

Investigating the relationship between sunspots and annual precipitation in the Khorasan region (1986-2018)

Lashkari, H.¹  | mahmodicheshmekabod, S.²  | saeidiviyari, F.³  | Mohammadi, Z.⁴ 

1. Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, University of shahid beheshti, Tehran, Iran.
2. Master of Climatology, Faculty of Earth Sciences, University of shahid beheshti, Tehran, Iran.
3. Master's student in Political Geography, University of Tehran.
4. Postdoctoral Synoptic climatology. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University (SBU), Tehran, Iran.

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

(Received: 14 May 2025, Revise: 19 Nov 2025, Accepted: 25 Nov 2025, Published online: 21 Mar 2026)

Abstract

The large-scale atmospheric circulation system, which shapes global and regional climates, derives its required energy from the sun's output. However, the temporal trend of solar energy output is not constant or uniform over time; rather, it follows relatively regular cycles dependent on the photochemical processes of the sun. Variations in this energy are associated with the appearance of sunspots on the solar atmosphere. In this study, the relationship between annual precipitation at synoptic stations in Greater Khorasan Province and fluctuations in the number of sunspots was examined and compared over the three most recent solar cycles. Using the relationship between total annual precipitation and the number of sunspots by comparing sinusoidal curves and the eleven-year average of precipitation. The findings revealed that during Cycles 22 and 23, which exhibited normal solar cycle conditions, precipitation exceeded the cycle's average in two distinct periods: the first two years and the final two years of each cycle. During these intervals, most stations recorded above-average rainfall, particularly at northern stations, where the effect was more pronounced. Conversely, in the years between the solar maximum and minimum, precipitation generally decreased, falling below the cycle's average. However, in the third cycle (Cycle 24), which was an exceptional cycle in the last century—marked by the lowest recorded number of sunspots during both its peak and minimum phases—the pattern differed. While above-normal precipitation occurred at the beginning and end of the cycle, mid-cycle rainfall at most stations remained below the cycle's average.

Keywords: Sunspots, Solar cycles, rain, Great Khorasan,

Cite this article: lashkari, H., mahmodicheshmekabod, S., Saeidiviri, F. and mohammadi, Z. (2026). Investigating the relationship between sunspots and annual precipitation in the Khorasan region (1986-2018). *Nivar*, 50(132-133), 89-105. doi: 10.30467/nivar.2025.523630.1336

E-mail: (2) somaiahmodi1992@gmail.com (3) fatemeh.saeidi@ut.ac.ir (4) z_mohammadi@sbu.ac.ir



بررسی ارتباط لکه‌های خورشیدی با بارش سالانه منطقه خراسان طی دوره (۱۹۸۶-۲۰۱۸)

حسن لشکری^۱ | سمیه محمودی چشمه کیود^۲ | فاطمه سعیدی ویری^۳ | زینب محمدی^۴

۱. استاد اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲. کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای سیاسی دانشگاه تهران.
۴. پسادکتری اقلیم شناسی سینوپتیک گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: h-Lashkari@sbu.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۲۸، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۴، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱)

چکیده

سامانه عظیم گردش عمومی جو که سازنده اقلیم‌های جهانی و منطقه‌ای می‌باشد. انرژی مورد نیاز خود را از انرژی خروجی از خورشید تامین می‌کند. از طرفی روند زمانی مقدار انرژی خروجی از خورشید ثابت و یکنواخت نیست. بلکه تابع چرخه‌های نسبتاً منظمی می‌باشد، که به فعل و انفعالات فتوشیمیایی خورشید بستگی دارد. تغییرات این انرژی با ظهور لکه‌های خورشیدی بر روی جو خورشید در ارتباط است. در این تحقیق ارتباط مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان بزرگ با نوسانات تعداد لکه‌های خورشیدی در سه چرخه‌ی اخیر با روش رگرسیون سینوسی و مقابله مستقیم مقایسه شده است با استفاده از رابطه بین مجموع بارش سالانه با تعداد لکه‌های خورشیدی با مقایسه منحنی‌های سینوسی و میانگین یازده ساله بارش. نتیجه این تحقیق نشان داد که در دو چرخه ۲۲ و ۲۳ که شرایط نرمال چرخه‌ها را دارا بوده اند، در دو بازه زمانی بارش‌ها فراتر از متوسط بارش چرخه خود بوده اند. بازه اول در دو سال اول و دو سال انتهایی چرخه رخ داده است. در این دو مقطع بارش‌ها در اکثر ایستگاه‌ها مقادیر بالاتر از میانگین را تجربه کرده اند. این پدیده بخصوص در ایستگاه‌های شمالی‌تر به شکل بارزتری نمایان می‌شود. بر عکس در سال‌های بین اوج و حضيض تعداد لکه‌های بارش‌ها عموماً کاهش یافته و زیر متوسط بارش چرخه قرار می‌گیرند. ولی در چرخه سوم یا ۲۴ که یک چرخه کاملاً استثنایی در صد سال اخیر می‌باشد. به طوری که کمترین تعداد لکه‌های خورشیدی چه در دوره اوج و چه در دوره حضيض ثبت شده است. افزایش بارش‌ها به شرایط فرانرمال در ابتدا و انتهای چرخه رخ داده ولی در میانه چرخه بارش‌ها در اکثر ایستگاه‌ها زیر میانگین چرخه قرار داشته است.

کلیدواژه: لکه‌های خورشیدی، چرخه‌های خورشیدی، بارش، خراسان بزرگ،

۱. مقدمه

خورشیدی معمولاً به صورت جفتی ظاهر می‌شوند که هر کدام دارای قطب‌های مغناطیسی مخالف هستند. در هر جفت از این لکه‌ها، قطب مغناطیسی به‌طور تناوبی با هر چرخه خورشیدی تغییر می‌کند. به این صورت که لکه‌ای که در یک چرخه قطب شمال است، در چرخه بعدی به قطب جنوب تبدیل می‌شود (عساکره ۱۳۸۶). از آنجا که دما و بارش از

لکه‌های خورشیدی مناطقی هستند که به دلیل فعالیت‌های شدید مغناطیسی، انتقال حرارت در آن‌ها متوقف شده و جریان همرفتی در این نقاط به وقوع نمی‌پیوندد. تعداد لکه‌های خورشیدی قابل مشاهده ثابت نیست و در طول یک چرخه یازده ساله خورشیدی دچار تغییر می‌شود. لکه‌های

استناد: لشکری، حسن، محمودی چشمه کیود، سمیه، سعیدی ویری، فاطمه و محمدی، زینب. (۱۴۰۵). بررسی ارتباط لکه‌های خورشیدی با بارش سالانه منطقه خراسان طی

دوره (۱۹۸۶-۲۰۱۸). نیوار، ۵۰(۱۳۲-۱۳۳)، ۸۹-۱۰۵. doi: 10.30467/nivar.2025.523630.1336

رایانامه: (۲) somaiemahmodi1992@gmail.com (۳) fatemeh.saeidi@ut.ac.ir (۴) z_mohammadi@sbu.ac.ir

ناشر: سازمان هواشناسی کشور.



DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2025.523630.1336>

شرایط هیدرولوژی یک در کنیا هر 2 ± 5 تاثیر داشته است. بایدا (۲۰۱۷) در تحقیقی با استفاده از تبدیل موجک مداوم به مطالعه ارتباط بین چرخه های خورشید و بارش عراق پرداخت نتایج نشان داد که چرخه های ۱۱، ۲۱ و ۳۳ ساله به شدت با بارش های سالانه ارتباط دارد. سوزیکو و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی همبستگی بین بارش و لکه های خورشیدی بر اساس مجموع بارش سالانه ۲۵ ایستگاه هواشناسی در لهستان طی بازه زمانی ۱۹۶۶-۲۰۱۶ پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق جنوب و جنوب غربی لهستان دارای همبستگی بالا، مناطق مرکزی و شمال همبستگی متوسط و منطقه شرق همبستگی ضعیف با لکه های خورشیدی داشتند. نظری و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که اوج عدد لکه‌های خورشیدی سه سال قبل از اوج بارندگی رخ می‌دهد با این حال، بارندگی که یکی از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی و موثرترین جزء در چرخه‌ی هیدرولوژی است، به شدت تحت تاثیر آتروسلفهای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و سایر فعالیت‌های زمین‌شناسی و صنعتی قرار دارد. تاران و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از رویکرد شبکه‌های پیچیده، رفتار نامتقارن فعالیت‌های خورشیدی در دو نیمکره مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهشگران با تحلیل کمیت‌های توپولوژیکی شبکه‌های پیچیده مرتبط با شراره‌های بزرگ مقیاس نشان داده‌اند که نیمکره‌های شمالی و جنوبی خورشید ویژگی‌ها و الگوهای فعالیت متفاوتی از خود نشان می‌دهند. لین و وانگ (۲۰۲۳) در یک تحقیق به بررسی توسعه مدل‌های یادگیری ماشین مبتنی بر تحلیل ویولت برای پیش‌بینی بارش بلندمدت با استفاده از داده‌های لکه‌های خورشیدی و شاخص ENSO پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل شبکه بیزی پیشرفته، که بر پایه تحلیل ویولت توسعه یافته است، با دقت ۸۵.۷ درصد توانسته است پیش‌بینی‌های قابل اعتمادی از بارش بلندمدت ارائه دهد. در این بین، لکه‌های خورشیدی به عنوان تاثیرگذارترین عامل پیش‌بینی شناسایی شدند و وجود رابطه قابل توجهی میان

مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده اقلیم هر منطقه هستند، فعالیت‌های خورشیدی با تأثیرگذاری بر این عوامل می‌توانند سبب تغییر در دیگر شاخص‌های اقلیمی شوند. در این میان، بارش‌ها نسبت به دما از تغییرپذیری بیشتری برخوردارند و حتی به کوچک‌ترین نوسانات خروجی انرژی خورشید نیز واکنش نشان می‌دهند. (جهانبخش و عدالت‌دوست، ۱۳۸۷). در این مطالعه، تغییرپذیری بارش در ایستگاه‌های مورد بررسی به‌عنوان شاخص اصلی برای نشان دادن تاثیر فعالیت‌های خورشیدی بر تغییرات آب‌وهوایی منطقه مورد استفاده قرار گرفت. هدف این پژوهش تحلیل تغییرات بارش در منطقه خراسان با تمرکز بر نقش لکه‌های خورشیدی در این تغییرات است. تا به امروز، پژوهشگران زیادی به بررسی تأثیر فعالیت‌های خورشیدی بر تغییرات اقلیمی پرداخته‌اند. اولین بار هرشل در سال ۱۸۰۱ ارتباط بین اقلیم و سطح فعالیت‌های خورشیدی را پیشنهاد کرد. بعد از آن محققان بسیاری در زمینه تاثیر فعالیت‌های خورشیدی بر اقلیم مطالعه نمودند. نه تنها آب و هواشناسان و هواشناسان، بلکه اندیشمندان سایر علوم، بخصوص علوم فضایی و فیزیک خورشیدی توجه خاصی به مسئله گرمایش زمین و علل آن دارند. همچنین سیگنال‌های فعالیت خورشیدی در سیستم زمین-خورشید، تاثیر فعالیت خورشیدی را بر روی آب و هوای کره زمین منعکس می‌کند. تحقیقات کیفی نشان می‌دهند که رابطه بین فعالیت خورشید و آب و هوا بسیار پیچیده است و احتمالاً با زمان و موقعیت جغرافیایی متفاوت است کلیک^۱ و همکاران (۲۰۰۸). در مقیاس جهانی، همبستگی بین تعداد لکه‌های خورشیدی و پارامترهای هواشناسی می‌تواند مثبت یا منفی و حتی صفر باشد ژائو^۲ و همکاران (۲۰۰۴). مطالعات بسیاری نیز به رابطه بارش و لکه‌های خورشیدی پرداخته‌اند: در این راستا گچیر^۳ و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی مقایسه تعداد لکه‌های خورشیدی با مقادیر بارش ماهانه کنیا برای دوره ۱۹۰۱-۲۰۲۰ پرداختند. نتایج نشان داد که چرخه ۱۱ ساله خورشیدی در فراوانی و زمان وقوع

³ Gachari

¹ Kilick

² Zhao

فعالیت خورشیدی و الگوهای بارش را تایید کردند. این مدل قابلیت به کارگیری به عنوان ابزاری کارآمد در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب توسط سازمان‌های مرتبط را داراست. عبدالرحمان و همکاران (۲۰۲۳) در یک مطالعه، ارتباط میان لکه‌های خورشیدی و میزان بارش سالانه در هفت منطقه عربستان سعودی طی دوره‌ای ۳۵ ساله از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رابطه همبستگی بین لکه‌های خورشیدی و بارش از جنبه‌هایی مانند قدرت، شدت، جهت و معناداری آماری، به طور قابل توجهی متغیر است. این تغییرات در ایستگاه‌های مختلف، چرخه‌های متفاوت خورشیدی، فصول سال و دوره‌های مشخص خورشیدی به وضوح مشاهده شد. در برخی از مواقع، یک ارتباط مثبت میان میانگین بارش و تعداد لکه‌های خورشیدی ثبت گردید، در حالی که در موارد دیگر، همبستگی منفی بین بارش و پرتوهای کیهانی شناسایی شد. توماس و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی به بررسی رابطه بین مراحل مختلف فعالیت خورشیدی و رویدادهای بارشی شدید در کرالای هند می‌پردازد و نتایج این بررسی نشان داد که بین فعالیت‌های خورشیدی و بارش‌های شدید در کرالای هند رابطه‌ی فیزیکی معناداری وجود دارد این ارتباط از الگوهای فصلی و دوره‌ای قابل پیش‌بینی پیروی می‌کند که می‌تواند دقت مدل‌های پیش‌بینی آب‌وهوایی را بهبود بخشد. صرف نظر از مطالعات غنی جهانی، در کشور ایران فعالیت‌های خورشیدی و تاثیر آن بر اقلیم کره زمین، از سال ۱۳۸۴ با مطالعه زرین و مفید با استفاده از تکنیک همبستگی تاثیر فعالیت خورشیدی و اثر آن را بر بارش و دمای خاورمیانه آغاز شده است یافته‌های تحقیق ارتباط معنادار قابل توجهی را بین تعداد لکه‌های خورشیدی و شار پرتو رادیویی خورشیدی با مجموع بارش زمستانه و میانگین دمای فصول حدی ایستگاه‌های منتخب ایران و مناطق همجوار نشان نمی‌دهد. با وجود این همبستگی‌های ضعیف به دست آمده نشانگر آن است که در سال‌های که فعالیت خورشیدی به حداکثر خود می‌رسد، دمای میانگین فصل زمستان در منطقه خاورمیانه و ایران به طور نسبی کاهش می‌یابد. کلیم و

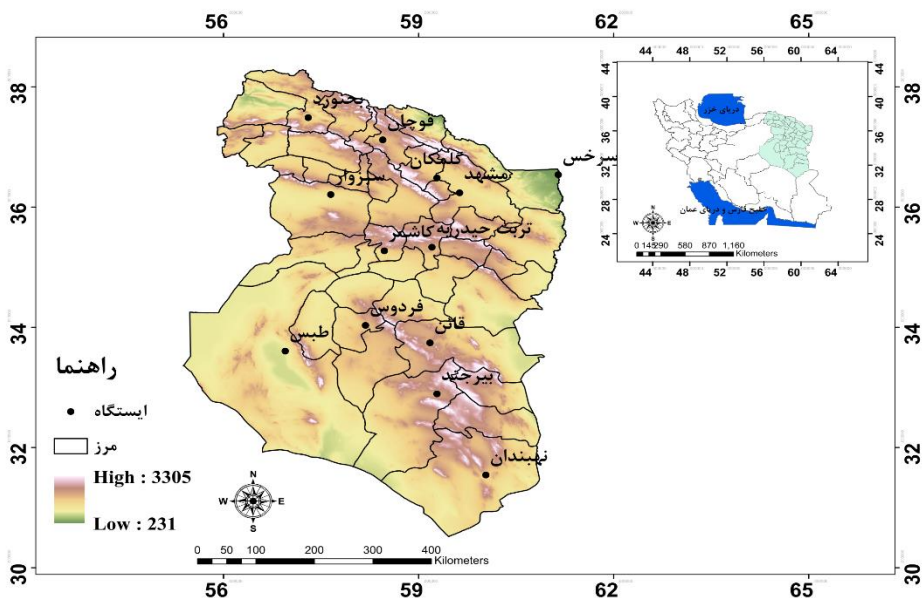
همکاران (۱۳۹۲) ارتباط بین لکه‌های خورشیدی و جمع بارش سالانه را در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از روش‌های تابع همبستگی متقاطع و جداول توافقی مورد بررسی قرار دادند. نتایج، یک همبستگی منفی معنی‌داری بین تاخیرهای سه ساله لکه‌های خورشیدی و جمع بارش سالانه در ایستگاه بوشهر و جاسک را نشان دادند خسروی و میردیلمی (۱۳۹۲) نقش لکه‌های خورشیدی در تغییرات سالانه، فصلی و ماهانه بارش استان گلستان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری و تحلیل موجک نشان دادند که بین لکه‌های خورشیدی و تغییرات بارش در این استان ارتباط و همبستگی متوسط تا قوی وجود دارد. با این حال، این همبستگی در نقاط مختلف استان به‌طور یکنواخت مشاهده نمی‌شود. خسروی و رستمی جلیلیان (۱۳۹۳) با روش تحلیل طیفی سریهای زمانی دما و بارش با استفاده از نظریه موجکها برای شناخت تاثیر لکه‌های خورشیدی بر رفتار طیفی دما و بارش ایران طی سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۶ در ۴۱ ایستگاه همدیدی به این نتیجه رسیدند که نوسانات دما و بارش در برخی ایستگاه‌ها نسبت به نوسانات چرخه لکه‌های خورشیدی در طول زمان دارای رفتار معکوس و برخی دیگر دارای رفتار مشابهی است. اساساً فعالیت‌های خورشیدی دارای نوسانات کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت می‌باشد. نوسانات انرژی خروجی از خورشید با نوسانات دمایی سطح آن ارتباط نزدیکی دارد. در نتیجه این نوسانات می‌تواند با تغییر در بیلان انرژی سیاره زمین، گردش عمومی جو سیاره زمین را تحت تاثیر قرار داده و باعث تغییر در ساختار، دینامیک، رفتار و جابجایی‌های مکانی سامانه‌ها از سالی به سال دیگر گردد. به طور قطع این تغییرات در رفتار بارشی سامانه‌ها از لحاظ شدت، مدت و رژیم بارشی آنها تظاهر خواهد کرد. این تغییر رفتاری می‌تواند بر روی عملکرد محصولات، منابع آبی کشور، تقویم زراعی، الگوی مصرف حامل‌های انرژی، بهداشت و سلامت و.... تاثیر گذار باشد. در دهه‌های اخیر پژوهشگران، طیف وسیعی از مولفه‌ها و پارامترها را جهت تعیین همبستگی بین فعالیت‌های خورشیدی و شرایط جوی و اقلیم زمین مورد

۱-۲. منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه پژوهش حاضر منطقه خراسان است که در شمال شرق کشور بین مدار ۵۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۶۲ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی واقع شده است. این منطقه از شمال با ترکمنستان، از شرق با افغانستان، از جنوب با استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان، و از غرب با استان‌های یزد، سمنان و گلستان هم‌مرز است. پیش از سال ۱۳۸۳، کلان منطقه خراسان به صورت یک استان واحد شناخته می‌شد، اما بر اساس تقسیمات سیاسی و اداری صورت گرفته در همان سال، به سه استان مجزا تقسیم شد. در حال حاضر، کلان منطقه خراسان سه استان خراسان شمالی، خراسان جنوبی و خراسان رضوی را دربرمی‌گیرد (یزدانی، ۱۳۹۵) (شکل ۱). با توجه به موضوع پژوهش، در محدوده مورد مطالعه ۱۳ ایستگاه همدید دارای اطلاعات بلندمدت وجود داشته که مبنای استخراج داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز پژوهش بوده است.

استفاده قرار داده‌اند. فعالیت‌های خورشید به دلیل دینامیک پیچیده‌اش شامل چرخه‌های متنوعی می‌شود. (صفری و همکاران، ۱۳۹۷)، چرخه یازده‌ساله تغییرات تعداد لکه‌های خورشیدی و چرخه بیست‌ودوساله که طی آن قطب‌های میدان مغناطیسی لکه‌ها در نیمکره‌ها وارونه می‌شوند، از پدیده‌های شناخته‌شده در فیزیک خورشید هستند. تعداد لکه‌های خورشیدی در طول بیش از یازده هزار سال گذشته، با استفاده از داده‌های حاصل از ایزوتوپ کربن-۱۴ بازسازی شده است. نتایج این بازسازی نشان می‌دهد که فعالیت شدید مغناطیسی خورشید در این بازه تاریخی تنها حدود ده درصد از زمان را به خود اختصاص داده است. در این پژوهش برای ارزیابی فعالیت‌های خورشیدی از تعداد نسبی لکه‌های خورشیدی (میانگین سالانه لکه‌های خورشیدی) استفاده شده است. این مقاله به این صورت بخش‌بندی شده است در بخش ۲ (مواد و روش‌ها) که شامل منطقه مورد مطالعه، داده‌ها، روش انجام پژوهش، در بخش ۳ (نتایج و بحث)، در بخش ۴ (نتیجه‌گیری) و در بخش ۵ (منابع) آمده می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

۲-۲. داده‌ها

در این مطالعه، برای دستیابی به اهداف تعیین شده، ایستگاه‌های سینوپتیک در منطقه مورد بررسی انتخاب شدند و داده‌های مربوط به لکه‌های خورشیدی از سایت www.sidc.be/silso/datafiles دریافت گردید. در هر پژوهش، انتخاب روش‌های تحقیق باید با توجه به اهداف موضوع و ماهیت مطالعه صورت گیرد. این انتخاب باید بر اساس امکانات موجود و روش‌هایی که با شرایط و ویژگی‌های منطقه هماهنگی دارند، انجام شود تا بتوان پاسخ‌های قابل قبولی برای سؤالات تحقیق ارائه کرد. بر همین اساس، برای بررسی تأثیر لکه‌های خورشیدی بر میزان بارش سالانه در شمال شرق ایران و دستیابی به الگویی مناسب در این زمینه، رویه زیر اتخاذ شد:

یکی از اصلی‌ترین و قطعی‌ترین شاخصی که بیان‌کننده تغییرپذیری کره خورشید می‌باشد، تعداد متغیر لکه‌های سیاه این کره می‌باشد (Christensen, 2000). برای سنجش میزان فعالیت‌های خورشیدی از پارامترهایی همچون: تعداد لکه‌ها، نسبت مساحت و وسعت آنها (Hoyt, 1979) استفاده شده است. این امر نقش و اهمیت لکه‌های خورشیدی در مطالعه تغییرپذیری فعالیت‌های این کره و تأثیر آنها بر پدیده‌های جوی و آب و هوایی زمین را بیان می‌کند. در واقع استفاده از داده‌های خورشیدی مناسب‌تر از لکه‌های خورشیدی می‌باشد؛ اما با توجه به اینکه فعالیت‌های مذکور غالباً با فرکانس‌های مشابه و یکسان با چرخه ۱۱ ساله لکه‌های خورشیدی اتفاق می‌افتند. از طرفی داده‌های ثبت شده از لکه‌های خورشیدی از نظر زمانی بسیار طولانی‌تر از داده‌های موجود از شراره‌های خورشیدی بوده و دسترسی به داده‌های لکه‌های خورشیدی آسان‌تر می‌باشد. لذا لکه‌های خورشیدی و داده‌های مربوط به آن، شاخص مناسبی برای تبیین لکه‌های خورشیدی به شمار می‌روند. بر این اساس در پژوهش حاضر نیز به منظور ارزیابی فعالیت‌های خورشیدی از تعداد نسبی لکه‌های خورشیدی (میانگین سالانه لکه‌های خورشیدی) استفاده شده است. داده‌های مربوط به میانگین سالانه تعداد لکه‌های خورشیدی برای دوره آماری مورد مطالعه ۳۳ ساله

از تارنمای (silso.noaa.gov) (۱۹۸۶-۲۰۱۹)

(<http://www.>) تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های لکه‌های خورشیدی توسط مرکز تحلیل تأثیرات داده‌های خورشیدی (SIDC) از سال ۱۷۵۰ جمع‌آوری شده است.

۲-۳. روش انجام پژوهش

در این پژوهش ارتباط لکه‌های خورشیدی با میزان بارش با استفاده از رگرسیون سینوسی و مقابله مستقیم جهت رسیدن به چرخه انتخابی مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۳-۲. ارتباط بارش با لکه‌های خورشیدی با

استفاده از رگرسیون سینوسی

برای دستیابی به هدف مورد نظر گام‌های زیر انجام شد: گام اول، مجموع بارش سالانه برای تمام ایستگاه‌ها محاسبه شد؛

گام دوم، معدل ۵ ساله برای این پارامتر در نظر گرفته شد و مقدار آن در رابطه (۱) رگرسیون سینوسی زیر قرار داده شد :

رابطه (۱)

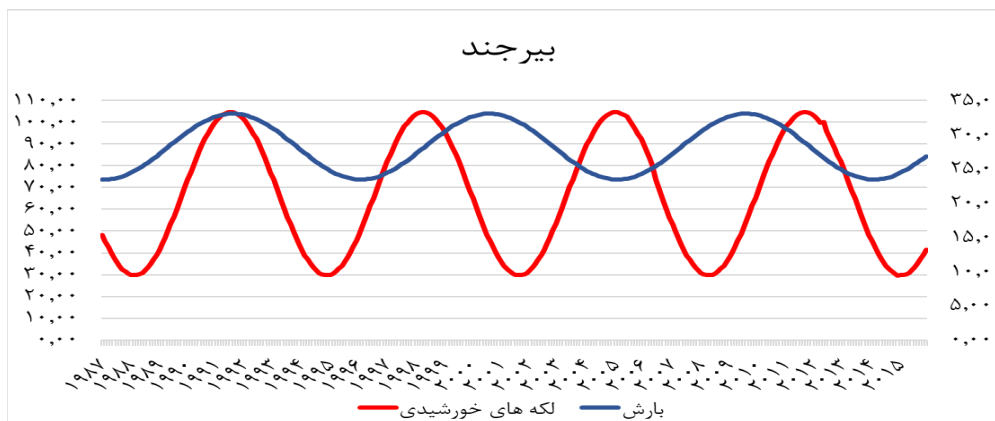
$$Y = a \sin(bx + c) + d$$

در این رابطه Y متغیر وابسته یا پارامترها، a شیب خط، b فراوانی، c عرض از مبدا (تغییرات افقی)، d عرض از مبدا (تغییرات عمودی) و x سال.

گام سوم، بعد محاسبه پارامتر بارش با استفاده از رابطه (۱)، نمودار مقادیر بارش با مقادیر سالانه لکه‌ها برای تمام ایستگاه‌ها ترسیم شد؛

گام چهارم، برای بررسی همبستگی بین مجموع بارش سالانه با لکه‌های خورشیدی به این صورت عمل کردیم:

رابطه بین مجموع بارش سالانه با تعداد سالانه لکه‌های خورشیدی با مقایسه منحنی‌های سینوسی لکه‌ها با مجموع بارش برای ۱۳ ایستگاه سینوپتیک انجام گرفت. در این پژوهش برای مقایسه لکه‌ها با بارش سالهای اوج و حضیض ها در نظر گرفته شده که بر این اساس برای $1.5 \leq \Delta t$ سال همبستگی بالا ، $1.5 > \Delta t \geq 2.5$ سال همبستگی متوسط، $2.5 > \Delta t$ سال همبستگی ضعیف می‌باشد.



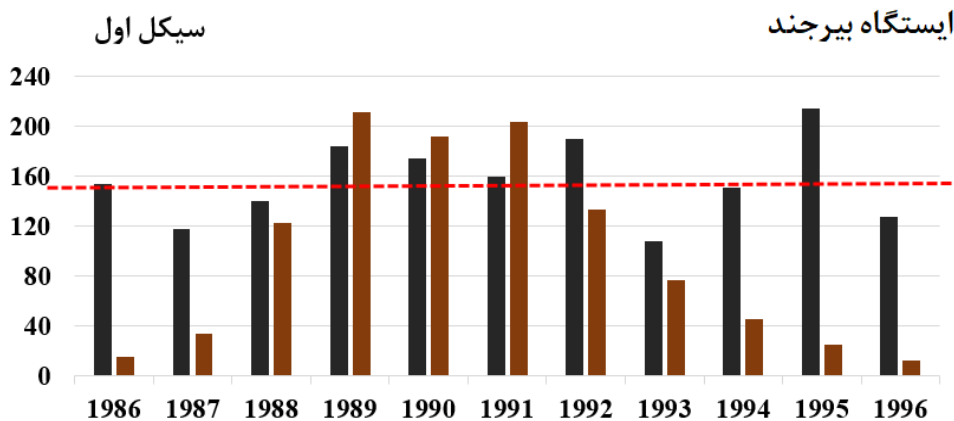
شکل ۲. توزیع لکه های خورشیدی و مجموع بارش سالانه ایستگاه نمونه طی دوره آماری مورد مطالعه (منبع: نگارنده)

۲-۳-۲. ارتباط بارش با لکه های خورشیدی با

روش مقابله مستقیم

برای بررسی این ارتباط، مراحل زیر اجرا شد: در مرحله اول، برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، داده‌ها به صورت سالانه

میلادی لحاظ گردید در مرحله دوم، مجموع بارش سالانه برای تمامی سال‌ها محاسبه شد. در مرحله سوم به منظور مقایسه چرخه های یازده ساله با بارش، میانگین یازده ساله بارش برای این سه چرخه مورد بررسی قرار گرفت و نمودارهای مربوط با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

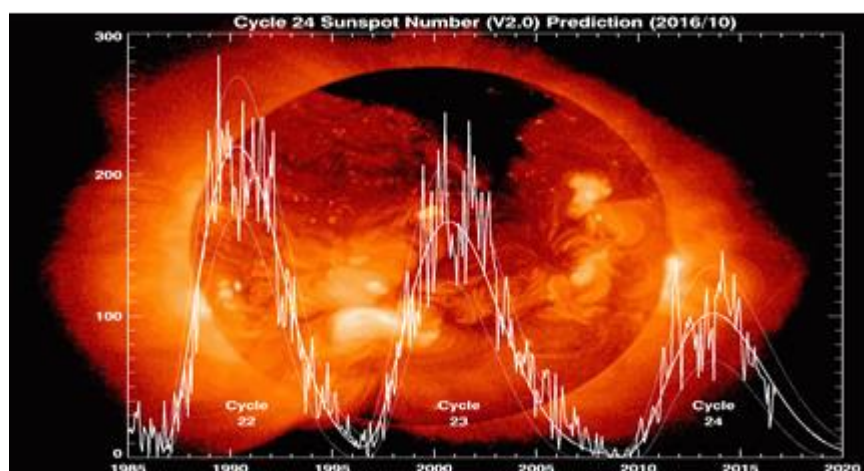


شکل ۳. توزیع لکه های خورشیدی با بارش برای چرخه اول (منبع: نگارنده)

لکه‌های خورشیدی پدیده‌هایی هستند که در اثر فعالیت‌های فتوشیمیایی بر سطح جو خورشید ظاهر می‌شوند. با توجه به اینکه ظهور و بروز این لکه‌ها در مقدار انرژی خروجی از سطح خورشید و همچنین بر روی مقدار انرژی رسیده به سامانه سیاره زمین (جو و پوسته) موثر می‌باشد. تغییرات انرژی ورودی به سامانه سیاره زمین می‌تواند گردش کلی جو را تحت تاثیر قرار داده و بر نحوه فعالیت سامانه‌های جوی

تاثیر بگذارد. در نتیجه رفتار و عملکرد سامانه‌ها در هر بخشی از چرخه‌ی خورشیدی در واکنش به تعداد لکه‌های خورشیدی می‌تواند متفاوت باشد. هر چند این تاثیرگذاری ممکن است به صورت کاملاً همزمان نباشد. ولی با توجه به موقعیت منطقه نسبت به سامانه‌های بزرگ مقیاس و ویژگی‌های فیزیکی منطقه این تاثیرپذیری با تاخیر زمانی‌های

متفاوت به وقوع خواهد پیوست. شکل ۴ و جدول ۱ سه چرخه انتخابی برای این تحقیق را نشان می دهد.



شکل ۴. سه سیکل مطالعاتی (منبع: نگارنده)

جدول ۱: طبقه بندی دوره های مطالعاتی براساس چرخه های خورشیدی

دوره مطالعاتی بر اساس سال های شمسی	دوره مطالعاتی بر اساس چرخه خورشیدی	چرخه خورشیدی	دهه ها
مهر ۱۳۶۵- شهریور ۱۳۷۵	Sep1986-Agu1996	۲۲	۱
شهریور ۱۳۷۵- دی ۱۳۸۷	Aug1996-Dec2008	۲۳	۲
دی ۱۳۸۷- ۱۳۹۸	Dec2008-Late2018	۲۴	۳

طور که دیده می شود این چرخه از لحاظ تعداد لکه های خورشیدی کوچکترین چرخه می باشد. در این چرخه بالاترین تعداد لکه در قسمت اوج چرخه به تعداد ۱۱۳.۶ لکه در سال ۲۰۱۴ و کمترین تعداد لکه به تعداد ۴.۱۵ لکه در سال ۲۰۰۸ مشاهده شده است.

۳. نتایج و بحث

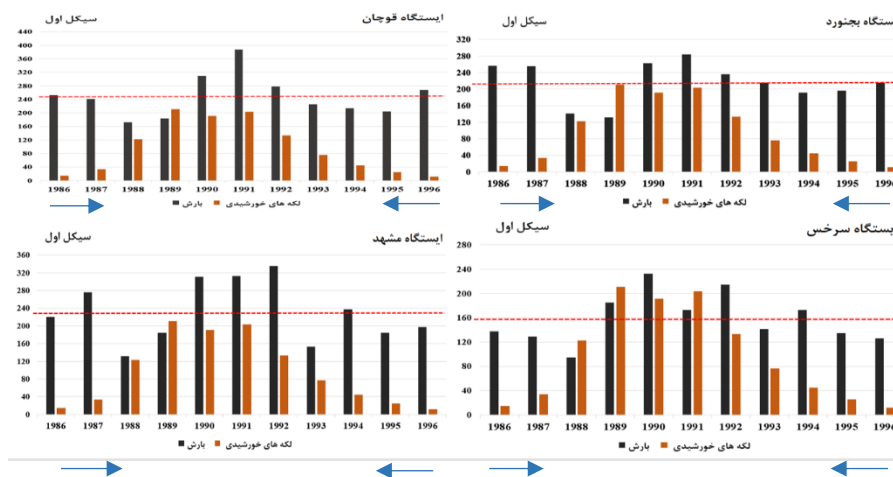
چرخه ۱ (چرخه خورشیدی ۲۲ سالهای ۱۹۸۶-۱۹۹۶)

همان طور که در اشکال شماره ۵ تا ۸ دیده می شود در این تحقیق بارش سالانه ایستگاه های اصلی استان خراسان بزرگ در قالب سه چرخه خورشیدی اخیرا تعداد لکه های

همان طور که می بینیم چرخه اول که با چرخه ۲۲ خورشیدی در تقسیم بندی جهانی منطبق است. از سال ۱۹۸۶ میلادی شروع شده و در سال ۱۹۹۶ خاتمه یافته است. کمترین تعداد لکه های خورشیدی در این چرخه به تعداد ۱۱.۵۵ در سال ۱۹۹۶ اتفاق افتاده است. بالاترین تعداد لکه های خورشیدی ظاهر شده بر روی خورشید به تعداد ۲۱۱.۲ در سال ۱۹۸۹ اتفاق افتاده است. چرخه دوم یا چرخه ۲۳ از سال ۱۹۹۷ شروع شده و در سال ۲۰۰۷ خاتمه است. در این چرخه بالاترین تعداد لکه خورشیدی ثبت شده به تعداد ۱۷۳.۸ در سال ۲۰۰۰ و کمترین تعداد لکه خورشیدی مشاهده شده به تعداد ۱۲.۶۳ در سال ۲۰۰۷ بوده است. چرخه سوم یا چرخه ۲۴ از سال ۲۰۰۸ شروع شده و در سال ۲۰۱۸ خاتمه یافته است. همان

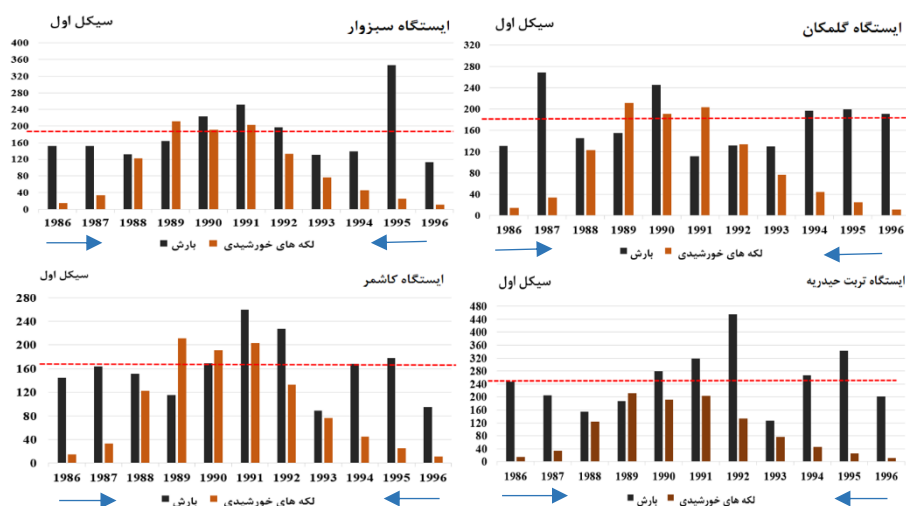
ایستگاه انتخابی که شامل ایستگاه‌های بجنورد، قوچان، مشهد، سبزوار، تربت حیدریه، کاشمر، قائن و نهبندان می‌باشد این پدیده به وضوح دیده می‌شود. در باقیمانده ایستگاه‌ها نیز در سال‌های چهارم و پنجم یا ششم و هفتم این پدیده اوج بارش رخ داده است. در ادامه چرخه دوباره مقادیر بارش‌ها کاهش یافته و این پدیده تقریباً در تمام ایستگاه‌ها اتفاق افتاده است. ولی کاهش بارش‌ها در ادامه چرخه ملایم‌تر بوده و شیب کاهشی بسیار ملایم‌تر از شیب افزایشی در نیمه اول چرخه می‌باشد. در تعدادی از ایستگاه‌ها در انتهای چرخه یا یک سال قبل از انتهای چرخه (سال ده یا یازدهم چرخه) دوباره یک سال پر بارش دیده می‌شود. در ایستگاه‌های فردوس، بیرجند و نهبندان که عموماً ایستگاه‌های خشک استان می‌باشند این پدیده به چشم می‌خورد. همان طور که در شکل‌های (۵ تا ۸) شده است بارش سالانه ایستگاه‌ها در دوره اوج چرخه (سال‌های اوج لکه‌ها) از میانگین بارش سالانه چرخه در اکثر ایستگاه‌ها بالاتر بوده است.

خورشیدی مورد مقابله قرار گرفته است. اشکال زیر ترکیب بارش سالانه و تعداد لکه‌های خورشیدی را برای چرخه بیست و دوم (۱۹۸۶-۱۹۹۶) در هریک از ایستگاه‌های خراسان بزرگ نشان می‌دهد. ایستگاه‌های نمونه بر اساس عرض جغرافیایی مرتب شده‌اند. همان طور که دیده می‌شود، دو انطباق عمومی بین بارش‌ها و تعداد لکه‌ها در تمام ایستگاه‌های استان به چشم می‌خورد. تقریباً در تمام ایستگاه‌ها در یک یا دو سال اول و انتهای چرخه که با فلش نشان داده شده است و با کمترین لکه‌های خورشیدی روبرو هستیم بارش‌ها در اکثر ایستگاه‌ها بالاتر از نرمال بوده است. این پدیده در ایستگاه‌های شمالی یا مناطق سردسیری استان با وضوح بیشتری دیده می‌شود. تقریباً در تمام ایستگاه‌ها در سالهای سوم و چهارم از شروع چرخه کاهش محسوسی در مقادیر بارش‌ها نسبت به بارش نرمال دیده می‌شود. پدیده جالب افزایش کاملاً محسوس بارش‌ها در سال‌های چهارم، پنجم و ششم چرخه که با اوج تعداد لکه‌های خورشیدی یا دوره اوج چرخه منطبق است، می‌باشد. ۸ ایستگاه از ۱۳

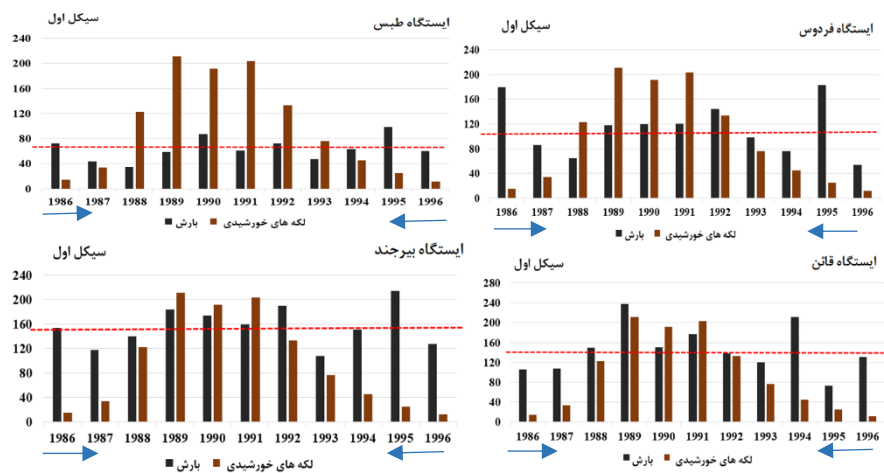


شکل ۵: وضعیت بارش و لکه‌های خورشیدی در سیکل اول به ترتیب عرض جغرافیایی ایستگاه‌های بجنورد، قوچان، سرخس و

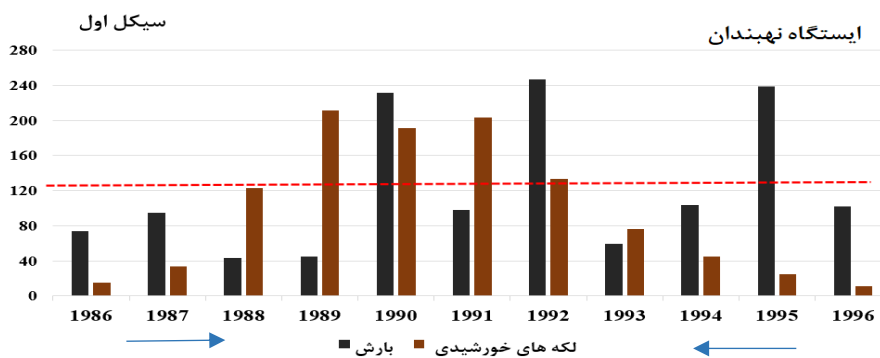
مشهد



شکل ۶: وضعیت بارش و لکه های خورشیدی در چرخه اول به ترتیب جغرافیایی ایستگاه های گلکمان، سبزوار، تربت حیدریه، کاشمر



شکل ۷: وضعیت بارش و لکه های خورشیدی در چرخه اول به ترتیب جغرافیایی ایستگاه های فردوس، طبس، قان، بیرجند

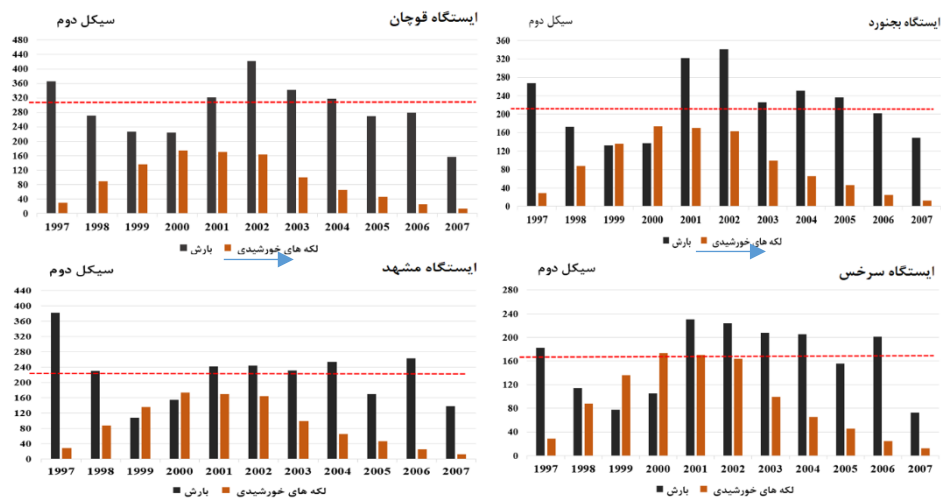


شکل ۸: وضعیت بارش و لکه های خورشیدی در چرخه اول ایستگاه نهندان

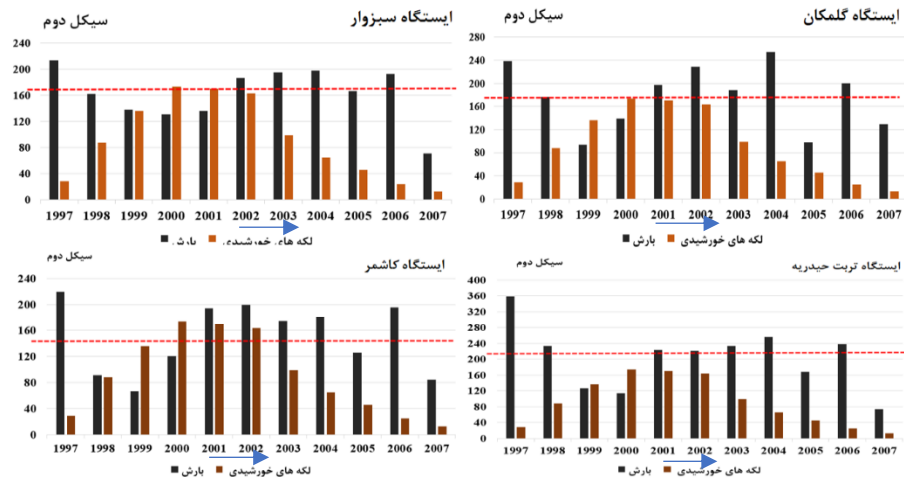
چرخه ۲ (چرخه خورشیدی ۲۳ سالهای ۱۹۹۷-۲۰۰۷)

همان طور که در اشکال شماره ۹ تا ۱۲ دیده می‌شود به جز ایستگاه طبس در سایر ایستگاه‌ها سال ابتدایی چرخه دارای بارش کاملاً نرمال می‌باشد. به طوری که با بارش‌های سال قبل و بعد از خود تفاوت فاحشی را نشان می‌دهد. در برخی از ایستگاه‌ها این تفاوت به بیش از دو برابر می‌رسد. بعد از آن بارش‌ها با شیب ملایمی کاهش یافته و در اکثر ایستگاه‌ها در سال سوم از شروع چرخه بارش‌ها به حسیض خود می‌رسد. در ایستگاه‌های بجنورد، گل‌مکان، مشهد، سرخس، کاشمر، قائن و بیرجند این پدیده کاملاً مشهود است. در سایر ایستگاه‌ها در سال چهارم این پدیده رخ داده است. دوباره از سال سوم یا چهارم که با فلش نشان داده شده است به سمت مرکز چرخه بارش‌ها روند افزایشی دارند. این اوج بارشی در ایستگاه‌های بجنورد، قوچان، گل‌مکان، مشهد، سرخس، تربت حیدریه،

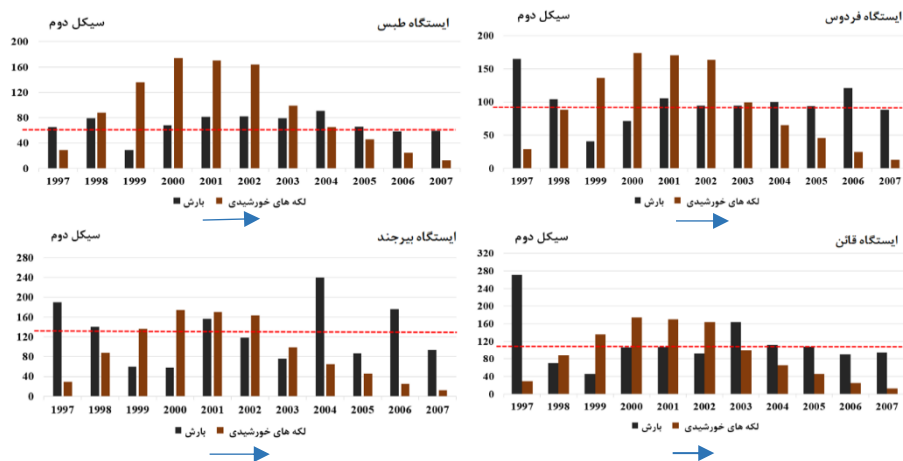
کاشمر، فردوس، طبس، بیرجند، نهبندان در سال‌های ۵ و ۶ چرخه و در ایستگاه سبزوار در سال‌های ۶ و ۷ رخ داده است. پدیده جالب این که در ۸ ایستگاه از ۱۳ ایستگاه بالاترین بارش در میانه چرخه در سال ششم رخ داده است. در این چرخه برعکس چرخه قبل بعد از اوج بارش در میانه چرخه علیرغم این که روند کلی بارش‌ها سیر نزولی را نشان می‌دهد. ولی اولاً کاهش از نظم درستی برخوردار نیست و در بعضی ایستگاه‌ها با نوسان روبرو بوده است. ثانیاً روند کاهش همانند سال دوم چرخه قبل شدید نیست بلکه روند کاهشی با شیب ملایمی تا انتهای چرخه ادامه داشته است. و آن افزایش شدید که در سال انتهایی چرخه قبل مشاهده شد در این چرخه دیده نمی‌شود. در این چرخه نیز در ایستگاه‌های شمالی‌تر بارش سالانه در دوره اوج لکه‌ها یا میانه چرخه بالاتر از بارش میانگین چرخه می‌باشد. ولی به سمت جنوب استان بارش سالهای ابتدا و انتهای چرخه بارش‌ها بیشتر از میانگین سالانه چرخه می‌باشد.



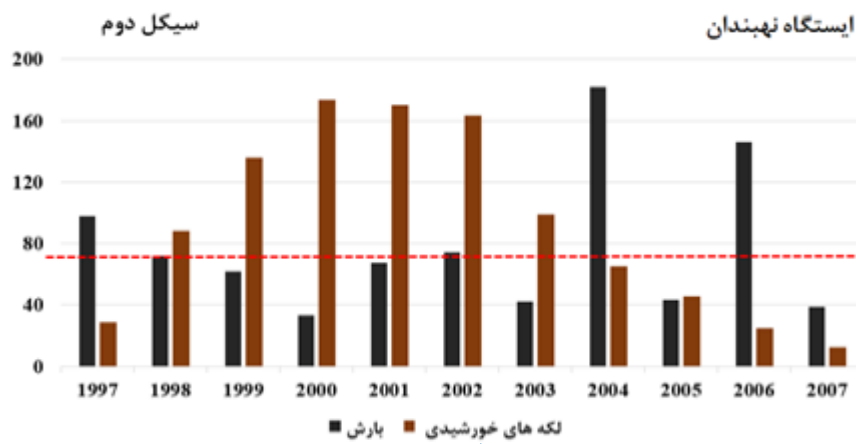
شکل ۹: وضعیت بارش و لکه‌های خورشیدی در چرخه دوم به ترتیب عرض جغرافیایی ایستگاه‌های گل‌مکان، سبزوار، تربت حیدریه، کاشمر



شکل ۱۰: وضعیت بارش و لکه های خورشیدی در چرخه دوم به ترتیب عرض جغرافیایی ایستگاه های گلکمان، سبزار، تربت حیدریه، کاشمر



شکل ۱۱: وضعیت بارش و لکه های خورشیدی در چرخه دوم به ترتیب عرض جغرافیایی ایستگاه های فردوس، طبس، قان، بیرجند



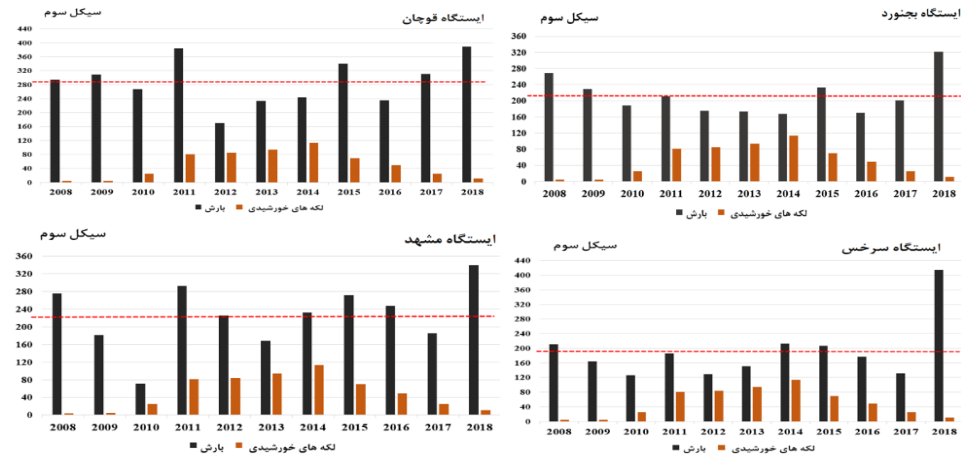
شکل ۱۲: وضعیت بارش و لکه های خورشیدی در سیکل دوم ایستگاه نهندان

چرخه ۳ (چرخه خورشیدی ۲۴ سالهای ۲۰۰۸-)

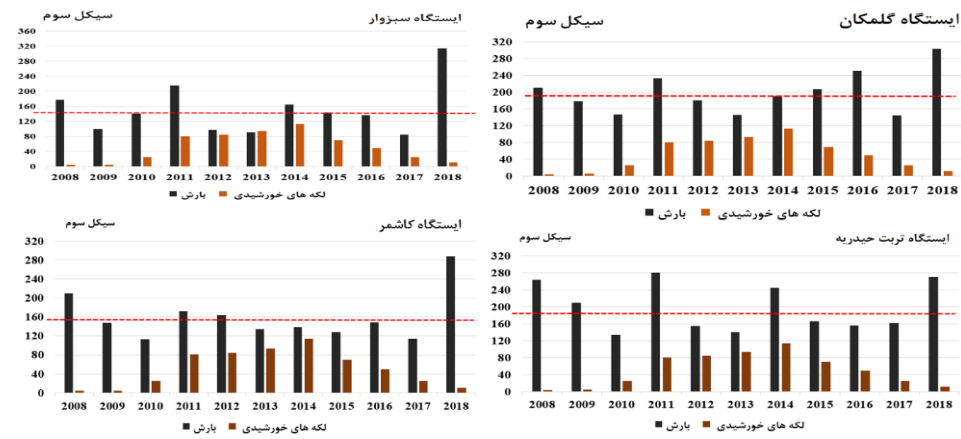
(۲۰۱۸)

اشکال شماره ۱۳ تا ۱۶ نقشه ترکیبی مقادیر بارش سالانه و تعداد لکه‌های خورشیدی را در چرخه سوم یا چرخه ۲۴ خورشیدی نشان می‌دهد. همان طور که دیدیم این چرخه کوچکترین چرخه در میان سه چرخه مورد بررسی می‌باشد. با توجه به اظهارات دکتر هاتاوی این چرخه یک چرخه نادر است. زیرا بسیاری از چرخه‌ها دارای دو قله هستند، اما دکتر هاتاوی با بیش از هفت سال مطالعه بر روی چرخه ۲۴ اشاره نموده است که در این چرخه برای اولین بار است که دومین قله چرخه، بزرگتر از اولین قله آن است. همچنین با مشاهده اندازه آن ادعان دارند که این چرخه کوچکترین چرخه لکه خورشیدی پس از چرخه چهاردهم است که در فوریه سال ۱۹۰۶ دارای نقطه اوج است (solarscience. msfc. nasa. Gov). شکل شماره ۱۳ چرخه اخیر را از سال ۱۹۰۰ نشان می‌دهد، همان طور که دیده می‌شود چرخه ۲۴ شباهت زیادی با چرخه ۱۴ دارد که جزء کوچکترین چرخه‌های در یک قرن اخیر بوده است، خط آبی در نمودار شکل ۱۳ دوره تناوب چرخه‌های خورشیدی منتخب را به شکل سری زمانی ماهانه نشان می‌دهد. هرچند نمودار تغییرات چرخه خورشیدی دارای نوسانات بسیار زیادی است ولیکن روند مشابهی را با روند سالانه نشان می‌دهد، همچنانکه نمودار روزانه نیز دارای روندی مشابه با نمودارهای ماهانه و سالانه است. دقت در مقادیر بارش سالانه و تعداد لکه‌های خورشیدی نشان می‌دهد که نظمی که در شروع و پایان و اوج چرخه در مقادیر بارش‌ها در دو چرخه ۲۲ و ۲۳ وجود داشت

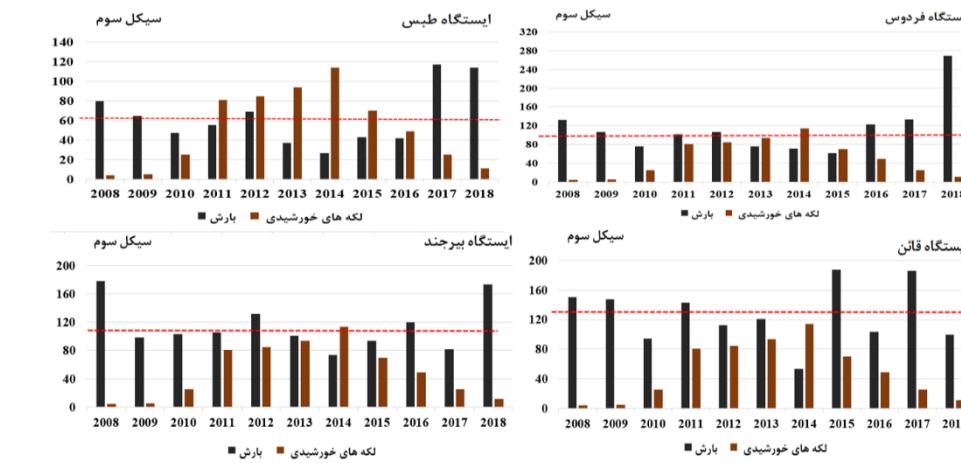
در این چرخه دیده نمی‌شود. پدیده مشهود وقوع یک بارش قابل ملاحظه در ابتدا و انتهای چرخه تقریباً مشابه دو چرخه قبل می‌باشد. این پدیده در ۹ ایستگاه از ۱۳ ایستگاه به‌خوبی مشهود است. ایستگاه‌های بجنورد، مشهد، سبزوار، سرخس، تربت حیدریه، کاشمر، فردوس، طبس و بیرجند به‌خوبی دیده می‌شود. در چهار ایستگاه باقیمانده این بارش سالانه قابل توجه در انتها یا ابتدای چرخه رخ داده است. ولی بر عکس دو چرخه قبل در محدوده مرکزی چرخه که با دوره اوج تعداد لکه‌های خورشیدی منطبق است. بارش‌های سالانه نه تنها بالاترین مقادیر خود را ندارند. بلکه این دو سال از خشکترین سال‌های این چرخه بوده‌اند. این خشکسالی در ایستگاه‌های بجنورد، قوچان، گل‌مکان، مشهد، سبزوار، سرخس، تربت حیدریه، کاشمر، طبس، قائن درست در سال‌های پنجم و ششم چرخه رخ داده است. یعنی در ۱۰ ایستگاه از ۱۳ ایستگاه دو سال اوج لکه‌های خورشیدی با کمترین مقدار بارش سالانه رخ داده است. و در دو ایستگاه نیز این خشکی در سال‌های ششم و هفتم رخ داده است. پدیده جالب این که در ایستگاه نهبندان که جنوبی‌ترین ایستگاه منطقه مطالعاتی می‌باشد. در دو سال مرکزی چرخه بارش‌ها افزایش قابل توجهی را داشته‌اند. این عدم تقارن در توزیع بارش سالانه در چرخه به احتمال زیاد با نامتقارن بودن این چرخه در مقایسه با چرخه‌های یک سده اخیر بوده است. در چرخه سوم بر عکس دو چرخه قبل تقریباً در تمام ایستگاه‌ها بارش سالانه در ابتدا و انتهای چرخه بالاتر از میانگین سالانه چرخه می‌باشد. و به ندرت بارش‌های میانه چرخه از بارش میانگین چرخه بالاتر رفته است.



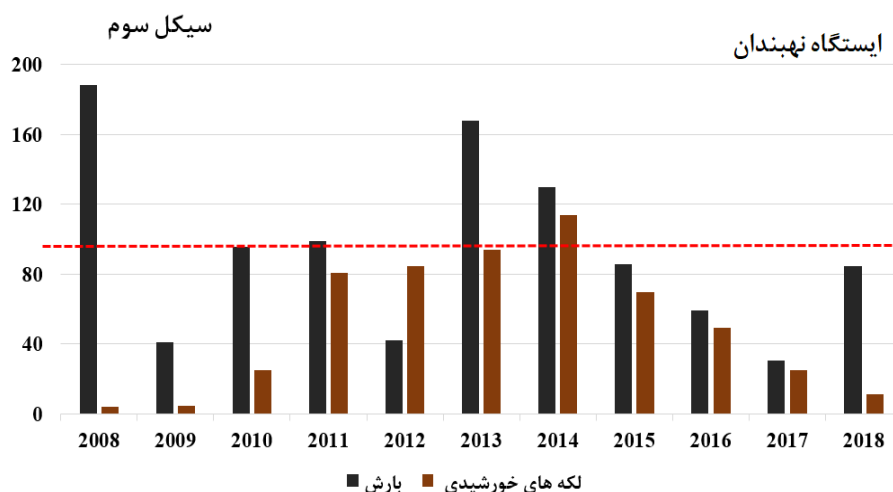
شکل ۱۳: وضعیت بارش و لکه های خورشیدی در چرخه سوم به ترتیب عرض جغرافیایی ایستگاه های بجنورد، قوچان، سرخس و مشهد



شکل ۱۴: وضعیت بارش و لکه های خورشیدی در چرخه سوم به ترتیب عرض جغرافیایی ایستگاه های گلنکان، سبزواری، تربت حیدریه، کاشمر



شکل ۱۵: وضعیت بارش و لکه های خورشیدی در سیکل سوم به ترتیب عرض جغرافیایی ایستگاه های فردوس، طبس، قائن، بیرجند



شکل ۱۶: وضعیت بارش و لکه‌های خورشیدی در چرخه سوم ایستگاه نهبندان

۴. نتیجه گیری

در این پژوهش، میزان بارش سالانه‌ای ایستگاه‌های استان خراسان بزرگ طی سه چرخه اخیر خورشیدی مورد مقایسه قرار گرفته و نتایج مطلوبی حاصل شده است. بررسی‌ها در چرخه اول مطالعه (چرخه ۲۲، سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶) نشان می‌دهند که در دو مقطع زمانی از این چرخه، میزان بارش‌ها به‌طور محسوسی از مقدار نرمال یا میانگین چرخه همان ایستگاه‌ها فراتر رفته است.

مقطع اول افزایش بارش، مربوط به سال ابتدایی شروع چرخه و همچنین دو سال آخر آن است؛ در این سه سال، میزان بارش در بسیاری از ایستگاه‌ها، به‌ویژه ایستگاه‌های شمالی، کمی بالاتر از متوسط بارش چرخه ثبت شده است. مقطع دوم مربوط به میانه چرخه، به‌ویژه سال‌های پنجم و ششم یا ششم و هفتم است، که طی آن بارش سالانه در ایستگاه‌های استان به‌طور قابل توجهی از میانگین چرخه عبور کرده است. این پدیده تقریباً در تمام ایستگاه‌ها، چه در مناطق شمالی و چه در ایستگاه‌های گرم‌تر و خشک‌تر جنوبی، مشاهده شده است. در چرخه دوم این تحقیق (چرخه ۲۳ از سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷)، مشابه چرخه پیشین، بارش‌های سالانه در دو مقطع از چرخه از حد نرمال فراتر رفته است. به‌جز ایستگاه طبس، در تمامی ایستگاه‌ها، در سال نخست آغاز چرخه، بارش‌ها به

طرز قابل توجهی افزایش یافته‌اند. در برخی موارد، میزان بارش سالانه بیش از دو برابر میانگین معمول چرخه بوده است. این افزایش همچنین در سال پیش از پایان چرخه مشاهده شده است، هرچند میزان بارش در این سال، با وجود فراتر بودن از حد نرمال، به اندازه سال اول چرخه چشمگیر نبوده است. علاوه بر این، همانند چرخه پیشین، در میانه چرخه و هم‌زمان با افزایش تعداد لکه‌های خورشیدی، بارش‌های سالانه به شکل قابل توجهی بیشتر شده‌اند. این افزایش تقریباً در تمام ایستگاه‌ها قابل مشاهده بوده و در سال‌های میانی چرخه، کاملاً محسوس بوده است. مشابه چرخه قبل، بیشترین افزایش چشمگیر بارش‌ها در سال‌های پنجم و ششم یا در بازه سه‌ساله میانی چرخه رخ داده است. در چرخه سوم تحقیق (چرخه ۲۴، یعنی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸)، شرایط کاملاً متفاوتی مشاهده می‌شود. همان‌طور که در ابتدای مقاله اشاره شد، این چرخه در چند دهه اخیر منحصر به فرد بوده و مشابه آن در یک قرن گذشته دیده نشده است. این چرخه به‌طور قابل توجهی شبیه چرخه ۱۴ خورشیدی است. در این دوره، تعداد لکه‌های خورشیدی حتی در اوج چرخه از ۱۲۰ عدد تجاوز نکرده است، رقمی که در چرخه‌های خورشیدی ۲۲ و ۲۳ طی سال سوم چرخه مشاهده می‌شد. این وضعیت خاص باعث شده است تا عدم

5. Elizabeth, T., Vineetha, S., & Abraham, N. P. (2024). Wavelet analysis of a possible association between sunspot number and rainfall over Kerala, India: A case study. *Advances in Space Research*.
 6. Gachari, F., Mulati, D. M., & Mutuku, J. N. (2013). Sunspot numbers: implications on Eastern African rainfall. *South African Journal of Science*, 110(1-2), 1-5.
 7. Hoyt, D. V., & Schatten, K. H. (1997). *The role of the Sun in climate change*. Oxford University Press.
 8. Jahanbakhsh Asl, S., & Edalatdoost, M. (2008). The effect of solar activities on rainfall variations in Iran. *Geographical Research Quarterly*, 88, 33-47. (In Persian)
 9. Kalimdoost, M., Pishvaei, M. R., & Mahmoudi, P. (2013). A study on the potential impacts of sunspots on precipitation at selected southern Iranian meteorological stations. *Geographical Space*, 42, 191-208. (In Persian)
 10. Khosravi, M., & Mirdelmi, S. (2013). The influence of sunspot activity on precipitation in Golestan Province, Iran. *Geography and Environmental Planning*, 24(4), 34-46. (In Persian)
 11. Khosravi, R., & Rostami Jalilian, S. (2014). Investigating the relationship between precipitation and temperature in Iran with the solar sunspot cycle using wavelet filtering. *Climatological Research*, 19, 39-52. (In Persian)
 12. Kilcik, A., Özgüç, A., Rozelot, J. P., & Yeşilyurt, S. (2008). Possible traces of solar activity effect on the surface air temperature of Turkey. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 70(13), 1669-1677.
 13. Lin, Y.-C., & Weng, T.-H. (2024). Development of wavelet-based machine learning models for predicting long-term rainfall from sunspots and ENSO. *Applied Water Science*, 14(1), Article 5.
 14. Nazari-Sharabian, M., & Karakouzan, M. (2020). Relationship between sunspot numbers and mean annual precipitation: Application of cross-wavelet transform – a case study. *J*, 3(1), 67-78.
 15. Safari, H., Ghanadi, R., Alipour Rad, N., & Farhang, N. (2018). *Solar Magnetohydrodynamics*. Zanjan: Zanjan University Press. (In Persian)
 16. Szypcio, Z., & Dolzyk-Szypcio, K. (2019). Influence of solar activity on total annual precipitation. In *IOP Conference Series: Earth*
- تقارن در ویژگی‌های این چرخه شکل بگیرد و الگوهای بارشی که در دو چرخه قبل قابل پیش‌بینی بودند، در این دوره دچار تغییر شوند. در این چرخه، افزایش بارش عمدتاً در ابتدا و انتهای دوره رخ داده که از این لحاظ به دو چرخه گذشته شباهت دارد. به‌ویژه در سال پایانی چرخه (۲۰۱۸)، بارش‌های سالانه در تمامی ایستگاه‌ها نسبت به متوسط مقدار بارش این دوره افزایش قابل توجهی نشان داده‌اند. اما برخلاف دو چرخه قبلی، در سال‌های میانه این دوره، میزان بارش سالانه در اکثر ایستگاه‌های استان روند کاهشی داشته است.
- به‌طور کلی می‌توان گفت که در استان خراسان بزرگ، میزان بارش در دو سال ابتدایی و انتهای چرخه‌ها بالاتر از میانگین مورد انتظار چرخه خود قرار دارد. در چرخه‌های ۲۲ و ۲۳، بارش‌ها در میانه چرخه به‌طور چشمگیری از حد نرمال فراتر می‌رود. این تطابق در ایستگاه‌های شمالی استان بسیار مشهودتر از ایستگاه‌های جنوبی با اقلیم خشک است. در مورد کشور لهستان نیز، بر اساس مقاله‌ای با موضوع «تأثیر فعالیت خورشیدی بر میزان بارندگی سالانه»، بررسی‌های همبستگی ساده بین فعالیت خورشیدی (تعداد لکه‌های خورشیدی) و میزان بارش سالانه در غالب ایستگاه‌های هواشناسی لهستان انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی مثبتی میان تعداد لکه‌های خورشیدی و میزان بارندگی وجود دارد.

منابع

1. Abdullrahman, M., Haddl, A., & Aied, A. (2024). Preliminary results of correlation analysis between sunspot number and annual precipitation in Saudi Arabia. In *38th International Cosmic Ray Conference (ICRC2023)* (Vol. 444, p. 1259).
2. Asakereh, H. (2007). Temporal and spatial variations of rainfall in Iran during recent decades. *Geography and Development*, 10(5), 145-164. (In Persian)
3. Baidaa, J. H. (2017). The effect of sunspot cycles on precipitation over Iraq. *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, 28(1), 5-9.
4. Christensen, E. F., & Lassen, K. (2000). Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate. *Science*, 254, 698-700.

- region. *Applied Geographical Space Journal*, 6(21), 61–76. (In Persian)
19. Zhao, J., Han, Y. B., & Li, Z. A. (2004). The effect of solar activity on the annual precipitation in the Beijing area. *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, 4(2), 189.
- and Environmental Science (Vol. 221, No. 1, 012156). IOP Publishing.
17. Taran, S., Khodakarami, E., & Safarri, H. (2022). Complex network view to solar flare asymmetric activity. *Advances in Space Research*, 70(8), 2541–2550.
18. Yazdani, M. H. (2016). Analysis of the urbanization cycle in the Greater Khorasan