



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
**Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)**

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 14
No. 2 (54)**

**Received:
2024-05-05**

**Accepted:
2024-07-12**

Pages: 49-62

Analyzing Long-Term Changes Trend of Precipitation Concentration Index (PCI) as an Indicator of Climate Change in the Persian Gulf and Oman sea Basin

Peyman Mahmoudi^{1*}, Ebrahim Fattahi², Mohsen Hedari³, Allahbakhsh Rigi⁴, Alireza Ghaemi⁵, Jabbar Rezaei⁶ and Atefeh Ansari⁷

- 1) Associate Professor, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
- 2) Associate Professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran.
- 3) M. Sc. of Agricultural Engineering, Sistan and Baluchestan Province Meteorological Administration, Zahedan, Iran.
- 4) M. Sc. of Mathematics, Sistan and Baluchestan Province Meteorological Administration, Zahedan, Iran
- 5) PhD of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
- 6) PhD student of Climatology, Geography Department, University of Zanjan, Zanjan, Iran
- 7) M. Sc. of Climatology, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

*Corresponding author email: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

Abstract:

Background and Aim: The Persian Gulf and Gulf of Oman basin, due to its specific geographic-climatic position and location in the arid and semi-arid regions of the globe, is highly vulnerable to climatic anomalies, such that one of its most important climatic elements, precipitation, exhibits severe variability. This leads to prolonged droughts in some areas and causes floods and river overflows in other locations. Therefore, the study and prediction of climatic changes in this basin is crucial for reducing potential hazards and damages at various social, economic, and environmental levels.

Method: In this research, daily precipitation data from 47 meteorological stations over 30 years (1993-2022) were obtained from the Iranian Meteorological Organization. After acquiring the data and creating a database, the daily Precipitation Concentration Index (PCI) was calculated for all studied stations. The PCI value is a number between zero and one. The closer the PCI is to one, the higher the concentration of precipitation within a limited number of days, increasing the likelihood of floods and heavy rainfall events in those areas. Ultimately, the long-term trends of the PCI were analyzed using Sen's slope estimator.

Results: The long-term average of the daily PCI values for the Persian Gulf and Gulf of Oman basin indicates a high level of this index in the studied basin. The highest values of this index are observed along the southern to southeastern coastal strip from Bushehr to Chabahar, while the lowest values are found in the western and southwestern parts of the basin from Abadan to Piranshahr. The trend analysis results showed that, except for a few stations (Brujen, Jusk, Masjed Soleiman) with negative trends, the entire basin has been dominated by increasing trends. The increasing trend slope indicates that precipitation is concentrated within fewer rainy days, which could lead to an increase in heavy rainfall and flood events within this basin.

Conclusion: The PCI trend analysis results showed that most of the studied basin area has experienced increasing trends, meaning that precipitation has become concentrated within fewer rainy days. This increasing trend, which could be due to an increase in droughts in this basin, may exacerbate the occurrence of flood-like rainfall events within the basin. Therefore, the changes of this index in the sub-basins of Bandar Abbas-Sadij, South Baluchistan, Karun and Western Marzi have been statistically significant. This trend highlights the need for serious attention to flood, drought, and other hydroclimatological hazard management in this basin.

Keywords: Precipitation Concentration Index (PCI), Sen's slope estimator, climate change, precipitation, trend



تحلیل روند تغییرات بلندمدت شاخص تراکم بارش (PCI) روزانه به عنوان شاخصی از تغییر اقلیم در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان

پیمان محمودی^{۱*}، ابراهیم فتاحی^۲، محسن حیدری^۳، اله بخش ریگی^۴، علیرضا قائمی^۵، جبار رضایی^۶ و عاطفه انصاری^۷

(۱) دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

(۲) دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران.

(۳) دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی، اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

(۴) دانش آموخته کارشناسی ارشد ریاضی، اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

(۵) دانش آموخته دکترای مهندسی عمران-مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

(۶) دانشجوی دکترای اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

(۷) دانش آموخته کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی- اقلیمی و قرارگرفتن در پهنه خشک و نیمه خشک کره زمین، در مواجهه با ناهنجاری‌های اقلیمی به شدت آسیب‌پذیر است به طوری که یکی از مهمترین عناصر اقلیمی آن یعنی بارش، تغییر پذیری شدیدی از خود نشان می‌دهد. به طوریکه در جایی سبب بروز خشکسالی‌های ممتد و در مکان دیگر مسبب سیل و طغیان رودخانه‌ها می‌شود. لذا لزوم بررسی و پیش بینی تغییرات اقلیمی در این حوضه آبریز، جهت کاهش خطرات و زیان‌های احتمالی در سطوح مختلف اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی از اهمیت خاصی برخوردار است.

روش پژوهش: در این پژوهش از داده‌های بارش روزانه ۴۷ ایستگاه هواشناسی برای یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۳-۲۰۲۲) که از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد، استفاده گردید. بعد از اخذ داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی آنها، شاخص تراکم بارش (PCI) روزانه برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. مقدار شاخص تراکم بارش (PCI) روزانه عددی در بازه صفر و یک است. هر چقدر مقدار شاخص تراکم بارش (PCI) به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده تمرکز مقدار زیاد بارندگی در تعداد روزهای محدود است که احتمال وقوع سیل و بارندگی‌های شدید در این مناطق بیشتر می‌شود. در نهایت با استفاده از تخمین‌گر شیب سن روند تغییرات بلندمدت آنها مورد تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها: میانگین بلندمدت مقادیر شاخص تراکم بارش (PCI) روزانه برای حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان نشان از بالا بودن این شاخص در حوضه آبریز مورد مطالعه دارد. بالاترین مقادیر این شاخص متعلق به نوار ساحلی جنوب تا جنوب شرقی از بوشهر تا چابهار و پایین‌ترین آن نیز در غرب و جنوب غرب حوضه آبریز از آبادان تا پیرانشهر مشاهده می‌شود. نتایج تحلیل روند این شاخص نشان داد که کل حوضه آبریز به استثنای چند ایستگاه محدود (بروجن، جاسک و مسجد سلیمان) که روند آنها منفی می‌باشد بقیه ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز تحت سیطره روندهای افزایشی بوده‌اند. لذا شیب روند تغییرات افزایشی حاکی از تمرکز بارش‌ها در تعداد روزهای بارشی کمتر است که این می‌تواند باعث افزایش روزهای همراه با بارش‌های سنگین و سیل آسا در این حوضه آبریز باشد.

نتایج: نتایج تحلیل روند این شاخص نشان داد که بیشتر مساحت حوضه آبریز مورد مطالعه دارای روند افزایشی بوده‌اند یعنی بارش‌ها در تعداد روزهای بارشی کمتری تمرکز پیدا کرده‌اند. این روند افزایشی که می‌تواند ناشی از افزایش خشکسالی‌ها در این حوضه آبریز باشد می‌تواند وقوع بارش‌های سیل‌آسا را در داخل این حوضه آبریز تشدید کند. لذا تغییرات این شاخص در زیر حوضه‌های بندرعباس-سدیج، بلوچستان جنوبی، کارون و مرزی غربی از لحاظ آماری معنادار بوده‌اند که نیاز به توجه جدی در مدیریت سیل، خشکسالی و دیگر مخاطرات هیدروکلیماتولوژی دارد.

کلید واژه‌ها: شاخص تراکم بارش (PCI)، تخمین‌گر شیب سن، تغییر اقلیم، بارش، روند

مقدمه

در عصر حاضر از تغییر اقلیم به عنوان مهمترین تهدید بشری برای سیاره زمین در قرن بیست و یکم نام برده می‌شود (Mishra and Singh, 2010). بر اساس گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) میانگین دمای سطح سیاره زمین در طول ۱۰۰ سال گذشته (۱۹۰۶-۲۰۰۵) به اندازه 0.18 ± 0.074 درجه سانتیگراد افزایش داشته است. نرخ گرمایش جهانی در طی ۵۰ سال گذشته (۲۰۱۳/۰۳) درجه سانتیگراد در هر ۱۰ سال) تقریباً دو برابر نرخ گرمایش جهانی در ۱۰۰ سال گذشته (0.2 ± 0.07) درجه سانتیگراد در هر ۱۰ سال) بوده است (IPCC, 2014). برخی از محققان اشاره داشته‌اند که تغییر اقلیم ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای بایستی برخی مؤلفه‌های چرخه آب را تشدید و در نتیجه بر روی وقوع رخدادهای فرین اثر گذار باشد (Tabari, 2020). یک اجماع نظری وجود دارد که تغییر در فراوانی یا شدت رخدادهای فرین اقلیمی به خصوص رخدادهای فرین خشکسالی، می‌تواند اثرات عمده‌ای بر اکوسیستم‌ها، فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی، کشاورزی و بهره‌برداری از منابع آب داشته باشند (Yang et al., 2023; Kabir et al., 2023; Bhaga et al., 2020).

از مهمترین پیامدهای تغییر اقلیم بر چرخه آب می‌توان بر نوسانات شدید بارش و تغییر الگوهای آن، توزیع نامناسب زمانی-فضایی بارش، افزایش تبخیر و تعرق و افزایش قابل توجه در فراوانی وقوع خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها اشاره نمود. بنابراین جهت بررسی تغییر در ویژگی‌های بارش تحت تاثیر تغییر اقلیم به شاخص‌ها و معیارهای مناسبی همچون شاخص تراکم بارش (PCI) (Martin-Vide, 2004)، شاخص دوره تراکم بارش (PCP) (Zhang and Qian, 2003) و شاخص درجه تراکم بارش (PCD) (Zhang and Qian, 2003) نیاز است که در مطالعات بسیاری در سراسر جهان استفاده شده است (Rui et al., 2020; Zhang et al., 2019; Lu et al., 2019; de Luis et al., 2011).

گوا^۱ و همکاران (۲۰۲۰) شاخص تراکم (CI)، شاخص تراکم بارش (PCI) و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) را در یک مقیاس سالانه برای ۷۸۰ ایستگاه چین محاسبه و سپس با استفاده از تخمینگر شیب سن روند تغییرات بلندمدت آنها را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج نشان دادند که ۸۰/۱۳ درصد ایستگاه برای شاخص تراکم (CI)، ۶۹/۳۶ درصد ایستگاه‌ها برای شاخص تراکم بارش (PCI) و ۷۳ درصد ایستگاه نیز برای شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) روند کاهشی نشان داده‌اند. تولیکا^۲ (۲۰۱۹) با محاسبه شاخص تراکم بارش (PCI) در دو مقیاس زمانی سالانه و فصلی برای ایستگاه‌های یونان به این نتیجه رسید که در مقیاس سالانه و

فصلی مقادیر شاخص تراکم بارش (PCI) برای جنوب یونان در مقایسه با دیگر قسمت‌های آن بسیار بالاتر است. آنها همچنین اظهار داشته‌اند که در طول دوره مورد مطالعه (۱۹۵۸-۲۰۰۰) بارش‌های یونان به سمت سهم بارش‌های متمرکزتر به ویژه در مجموع بارش‌های سالانه در حال تغییر است. آنها این تغییرات را تا حدی به تغییرات گردش جوی بر روی یونان نسبت داده‌اند. موندل^۳ و همکاران (۲۰۱۸) نیز تراکم بارش را با استفاده از شاخص تراکم بارش (PCI) برای بنگلادش مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها حاکی از یک روند افزایشی در مقادیر شاخص تراکم بارش (PCI) به خصوص بعد از سال ۲۰۰۰ بر روی بنگلادش بوده‌اند. کروتری^۴ و همکاران (۲۰۱۲) شاخص تراکم بارش (PCI) را برای سرتاسر قاره اروپا در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۷۱ محاسبه و مورد تحلیل قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مقدار این شاخص برای قاره اروپا بین ۰/۵۱ تا ۰/۷۲ متغیر است. بیشترین مقدار این شاخص در بخش غربی حوضه دریای مدیترانه به خصوص در سواحل اسپانیا و فرانسه مشاهده شده است. در توزیع فضایی مقادیر این شاخص در اروپا دو عامل عرض جغرافیایی و فاصله از دریا بیشترین نقش را دارند.

در ایران نیز مطالعات بسیاری بارش و ویژگی‌های مختلف آن را مورد مطالعه قرار داده‌اند (Sanaei et al., 2024; Khezerluei Mohammadyar and Alijani, 2024; Choobeh et al., 2023; Halabian, 2022; Asakereh et al., 2013). اما مطالعاتی که هدف اصلی آنها بررسی تمرکززدایی یا تمرکزگرایی بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف باشد بسیار اندک است (Sadeghinia et al., 2023; Karimi et al., 2021). دارند و پژوه^۵ (۲۰۲۲) با استفاده از سه شاخص تراکم بارش (PCI)، دوره تراکم بارش (PCP) و درجه تراکم بارش (PCD)، تغییرپذیری زمانی-فضایی تراکم بارش در ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی این محققین نشان داد که بخش‌های مرکزی، جنوب شرقی و شرقی ایران بیشترین و سواحل جنوبی دریای خزر و نیمه شمالی کشور نیز کمترین تراکم زمانی بارش را داشته‌اند. آنها همچنین سال ۱۹۹۸ را به عنوان نقطه تغییر انتخاب و دوره آماری مورد مطالعه را به دو زیر دوره قبل (۱۹۹۸-۱۹۶۲) و بعد (۲۰۱۹-۱۹۹۹) از نقطه تغییر تقسیم نمودند. آنها با مقایسه مقادیر سه شاخص تراکم بارش مورد مطالعه مشاهده نمودند که بعد از نقطه تغییر (۲۰۱۹-۱۹۹۹) تراکم بارش در بخش‌های غربی، مرکزی، شرقی و جنوب شرق افزایش و در سواحل شمالی، شمال شرقی و شمال دریای عمان کاهش یافته است. ناظری^۶ و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۲۵ ایستگاه هواشناسی در یک دوره آماری ۵۰ ساله، شاخص تراکم بارش را در یک مقیاس فصلی محاسبه و روند تغییرات آن را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دادند که از ۲۵ ایستگاه مورد مطالعه تنها پنج ایستگاه شهرکرد، اراک،

مواد و روش ها

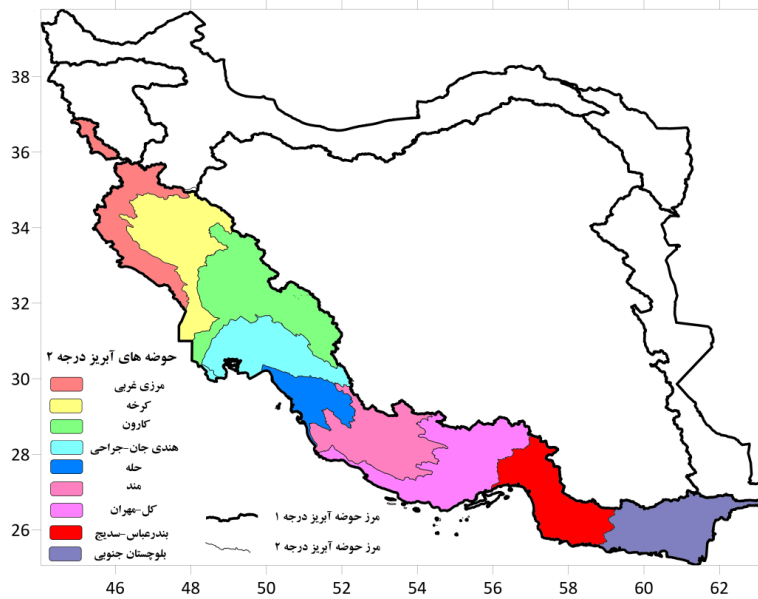
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان با مساحتی حدود ۴۲۴۰۲۹ کیلومتر مربع معادل با ۲۵/۷ درصد از کل مساحت ایران یکی از پهناورترین حوضه‌های آبریز ایران است که از غرب به جنوب‌شرق کشور گسترده شده است و استان‌های کرمانشاه، ایلام، لرستان، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر و هرمزگان را در بر گرفته است. رشته‌کوه‌های زاگرس سرچشمه اصلی رودخانه‌هایی است که به حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان سرازیر می‌شوند. از مهم‌ترین رودخانه‌های این حوضه آبریز می‌توان به اروندرود، گاماسب، کارون، جراحی، زهره، دالاک، مند، شور، میناب، مهران و بنبد اشاره کرد. این حوضه آبریز که جزء حوضه‌های آبریز درجه یک ایران به شمار می‌رود خود به ۹ زیر حوضه آبریز درجه ۲ تقسیم می‌شود که موقعیت و ویژگی‌های جغرافیایی آنها در شکل شماره ۱ آورده شده اند.

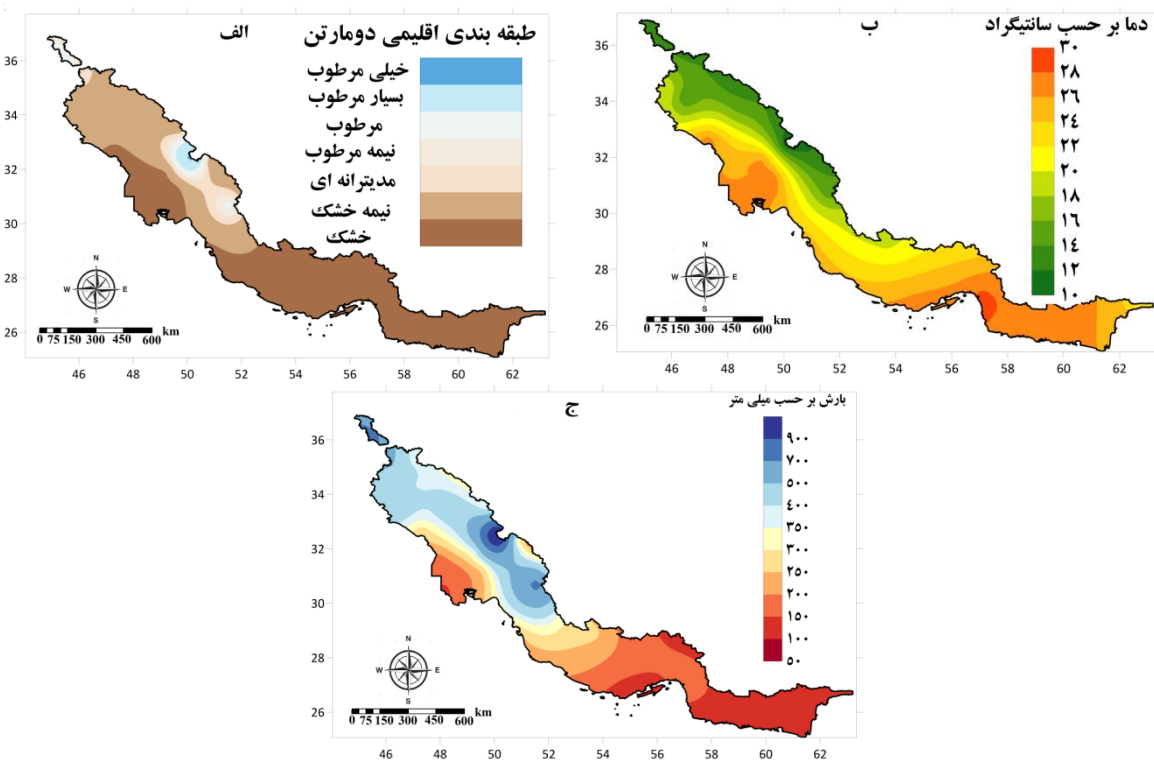
به سبب موقعیت خاص جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی هر بخش از این حوضه آبریز، آب و هواهای متفاوتی بر آن حاکم است. به طوریکه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، این حوضه آبریز را می‌توان به شش طبقه اقلیمی تقسیم‌بندی نمود که قسمت اعظم آن را اقلیم‌های خشک و نیمه خشک در بر گرفته است (شکل ۲الف). میانگین بارش سالانه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان نزدیک به ۳۷۲ میلی‌متر است که توزیع فضایی آن در نقاط مختلف حوضه آبریز بسیار متفاوت است، به‌طوریکه میانگین بارش سالانه در ایستگاه جاسک برابر با ۱۰۲/۵ میلی‌متر و در برخی دیگر از نقاط آن مانند ایستگاه کوه‌رنگ به ۱۲۷۴/۹ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۲ب). توزیع فضایی میانگین سالانه دمای این حوضه آبریز نیز تابعی از ناهم‌واری‌ها و تغییرات زاویه میل خورشید است. میانگین دمای سالانه این حوضه آبریز برابر با ۲۰/۵ درجه سانتیگراد است که کمترین آن درست منطبق بر قله سلسله کوه‌های مرتفع زاگرس (ایستگاه کوه‌رنگ با میانگین دمای سالانه ۱۰ درجه سانتیگراد) و بالاترین آن نیز در سواحل جنوبی شرقی این حوضه آبریز (ایستگاه میناب با ۲۸/۴ درجه سانتیگراد) مشاهده می‌شود. در مجموع، از جنوب به شمال و از مشرق به مغرب از دمای هوای این حوضه آبریز کاسته می‌شود. سرد شدن هوا در جهت جنوب به شمال عمدتاً به دلیل افزایش عرض جغرافیایی و کاهش تابش خورشید و نیز تراکم سلسله کوه‌های مرتفع در غرب حوضه آبریز است و کاهش آن از مشرق به مغرب به دلیل تجمع توده کوهستانی زاگرس در غرب حوضه آبریز است (شکل ۲ج)

قزوین، همدان و زنجان دارای روند کاهشی و بقیه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی در مقادیر شاخص تراکم بارش بوده اند. خلیلی^۷ و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه تمرکز زمانی و روند بارش زمستانی ایستگاه‌های مرزی ایران طی نیم قرن اخیر با استفاده از شاخص تراکم بارش اظهار داشتند که از ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه ۸ ایستگاه دارای روند افزایشی و ۱۰ ایستگاه نیز دارای روند کاهشی بوده اند. کابلی^۸ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۸۰ ایستگاه هواشناسی به مطالعه تغییرات الگوهای زمانی-فضایی شاخص تراکم بارش در ایران پرداختند. آنها بعد از محاسبه شاخص تراکم بارش برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند تغییرات بلندمدت آن را با استفاده از روش ناپارامتریک مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان دادند که مقدار این شاخص طی دوره سی ساله و در گستره ایران از ۰/۵۷ تا ۰/۷۱ متغیر می‌باشد. بیشترین مقادیر شاخص تراکم بارش مربوط به مناطق ساحلی واقع در دریای خزر و خلیج فارس است که نشان دهنده تمرکز بارندگی در روزهای خاصی از سال در این مناطق می‌باشد. همچنین ۶۴ ایستگاه از ۸۰ ایستگاه مورد بررسی در این پژوهش روند رو به افزایش مقدار شاخص تراکم بارندگی روزانه را تجربه کرده اند. در ضمن با اعمال آزمون همبستگی اسپیرمن بر روی تمامی ایستگاه‌ها مشخص شد که همبستگی معنی دار و معکوس میان شاخص تراکم بارش روزانه، ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی وجود دارد.

حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی اقلیمی و قرارگرفتن در پهنه ی خشک و نیمه خشک کره زمین، در مواجه با ناهنجاری‌های اقلیمی به شدت آسیب پذیراست به طوری که یکی از مهمترین عنصر اقلیمی آن یعنی بارش، تغییر پذیری شدیدی از خود نشان می‌دهد. در جایی سبب بروز خشکسالی‌های ممتد و در مکان دیگر مسبب سیل و طغیان رودخانه‌ها می‌شود. لذا لزوم بررسی و پیش بینی تغییرات اقلیمی در این حوضه آبریز، جهت کاهش خطرات و زیان‌هایی در سطوح و بخش‌های کلان کشاورزی، صنعت و حمل و نقل، منابع آب و آب‌خیزداری، محیط زیست و گردشگری، بهداشت و سلامت و غیره از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا نخستین گام در جهت مدیریت بحران خشکسالی و کاهش اثرات مخرب آن در این حوضه آبریز شناخت، بررسی و تحلیل رفتار فضایی- زمانی بارش و ویژگی‌های آن و پیش یابی چگونگی رخداد آنها در آینده و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی می‌باشد. چرا که لزوم مطالعه دقیق این پدیده و پیش بینی آن به منظور یاری رساندن مدیران و برنامه ریزان بخش‌های مختلف مطالعاتی و اجرایی، جهت تحقق اهداف کلان ملی و منطقه ای امری ضروری است. لذا در این مطالعه برای اولین بار شاخص تراکم بارش (PCI) در یک مقیاس روزانه به عنوان شاخصی از تغییر اقلیم در این حوضه آبریز مورد مطالعه قرار می‌گیرد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان و زیر حوضه‌های آن در جنوب ایران

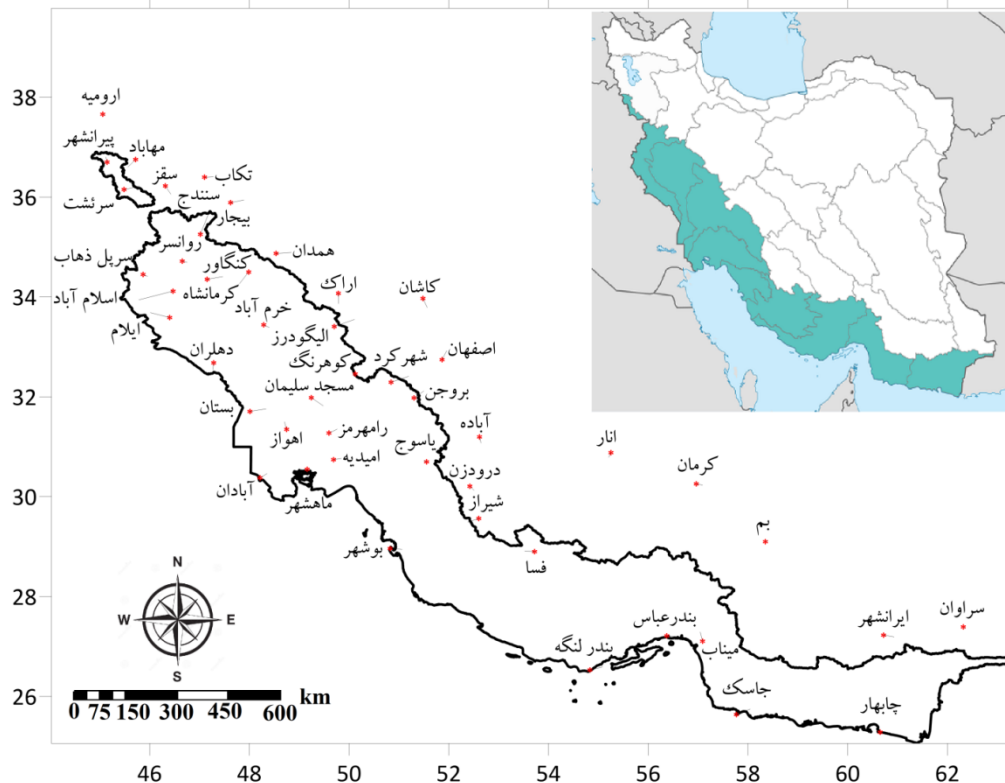


شکل ۲. (الف) نقشه طبقه بندی اقلیمی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان بر اساس روش دومارتن، (ب) نقشه توزیع فضایی میانگین بارش سالانه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان و (ج) توزیع فضایی میانگین دمای سالانه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان

داده‌ها

در این پژوهش جهت ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تغییر الگوهای بارشی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران از داده‌های بارش روزانه ۴۷ ایستگاه همدید برای یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۳-۲۰۲۲) که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد، استفاده گردید. اندک خلاصه‌های

آماری موجود در این داده‌ها با استفاده از روش‌های همبستگی و رگرسیون بازسازی شدند. از این ۴۷ ایستگاه همدید ۲۹ ایستگاه همدید آن داخل مرزهای حوضه آبریز و ۱۸ ایستگاه همدید آن خارج از مرزهای حوضه آبریز واقع شده‌اند. در زمان نگاشت شاخص‌های فرین بارشی از تمامی ۴۷ ایستگاه همدید و در زمان تحلیل نتایج تنها از ۲۹ ایستگاه همدید داخل حوضه آبریز استفاده شده است.



شکل ۳. نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران

روش‌شناسی

شاخص تراکم بارش (PCI)

شاخص تراکم بارش (PCI) روزانه عددی است در بازه صفر و یک که نسبت به شاخص‌های سالانه و ماهانه اطلاعات بیشتری را در مورد شرایط هیدرولوژیکی منطقه در اختیار می‌گذارد و با توجه به آن می‌توان مشخص نمود که کدام مناطق مستعد مخاطراتی از جمله سیل، خشکسالی، فرسایش خاک و زمین لغزش می‌باشند (Vyshkvarikova et al., 2018). به طوریکه هر چقدر مقدار شاخص تراکم بارش (PCI) به عدد یک نزدیک تر باشد نشان دهنده تمرکز مقدار زیاد بارندگی در تعداد روزهای محدود است که احتمال وقوع سیل و بارندگی‌های شدید در این مناطق بیشتر می‌شود (Suhaila and Jemain, 2012).

تخمینگر شیب سن

این روش ابتدا توسط تیل در سال ۱۹۵۰ ارائه و سپس توسط سن در سال ۱۹۶۸ بسط و گسترش داده شد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک همچون من - کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی استوار است. این روش زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در سری زمانی یک روند خطی باشد. این بدان معناست که $f(t)$ در معادله ۳-۱۷ برابر است با:

$$f(t) = Qt + B \quad (5)$$

که Q ، شیب خط روند و B ، مقدار ثابت است.

جهت محاسبه شاخص تراکم بارش (PCI) روزانه از داده‌های بارش روزانه در یک دوره بلندمدت چندین ساله یا حتی دوره یک ساله استفاده می‌شود (Serrano-Notivoli et al., 2018). مجموعه داده‌های بارش روزانه در دسته‌های ۱ میلیمتری و به صورت صعودی تقسیم بندی می‌شود. سپس درصد تجمعی روزهای بارشی که در هر دسته قرار می‌گیرند، X و مقادیر درصد تجمعی آنها، Y در یک نمودار ترسیم می‌شوند. در نتیجه یک منحنی نمایی از درصد تجمعی روزهای بارانی در مقابل درصد تجمعی مقدار بارش مطابق رابطه ۱ به دست می‌آید (Royé amd Martin-Vide, 2017).

$$Y = aXexp(bx) \quad (1)$$

در این رابطه مقادیر ثابت a و b با استفاده از روش کمترین مربعات به دست می‌آیند (روابط ۲ و ۳):

$$\ln a = \frac{\sum x_1^2 \sum \ln Y_1 + \sum x_1 \sum \ln x_1 - N \sum x_1 \ln x_1 - \sum x_1 \sum \ln Y_1}{N \sum x_1^2 - N(\sum x_1)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{N \sum x_1 \ln Y_1 + \sum x_1^2 \sum \ln x_1 - N \sum x_1 \ln x_1 - \sum x_1 \sum \ln Y_1}{N \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} \quad (3)$$

پس از محاسبه ضرایب a و b ، شاخص تراکم بارش (PCI) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد که در این رابطه \hat{S} مساحت محور میان خط $Y = X$ و منحنی نمایی است.

$$PCI = \frac{\hat{S}}{5000} \quad (4)$$

که n تعداد مشاهدات سری (در این تحقیق برابر با ۳۳ سال)، x_j و x_k نیز به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند.

ب) محاسبه تابع علامت (sgn) که به شرح ذیل قابل محاسبه است:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (11)$$

ج) محاسبه واریانس S توسط یکی از روابط زیر. اگر تعداد داده‌های سری زمانی بزرگتر از ۱۰ مورد باشند از معادله شماره ۱۲ و اگر کوچکتر از ۹ مورد باشند از رابطه شماره ۱۳ بهره گرفته می‌شود.

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (12)$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (13)$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m تعداد سری‌های است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

و در نهایت حدود اعتماد بالا و پائین به کمک روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$\begin{cases} M_1 = \frac{n' + C_a}{2} \\ M_2 = \frac{n' - C_a}{2} \end{cases} \quad (14)$$

که n' تعداد شیب‌های است که از طریق معادله ۶ بدست آمده است.

حال M_1 امین و M_{2+1} امین شیبها را از بین شیبهای محاسبه شده استخراج می‌نمائیم. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق قرار گیرد فرض صفر پذیرفته شده و عدم وجود روند در سری داده‌ها تأیید می‌گردد. در غیر اینصورت فرض صفر رد شده و وجود روند در سطح اطمینان مورد آزمون پذیرفته می‌گردد.

در نهایت جهت بدست آوردن مقدار B در معادله شماره ۱، n تعداد تفاضل $x_i - Qt_i$ محاسبه می‌شود. سپس میانه این مقادیر، برآورد B را در اختیار می‌گذارد (علیچانی و همکاران، ۲۰۱۲).

لازم به اشاره است که تمامی محاسبات انجام شده در دو محیط نرم افزاری MATLAB و MINITAB انجام شده است.

جهت محاسبه شیب خط روند یعنی Q ، ابتدا بایستی شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای، با استفاده از معادله شماره ۶ محاسبه گردد:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (6)$$

که $j > k$ است. در این معادله x_k و x_j به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های j و k است. با اعمال این رابطه، برای هر جفت داده مشاهده‌ای، یک شیب بدست می‌آید. با قرار دادن این شیبها در کنار یکدیگر یک سری زمانی از شیبهای محاسبه شده حاصل می‌آید. یعنی اگر n تعداد x_j در سری زمانی وجود داشته باشد (در این تحقیق $n=30$) ما به اندازه $N = n(n-1)/2$ برآورد شیب (Q_i) خواهیم داشت.

در مرحله بعد، میانه سری زمانی مورد مطالعه بایستی بدست آید. برای این کار N تعداد از Q_i ها از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند و سپس با استفاده از یکی از معادلات زیر اقدام به تعیین میانه سری زمانی می‌گردد. اگر تعداد مشاهدات سری زمانی مورد مطالعه فرد باشد از معادله شماره ۷ و اگر زوج باشد از معادله شماره ۸ استفاده می‌گردد:

$$Q = Q_{[(N+1)/2]} \quad (7)$$

$$Q = \frac{1}{2} [Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}] \quad (8)$$

نتیجه حاصل از این معادلات، بدست آمدن شیب خط روند (Q_{med}) است. اگر شیب خط روند مثبت باشد حاکی از صعودی بودن روند و اگر منفی باشد دال بر نزولی بودن روند است.

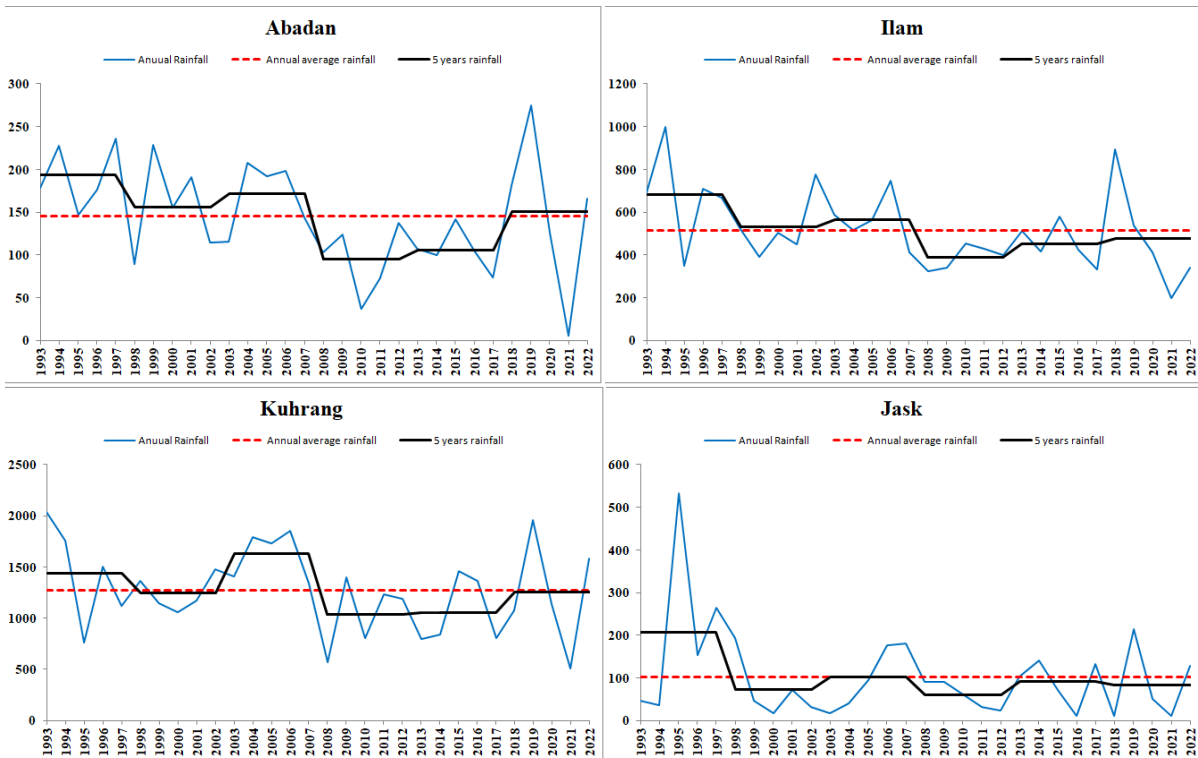
مرحله بعد، آزمون نمودن شیب بدست آمده در فاصله اطمینان ۹۵ درصد است. جهت انجام این آزمون از رابطه ۹ استفاده می‌گردد:

$$C_a = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{VAR}(S)} \quad (9)$$

که Z عبارت است از آماره توزیع نرمال استاندارد در یک آزمون دو طرفه که برای سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با $Z = 1.96$ است و $\text{VAR}(S)$ ، نیز واریانس پارامتر S است. جهت بدست آوردن مقدار پارامتر S و همچنین $\text{VAR}(S)$ مراحل زیر بایستی پیموده شود:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع sgn و استخراج پارامتر s

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (10)$$



شکل ۴. چهار نمونه از نمودارهای خطی مربوط به تغییرات سری‌های زمانی مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های آبادان، ایلام، کوهرنگ و جاسک در یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

۴)، نمودارهای ناهنجاری بارش (شکل ۵) نیز نشان می‌دهند که در دو دهه اخیر وقوع دوره‌های خشک در این حوضه آبریز حاکمیت بیشتری داشته‌اند که این افزایش در وقوع دوره‌های خشک در سال‌های آینده می‌تواند اثرات منفی زیادی بر رواناب و آبخوان‌های این حوضه آبریز داشته باشد.

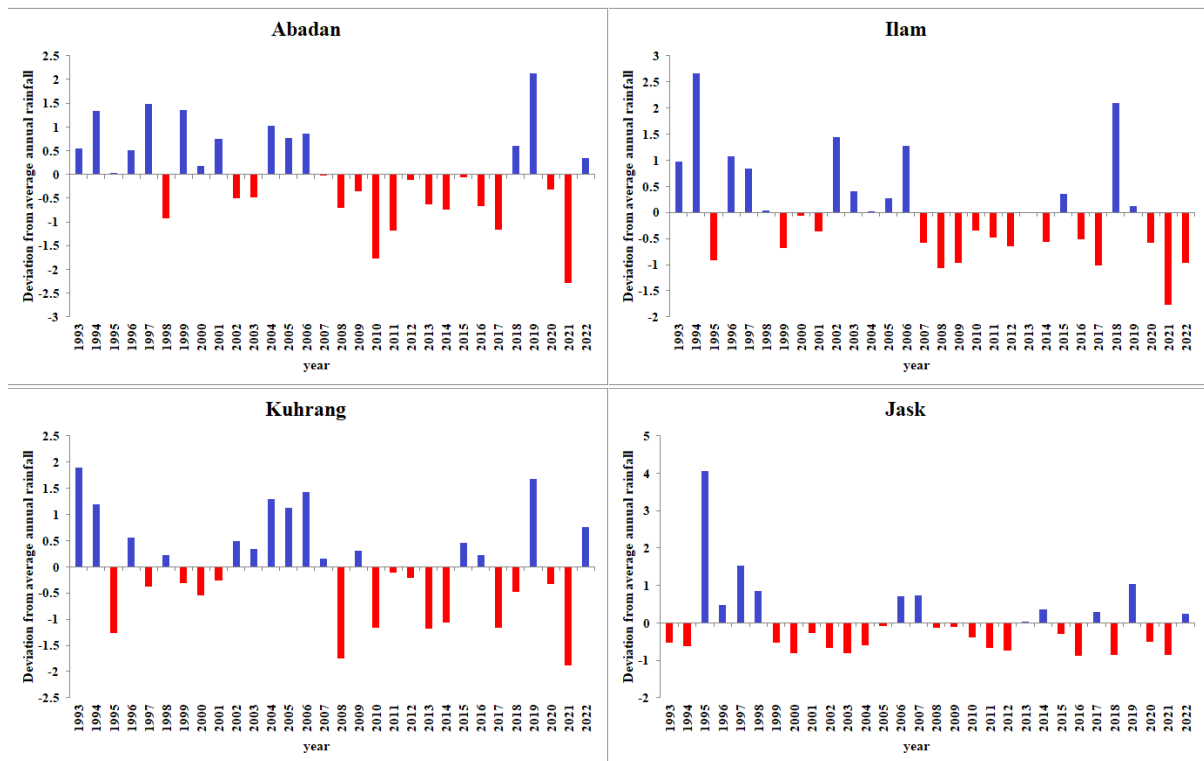
با تحلیل روند تغییرات بلندمدت مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در داخل حوضه آبریز مورد مطالعه با استفاده از روش تخمینگر شیب سن مشخص شد که روند کاهش، روند غالب بر تغییرات بلندمدت بارش این حوضه آبریز می‌باشد (۶). اما از ۲۶ ایستگاهی که روند آنها کاهش بوده است تنها روند پنج ایستگاه آبادان، فسا، امیدیه، مسجد سلیمان و سندیج در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده است (۷).

لذا با توجه به روند کاهش در مقدار بارش سالانه حوضه مورد مطالعه اقدام به محاسبه شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) برای ۲۹ ایستگاه مورد مطالعه گردید. شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) معیار بسیار مناسبی جهت آشکارسازی تغییرات در تعداد و مقدار بارشی‌های روزانه می‌باشد. همانگونه که پیشتر نیز بدان اشاره شده است شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) مقادیری بین صفر و یک می‌باشد. مقادیر شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) بالا (نزدیک به یک) به مفهوم تمرکز بیشتر بارش در تعداد روزهای اندکی از سال و شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) پایین (نزدیک به صفر) دلالت بر توزیع بارش در تعداد روزهای بیشتری از سال دارد. نقشه توزیع فضایی میانگین بلندمدت مقادیر شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) برای حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (شکل ۸) نشان از بالا بودن

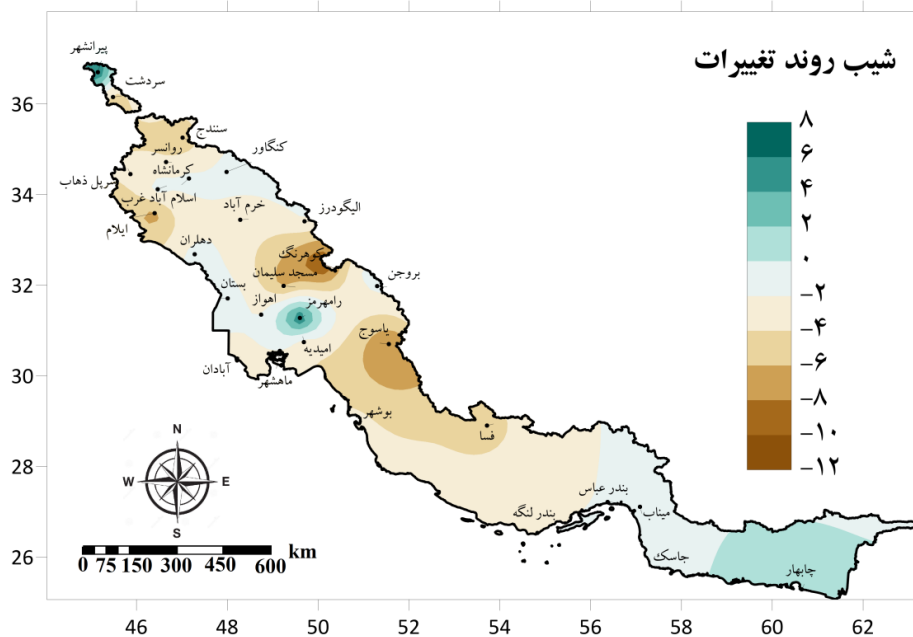
نتایج و بحث

نقشه توزیع فضایی میانگین بارش سالانه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان نشان از توزیع بسیار ناهمگون بارش در سطح این حوضه آبریز دارد، به‌طوری‌که میانگین بارش سالانه در ایستگاه جاسک برابر با $102/5$ میلی‌متر و در برخی دیگر از نقاط آن مانند ایستگاه کوهرنگ به $1274/9$ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۲ج). این توزیع فضایی در میانگین بارش سالانه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در واقع تابعی از عرض جغرافیایی و ناهمواری‌ها می‌باشد.

با رسم نمودارهای خطی سری‌های زمانی بارش سالانه ۲۹ ایستگاه مورد مطالعه در داخل حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان مشاهده شد که تمامی ایستگاه‌ها در طول ۳۰ سال مورد مطالعه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) دوره‌های تر و خشک فراوانی را اما با شدت و مدت‌های مختلف تجربه کرده‌اند. آنچه که به عنوان یک نقطه اشتراک در بیشتر این نمودارها نمود بیشتری داشته است وجود یک روند تقریباً کاهش در مقدار بارش سالانه ایستگاه‌ها بوده است. در شکل ۴ برای نمونه نمودارهای مربوط به چهار ایستگاه آبادان، ایلام، کوهرنگ و میناب که دارای اقلیم مختلفی هستند آورده شده است. با دقت در این نمودارها به روشنی روند کاهش بارش‌های سالانه این ایستگاه‌ها به خصوص با دقت در خط میانگین‌های پنج ساله (خط سیاه رنگ) آنها قابل مشاهده است. علاوه بر تحلیل میانگین بارش‌های پنج ساله (شکل



شکل ۵. نمودار انحراف بارندگی سالانه از میانگین بارندگی سالانه بلندمدت (۳۰ سال) برای ایستگاه‌های آبادان، ایلام، کوه‌رنگ و جاسک در یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

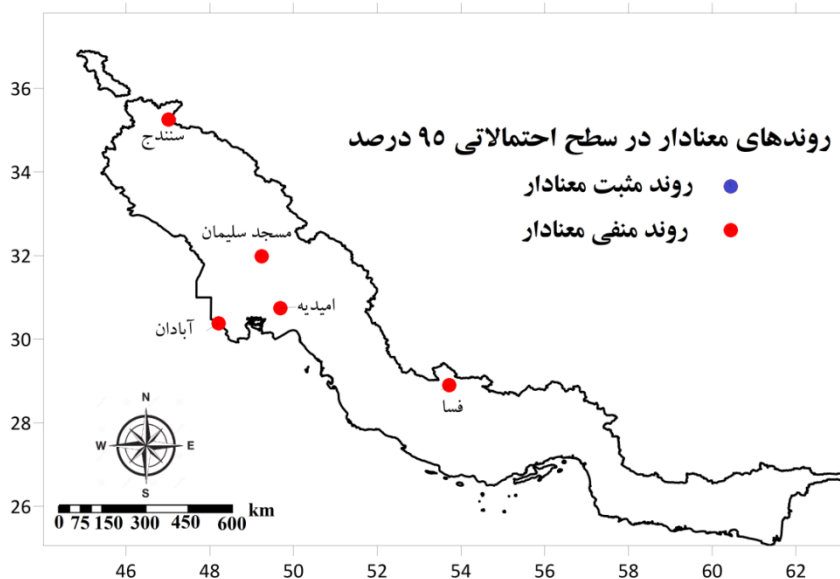


شکل ۶. توزیع فضایی مقادیر شیب روند تغییرات مجموع بارش سالانه بر حسب میلی‌متر در ۳۰ سال در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

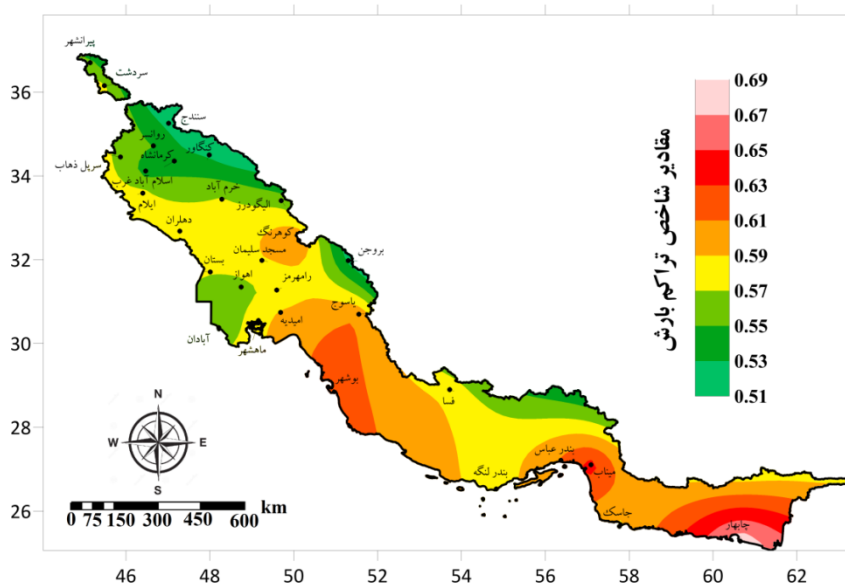
این شاخص در حوضه آبریز مورد مطالعه دارد. همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود بالاترین مقادیر این شاخص متعلق به نوار ساحلی جنوب تا جنوب شرق از بوشهر تا چابهار و پایین ترین آن نیز در غرب و جنوب غرب حوضه آبریز از آبادان تا پیرانشهر مشاهده می‌شود. در مقیاس ایستگاهی نیز پایین ترین مقادیر به ایستگاه‌های سنندج (۰/۵۲۴)، بروجن (۰/۵۲۵) و کنگاور (۰/۵۲۷) و بالاترین مقادیر به ایستگاه‌های چابهار (۰/۶۸۴)، میناب (۰/۶۳۸)، بوشهر (۰/۶۱۴)، بندرعباس

تغییرات بلندمدت شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) که در جدول ۱ در ستونی به نام Q قرار داده است در قالب یک نقشه ارائه شده است (شکل ۹). لازم به اشاره است در نقشه ارائه شده مقادیر ستون Q در عدد ۳۰ که طول دوره آماری مورد مطالعه بوده است ضرب شده است تا تغییرات برای کل دوره ۳۰ ساله مورد تحلیل قرار گیرد. براساس این نقشه مشاهده می شود که کل حوضه آبریز به استثنای چند ایستگاه محدود (بروجن، جاسک و مسجد سلیمان) که روند آنها منفی می باشد بقیه مساحت حوضه آبریز تحت سیطره روندهای افزایشی بوده اند.

(۰/۶۱۲) تعلق دارد (شکل ۸). شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) بالاتر از ۰/۶ بیانگر تراکم بالای بارش‌های روزانه است و ۰/۶ است یعنی تقریباً ۷۰ درصد از مقدار بارش‌های سالانه آنها در کمتر از ۲۵ درصد از روزهای بارانی اتفاق می افتند. لذا این مورد نشان دهنده وجود بارش‌های فرین و سنگین در این نوع ایستگاه‌ها می باشد (مارتین واید، ۲۰۱۲).
با استفاده از آزمون من-کندال و برآورد کننده شیب سن روند تغییرات بلندمدت این شاخص نیز مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج این دو آزمون در جدول ۱ آورده شده است. شیب روند



شکل ۷. نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های دارای روندهای معنادار در سطوح احتمالاتی مختلف برای مجموع بارش سالانه در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)



شکل ۸. میانگین بلندمدت شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

درصد معنادار بوده اند. لازم به اشاره است که تمامی روندهای این پنج ایستگاه، روندهای افزایشی بوده اند. موقعیت جغرافیایی این پنج ایستگاه در حوضه آبریز مورد مطالعه در شکل ۱۰ آورده شده است. ایستگاه میناب مربوط به حوضه آبریز بندرعباس-سدیج، ایستگاه چابهار در حوضه آبریز بلوچستان جنوبی، ایستگاه کنگاور در داخل حوضه آبریز کارون و دو ایستگاه پیرانشهر و سردشت متعلق به حوضه آبریز مرزی غربی می باشد.

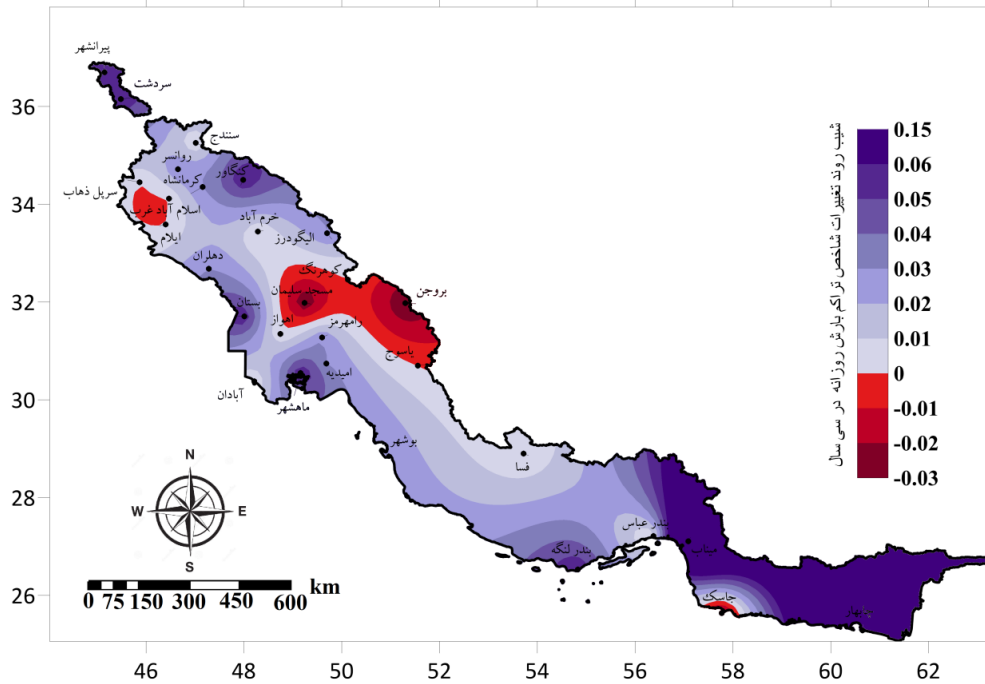
لذا شیب روند تغییرات حاکی از تمرکز بارشها در تعداد روزهای بارشی کمتر است که این می تواند باعث افزایش روزهای همراه با بارشهای سنگین و سیل آسا در این حوضه آبریز باشد. اما تمام روندهای به دست آمده برای ایستگاههای مورد مطالعه در سطوح احتمالاتی مختلف معنادار نبوده اند. ایستگاه پیرانشهر در سطح احتمالاتی ۹۹/۹ درصد، ایستگاه سردشت در سطح احتمالاتی ۹۹ درصد، ایستگاههای چابهار و میناب در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد و ایستگاه کنگاور در سطح احتمالاتی ۹۰

جدول ۱. نتایج اعمال آزمون روند من-کندال و برآورد کننده شیب شن بر روی شاخص تراکم بارش روزانه (PCI)

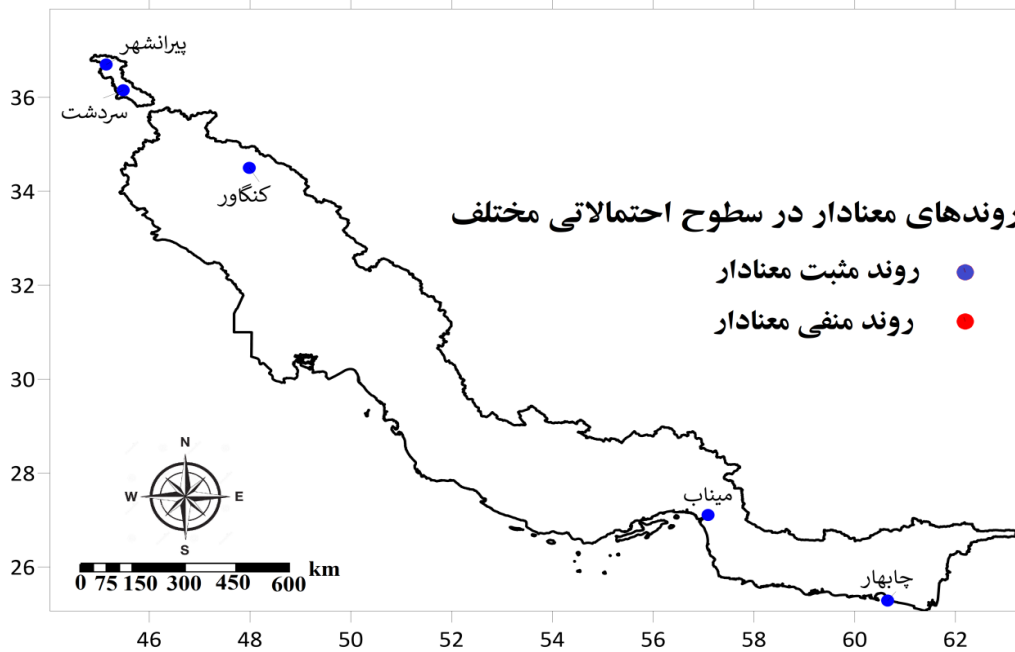
ایستگاههای واقع در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان

نام ایستگاه	سال شروع	سال خاتمه	روند من-کندال			برآورد کننده شیب سن		
			تعداد	آزمون Z	معناداری	Q	Qmin95	Qmax95
آبادان	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۲۵		۰	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
اهواز	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۲۱		۰	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
الیگودرز	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۱		۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
بندرعباس	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	-۰/۰۴		۰	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۵
بندر لنگه	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۸۹		۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۶
بندر ماهشهر	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۱/۵۳		۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
بروجن	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	-۱		-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
بستان	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۱/۴۶		۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
بوشهر	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۸۲		۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
چابهار	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۲/۰۷	*	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۰۷
دهلران	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۱/۴۶		۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۳
اسلام آباد	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	-۰/۶۱		۰	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
فسا	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۱۴		۰	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
ایلام	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۰۷		۰	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
جاسک	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	-۰/۶۴		-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۳
کنگاور	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۱/۷۱	+	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۴
کرمانشاه	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۱/۱۱		۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۲
خرم آباد	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۱۱		۰	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
کوهرننگ	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۱۸		۰	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
مسجد سلیمان	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	-۱/۵۷		-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰
میناب	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۲/۴۶	*	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸
امیدیه	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۵۴		۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
پیرانشهر	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۳/۳۲	***	۰/۳۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
رامهرمز	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۹۳		۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
روانسر	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۱/۰۷		۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۲
سنندج	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	-۱/۲۱		۰	۰	۰
سردشت	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۲/۹۶	**	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
سرپل ذهاب	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۴۶		۰	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
یاسوج	۱۹۹۳	۲۰۲۲	۳۰	۰/۴۳		۰	-۰/۰۰۱	۲/۰۰۲

*** معناداری در سطح ۹۹/۹ درصد، ** معناداری در سطح ۹۹ درصد، * معناداری در سطح ۹۵ درصد، + معناداری در سطح ۹۰ درصد



شکل ۹. توزیع فضایی مقادیر شیب روند تغییرات بلندمدت شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) بر حسب ۳۰ سال در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)



شکل ۱۰. نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های دارای روندهای معنادار در سطوح احتمالاتی مختلف در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

(PCI) پایین (نزدیک به صفر) دلالت بر توزیع بارش در تعداد روزهای بیشتری از سال دارد. میانگین بلندمدت این شاخص برای حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان نشان از بالابودن آن در سرتاسر این حوضه آبریز دارد. نتایج تحلیل روند این شاخص نشان داد که بیشتر مساحت حوضه آبریز مورد مطالعه دارای روند افزایشی بوده اند یعنی بارش‌ها در تعداد روزهای بارشی کمتری تمرکز پیدا کرده اند. این روند افزایشی که می

نتیجه گیری

تحلیل روند تغییرات بلندمدت شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) به عنوان معیاری جهت آشکارسازی تغییرات در تعداد و مقدار بارشی‌های روزانه مورد استفاده قرار گرفت. همانطور که پیشتر نیز بدان اشاره شده است مقادیر شاخص تراکم بارش روزانه (PCI) بالا (نزدیک به یک) به مفهوم تمرکز بیشتر بارش در تعداد روزهای اندکی از سال و شاخص تراکم بارش روزانه

تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از پروژه «ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تغییر الگوهای بارشی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران» است که زیر نظر پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو تهران به شماره اسناد ۰۰۱۱۱۳۲۹۰۱۳۹۵L۲۰۱۲۰۱۵۲۰۰ به انجام رسیده است. لذا نویسندگان این مقاله از پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو بابت حمایت‌های مالی و معنوی سپاسگزاری می‌کنند.

تواند ناشی از افزایش خشکسالی‌ها در این حوضه آبریز باشد می‌تواند وقوع بارش‌های سیل آسا را در داخل این حوضه آبریز تشدید کند. لذا تغییرات این شاخص در زیر حوضه‌های بندرعباس-سدیج، بلوچستان جنوبی، کارون و مرزی غربی از لحاظ آماری معنادار بوده اند که نیاز به توجه جدی در مدیریت سیل، خشکسالی و دیگر مخاطرات هیدروکلیماتولوژی دارد.

Reference:

- Alijani, B., Mahmoudi, P., & Chogan, A. J. (2012) A Study of annual and seasonal precipitation trends in Iran using a nonparametric method (Sen's slope estimator). *Journal of Climate Research*, 3(6), 23-42. [In Persian]
- Asakereh, H., Tarkarani, F., & Soltani, S. (2013). On Tempo-Spatial Characters of Extreme Daily Precipitation of Northwest of Iran. *Iran-Water Resources Research*, 8(3): 39-53. [In Persian]
- Bhaga, T. D., Dube, T., Shekede, M. D., & Shoko C. (2020). Impacts of Climate Variability and Drought on Surface Water Resources in Sub-Saharan Africa Using Remote Sensing: A Review. *Remote Sensing*, 12(24): 4184. <https://doi.org/10.3390/rs12244184>
- Choobeh, S., Abghari, H., & Erfanian, M. (2023). Investigating and Classifying Temporal-Spatial Characteristics of Iran's Annual Precipitation Using Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform and Multiscale Entropy. *Desert Ecosystem Engineering*, 12(38): 11-26. [In Persian]
- Cortesi, N., Gonzalez-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., & Martin-Vide, J. (2012). Daily precipitation concentration across Europe 1971-2010. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12: 2799-2810. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-2799-2012>
- Darand, M., & Pazhoh, F. (2022). Spatiotemporal changes in precipitation concentration over Iran during 1962-2019. *Climatic Change*, 173: 25. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03421-z>
- De Luis, M., González-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., & Longares, L. A. (2011). Precipitation concentration changes in Spain 1946-2005. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 1259-1265. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1259-2011>, 2011.
- Guo, E., Wang, Y., Jirigala, B., & Jin, E. (2020). Spatiotemporal variations of precipitation concentration and their potential links to drought in mainland China. *Journal of Cleaner Production*, 267: 122004. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122004>
- Halabian, A. H. (2022). Assessment of Spatial- Temporal Changes of Precipitation in Iran. *Desert Ecosystem Engineering*, 5(13): 101-116. [In Persian]
- IPCC. (2014). Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kaboli, S., Hekmatzadeh, A., & Torabihaghighi, A. (2020). Determination of spatio-temporal pattern of daily precipitation concentration index over Iran. *Water Resources Engineering*, 13(46): 57-68. [In Persian]
- Kabir, M., Habiba, U. E., Khan, W., Shah, A., Rahim, S., De los Rios-Escalante, P. R., Farooqi, Z. U. R., Ali, L., & Shafiq, M. (2023). Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century; a mini review. *Journal of King Saud University - Science*, 35(5): 102693. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102693>
- Karimi, S., Nazaripour, H., & Hamidianpour, M. (2021). Spatial and temporal variability of precipitation extreme indices in arid and semi-arid regions of Iran for the last half-century. *IDÓJARÁS*, 125(1), 83-104. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.1.4>
- Khalili, K., Nazeri Tahrudi, M., Mirabbasi Najaf Abadi, R., & Ahmadi, F. (2016). Investigation the Concentration and Trend of Winter Precipitation of Iranian Border Stations over the Last Half Century. *Water and Soil*, 30(4): 1309-1321. [In Persian]
- Khezerluei Mohammadyar, Z., & Alijani, B. (2024). An Analysis of precipitation Periods trend in Iran. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 24 (73): 521-539. [In Persian]
- Lu, Y., Jiang, S., Ren, L., Zhang, L., Wang, M., Liu, R., & Wei, L. (2019). Spatial and Temporal Variability in Precipitation Concentration over Mainland China, 1961-2017. *Water*, 11(5): 881. <https://doi.org/10.3390/w11050881>
- Martin-Vide, J. (2004). Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24(8): 955-971. <https://doi.org/10.1002/joc.1030>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2): 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>

- Mondol, A. H., Mamun, A., Iqbal, I., & Jang, D. (2018). Precipitation concentration in Bangladesh over different temporal periods. *Advances Meteorology*, 2018: 1–18. <https://doi.org/10.1155/2018/1849050>
- Nazeri, M., Khalili, K., & Behmanesh, J. (2016). Investigating Changes of Seasonal Precipitation Concentration of Iran in Recent Half-Century. *Water and Soil Science*, 26(2-2): 111-123. [In Persian]
- Royé, D., & Martin-Vide, J. (2017). Concentration of daily precipitation in the contiguous United States. *Atmospheric Research*, 196: 237-247. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.06.011>
- Rui, Z., Aoqi, L., Taotao, C., Guimin, X., Qi, W., & Daocai, C. (2020). Analysis of precipitation concentration degree changes and its spatial evolution in the western plain of Jilin Province. *Mausam*, 71(2): 291–298. <https://doi.org/10.54302/mausam.v71i2.27>
- Sadeghinia, A., Nazari-pour, H., & Rafati, S. (2023). Changes in Classified Precipitation in Iran. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, (25), 23-38. <https://doi.org/10.12775/bgeo-2023-0007>
- Sanaei, M., Barati, G., & Shakiba, A. (2024). Spatial change analysis, Analysis of Spatial patterns changes in rainy season over Iran. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 24 (72): 19. [In Persian]
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324): 1379-1389.
- Serrano-Notivoli, R., Martín-Vide, J., Saz, M., Longares, L., Beguería, S., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., & de Luis, M. (2018). Spatio-temporal variability of daily precipitation concentration in Spain based on a high-resolution gridded data set. *International Journal of Climatology*, 38(51): e518–e530. <https://doi.org/10.1002/joc.5387>
- Suhaila, J., & Jemain, A. A. (2012). Spatial analysis of daily rainfall intensity and concentration index in Peninsular Malaysia. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(1-2): 235-245. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0529-2>
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10: 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
- Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *Indagationes Mathematicae*, 1(2): 85–89.
- Tolika, K. (2019). On the analysis of the temporal precipitation distribution over Greece using the Precipitation Concentration Index (PCI): annual, seasonal, monthly analysis and association with the atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 137: 2303–2319. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2736-6>
- Vyshkvarikova, E., Voskresenskaya, E., & Martin-Vide, J. (2018). Spatial distribution of the daily precipitation concentration index in Southern Russia. *Atmospheric research*, 203: 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.12.003>
- Yang, X., Liao, X., Di, D., & Shi, W. (2023). A Review of Drought Disturbance on Socioeconomic Development. *Water*, 15(22): 3912. <https://doi.org/10.3390/w15223912>
- Zhang, L. J., & Qian, Y. P. (2003). Annual distribution features of precipitation in China and their interannual variations. *Journal of Meteorological Research*, 17(2): 146–163.
- Zhang, K., Yao, Y., Qian, X., Wang, J. (2019). Various characteristics of precipitation concentration index and its cause analysis in China between 1960 and 2016. *International Journal of Climatology*, 39: 4648–4658. <https://doi.org/10.1002/joc.6092>

یادداشت‌ها

¹ Guo² Tolika³ Mondol⁴ Cortesi⁵ Darand and Pazhoh⁶ Nazeri⁷ Khalili⁸ Kaboli