفشار سیبری در تراز زیرین بر روی آب‌های گرم دریای عمان و عرب است که باعث می‌شود عمده رطوبت در لایه‌های زیرین (ترازهای پایین‌تر از ۹۲۵ هکتوپاسکال) فرارفت شود. به عبارتی، تراز ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، لایه تغییر الگوی فرارفت رطوبتی در جنوب ایران محسوب می‌شود.

شکل ۴ میانگین ۱۱ ساله شدت حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در این طبقه ارتفاعی برابر با ۲۱/۹۹ میلی‌متر برآورد شده است. در مجموع، با احتساب معدل ۱۱ ساله شدت بارش‌ها برای سیکل ۲۲ با رقم ۱۴/۹، سیکل ۲۳ با رقم ۱۲/۴۸ و سیکل ۲۴ با رقم ۲۱/۹۹ میلی‌متر، در این طبقه ارتفاعی سیکل ۲۳ کمترین شدت و سیکل ۲۴ بیشترین شدت بارش‌ها را داشته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در این طبقه ارتفاعی مقادیر بارش‌های فرین به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به هر دو طبقه ارتفاعی پیشین کاهش یافته است؛ به گونه‌ای که این تراز، کمترین شدت بارش‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. به جز چرخه ۲۴، در سایر چرخه‌ها میانگین حداکثرهای ۲۴ ساعته در محدوده ۱۲ تا ۱۵ میلی‌متر قرار دارند و تعداد نمونه‌های ماهانه با



شکل ۴: تغییرات حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر سه سیکل

Fig. 4: Variations in Maximum 24-Hour Precipitation in the 1000–1500 m Elevation Class during Solar Cycle 24 and across the Three Solar Cycles

رقم ۱۸۴/۰۹ در ژانویه ۲۰۰۳-۲۰۰۴ و در سیکل ۲۴ با رقم میانگین ۱۴۹/۶ میلی‌متر مربوط به ماه مارس سال آبی ۲۰۱۹-۲۰۱۸ اتفاق افتاده است. در همین راستا در سیکل ۲۲ میانگین بارش‌های ۲۴ ساعته در ۱۱ مورد در سیکل ۲۳ در ۷ مورد و در سیکل ۲۴ در ۳ مورد میانگین‌های ماهانه بیش از ۱۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. که باز هم در مقایسه با طبقه قبل افزایش زیادی را نشان می‌دهد. شکل ۸ روند تغییرات میانگین سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته را در سیکل خورشیدی ۲۲ برای طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که، به‌جز سال آبی ۱۹۹۳-۱۹۹۴، شدت بارش‌های ۲۴ ساعته از ابتدای سیکل تا پایان آن روندی صعودی و چشمگیر داشته است. به‌طور کلی، در این سیکل شدت حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته با نرخ در حدود ۱/۲۸ میلی‌متر در سال افزایش یافته است. در این سیکل، بیشترین مقدار میانگین سالانه حداکثر بارش ۲۴ ساعته با رقم ۴۵/۹۵ میلی‌متر مربوط به سال آبی ۱۹۹۱-۱۹۹۲ بوده است.

تغییرات حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سه سیکل خورشیدی ۲۲ تا ۲۴ (طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰-۲۰۰۰ متر) جداول ۱۰-۱۲ پراکنش حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته گزارش شده از ایستگاه‌های مشارکت داده شده در هر سیکل در دوره ۱۱ ساله و در ۱۲ ماه سال را نشان می‌دهد. همان‌طور که در ردیف انتهایی هر جدول مشاهده می‌شود بالاترین میانگین ماهانه در سیکل ۲۲ با میانگین ۱۱ ساله در رقم ۸۵/۷۱ میلی‌متر در مارس در سیکل ۲۳ با رقم ۵۶/۸۷ میلی‌متر در ماه ژانویه و در سیکل ۲۴ با رقم ۱۸۷/۱۷ میلی‌متر در ماه مارس اتفاق است. ملاحظه می‌شود که در تراز ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متری شدت بارش‌ها نسبت به تراز ارتفاعی قبل افزایش چشمگیری دارد. معدل سالانه ۱۱ ساله برای سیکل ۳۱/۶۷ برای سیکل ۲۳، ۲۷/۷۴ و برای سیکل ۲۴ رقم ۲۷/۶۶ میلی‌متر حاصل شده است که نسبت به طبقه ارتفاعی قبل افزایش فاحشی را نشان می‌دهد. بالاترین‌های ماهانه ثبت شد در هر یک از سیکل‌های سه گانه نیز این تفاوت را نشان می‌دهد. به عنوان مثال در سیکل ۲۲ بالاترین میانگین ماهانه با رقم ۱۸۷/۱۷ میلی‌متر در ماه دسامبر سال آبی ۱۹۹۱-۱۹۹۲ در سیکل ۲۳

جدول ۱۰: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل خورشیدی ۲۲ برای طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر

Table 10: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 22 across the 1500–2000 m Elevation Band

Month	1986-87	1987-88	1988-89	1989-90	1990-91	1991-92	1992-93	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	Average
October	0.07	13.63	0.13	0	2.33	26.34	0	2.8	26.97	10.17	1.3	7.61
November	7.6	1	9.47	71.43	14.03	2.54	4.24	16.77	126.87	0	7.5	23.76
December	8.1	41.07	53.97	97.53	29.93	187.17	155.27	3.5	68	72.77	12.43	72.88
January	8.33	86.44	45.47	56.64	115.83	85.54	101.1	27.17	48.43	122.67	73.41	70.09
February	38.3	86.44	53.6	75	53.24	62.91	171.04	10.67	110.37	94.34	4.97	69.17
March	105.43	50.24	58.07	18.8	111.67	79.28	106.38	91.44	51.54	164.8	105.3	85.72
April	10.77	52.5	16.2	16.04	13.17	54.84	28.34	8.84	61.5	59.3	51.47	33.9
May	2	1.93	7.5	0.3	0.33	50.24	19.23	27.1	25.93	8.64	18.87	14.73

June	0.67	0	0	0.17	0.67	0.37	0	0.4	4.63	0.67	1.37	0.76
July	2.17	1.37	0.47	0.17	0	0	0.4	0	0	0.183	0.67	0.16
August	0.2	0	0.23	0.03	0	2.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0.26
September	0	0.67	0	0	1.9	0	3.74	0	0.107	0.103	0	0.58
Average	21.3	27.94	20.43	28.04	28.59	45.95	48.8	16.05	44.53	44.53	23.11	31.67

جدول ۱۱: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل ۲۳ طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰-۲۰۰۰ متر

Table 11: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 23 across the 1500–2000 m Elevation Band

Month	1997-98	1998-99	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	Mean
October	9.88	3.4	0.74	7.61	1.95	0.46	2.22	0.55	0.1	16.93	0.2	4
November	32.6	3.02	16.04	37.57	21.72	20.92	8.51	43.49	51.76	31.1	6.33	24.82
December	62.56	2.99	38.01	100.9	179.5	56.01	80.66	146.16	77.96	69.47	48.15	78.4
January	91.58	83.63	102.4	26.89	84.3	63.71	184.09	81.06	88.21	48.67	50.61	82.28
February	97.27	127.2	25.11	37.43	44.87	62.23	33.26	29.96	81.33	61.12	13.84	55.78
March	110.7	68.58	19.57	35.05	45.9	82.01	19.55	55.62	30.15	92.26	0.34	50.87
April	17.15	7.23	2.79	2.15	76.13	45.61	58.47	15	49.37	55.01	9.93	30.8
May	4.81	0.04	0.6	9.46	2.84	0.58	5.9	2.83	1.68	6.98	2.55	3.47
June	0.48	0	0	3.63	0.3	0.37	0	0.15	0.1	0.24	0.2	0.52
July	0.88	3.16	0.03	0.02	0.1	0.6	3.44	0.4	0.01	1.11	0.19	0.9
August	0.51	0.51	0.18	0.01	0.17	2.73	0	0.4	0.5	0.02	0.2	0.52
September	0.63	0.19	0.01	0.4	0	0	0	0.42	0	0	3.5	0.46
Mean	35.75	25	17.12	21.77	38.19	27.91	33.04	31.33	31.8	31.91	11.34	27.74

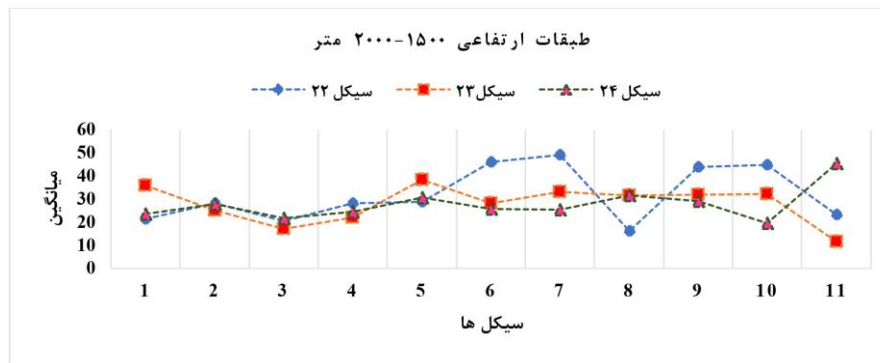
جدول ۱۲: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل ۲۴ طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰-۲۰۰۰ متر

Table 12: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 24 across the 1500-2000 m Elevation Band

Month	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	Average
October	29.02	18.47	0.27	18.87	22.59	2.09	23.67	47.44	1.06	0.02	21.33	16.8
November	75.37	72.33	6.51	71.93	76.63	51.62	68.45	60.93	8.53	23.02	100.95	56.02
December	9.66	67.87	17.41	1.37	71.88	39.26	10.71	81.48	65.11	14.7	30.9	37.3
January	26.24	21.14	69.93	30.88	39.2	69.21	30.96	56.98	30.26	15.8	86.66	43.38
February	40.51	61.28	48.02	94.68	22.89	29.97	55.87	15.93	113.85	53.18	55.92	53.82
March	44.11	22.32	68.45	36.39	31.69	66.43	71.19	37.65	86.74	11.51	149.16	56.87
April	41.51	45.87	34.06	31.07	56.42	41.74	24.17	68.17	20.29	74.42	87.7	47.76
May	4.7	20.51	12.69	4.78	36.55	4.35	14.45	8.94	20.18	34.24	8.92	15.48
June	2.15	0.86	0	0.4	0.05	0.56	0.32	0.01	0.12	1.96	1.22	0.69
July	0.01	0.89	0.15	2.55	0.15	0.52	2.54	1.26	0.47	1.29	0.59	0.94
August	2.09	1.19	2.77	0.85	7.35	1.05	0.07	0.2	0.66	2.4	0.22	1.71
September	4.55	0.12	0.01	0.31	0.01	0	1.79	0.01	0.02	0.61	0.05	0.68
Average	23.33	27.74	21.69	24.51	30.45	25.57	25.35	31.58	28.94	19.43	45.3	27.66

حدود ۰/۹۷ میلی‌متر در سال افزایش نشان می‌دهد. در در این سیکل، بیشترین مقدار میانگین سالانه حداکثر بارش ۲۴ ساعته با رقم ۴۵/۳ میلی‌متر مربوط به سال آبی ۲۰۱۸-۲۰۱۹ بوده است.

شکل ۵ تغییرات میانگین ۱۱ ساله حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته را در سیکل خورشیدی ۲۴ نشان می‌دهد. برخلاف سیکل خورشیدی ۲۳، در این سیکل روند شدت بارش‌های ۲۴ ساعته از ابتدای دوره تا انتهای آن روند افزایشی قابل توجه داشته است، به‌طوری که شدت بارش‌ها با نرخ در



شکل ۵: تغییرات حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰-۲۰۰۰ متر سیکل ۲۴ و سه سیکل

Fig. 5: Variations in Maximum 24-Hour Precipitation in the 1500–2000 m Elevation Class during Solar Cycle 24 and across the Three Solar Cycles

میانگین ماهانه در این طبقه ارتفاعی با رقم ۲۱۳/۰۳ در سیکل ۲۲ ماه نوامبر سال ۱۹۹۴-۱۹۹۵ با رقم ۲۰۳/۵۵ در ماه ژانویه سال ۲۰۰۳-۲۰۰۴ از سیکل ۲۳ و با رقم ۱۶۵/۹۳ در ماه مارس سال ۲۰۱۸-۲۰۱۹ از سیکل ۲۴ گزارش شده است. این پدیده نیز بیانگر افزایش شدت‌ها با افزایش ارتفاع بوده است. افزون بر آن در سیکل ۲۲ در ۷ ماه از سال در سیکل ۲۳ در ۲۳ مورد و در سیکل ۲۴ در ۸ مورد از ماه‌های سال بارش بیش از ۱۰۰ میلی متر گزارش شده است. که بیانگر فراوانی نسبی رخدادهای بارشی بسیار شدید در این طبقه ارتفاعی می‌باشد. این پدیده بویژه در سیکل ۲۳ به شکل بارزی خود را نشان می‌دهد. شکل ۶ میانگین ۱۱ ساله سه سیکل را نشان می‌دهد این رقم در سیکل ۲۲ در محدوده ۳۱/۹۳ در سیکل ۲۳ در محدوده ۴۴/۴۹ و در سیکل ۲۴ در محدوده ۳۳/۷۷ میلی متر قرار داشته است. بنابراین در عین این که همچنان سیکل ۲۳ در قیاس با دو سیکل قبل و بعد خود شدیدتر بوده است در مجموع سه سیکل باز هم از میانگین ۱۱ ساله طبقات ارتفاعی قبل شدیدتر بوده است. در این طبقه ارتفاعی نیز همچنان شدت بارش‌ها رو به افزایش بوده است. به طوری که معدل حداکثر بارش‌های ۴ ساعته از ۳۰ میلی متر فراتر رفته و در سیکل ۲۳ به بیش از ۴۴ میلی متر رسیده است. همچنان که در تحلیل شرایط بارش‌های طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر بیان شده، مشارکت منابع رطوبتی از میدان رطوبتی منطقه همگرایی حاره‌ای از طریق جریانات جنوبی جلو ناوه در ترازهای مرتبط و همچنین تأثیر پدیده اروگرافی بارش‌ها همچنان شدت گرفته است.

در این تراز ارتفاعی دوباره شدت بارش‌های ۲۴ ساعته به طور چشمگیری افزایش یافته است. به طوری که میانگین بارش‌های ۲۴ ساعته به محدوده ۲۷ تا ۳۰ میلی متر رسیده است. همچنان که تعداد نمونه‌های ماهانه با معدل بیش از ۱۰۰ میلی متر به طور قابل توجهی افزایش یافته است. با دور شدن از لایه مرزی و مشارکت رطوبت فرارفت شده از عرض‌های حاره‌ای در ترازهای بالاتر (منطقه همگرایی حاره‌ای) سهم رطوبت ورودی به سامانه‌های ورودی چه از طریق جریانات همرفتی از لایه زیرین و رطوبت فرارفت شده از عرض‌های حاره‌ای افزایش قابل توجهی یافته است (جعفری و همکاران، ۱۴۰۰). به همین دلیل با دسترسی به رطوبت مناسب و ترکیب جریانات همرفتی بخاطر انرژی حاصل از گرمای نهان آزاد شده و تأثیر اروگرافی بارش‌های شدید با حجم بیش از ۱۰۰ میلی متر بطور چشمگیری افزایش یافته است.

تغییرات حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سه سیکل

خورشیدی ۲۲ تا ۲۴ (طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متر)

جداول ۱۳-۱۵ پراکنش میانگین ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته را در هر یک از سال‌ها و ماه‌های دوازده‌گانه، در سه سیکل‌های سه گانه را نشان می‌دهد. بیشترین شدت میانگین ماهانه ۱۱ ساله حداکثر بارش ۲۴ ساعته در سیکل ۲۲ با مقدار ۹۱/۸۹ میلی متر در ماه مارس در سیکل ۲۳ با رقم ۱۰۷/۸۰ در ماه دسامبر و در سیکل ۲۴ با رقم ۷۵/۱۰ در ماه مارس رخ داده است. با توجه به اعداد حدی نشان می‌دهد که شدت بارش‌ها در این طبقه ارتفاعی همچنان رو به افزایش بوده است. حدی‌های

جدول ۱۳: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل خورشیدی ۲۲ برای طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر
 Table 13: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 22 across the 2000–2500 m Elevation Band

Month	1986-87	1987-88	1988-89	1989-90	1990-91	1991-92	1992-93	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	Mean
October	11.71	69.81	0.2	0.45	15.95	27.24	0	4.86	36.38	3	1.6	15.56
November	111.45	20.65	38.1	58.76	9.36	13.71	15.42	69.56	213.03	0.46	13.52	51.27
December	82.66	82.36	32.81	104.27	71.11	162.46	49.22	12.5	23.83	30.82	39.46	57.95
January	13.01	30.62	42.2	55.68	41.11	55.63	67.33	51.31	13.91	57.72	24.99	41.22
February	74.75	71.32	42.06	39.17	41.21	72.18	120.62	33.77	40.53	4.42	4.42	56.67
March	171.66	96.56	84.31	34.57	97.81	55.26	96.42	90.66	22.71	130.44	130.43	91.89
April	26.81	37.86	26.82	28.06	13.05	60.73	99.52	16.96	37.54	65.31	67.27	43.72
May	9.11	2.06	16.19	2.52	0	52.69	43.37	12.36	46.19	14.44	20.33	20.02
June	0	0.01	0	0	2.32	1.7	1.7	0.01	3.46	0.01	9.92	1.58
July	0	0.16	0	0.31	0	0	0.51	0	0	0.06	1.99	1.99
August	3.02	0	0	0	0	0	1.01	0	0	8.5	1.14	1.14
September	0.15	0.25	0	0	1.35	0	0	0	0.02	0.15	0	0.17
Average	43.76	34.39	23.62	26.98	19.96	41.8	41.12	24.34	36.46	32.85	25.99	31.93

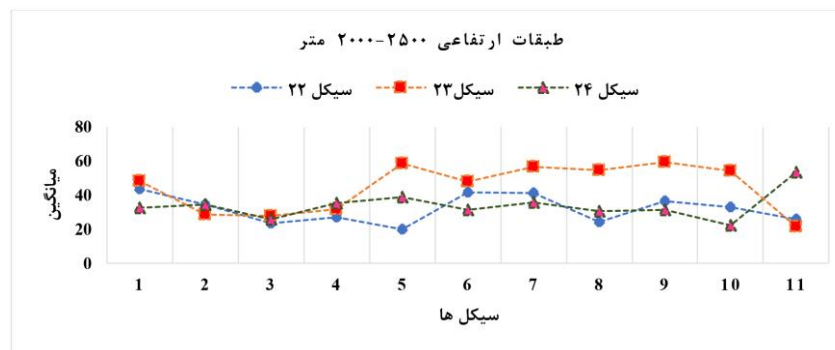
جدول ۱۴: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل ۲۳ طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متر
 Table 14: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 23 across the 2000–2500 m Elevation Band

Month	1997-98	1998-99	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	Mean
October	9.86	18.56	4.25	29.23	21.82	1.19	7.35	6.47	1.1	35.77	1.75	12.48
November	48.22	1.68	54.6	34.75	53.39	53.13	23.21	117.2	73.79	94.63	33.5	53.46
December	62.61	28.8	94.5	132.2	22.91	129.5	117.4	135.1	118.4	98.31	93.3	107.8
January	101.9	74.9	103	47.27	133.1	69.61	203.5	136.8	17.07	53.15	55.8	104.5
February	129.5	116.9	57.4	33.73	43.56	100.8	95.14	36.56	190.9	85.44	32.9	83.89
March	184.9	74.9	60.1	69.52	75.25	124.9	54.55	157.1	60.15	135.9	0.79	90.74
April	21.1	24.5	5.05	0.91	135.4	91.04	153.1	47.46	95.64	117.3	25.8	65.21
May	11.8	0.46	1.84	27.56	15.78	5.83	19.15	17.37	1.82	25.14	9.8	12.4
June	2.84	0	0.13	2.27	0.12	0.06	0.86	0.68	0	3.45	0	0.94
July	2.73	3.87	0	0	0.51	0.16	3.15	0.21	0	0.8	0.12	1.09
August	0.56	0	0	1.77	0.54	0.16	0.17	0.57	0.02	0.04	0.01	0.43
September	2.2	0.108	0.15	1.24	0	0	0.4	0	0.42	0	6.69	1.01
Average	48.2	28.8	28	31.7	58.36	48.07	56.5	54.63	59.43	54.16	21.7	44.49

جدول ۱۵: پراکنش ماهانه و سالانه حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سیکل ۲۴ طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متر
 Table 15: Monthly and Annual Distribution of Maximum 24-Hour Rainfall during Solar Cycle 24 across the 2000-2500 m Elevation Band

Month	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	Average
October	28.3	17.95	0.18	8.45	21	4.58	33.94	39.95	0.92	0.01	21.58	16.07
November	78.2	109.93	10.23	140.54	108.33	64.19	90.84	30.63	12.84	19.73	134.77	72.74
December	24.2	74.98	15.12	2.05	105.12	54.34	11.54	75.65	104.93	1.53	23.22	45.6
January	45.52	31.53	82.81	37.69	47.95	77.16	27.17	74.95	29.67	22.62	135.88	55.72
February	79.36	75.78	65.03	111.64	25.41	34.78	81.69	13.03	83.71	66.08	55.27	62.88
March	34	43.53	97.34	72.45	64.78	88.11	106.41	57.66	81.48	14.46	165.93	75.1
April	85.09	46.27	32.46	34.74	64.99	36.09	33.43	58.75	23.1	82.34	89.83	53.37
May	8.77	13.69	7.51	8.48	26.83	11.87	27.75	14.62	37.01	47.2	8.42	19.28
June	4.15	0.36	0.02	2.35	0.01	0.03	0.2	0	0	2.33	3.42	1.17
July	0	0.02	0.11	1.41	0	0.31	1.07	0.07	0.24	0	0.05	1.17

August	0.62	1.1	0.11	1.68	2.71	3.73	0.04	0.46	1.73	0	0.92	1.19
September	4.53	0.12	0	0.37	0	0	5.28	0.04	0.01	0.86	0	1.01
Average	32.73	34.6	25.91	35.15	38.93	31.27	35.75	30.48	31.3	22.18	53.27	33.77



شکل ۶: تغییرات حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در طبقه ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر سیکل ۲۴ و سه سیکل

Fig. 6: Variations in Maximum 24-Hour Precipitation in the 2000–2500 m Elevation Class during Solar Cycle 24 and across the Three Solar Cycles

بحث

حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته افزایشی بوده است. برعکس، در سیکل ۲۳ به جز در طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متر، روند حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته کاهشی بوده است. در سیکل ۲۴، در تمام طبقات ارتفاعی روند حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته افزایشی بوده است. از لحاظ شدت بارش‌های ۲۴ ساعته، در طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر کمترین شدت‌ها رخ داده است. شدیدترین بارش‌های ۲۴ ساعته در طبقه ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر رخ داده است. از لحاظ ماه وقوع بالاترین میانگین‌های ۲۴ ساعته، دسامبر ۴ مرتبه، ژانویه ۳ مرتبه، مارس ۴ مرتبه و نوامبر ۴ مرتبه تکرار شده است. بنابراین تمرکز اصلی بارش‌های حدی در جنوب کشور ایران از لحاظ پراکنش زمانی در محدوده ماه-های نوامبر تا مارس می‌باشد. در این میان ماه فوریه کمترین فراوانی را در ایجاد بارش‌های حدی داشته است. این یافته با نتایج تحقیق (Lashkari et al, 2020) هماهنگی دارد.

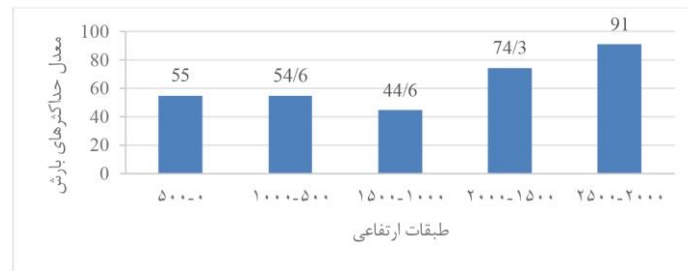
در این بخش چکیده صفات مختلف بارش‌های حدی ماهانه یا حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته همه ماه‌های سال و همه ایستگاه‌های مورد استفاده در دوره ۳۳ ساله مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته شده است.

جدول ۱۶ خلاصه وضعیت شدیدترین بارش‌های ۲۴ ساعته را در طبقات ارتفاعی مختلف در هر یک از سیکل‌های خورشیدی نشان می‌دهد. در این جدول، اسامی ماه‌ها نشان‌دهنده ماهی است که بالاترین میانگین حداکثر بارش ۲۴ ساعته در آن سیکل و طبقه ارتفاعی رخ داده است. عدد وسط نشان‌دهنده بالاترین میانگین بارشی حداکثر ۲۴ ساعته گزارش شده در آن سیکل می‌باشد و بخش سوم داخل هر خانه نشان‌دهنده روند افزایشی یا کاهشی حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در آن سیکل و طبقه ارتفاعی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سیکل ۲۲ به جز در طبقه ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر، در سایر طبقات روند

جدول ۱۶: خلاصه وضعیت شدیدترین بارش‌های ۲۴ ساعته را در طبقات ارتفاعی مختلف در هر یک از سیکل‌های خورشیدی

Table 16: Summary of Extreme 24-Hour Precipitation Characteristics across Elevation Classes during Individual Solar Cycles

Elevation Class	Cycle 22	Cycle 23	Cycle 24	Mean Max Rainfall
0-500	Dec/Increasing	Jan/Decreasing	Nov/Increasing	55
500-1000	Dec/Increasing	Nov/Stable	Nov/Increasing	54.6
1000-1500	Jan/Increasing	Dec/Decreasing	Nov/Increasing	44.6
1500-2000	Mar/Increasing	Jan/Decreasing	Mar&Nov/Increasing	74.3
2000-2500	Mar/Decreasing	Dec/Increasing	Mar/Increasing	91
Mean	65.5	69.4	43.6	63.88



شکل ۷: معدل‌های حداکثر بارش در طبقات ارتفاعی مختلف در سه سیکل خورشیدی

Fig. 7: Mean Maximum 24-Hour Precipitation across Different Elevation Classes during the Three Solar Cycles

مجموع طبقات ارتفاعی ۲۴/۳۴ میلی‌متر به دست آمد. در این سیکل، بالاترین شدت ۱۱ ساله با رقم ۳۱/۹۳ در ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ رخ داده است. این رقم میانگین برای سیکل ۲۳ حدود ۲۵/۵۹ و برای سیکل ۲۴ حدود ۲۵/۷۶ به دست آمده است.

جدول ۱۷ میانگین ۱۱ ساله حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته را در هر یک از سیکل‌ها و در هر طبقه ارتفاعی نشان می‌دهد. این ارقام نشان‌دهنده معدل ۱۱ ساله میانگین حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته ایستگاه‌ها در ۱۲ ماه سال می‌باشد. میانگین حداکثر بارش ۲۴ ساعته سیکل ۲۲ در

جدول ۱۷: میانگین ۱۱ ساله شدت بارش‌های ۲۴ ساعته

Table 17: Eleven-Year Average Intensity of Maximum 24-Hour Precipitation

Elevation Class	Cycle 22	Cycle 23	Cycle 24	Mean
0-500	19.8	17.49	16.99	18.09
500-1000	23.38	25.74	24.8	24.64
1000-1500	14.9	12.48	21.99	16.45
1500-2000	31.67	27.74	27.66	28.69
2000-2500	31.93	44.49	33.77	36.73
Mean	24.34	25.59	25.76	25.2



شکل ۸: معدل‌های حداکثر بارش در طبقات ارتفاعی مختلف در سه سیکل خورشیدی

Fig. 8: Mean Values of Maximum Precipitation across Different Elevation Classes during the Three Solar Cycles

رسیده است. به این ترتیب، به لحاظ ارتفاعی، بارش‌های حدی از سمت ساحل تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری افزایش یافته، سپس در بازه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر کاهش نشان می‌دهد و در نهایت از ارتفاع ۱۵۰۰ متر تا خط‌الرأس ارتفاعات، افزایش چشمگیر و قابل توجهی پیدا می‌کند؛ به‌طوری که بارش‌های بسیار شدید در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر رخ می‌دهد. جدول ۱۸ پراکنش و فراوانی تعداد دفعاتی را نشان می‌دهد که در آن، میانگین ماهانه بارش در هر یک از ماه‌های سال و در هر طبقه ارتفاعی به بیش از ۱۰۰ میلی‌متر رسیده است. در اینجا نیز تعداد دفعات وقوع بارش با میانگین بیش از ۱۰۰ میلی‌متر از تراز دریا به سمت

به این ترتیب، رقم حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته تغییر محسوسی را نشان نمی‌دهد. ستون انتهایی جدول، میانگین حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته را برای هر طبقه ارتفاعی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین سه سیکل در طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۰ متر حدود ۱۸ میلی‌متر است. برای طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰-۵۰۰ متر این رقم به ۲۴/۶۴ افزایش یافته است، ولی همان‌طور که مشاهده می‌شود، این مقدار برای طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر به ۱۶/۴۵ میلی‌متر کاهش یافته است. این رقم برای طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متر به ۲۸/۶۹ افزایش یافته و در طبقه ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر به ۳۶/۷۳ میلی‌متر

از ۱۵۰۰ متر بسیار چشمگیر و قابل توجه است. از نظر سیکلی نیز، بیشترین دفعات وقوع بارش با میانگین بیش از ۱۰۰ میلی‌متر با تعداد ۴۲ مورد در سیکل خورشیدی ۲۳ به ثبت رسیده است.

ارتفاعات بالاتر، در ابتدا روند افزایشی داشته و سپس در بازه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. از ارتفاع ۱۵۰۰ متر به بالا، این پدیده مجدداً روند صعودی پیدا کرده و این افزایش تا خط‌الرأس ارتفاعات ادامه دارد، به‌گونه‌ای که شدت این روند در طبقات ارتفاعی بالاتر

جدول ۱۸: فراوانی میانگین‌های ماهانه بیش از ۱۰۰ میلی‌متر هر سیکل و در هر طبقه ارتفاعی

Table 18: Frequency of Monthly Mean Precipitation Values Above 100 mm across Solar Cycles and Elevation Classes

Cycle	0-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500	Total
Cycle 22	6	6	1	13	8	34
Cycle 23	2	8	2	6	24	42
Cycle 24	1	4	2	2	10	19
Total	9	18	5	21	42	95

نتیجه‌گیری

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که واکاوی مشخصه‌های آماری بارش‌های فرین در پهنه جنوبی ایران نشان می‌دهد حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در سواحل جنوبی کشور از یک روند خطی پیروی نمی‌کند. به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع بارش‌ها سیر صعودی را طی نمی‌کند. بلکه تغییرات بارشی ترکیبی از پدیده‌های همرفتی و اروگرافیک می‌باشد که نقش پدیده‌های ترمودینامیکی بر پدیده توپوگرافی غلبه دارد. در نتیجه در زیر تراز ۵۰۰ متری با شروع جریانات همرفتی، بارش‌های رگباری شروع شده ولی هیچگاه بارش‌های فرین با ارقام بیش از ۱۰۰ میلی‌متر که در طبقات ارتفاعی بالاتر رخ می‌دهد، اتفاق نمی‌افتد. بررسی نیمرخ ارتفاعی بارش‌ها نشان می‌دهد علیرغم این که از تراز دریا تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری از ساحل بارش‌های فرین شدت پیدا می‌کنند در طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ به یک باره شدت بارش‌ها کاهش می‌یابد. در صورتی که مجدداً از ارتفاع ۱۵۰۰ متر به بالا روند افزایشی تا ارتفاع ۲۵۰۰ متری که ایستگاه هواشناسی دایر بوده است، ادامه دارد. به واقع طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متری نقطه عطف تبدیل ساختار همرفتی سامانه‌ها به ترکیبی از ساختار همرفتی و اروگرافیک می‌باشد. مزید بر این که با توجه به الگوی هم‌دید و ترمودینامیکی حاکم بر سامانه‌های بارشی این منطقه و منابع رطوبتی تغذیه‌کننده سامانه‌ها در ترازهای مختلف متفاوت است. در این الگوها در ترازهای زیرین بدلیل شدت رطوبت فرارفت بویژه در زمان غلبه زبانه پرفشار سیبری و ثبت در فرارفت رطوبت بدرون سامانه سودانی در

لایه زیرین و افزوده شدن منابع رطوبتی منطقه همگرایی حاره‌ای در ترازهای ۸۵۰ هکتوپاسکال به بالا از طریق جریانات جنوبی جلو ناوه بارش‌های سیلابی و شدید در ارتفاعات بالا به شدت تشدید می‌شود. مشایخ و همکاران (Mashayekh et al, 2022) با این همه گاه در الگوهای هم‌دید خاصی پدیده همرفت در صورت تغذیه رطوبتی مناسب در همان ترازهای زیرین نیز رخ داده و بارش‌های سیل‌آسایی را رقم می‌زند. به‌عنوان نمونه، در سامانه بارشی ۲۸ آذر ۱۴۰۴، مقدار بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه جزیره خارک ۱۳۷/۹ میلی‌متر و در ایستگاه قشم ۱۳۵/۲ میلی‌متر ثبت شد. در برخی رخدادهای، شدت بارش حتی از ۲۰۰ میلی‌متر نیز فراتر رفته و با سیلاب‌های گسترده و مخرب همراه بوده است؛ از جمله می‌توان به سیلاب‌های ۲۷ و ۲۸ آذر ۱۴۰۴ و ۶ و ۷ اسفند ۱۴۰۲ اشاره کرد. بر این اساس، مکانیسم غالب بارش در جنوب ایران عمدتاً همرفتی بوده و این بارش‌ها اغلب با توفان‌های تندری، رگبارهای شدید، سیل‌آسا و در مواردی مخرب همراه می‌شوند. بررسی بارش‌های ۲۴ ساعته نشان می‌دهد که وقوع بارش‌های بیش از ۱۰۰ میلی‌متر در بسیاری از ایستگاه‌های منطقه، به‌ویژه در نواحی مرتفع، پدیده‌ای نسبتاً رایج است. سامانه‌هایی که بار اصلی بارش‌های دوره‌ی گرم و سرد سال را در منطقه‌ی جنوبی ایران بر عهده دارند، چه به صورت مستقل و چه در حالت ادغام با سایر سامانه‌های جوی، از ساختارهای دینامیکی و ترمودینامیکی ویژه‌ای برخوردارند که شباهت قابل توجهی با سامانه‌های بارشی حاره‌ای دارند. در این میان، سامانه کم‌فشار سودانی مهم‌ترین نقش را در تأمین رطوبت

می‌دهند — یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی این استان‌ها به شمار می‌آید. با توجه به اینکه این رخدادها در چارچوب الگوهای همدیدی قابل پیش‌بینی هستند و بیشترین تمرکز زمانی آن‌ها در ماه‌های دسامبر و ژانویه مشاهده می‌شود (Lashkari et al, 2024; Lashkari and Esfandiari, 2016; Assakereh et al, 2021)، صدور پیش‌آگاهی‌های مؤثر و مدیریت بهینه رواناب می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارات ناشی از این پدیده‌ها را ایفا کند.

سپاسگزاری

نویسنده این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

و شکل‌گیری بارش‌های دوره‌ی سرد سال در این منطقه ایفا می‌کند (Jafari et al, 2021; Lashkari et al, 2020; Mohammadi et al, 2022; Lashkari et al, 2015; Mohammadi et al, 2019; Lashkari and Mohammadi, 2023; Zarrin et al, 2005; Mohammadi et al, 2012). وقوع این بارش‌های شدید در مناطق مرتفع، به دلیل شیب زیاد زمین، افزایش شتاب رواناب و تشدید فرسایش خاک، منجر به بروز خسارات قابل‌توجه می‌شود. نتایج بررسی‌ها در سیکل‌های خورشیدی ۲۳ و ۲۴ و در طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر نشان می‌دهد که در برخی سیکل‌ها، معدل‌های ماهانه بارش بیش از ۱۰۰ میلی‌متر در بیش از ۲۰ مورد گزارش شده است (جداول ۱۰ تا ۱۴). بنابراین، وقوع بارش‌های سیل‌آسا - به‌ویژه در ارتفاعات استان‌های فارس، بوشهر و هرمزگان که عمدتاً به‌صورت بارش مایع رخ

پانویس

- 1-Solar cycle
- 2-Heavy precipitation days
- 3-Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)

- 4-Missing Data
- 5-Anderson-Darling

References

- Ahmadi, M. and Jafari, F., 2018. Comprehensive tracking and synoptic analysis of a case study of systems leading to heavy precipitation exceeding 50 mm in southern Iran. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, v. 5(3), p. 83-102 (In Persian).
- Alijani, B., 2003. *Climate of Iran* (11th ed.). Payame Noor University Press (In Persian).
- Asakereh, H., Ghaemi, H. and Rezaei, Sh., 2016. Investigation of the expansion mechanisms and intensity of the Red Sea low-pressure system. *Geographical Space Planning*, v. 6(21), p. 77-89 (In Persian).
- Gupta, S., Gupta, A., Himanshu, S.K. and Singh, R., 2020. Analysis of the extreme rainfall events over upper catchment of Sabarmati River Basin in western India using extreme precipitation indices. In *Advances in Water Resources Engineering and Management*, p. 103-111, Springer.
- Howarth, M.E., Thorncroft, C.D. and Bosart, L.F., 2019. Changes in extreme precipitation in the northeast United States: 1979–2014. *Journal of Hydrometeorology*, v. 20(4), p. 673-689.
- Jafari, M. and Lashkari, H., 2021. The role of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) in the development and expansion pattern of the Sudanese low-pressure trough in pervasive and severe rainfall in southern Iran. *Researches in Earth Sciences*, v. 12(3), p. 223-241.
- Jafari, M. and Lashkari, H., 2021. Synoptic patterns determining the movement paths of precipitation systems originating from the Sudanese low-pressure system. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, v. 8(1), p. 55-78 (In Persian).
- Jafari, M. and Lashkari, H., 2021. The role of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) in the formation and expansion pattern of the Sudanese low-pressure trough during widespread and intense precipitation events in southern Iran. *Earth Knowledge Research*, v. 12(47), p. 223-241 (In Persian).
- Karimi, M. and Farajzadeh, M., 2011. Moisture flux and spatio-temporal patterns of moisture supply sources for precipitation in Iran. *Journal of Applied Geographical Sciences*, v. 2, p. 109-127 (In Persian).
- Katiraii, P., Hajam, S. and Irannejad, P., 2007. Contribution of changes in the frequency and intensity of daily precipitation to rainfall trends in Iran during 1960–2001. *Physics of the Earth and Space Journal*, v. 33(1), p. 67-83 (In Persian).
- Lashkari, H., 1996. Synoptic patterns of heavy precipitation in southern and southwestern Iran. PhD Dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (In Persian).
- Lashkari, H., 2003. Mechanisms of formation, intensification, and development of the Sudan

- low-pressure center and its role in precipitation over southern and southwestern Iran. *Geographical Research*, v. 46, p. 1-18 (In Persian).
- Lashkari, H. and Esfandiari, N., 2021. Synoptic and thermodynamic patterns of atmospheric rivers leading to heavy precipitation during the cold season in Iran. *Natural Environmental Hazards*, v. 10(29), p. 125-144 (In Persian).
- Lashkari, H. and Mohammadi, Z., 2015. Effects of the spatial position of the Arabian subtropical high-pressure system on precipitation systems in southern and southwestern Iran. *Natural Geography Research*, v. 47(91), p. 73-90 (In Persian).
- Lashkari, H., Mohammadi, Z. and Jafari, M., 2021. Why does precipitation decrease in southern and southwestern Iran during February compared to other winter months? *Environmental Geography and Planning*, v. 32(3), p. 81-104 (In Persian).
- Lashkari, H., Mohammadi, Z., Naji, M. and Fadaei-Bash, A., 2024. Investigation of the spatial distribution and spatio-temporal variability of thunderstorm events in southern Iran during the last three solar cycles. *Natural Geography Research*, v. 56(130), p. 89-106 (In Persian).
- Li, W. and Chen, Y., 2020. Detectability of the trend in precipitation characteristics over China from 1961 to 2017. *International Journal of Climatology*, v. 41, E1980-E1991.
- Mashayekh, F., Lashkari, H., Daryabari, S. and Ranjbar, M., 2022. Analysis of precipitation anomaly responses during severe and extreme drought events in southern Iran across three solar cycles. *Geography*, v. 20(74), p. 1-20 (In Persian).
- Mofidi, A. and Zarrin, A., 2005. Synoptic investigation of the impacts of Sudanese low-pressure systems on flood-producing precipitation events in Iran. *Geographical Research*, v. 20(77), p. 113-136 (In Persian).
- Mohammadi, F. and Lashkari, H., 2022. Synoptic analysis of the changing trend in the share of Sudan low systems during the cold period along the Persian Gulf coast (1976-2017). (Journal name not specified).
- Mohammadi, F. and Lashkari, H., 2023. Investigation of changes in the contribution of Sudanese low-pressure systems to cold-season precipitation along the northern coasts of the Persian Gulf during 1976-2017. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, v. 9(3), p. 1-18 (In Persian).
- Mohammadi, H., Fattahi, A., Shamsipour, A.A. and Akbari, M., 2012. Dynamic analysis of Sudanese systems and the occurrence of heavy precipitation in southwestern Iran. *Applied Research of Geographical Sciences*, v. 12(24), p. 7-24 (In Persian).
- Mohammadi, Z. and Lashkari, H., 2018. Effects of spatial displacement of the Arabian subtropical high-pressure system and the subtropical jet stream on synoptic and thermodynamic patterns of intense wet periods in southern and southwestern Iran. *Natural Geography Research*, v. 50(3), p. 491-509 (In Persian).
- Mohammadi, Z. and Lashkari, H., 2019. Synoptic-thermodynamic analysis of the spatial displacement of the subtropical jet stream in the activity of the Sudanese low-pressure system (Case study: wet periods in Fars Province). *Earth Knowledge Research*, v. 10(38), p. 85-103 (In Persian).
- Pińskwar, I., Choryński, A., Graczyk, D. and Kundzewicz, Z.W., 2019. Observed changes in extreme precipitation in Poland: 1991-2015 versus 1961-1990. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 135, p. 773-787.
- Shields, C.A., Shearer, E.J. and Wehner, M.F., 2023. Atmospheric rivers and impacts on precipitation: Overview of the ARTMIP Tier 2 high resolution global warming experiment. *Geophysical Research Letters*, v. 50 (6), <https://doi.org/10.1029/2022GL102091>.
- Xu, X., Huang, A., Huang, D., Zhang, Y., Gu, C., Cai, S. and Tang, Y., 2023. Dominant synoptic patterns leading to summer regional hourly extreme precipitation events over the central eastern Tibetan Plateau and Sichuan Basin. *Geophysical Research Letters*, v. 50 (5), <https://doi.org/10.1029/2022GL102342>.
- Zittis, G., Brattich, E. and Lelieveld, J., 2021. Revisiting future extreme precipitation trends in the Mediterranean. *Weather and Climate Extremes*, v. 34, 100380.
- Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C., Jones, P., Tank, A.K., Peterson, T.C. and Zwiers, F.W., 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, v. 2(6), p. 851-870.