



Golestan University



Journal of the Climate Change Research

Scientific Journal of Golestan University
Vol. 6, No. 24, Winter 2026



Spatiotemporal Analysis of Annual Rainfall Indices Trends in Southern Zagros

Parisa Yosefi¹, Mohammad Naji², Mostafa Karimi^{3*}, AliAkbar Shamsipour⁴,
Ghasem Azizi⁵

¹ PhD Candidate in Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: parisayosafi@ut.ac.ir

² PhD Candidate in Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, University of shahid beheshti, Tehran, Iran, Email: mohammad.naji@ut.ac.ir

³ Associate professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

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

⁵ Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: ghazizi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2025-07-11
Accepted: 2025-08-24

Keywords:
Drought
Iran
Mann-Kendall test
Precipitation changes
Water resources
management

ABSTRACT

Changes in climatic indices, particularly precipitation, provide valuable insights into the trend in climatic conditions. The southern Zagros region, due to its complex mountainous-plain characteristics and the high dependency of agricultural activities and water resources on rainfall, requires a comprehensive understanding of rainfall patterns and their temporal variations. This study aimed to investigate precipitation trends using eight annual precipitation indices across 61 meteorological stations over the 1978 to 2020. The trends were analyzed using the non-parametric Mann-Kendall test to evaluate rainfall changes and identify statistically significant changes. The results indicated that, precipitation trends, particularly in terms of the number of rainy and rainless days, generally tend toward a decrease in rainfall and an increase in drought conditions across the region. Specifically, 89% of the stations showed an increase in the number of rainless days, with 37% of stations exhibiting statistical significance. Furthermore, over 90% of the stations exhibited a decrease in the number of rainy days (>0.1 mm), with 42% showing statistically significant reductions. Light (0.1–10 mm) and moderate (10–20 mm) precipitation displayed decreasing trends at most stations. In some stations, a non-significant increasing trend in heavy and very heavy rainfall precipitation was observed, indicating an increase in the frequency of short-term, intense precipitation events. Overall, the annual precipitation trend declined at most stations, and maximum 24-hour precipitation also decreased in approximately 80% of the stations. These results highlight substantial alterations in regional precipitation patterns, and suggest an increased likelihood of droughts and flash floods, and emphasize the critical need for effective water resource management and mitigation strategies in the southern Zagros region.

Cite this article: Yosefi, P., Naji, M., Karimi, M., Shamsipour, A.A., Azizi, Gh. (2025). Spatiotemporal Analysis of Annual Rainfall Indices Trends in Southern Zagros. Journal of the Climate Change research, 6 (24), 41-56.



©The author(s)

Publisher: Golestan University
DOI: 10.30488/ccr.2025.534109.1292



تحلیل زمانی - مکانی روند تغییرات نمایه‌های بارش سالانه زاگرس جنوبی

پریسا یوسفی^۱، محمد ناجی^۲، مصطفی کریمی^۳، علی اکبر شمسی پور^۴، قاسم عزیزی^۵

^۱ دانشجوی دکتری آب‌هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: parisayosafi@ut.ac.ir

^۲ دانشجوی دکتری آب‌هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، رایانامه: mo_naji@sbu.ac.ir

^۳ دانشیار اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

^۴ دانشیار اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: shamsipr@ut.ac.ir

^۵ استاد اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: ghazizi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی	تغییر نمایه‌های اقلیمی به خصوص بارش، شناخت مفیدی از روند تغییر شرایط اقلیمی به دست می‌دهد. منطقه زاگرس جنوبی، با ویژگی‌های کوهستانی_دشتی و وابستگی بالای فعالیت‌های کشاورزی و منابع آبی آن به بارش، به‌طور ویژه نیازمند درک رژیم بارشی و روند تغییرات آن است. این پژوهش با هدف درک روند تغییر بارش با استفاده از هشت نمایه بارش سالانه در ۶۱ ایستگاه با دوره آماری ۱۹۷۸ تا ۲۰۲۰ انجام شد. روند تغییرات با بهره‌گیری از آزمون ناپارامتری من-کندال استخراج و جهت ارزیابی تغییرات بارش مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد، که در منطقه زاگرس جنوبی، روند تغییرات بارش به‌ویژه در نمایه تعداد روز بارشی و بدون بارش، اغلب به سمت کاهش بارش و افزایش خشکی است. چنانکه ۸۹ درصد از ایستگاه‌ها، افزایش در تعداد روز بدون بارش، را نشان داده‌اند که از این میان ۳۷ درصد از آن‌ها از نظر آماری معنادار بوده است. همچنین، در بیش از ۹۰ درصد از ایستگاه‌ها، روند کاهش در تعداد روزهای بارشی بیش از ۰٫۱ میلی‌متر مشاهده شد که این روند نیز در ۴۲ درصد از ایستگاه‌ها معناداری بوده است. بارش‌های سبک (۰٫۱ تا ۱۰ میلی‌متر) و متوسط (۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر) در بیشتر نقاط روندی کاهشی دارند. در تعدادی از ایستگاه‌ها روند افزایشی غیر معنی دار بارش‌های سنگین و فوق‌سنگین مشاهده شد، که می‌تواند بیانگر افزایش رویداد بارشی کوتاه‌مدت و شدید باشد. در کل می‌توان گفت، روند کلی بارش سالانه در بیشتر ایستگاه‌ها کاهشی بوده و کاهش در بیشینه بارش ۲۴ ساعته نیز در ۸۰ درصد ایستگاه‌ها مشاهده شد. این نتایج حاکی از تغییرات جدی در الگوی بارش منطقه و افزایش احتمال بروز خشکسالی و سیلاب ناگهانی است که مدیریت مؤثر منابع آبی به هدف کاهش خسارات محتمل در این منطقه را ضروری می‌سازد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳	
واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال تغییرات بارش خشکسالی مدیریت منابع آبی ایران	

استناد: یوسفی، پریسا؛ ناجی، محمد؛ کریمی، مصطفی؛ شمسی پور، علی اکبر؛ عزیزی، قاسم (۱۴۰۴). تحلیل زمانی - مکانی روند تغییرات نمایه‌های بارش سالانه زاگرس جنوبی. نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۶ (۲۴)، ۵۶-۴۱.



مقدمه

نوسان و تغییرپذیری، از ویژگی‌های اصلی عناصر اقلیمی به‌شمار می‌روند (یوسفی، ۱۳۹۰: ۲۵). در این میان، بارش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی، نقشی بنیادین در پایداری اکولوژیکی و حیات انسانی دارد (یانگ و همکاران^۱، ۲۰۱۷: ۲۸۳؛ ستاری و همکاران، ۱۴۰۳: ۳۲). تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش به دلیل اثرات مستقیم آن بر وضعیت محیطی، منابع آب، کشاورزی، و امنیت غذایی، همواره مورد توجه پژوهشگران علوم محیطی، به‌ویژه متخصصان هواشناسی و اقلیم‌شناسی قرار گرفته است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲). (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲). علاقه گسترده به تحلیل بلندمدت بارش، ناشی از نیاز به ارزیابی تغییرات اقلیمی و اثرات آن در مقیاس‌های فضایی مختلف است (سایم‌الزمان و جا^۲، ۲۰۱۴: ۱۸۳). بررسی و شناخت تغییرپذیری بارش از دو منظر زمانی و مکانی همواره حائز اهمیت بوده است (جاوری، ۱۳۸۰: ۲۰). منابع آب به‌عنوان مهم‌ترین چالش تغییرات بارش ناشی از تغییر اقلیم در پژوهش‌های داخلی مورد توجه قرار گرفته (یاری زنگه و همکاران، ۱۴۰۴) که این خود ناشی از این امر است که درصد بالایی از تامین منابع آب کشور وابسته به بارش می‌باشد و هر نوسان در بارش، آن را دستخوش تغییر می‌کند.

الگوی زمانی و مکانی بارندگی در نتیجه تغییر اقلیم و گرمایش جهانی دستخوش تغییر گردیده است که این تغییر سبب ایجاد تنوع مکانی و زمانی بارندگی در سطح کره زمین (موحدی و سلطانیان، ۱۳۹۰: ۶۵). و از جمله ایران شده است (عزیزی و علیزاده، ۱۳۹۳: ۲۹۸). مطالعات تغییر اقلیم نشان می‌دهند که روند بارش در بسیاری از مناطق جهان در حال تغییر می‌باشد، اما این تغییرات به‌صورت یکنواخت نیست و به عوامل سیاره‌ای و منطقه‌ای وابسته است. روند تغییرات بارش مانند دما الگوی سیاره‌ای و محلی همسانی ندارد. مشخص شده است که ۳۲ درصد از

سطح سیاره زمین افزایش بارش و در مقابل ۲۱ درصد مساحت آن کاهش بارش در دو قرن اخیر را تجربه کرده‌اند (ناظری تهرودی، ۲۰۲۵: ۱) علاوه بر آن وجود دوره‌های تر و خشک سالانه نیز در تحلیل روند تغییرات بارش باید مدنظر قرار گیرد، همانطور که آگبو و همکاران (۲۰۲۵: ۱۷) نشان دادند استفاده از روش‌های شناسایی روند در دوره‌ی تر نتایج مناسب تری نسبت به دوره‌ی خشک به دست می‌دهد.

مطالعات متعددی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف (از تک ایستگاه تا ملی) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران پرداخته‌اند و نتایج آن‌ها گاه با تفاوت‌هایی محسوس بر شدت و گستردگی این تغییرات در مناطق مختلف کشور تأکید دارد. این مطالعات بیشتر متمرکز بر مقدار بارش و بارش‌های شدید بوده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به مطالعه تغییرات سالانه اولین بارش موثر در غرب کشور (کریمی و همکاران، ۱۳۹۹)، روند تغییرات نمایه‌های حدی بارش در استان خوزستان (هرمزی و همکاران، ۱۳۹۹: ۳۱۵)، تغییرات زمانی و مکانی و روند بارش در حوزه‌های آبخیز منتهی به کانون‌های گرد و غبار استان خوزستان (درگاهیان و لطفی نسب اصل، ۱۳۹۹: ۵۷)، تحلیل تغییرات شدت بارش روزانه و تعداد روزهای با بارش سنگین آستانه اشریفیه، گیلان (پورالخاص نوکنده ئی و همکاران، ۱۴۰۰: ۶۴)، تحلیل روندهای زمانی و مکانی بارش سالانه در ایران (رسولی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۰۵)، بررسی روند تغییرات بارش‌های حدی در استان تهران (احمدزاده و همکاران، ۱۴۰۱: ۱)، تغییرات زمانی-مکانی بارش در ایران با استفاده از داده‌های شبکه بندی (حلبیان، ۱۴۰۱: ۱۰۱)، بررسی روند تغییرات بارش شهر شیراز (به‌رروزی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۹)، تحلیل روند سیلابهای حداکثر در حوضه کرخه (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۹: ۴۳)، بررسی روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه‌های حوضه کارون بزرگ با استفاده از روش MK - TFPW (شاکریان و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۸۲)، تحلیل روند بارندگی و نمایه تمرکز بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریا

1 . Yang et al.
2 . Sayemuzzaman & Jha

چه ارومیه (میرزایی حسنلو و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۱)، بررسی روند تغییرات میانگین دما و بارش سالانه در ایران (شریفی و میرکریم، ۲۰۲۰: ۷۵۹)، تحلیل سری‌های زمانی بلندمدت فصل بارش در ایران (ثنایی و همکاران، ۱۳۹۹: ۶۱)، تحلیل مکانی روند بارش‌های سنگین فصلی و سالانه کشور (جوانشیری و عباسی، ۱۴۰۲: ۳۹)، روند تغییرات زمانی مکانی بارش پاییزه شمال غرب کشور (پناهی و همکاران، ۱۴۰۰: ۶۷)، واکاوی زمانی مکانی بارش‌های حدی مناطق غربی ایران (مظفری و شفیعی، ۱۳۹۵: ۷۷)، تغییرپذیری زمانی مکانی بارش‌های حدی در ایران (رورده و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۵) و مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر (عزیزی و روشن، ۱۳۸۷: ۱۳) اشاره کرد.

مطالعات تغییر اقلیم و روند تغییر بارش با روش و داده‌های متفاوت و در نواحی مختلف انجام گرفته است. یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای تحلیل روند بارش در مطالعات اقلیمی استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال می‌باشد. از جمله تحقیقات بین‌المللی که از این آزمون در تحلیل بارش استفاده کرده‌اند می‌توان به تحلیل روند بارش در بخش شمال شرقی کاتاک، اوريسا (مندال و همکاران، ۲۰۱۲: ۷۰)، ارزیابی متغیرهای زمانی مکانی بارش در مغولستان (کیم و همکاران، ۲۰۱۱: ۹۱۷)، بررسی روندهای فضایی و زمانی بارش در فلات لس چین (وان و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۲) و تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی بارش‌های سیل‌آسا در حوضه رودخانه سند (هارتمن و آندرسکی، ۲۰۱۳: ۲۵)، کاربرد آزمون من-کندال اصلاح شده در تحلیل روند بارش (صاحبی و همکاران، ۱۴۰۳: ۲۳) و تحلیل مخاطرات بارش‌های سنگین استان کرمانشاه به روش من کندال (جمال پور و همکاران، ۱۴۰۰: ۸۱)، اشاره کرد. در کنار این مطالعات، روش‌های آماری دیگری همچون تحلیل هارمونیک، شیب سن، من ویتنی، رگرسیون و تحلیل طیفی نیز در بررسی روند بارش به کار رفته‌اند (فریرا و ربویتا، ۲۰۲۲: ۸۷۳).

موقعیت جغرافیایی و اقلیمی ایران، با قرارگیری بخش‌های وسیع کشور در کمربند خشک و نیمه‌خشک، باعث محدودیت بارندگی سالانه در بسیاری مناطق شده است. به دلیل اقلیم خشک و نیمه‌خشک، رژیم بارشی ایران از نوسانات و تغییرات چشمگیری برخوردار است. تغییرات جزئی در الگوهای گردش جوی جهانی می‌تواند منجر به ناهنجاری‌های شدید آب‌وهوایی در کشور شود (کریمی و همکاران، ۱۴۰۰: ۵۱). از طرفی وجود ارتفاعات متعدد با تنوع در جهت‌گیری، باعث ناهمگونی شدید شرایط اقلیمی شده که این ناهمگونی ناشی از تعامل پیچیده ارتفاعات با سامانه‌های جوی و تأثیر آن بر تغییرات مکانی و زمانی بارش است و نقش تعیین‌کننده‌ای در توزیع نابرابر منابع آب در ایران دارد (یوسفی، ۱۳۹۸: ۳۱). این تفاوت‌ها از یک سو مربوط به ماهیت فضایی بارش به‌عنوان متغیری ناپایدار و دارای نوسانات مکانی قابل توجه است که در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای توزیع نامتقارن دارد. از سوی دیگر، تنوع منابع و مکانیسم‌های ایجاد بارش در مناطق مختلف ایران، موجب تفاوت الگوی زمانی و مقدار بارش در هر ناحیه شده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۳). در این میان، منطقه زاگرس جنوبی، به‌ویژه با توجه به توپوگرافی خاص و اثرپذیری از سامانه‌های باران‌زای غربی، سودانی و گردش پرفشار جنب‌حاره‌ای، تنوع اقلیمی چشمگیری دارد که در قالب نوسانات شدید درون‌سالی و برون‌سالی بارش ظاهر می‌شود (یوسفی، ۱۳۹۸: ۳۲). این تغییرپذیری‌ها، اثرات مستقیم بر بهره‌برداری و معیشت، به‌ویژه کشاورزی دیم و دامپروری کوچ‌نشینانی دارد و مدیریت منابع را دشوار می‌سازد.

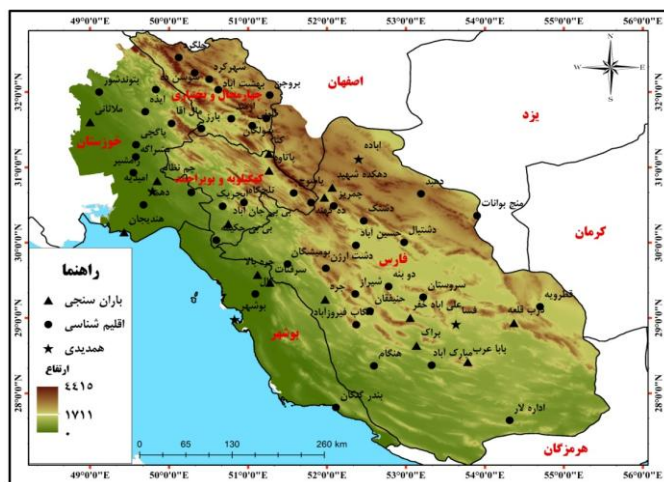
اگرچه مطالعات متعددی در زمینه تحلیل روند بارش در ایران انجام شده‌اند، اما این پژوهش‌ها در مقایسه‌های مکانی متنوع یا ایستگاه محدود و مطالعه محلی بوده و یا به مناطق خاصی از کشور محدود شده‌اند و بازه‌های زمانی مختلفی را مدنظر قرار داده‌اند. در ارتباط با منطقه مورد مطالعه پژوهش (زاگرس جنوبی) بیشتر در مطالعاتی که در مقیاس

و عرض‌های جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی قرار دارد. این محدوده، استان‌های فارس، کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر، بخش‌هایی از چهارمحال و بختیاری (شهرکرد)، خوزستان و نواحی جنوبی استان اصفهان را در بر می‌گیرد. دامنه‌های جنوب‌غربی و غربی زاگرس در این منطقه گسترده شده‌اند، به‌گونه‌ای که از سمت شمال به زاگرس مرتفع و از سمت جنوب تا سواحل خلیج فارس امتداد دارند. محدوده مطالعاتی در دامنه ارتفاعی ۰ تا ۴۴۲۰ متری واقع شده و با توجه به جهت‌گیری کوه‌های زاگرس، روند شمال‌غرب - جنوب‌شرقی دارد. نواحی کم‌ارتفاع‌تر این محدوده شامل سواحل بوشهر و بخش‌هایی از دشت خوزستان است که به‌عنوان پایین‌ترین بخش‌های منطقه شناسایی می‌شوند. از دشت خوزستان که بخشی از زاگرس چین‌خورده است، با حرکت به‌سمت شمال‌شرق، وارد بخش‌های زاگرس چین‌خورده و نهایتاً زاگرس مرتفع خواهیم شد (تخت اردشیر، ۱۳۹۱: ۳۸). این منطقه در محدوده‌ی دو حوضه آبریز اصلی خلیج فارس و ایران مرکزی قرار گرفته است و شامل زیرحوضه‌های مهمی نظیر کارون، جراحی، زهره، حله‌رود، حوضه‌ی مند، کرخه، حوضه‌ی مرزی غرب، گاوخونی و مهارلو می‌باشد. این زیرحوضه‌ها منابع تغذیه‌ای اصلی رودخانه‌های این ناحیه را تأمین می‌کنند و نقش مهمی در چرخه آب و تأمین منابع آبی این منطقه ایفا می‌کنند (انصاری، ۱۳۸۲: ۵۱)

ملی انجام شده است چند ایستگاه محدود و اصلی این منطقه مورد بررسی قرار گرفته است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶) و اکثر این پژوهش‌ها تنها متغیر بارش سالانه یا ماهانه را به‌عنوان نمایه مورد بررسی مدنظر داشته‌اند. زاگرس جنوبی با این که منطقه با اهمیت در تولیدات کشاورزی و دامی کشور است و ارتفاعات آن نقش اصلی در تأمین منابع آب منطقه دارند، مطالعه‌ای جامع با پوشش زمانی بلندمدت و بررسی هم‌زمان نمایه‌های متنوع بارشی در آن صورت نگرفته است. از سوی دیگر، تنوع توپوگرافی و اقلیمی این منطقه باعث شده که تحلیل روندهای بارشی با ملاحظات گفته شده در بالا نتوانسته تصویر کاملی از وضعیت موجود ارائه دهد. انتظار می‌رود پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های ۴۲ ایستگاه طی دوره‌ای ۴۲ ساله و تحلیل نمایه‌های مختلف بارش (از روزهای خشک تا بارش‌های فوق‌سنگین)، بتواند این خلأ پژوهشی را تکمیل نموده و مبنایی علمی برای تصمیم‌سازی دقیق در زمینه مدیریت منابع آب و سازگاری با تغییرات اقلیمی در این ناحیه فراهم نماید. بنابراین، هدف این پژوهش، شناسایی و تحلیل رژیم بارشی و تغییرات مرتبط با آن‌ها است تا ارائه یافته‌های علمی آن، در بهبود مدیریت منابع آبی استفاده شود.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل بخش‌هایی از جنوب و جنوب غربی ایران است که بین طول‌های جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه، موقعیت و نوع ایستگاه مورد استفاده در پژوهش.

داده‌ها و روش پژوهش

پژوهش حاضر، تحقیقی تجربی مبتنی بر روش‌های کمی، با هدف بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی بارش در منطقه زاگرس جنوبی طی دوره ۱۹۷۸ تا ۲۰۲۰ است. برای دست‌یابی به هدف، تحلیل‌ها در چهارگام انجام گردیده است. در گام نخست به منظور تهیه مجموعه داده‌های همگن و قابل تحلیل برای دوره بلندمدت ۱۹۷۸-۲۰۲۰، داده‌های روزانه بارش از ۴ ایستگاه همدیدی و ۴۲ ایستگاه اقلیم‌شناسی (سازمان هواشناسی کشور) و ۱۵ ایستگاه بارانسنجی (وزارت نیرو) در محدوده زاگرس جنوبی گردآوری شدند.

در گام بعدی نمایه‌های اقلیمی بارش محاسبه و استخراج شدند. در این مرحله، با هدف کمی‌سازی الگوهای بارش، نمایه‌های بارشی متعددی استخراج شد. این نمایه‌ها شامل: تعداد روزهای بدون بارش (بارش = صفر)، تعداد روزهای بارشی (بارش > 0.1 میلی‌متر)، مقدار کل بارش سالانه، حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه و شدت بارش در ۴ دسته؛ بارش سبک: 0.1 تا 10 میلی‌متر، بارش متوسط: 10 تا 20 میلی‌متر، بارش سنگین: 20 تا 30 میلی‌متر، می‌باشد (یوسفی، ۱۳۹۸: ۷۸). داده‌های روزانه ایستگاه‌ها، پس از پردازش، بر اساس نمایه‌های فوق در مقیاس سالانه طبقه‌بندی شدند.

یکی از رویکردهای اصلی در تحلیل سری‌های زمانی بارش، استفاده از آزمون‌های آماری برای شناسایی وجود یا عدم وجود روند است. این روش‌ها به دو دسته کلی پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شوند که در میان آن‌ها، روش‌های ناپارامتری به دلیل انعطاف و کاربرد بیشتر، برتری دارند (یوسفی، ۱۳۹۸: ۳۴). بنابراین در مرحله بعد به منظور شناسایی روندهای معنادار افزایشی یا کاهش‌ی نمایه‌های بارشی، از آزمون ناپارامتریک من-کندال (Mann-Kendall) استفاده شد. این آزمون به دلیل غیرپارامتریک بودن، برای داده‌های اقلیمی با توزیع‌های غیر نرمال مناسب است و در تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی کاربرد فراوانی دارد (خالد، ۲۰۰۸؛ ملکی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). معیار معناداری روندها، آماره Z بود. در صورتی که مقدار $|Z|$ بیش از 1.96 باشد، روند با سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار تلقی می‌شود. نتایج روندهای افزایشی یا کاهش‌ی برای هر نمایه در همه ایستگاه استخراج شد. در نهایت برای نمایش و تفسیر تفاوت‌های مکانی در الگوهای تغییر بارش و نمایه‌های بارشی نتایج تحلیل روند تغییرات به صورت نقشه‌های مکانی تولید شدند. این نقشه‌ها امکان تحلیل مکانی الگوهای تغییرات بارش و نمایه‌های محاسبه شده را در منطقه مورد مطالعه فراهم ساختند. در پژوهش حاضر، مقادیر و نمایه روزهای بارش بر اساس نمایه‌های زیر دسته‌بندی شده است (جدول ۱).

جدول ۱: دسته‌بندی نمایه‌های بارش (یوسفی، ۱۳۹۸: ۷۸)

بارش = صفر	روزهای بدون بارش (خشک)
بارش‌های بیشتر از 0.1 میلی‌متر	روزهای بارشی
بارش‌های 0.1 تا 10 میلی‌متر	بارش سبک
بارش‌های 10 تا 20 میلی‌متر	بارش متوسط
بارش‌های 20 تا 30 میلی‌متر	بارش سنگین
بارش‌های بیشتر از 30 میلی‌متر	بارش‌های فوق سنگین
مقدار بارش سالانه	مقدار کل بارش سالانه ثبت شده در ایستگاه
حداکثر بارش ۲۴ ساعته	بالاترین مقدار بارش روزانه در سال

بر پایه رتبه‌بندی داده‌ها در سری‌های زمانی بنا شد. این آزمون به‌عنوان یکی از رایج‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند در سری‌های هیدرولوژیکی و

آزمون من-کندال: آزمون من-کندال ابتدا در سال ۱۹۴۵ توسط من و سپس در سال ۱۹۴۸ توسط کندال به منظور تحلیل روندهای زمانی توسعه یافت و

تحلیل روند تغییرات نمایه‌ها بارش سالانه می‌تواند از طریق روش‌های مختلفی همچون نمایه‌های با مقیاس زمانی یا تحلیل فراوانی انجام شود. این تحلیل‌ها بر اساس مقدار بارش بوده و در مقیاس سالانه انجام شده است تا امکان بررسی دقیق‌تر تغییرات سالانه فراهم گردد.

روند تعداد روزهای بدون بارش (روزهای خشک):

تحلیل روند تغییرات روزهای بدون بارش در مقیاس سالانه نشان می‌دهد که تعداد این روزها روند افزایشی داشته است (شکل ۲ الف). به طوری که در حدود ۸۹ درصد از ۶۲ ایستگاه مورد بررسی، فراوانی روزهای بدون بارش با روند افزایشی همراه بوده است. نتایج حاکی از آن است که در ۳۷ درصد از ایستگاه‌ها این روند افزایشی از نظر آماری معنادار و در ۵۲ درصد دیگر غیرمعنادار است. تحلیل توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از این ایستگاه‌ها در مناطق غربی و شمال غربی متمرکز هستند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در حدود ۱۱ درصد ایستگاه‌ها، تعداد روزهای بدون بارش روند کاهشی داشته، اگرچه این کاهش از نظر آماری معنادار نبوده است. با این حال، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که در بخش‌های شمالی منطقه، به ویژه نواحی شمال غربی زاگرس جنوبی، تعداد روزهای خشک و بدون بارش روند افزایشی داشته است. این افزایش در فراوانی روزهای خشک به صورت تمرکز یافته در نواحی جنوبی و شرقی منطقه مشاهده می‌شود، در حالی که بخش‌های داخلی این روند را به صورت پراکنده نشان می‌دهند.

روند تعداد روزهای بارشی:

در تحلیل روند سالانه تعداد روزهای بارشی، نتایج نشان می‌دهد که اکثر مناطق مورد بررسی دارای روند کاهشی در تعداد روزهای بارشی هستند (شکل ۲ ب). این کاهش در بسیاری از ایستگاه‌ها مشهود بوده و نشان‌دهنده تغییرات منفی در الگوی بارش‌های منطقه‌ای است. با این حال، در تعداد محدودی از ایستگاه‌ها روند صعودی مشاهده شده که اکثر آنها غیرمعنادار است. از میان تمامی ایستگاه‌ها، تنها ایستگاه بروجن دارای

هواشناسی شناخته می‌شود و تاکنون در پژوهش‌های بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است. در این آزمون، فرض صفر نشان‌دهنده تصادفی بودن داده‌ها و عدم وجود روند در سری زمانی است؛ در مقابل، رد فرض صفر (پذیرش فرض یک) بیانگر وجود روند در داده‌ها خواهد بود. این روش امکان شناسایی تغییرات در داده‌ها و تعیین نوع و زمان آن‌ها را فراهم می‌کند. سازمان جهانی هواشناسی (WMO) در سال ۱۹۸۸ این آزمون را برای ارزیابی معناداری روندهای سری‌های اقلیمی پیشنهاد کرد و از آن زمان تاکنون در مطالعات مختلف اقلیمی به طور گسترده‌ای به کار گرفته شده است. در واقع آزمون من-کندال یک روش آماری معتبر برای تحلیل روند در سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی است و به طور گسترده در تعیین و ارزیابی روندهای تغییرات اقلیمی و پارامترهای جوی به کار می‌رود (ملکی نژاد و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۵). آماره S در آزمون من-کندال به شکل زیر تعریف می‌شود (حجام و همکاران، ۱۳۷۸: ۱۵۹):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_i - x_k) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن x_k و x_j میزان مرتب شده و n تعداد نمونه است. تابع علامت نیز به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۲}$$

میانگین و انحراف معیار توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad \text{رابطه ۳}$$

نهایتاً آماره Z توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌گردد:

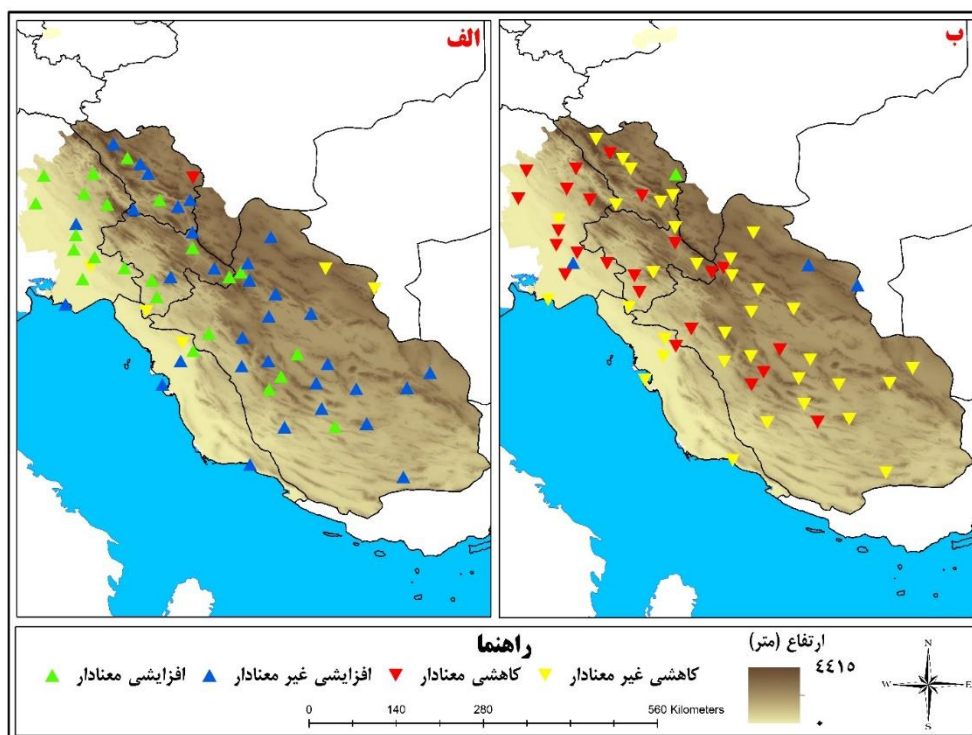
$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

چنانچه مقدار Z بزرگتر از ۱,۹۶ و یا کوچک‌تر از -۱,۹۶ باشد، داده‌ها دارای روند می‌باشند و فرض صفر رد می‌شود در غیر این صورت داده‌ها بدون روند هستند.

نتایج

به‌ویژه در بخش‌های پربارش شمال‌غرب و غرب منطقه، به‌صورت آماری معنادار و چشمگیر است. در مقابل، در سایر بخش‌های منطقه، به‌ویژه در نواحی پراکنده، روند کاهشی بارندگی کمتر است، اما افزایش تعداد روزهای بدون بارش مشهود بوده و بر فراوانی روزهای خشک افزوده شده است. همچنین، در بخش‌هایی از جنوب، مرکز و شرق منطقه که عمدتاً با اقلیم خشک و نیمه‌خشک مشخص می‌شوند، روزهای بارشی با روند کاهشی غیرمعنادار همراه بوده‌اند.

روند افزایشی معناداری در فراوانی روزهای بارشی بوده است. این افزایش معنادار در بروجن می‌تواند ناشی از عوامل اقلیمی خاص منطقه یا تغییرات ریزاقلیمی محلی باشد که مستلزم بررسی‌های دقیق‌تری است. به‌طور کلی، تحلیل مکانی روند تغییرات بارش در منطقه نشان می‌دهد که ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در نواحی شمال‌غرب، غرب و نیمه شمالی منطقه به‌صورت متمرکز و معناداری کاهش تعداد روزهای بارشی را ثبت کرده‌اند. این کاهش بارندگی



شکل ۲: توزیع فضایی روند تغییرات نمایه‌های بارش سالانه در زاگرس جنوبی
(الف: تعداد روزهای بدون بارش، ب: تعداد روزهای بارشی)

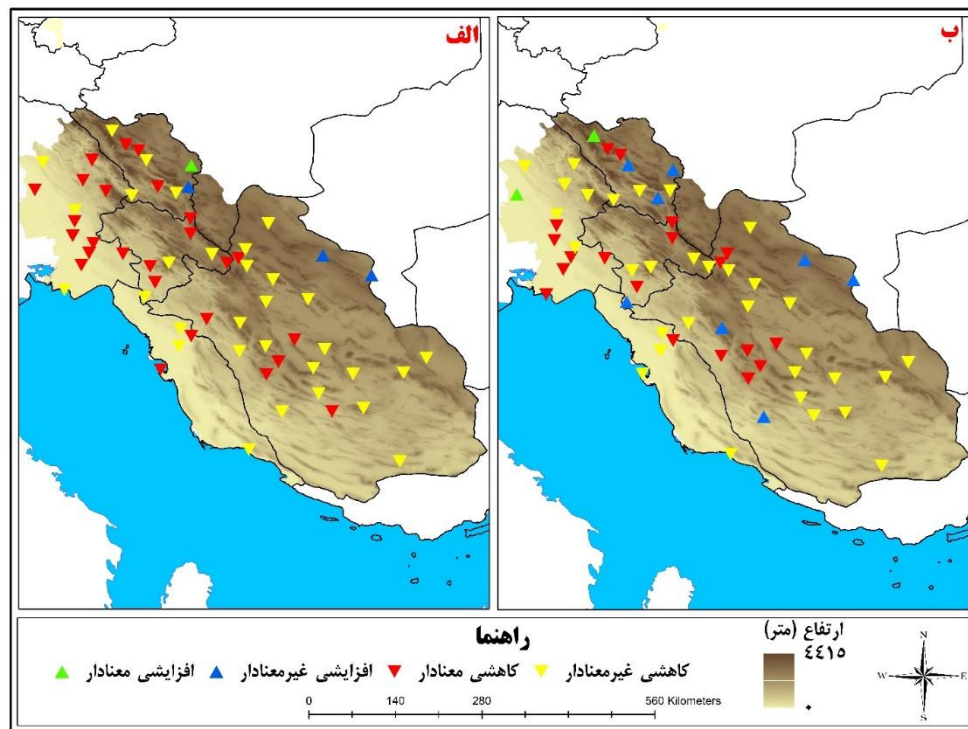
غیرمعنادار هستند. در این میان، تنها ۲ ایستگاه در شمال منطقه شامل منج بوانات و دهبند و ۲ ایستگاه در نواحی شمال‌شرقی منطقه، شامل بروجن و آلونی، روند افزایشی در تعداد روزهای بارش بیشتر از ۱/۰ میلی‌متر را نشان داده‌اند که سهم این ایستگاه‌ها تقریباً ۶ درصد از کل ایستگاه‌های مورد مطالعه است. این روند افزایشی، به‌جز ایستگاه بروجن که در تمامی نمایه‌های مورد بررسی روند افزایشی معنادار در فراوانی روزهای بارشی را ثبت کرده، در سایر

روند تعداد روزهای بارشی (بیش از ۱/۰ میلی‌متر): تحلیل روند تعداد روزهای با بارش بیش از ۱/۰ میلی‌متر سالانه نشان می‌دهد که اکثر ایستگاه‌ها در منطقه، مشابه نمایه روزهای بارشی، روندی کاهشی در تعداد روزهای بارش ثبت کرده‌اند (شکل ۳ الف). بر اساس نتایج، ۹۴ درصد از ایستگاه‌ها روند کاهشی در تعداد روزهای بارش بیشتر از ۱/۰ میلی‌متر نشان داده‌اند که از این مقدار، حدود ۴۲ درصد دارای روند کاهشی معنادار و ۵۲ درصد دیگر دارای روند کاهشی

حاکی از کاهش گسترده در بارش‌های سبک در بخش وسیعی از منطقه است؛ با این حال، افزایش در این نوع بارش‌ها به صورت محدود و تک ایستگاهی در نواحی شرقی، شمال شرقی، و برخی مناطق مرکزی، غربی و جنوب غربی منطقه مشاهده می‌شود. از میان ایستگاه‌هایی که روند افزایشی را نشان می‌دهند، تنها در ایستگاه‌های مال ثانی ۰ و چلگرد این روند به صورت معنادار ثبت شده و سایر ایستگاه‌های افزایشی فاقد معناداری آماری هستند. این نتایج به ویژه از دیدگاه اقلیم‌شناسی و مدیریت منابع آب حائز اهمیت است، زیرا کاهش در فراوانی بارش‌های سبک می‌تواند نشانه‌ای از تغییرات در الگوهای بارش و افزایش احتمال وقوع دوره‌های خشکسالی کوتاه مدت باشد.

ایستگاه‌ها از نظر آماری معنادار نبوده است. این نتایج، روند کاهش فراوانی روزهای بارش را در بخش عمده‌ای از منطقه را آشکار می‌سازد و بر احتمال وقوع شرایط خشکسالی و تغییر در الگوهای بارش در این نواحی دلالت دارد.

روند تعداد روزهای بارش سبک (۰٫۱ تا ۱۰ میلی متر): بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای بارشی با مقادیر بین ۰٫۱ تا ۱۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های منطقه نشان می‌دهد که اغلب ایستگاه‌ها، حدود ۸۴ درصد، روندی کاهش‌ی را در بارش‌های سبک تجربه کرده‌اند (شکل ۳ ب). از میان این ایستگاه‌ها، ۲۴ درصد روند کاهش‌ی معنادار و ۶۰ درصد دیگر روند کاهش‌ی غیرمعنادار نشان داده‌اند. توزیع مکانی این تغییرات



شکل ۳: توزیع فضایی روند تغییرات نمایه‌های بارش سالانه در زاگرس جنوبی
(الف: تعداد روزهای بارشی بیشتر از ۰٫۱ میلی متر، ب: تعداد روزهای بارش سبک)

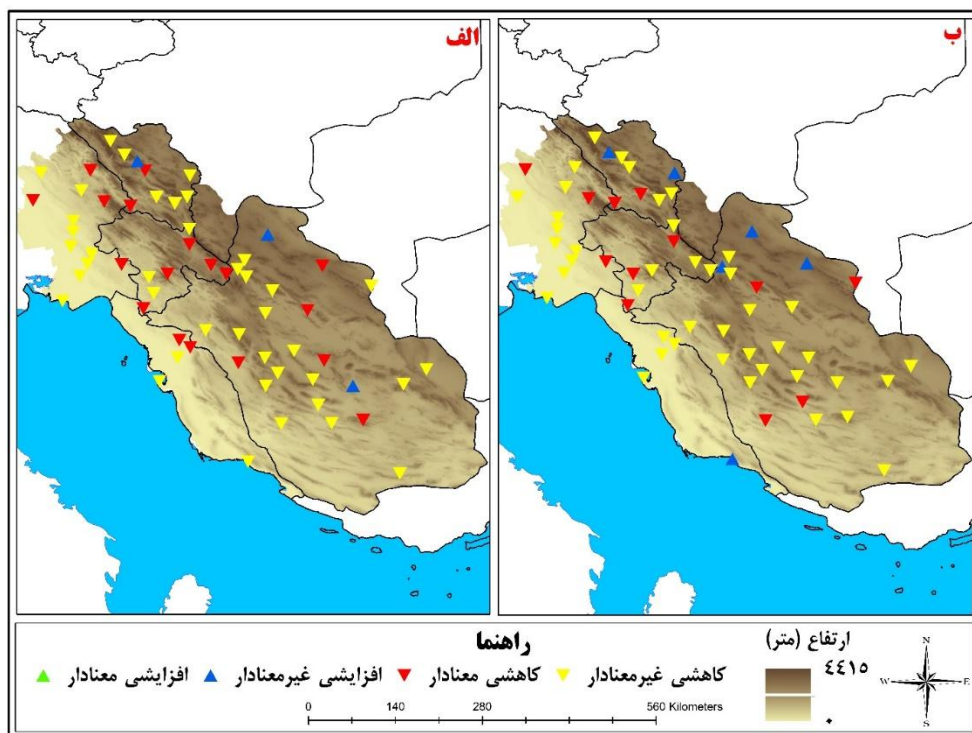
۴ الف). داده‌ها حاکمی از آن است که حدود ۹۵ درصد ایستگاه‌ها کاهش در تعداد روزهای بارش بین ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر را نشان می‌دهند. در مقابل، تنها در حدود ۵ درصد از ایستگاه‌ها، شامل ایستگاه‌های آباده، شهرکرد و فسا، روند افزایشی در این دسته از روزهای بارش

روند تعداد روزهای بارش متوسط (۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر): تحلیل روند سالانه تعداد روزهای بارش متوسط (بین ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر) نشان می‌دهد که در اکثر ایستگاه‌ها، روند کاهش‌ی در این دسته از بارش‌ها مشابه نمایه‌های روزهای بارشی مشاهده می‌شود (شکل

ایستگاه بررسی شده، ایستگاه‌های آباد، دهبید، یاسوج، آلونی، بندر کنگان و سوسن‌ده گرچه روند افزایشی در فراوانی روزهای بارش سنگین را نشان می‌دهند، اما این افزایش از نظر آماری معنادار نیست. به‌طور کلی، بارش‌های سنگین در منطقه به‌صورت سالانه، به‌جز موارد پراکنده در نواحی شمال و شرق، کاهش یافته و در سطح کل منطقه، تعداد روزهای دارای بارش سنگین کاهش یافته است.

مشاهده شده است. بررسی توزیع مکانی تغییرات میانگین بارش نیز تأیید می‌کند که روند کاهش بارش در گستره‌ی وسیعی از منطقه مشهود است.

روند تعداد روزهای بارش سنگین (۳۰ تا ۲۰ میلی متر): بررسی روند تغییرات روزهای بارشی با شدت ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر نشان می‌دهد که فراوانی روزهای بارش سنگین در بیشتر ایستگاه‌های مطالعه شده دارای روندی کاهش است (شکل ۴ ب). از میان ۶۲



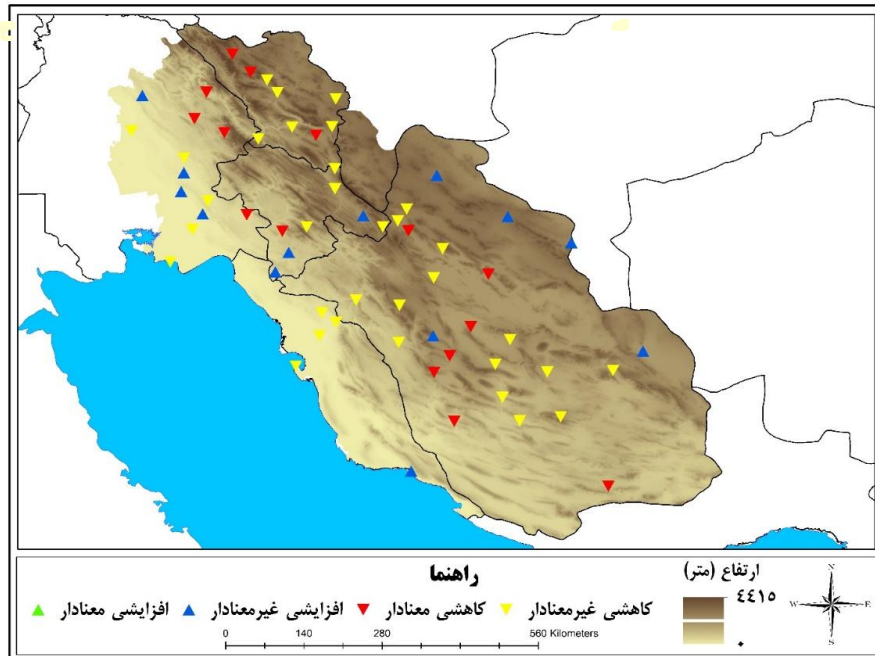
شکل ۴: توزیع فضایی روند تغییرات نمایه‌های بارش سالانه در زاگرس جنوبی
(الف: تعداد روزهای بارش متوسط، ب: تعداد روزهای بارش سنگین)

جنوبی مشاهده می‌شود. از این مقدار، ۲۲ درصد دارای روند کاهش معنادار هستند و مابقی روند کاهش غیرمعنادار دارند. برای نقاطی با روند افزایشی غیرمعنادار، می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه تعداد روزهای بارشی لزوماً افزایش نیافته، اما تمایل این بارش‌ها به سمت رویدادهای سیلابی و کوتاه‌مدت بیشتر شده است. این امر نشان‌دهنده تشدید بارش‌های شدید و کوتاه‌مدت به جای بارش‌های متداول و پراکنده است که می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر پایداری منابع آبی، مدیریت رواناب، و

روند تعداد روزهای بارش فوق سنگین (بیش از ۳۰ میلی‌متر): بررسی روند تغییرات روزهای بارشی با شدت بیشتر از ۳۰ میلی‌متر در (شکل ۵) نشان داده شده است. بخش عمده‌ای از منطقه روند کاهش در تعداد روزهای بارشی را نشان می‌دهد. حدود ۲۰ درصد از ایستگاه‌ها، روند افزایشی در تعداد روزهای بارش فوق سنگین را تجربه کرده‌اند که بیانگر تغییر در الگوی بارش‌های منطقه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مقدار روند کاهش در تعداد روزهای بارش، در نواحی شمال شرقی و مرکز زاگرس

در حوزه‌های کشاورزی و منابع آب در منطقه زاگرس جنوبی به همراه داشته باشد.

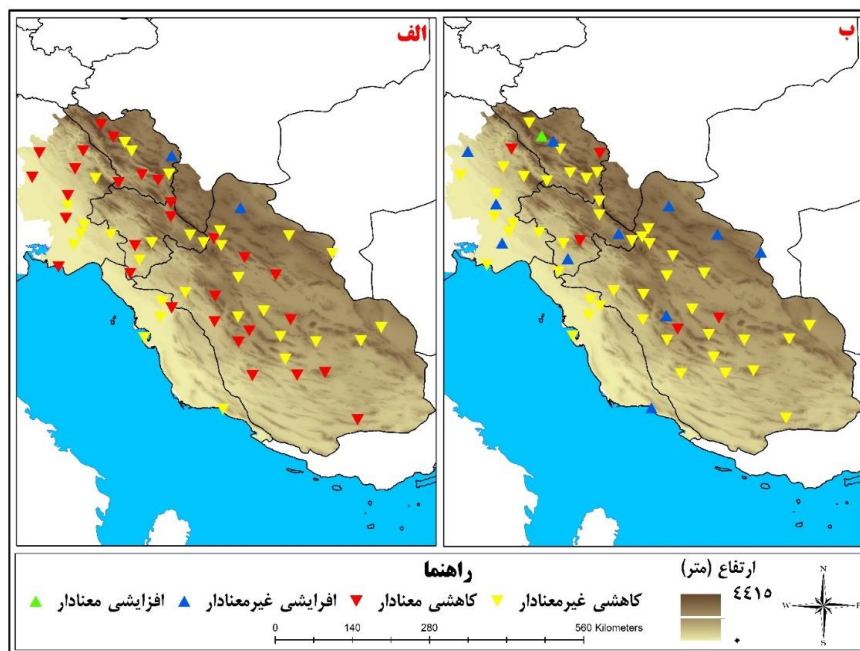
مخاطرات سیلابی در منطقه داشته باشد. این تغییرات در توزیع و شدت بارش‌ها در مناطق مختلف، می‌تواند پیامدهای مهمی برای مدیریت منابع طبیعی، به ویژه



شکل ۵: توزیع فضایی روند تغییرات نمایه‌های بارش سالانه در زاگرس جنوبی (تعداد روزهای بارش فوق سنگین)

که این الگو با نمایه بارش سالانه تفاوت دارد؛ در نمایه بارش سالانه، حدود نیمی از ایستگاه‌های منطقه دارای روند کاهش معنادار هستند. در نمایه بیشینه بارش ۲۴ ساعته، تنها حدود ۱۰ درصد ایستگاه‌ها روند کاهش معنادار و ۷۰ درصد از آن‌ها روند غیرمعنادار را نشان می‌دهند. بررسی موقعیت مکانی ایستگاه‌های دارای روند افزایشی (۲۰ درصد) در نمایه افزایش مقدار بارش ۲۴ ساعته، تمرکز این ایستگاه‌ها را در نواحی غرب و شمال غرب منطقه، در بخش‌های جنوبی ارتفاعات زاگرس میانی آشکار می‌سازد. وجود روند افزایشی در این ایستگاه‌ها احتمالاً مشابه الگوهای است که برای بارش‌های بالای ۳۰ میلی‌متر در منطقه مشاهده شده است (شکل ۶ب).

روند مقدار بارش سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته: تحلیل نمایه روند بارش سالانه در منطقه زاگرس جنوبی نشان می‌دهد که این منطقه به‌طور کلی با کاهش در مقادیر بارش سالانه مواجه بوده است. نتایج حاصل از بررسی ایستگاه‌های منطقه نشان می‌دهد که به جز دو ایستگاه آباده و بروجن، سایر ایستگاه‌ها روند کاهش در مقادیر بارش سالانه را ثبت کرده‌اند. از میان این ایستگاه‌ها، نزدیک به نیمی از آن‌ها کاهش معنادار آماری را نشان داده‌اند، در حالی که در سایر ایستگاه‌ها، این کاهش از نظر آماری معنادار نبوده است (شکل ۶ الف). تحلیل روند سالانه بیشینه بارش ۲۴ ساعته نشان می‌دهد که در حدود ۸۰ درصد از ایستگاه‌ها، روند کاهش مشاهده می‌شود،



شکل ۶: توزیع فضایی روند تغییرات نمایه‌های بارش سالانه در زاگرس جنوبی (الف: مقدار بارش سالانه، ب: مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته)

بحث

مطالعه تغییرات زمانی و مکانی بارش سالانه دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا بارش یکی از اصلی‌ترین عوامل کنترل‌کننده اقلیم و منابع آبی یک منطقه به‌شمار می‌آید. تغییرات زمانی و مکانی در الگوهای بارش می‌توانند اثرات مستقیم و غیرمستقیمی بر وضعیت منابع آب، کشاورزی، زیست‌بوم‌ها، و همچنین رخدادهای اقلیمی مانند سیل و خشکسالی داشته باشند. در زاگرس جنوبی، وابستگی شدید فعالیت‌ها به بارش به‌عنوان یک عنصر اقلیمی کلیدی و نیز تنوع توپوگرافی و شرایط کوهستانی-دشتی، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری الگوهای اقلیمی و سبک‌های زندگی متنوع در این منطقه ایفا می‌کند. لذا، درک دقیق این تغییرات و الگوهای بارشی برای مدیریت منابع آب و پیش‌بینی شرایط اقلیمی در این منطقه ضروری است. یک نکته حائز اهمیت که در پژوهش‌های پیشین به‌ندرت مورد توجه قرار گرفته، لزوم بررسی دوره‌های مطالعاتی بلندمدت در تحلیل تغییرپذیری زمانی بارش سالانه است. بسیاری از تحقیقات موجود عمدتاً بر روی بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت متمرکز شده‌اند که ممکن است نتایج

حاصل از آن‌ها قابلیت تعمیم به الگوهای بلندمدت و تغییرات اقلیمی را نداشته باشد. نتایج تحلیل نمایه‌های بارشی در مقیاس سالانه و بررسی نقشه‌های مربوط به تعداد روزهای بارشی، مقدار بارش سالانه، و بیشینه بارش در دوره ۲۴ ساعته نشان می‌دهد که تعداد روزهای بدون بارش (روزهای خشک) در حال افزایش است. این افزایش تعداد روزهای خشک به‌طور مستقیم با کاهش فراوانی روزهای بارشی و مقدار بارش سالانه و همچنین مقدار بارش ۲۴ ساعته مرتبط است. این تغییرات الگوهای بارشی می‌تواند نشانه‌ای از روندهای اقلیمی بلندمدت باشد که بر روی منابع آبی، کشاورزی، و اکوسیستم‌های محلی تأثیر می‌گذارد. با توجه به اینکه افزایش روزهای خشک می‌تواند منجر به تشدید بحران‌های آبی و کاهش کیفیت خاک گردد. هرچند تحلیل‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که بیشترین حالت، مربوط به روند کاهش غیرمعمول در مقادیر بارش است، اما در بین گروه‌های مختلف بارشی، بالاترین روند افزایشی (اعم از معنادار و غیرمعمول) به بارش‌های سبک، به‌ویژه در دامنه ۰٫۱ تا ۱۰ میلی‌متر و همچنین بارش‌های بین ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر (که به‌عنوان بارش‌های سنگین شناخته

می‌شوند) و بارش‌های بالاتر از ۳۰ میلی‌متر تعلق دارد. اگرچه تعداد روزهای بارشی کاهش یافته و به نسبت آن بر تعداد روزهای خشک افزوده شده است، اما مقدار و فراوانی روزهای بارش سالانه، از بارش‌های سبک تا فوق سنگین، در برخی مناطق، به‌ویژه در نواحی غرب و شمال غربی، افزایش یافته است. با توجه به روند عمومی کاهش مقدار بارش‌های ۲۴ ساعته، این موضوع می‌تواند به کاهش خطر سیلاب در بسیاری از مناطق زاگرس جنوبی اشاره داشته باشد. در عین حال، در نواحی غرب و شمال غرب منطقه، شاهد روند افزایشی در وقوع بارش‌های سیلابی هستیم که نشان‌دهنده افزایش فراوانی و شدت این نوع بارش‌ها در این مناطق است. این تغییرات می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های مرتبط با کاهش خطرات سیلاب داشته باشند. یافته‌های پژوهشی با یافته‌های حجام و همکاران (۱۳۸۷)، همسو بوده. نتایج بدست آمده از این تحقیق آن‌ها وجود روند کاهشی و معنی دار توسط آزمون من-کندال بکارگرفته شده در برخی از سری‌های زمانی مورد مطالعه بود ولی هیچ روند افزایشی و معنی داری بصورت توأم توسط این آزمون بکارگرفته شده مورد تأیید قرار نگرفت. نتایج مطالعه مظفری و شفیع (۱۳۹۵) در مناطق غربی ایران نشان می‌دهد که فراوانی روزهای بارش‌های حدی در طول ۱۲ ماه سال در بازه زمانی مورد بررسی، روندی منفی و کاهشی را تجربه کرده است. این یافته‌ها با نتایج حاضر هم‌راستا بوده و تأییدی بر کاهش الگوهای بارش شدید در این نواحی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تغییرات در رژیم بارشی می‌تواند به بروز ناهنجاری‌های اقلیمی منجر شود و اثرات متعددی بر منطقه برجای گذارد؛ این اثرات هم در صورت کاهش بارش و هم در صورت افزایش آن به شکل‌های مختلف بروز می‌کنند. کاهش میزان و روزهای بارش در دوره‌های زمانی، شرایط خشکسالی را تشدید کرده و

می‌تواند پیامدهای جدی اقتصادی، اجتماعی و روانی برای جامعه به همراه داشته باشد. در مقابل، افزایش شدید و روزهایی با بارش شدید می‌تواند به وقوع سیلاب‌های مخرب منجر شود، که این پدیده نیز با خود بحران‌ها و خسارت‌های گسترده‌ای برای زیرساخت‌ها و جمعیت‌های محلی به دنبال دارد. در برخی مواقع، میزان بارش به قدری ناچیز است که اثرات منفی آن به طور گسترده در همه ابعاد جامعه احساس می‌شود، در حالی که در مواقع دیگر، افزایش ناگهانی و غیرمنتظره بارش ممکن است منطقه را به وضعیت بحران و آسیب‌پذیری شدید برساند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه، روندی افزایشی در فراوانی روزهای خشک و بدون بارش طی دوره آماری مشاهده شده است. این پدیده می‌تواند نشانه‌ای از بروز تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی باشد که بر میزان و توزیع زمانی بارش تأثیرگذار است. کاهش تعداد روزهای بارشی احتمالاً ناشی از دگرگونی در الگوهای سینوپتیکی و سامانه‌های جوی بارش‌زا و تأمین‌کننده رطوبت منطقه است. این دگرگونی‌ها نیز خود می‌تواند متأثر از تغییرات کلان‌تر مانند گرمایش جهانی و تغییر اقلیم باشد. علاوه بر آن، تنوع توپوگرافی منطقه، از دشت‌ها تا ارتفاعات، موجب شده است تا تغییرات مکانی بارش، اثرات متفاوتی بر شرایط زیستی، منابع آب، و معیشت ساکنان برجای گذارد. از آنجا که تداوم و تشدید روند افزایش روزهای خشک و بارش‌های شدید می‌تواند پیامدهای جدی برای بخش کشاورزی، منابع آب زیرزمینی، فشار بر مراتع و پایداری اکولوژیکی به همراه داشته باشد، ضرورت انجام مطالعات آینده‌نگر با هدف شناسایی علل دقیق و الگوهای اقلیمی و جوی مؤثر بر کاهش بارش و افزایش جنبه‌های منفی آن (روزهای خشک و بارش‌های شدید)، در بستر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بیش از پیش احساس می‌شود. این مطالعات در بعضی مناطق جهان مشابه با اقلیم ایران و منطقه انجام شده که می‌تواند نتایج به دست آمده از این پیشنهاد پژوهشی با آن مناطق تطبیق داده شود.

منابع

۱. انصاری، سپهدار. (۱۳۸۲). بررسی سینوپتیکی، سیستم‌های سیل زا در حوضه‌های آبریز کهگلویه و بویراحمد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته آب‌وهواشناسی و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه تربیت معلم، گروه جغرافیا.
۲. احمدزاده، ابراهیم؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ مختاری، داود؛ رسولی، علی اکبر. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات بارش‌های حدی در استان تهران با استفاده از مدل مقادیر اوج‌های بالاتر از آستانه. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۶(۷۹)، ۱-۱۲. doi: 10.22034/gp.2022.10845
۳. بهروزی، عبدالحمید؛ ناظم السادات، سید محمد جعفر؛ پیشوایی، محمدرضا. (۱۴۰۲). ارزیابی روند تغییرات بارش در سری زمانی درازمدت شیراز. *مجله پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم*، ۱۱(۱)، ۱۹-۳۲. doi: 10.22077/jcdr.2023.5856.1001
۴. پناهی، علی؛ حسینی، سید محمد؛ خرم آبادی، فرحناز؛ قوی بنیاد، فرشته. (۱۴۰۰). بررسی روند تغییرات زمانی-مکانی بارش پاییزه شمال غرب کشور. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۲(۸)، ۶۷-۸۲. doi: 10.30488/ccr.2021.320407.1066
۵. تخت اردشیر، اشرف. (۱۳۹۱). ارزیابی روش‌های درون یابی بارش در اقلیم شناسی (مورد: جنوب غرب ایران)، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آب‌وهواشناسی، دانشگاه تهران.
۶. ثنایی، مریم؛ براتی، غلامرضا؛ شکیبا، علیرضا. (۱۳۹۹). تحلیل سری‌های زمانی دیرپایی فصل بارش در ایران. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*، ۱۳۹۹(۴۲)، ۶۱-۷۶.
۷. جوانشیری، زهره؛ عباسی، فاطمه. (۱۴۰۲). تحلیل مکانی روند بارش‌های سنگین فصلی و سالانه کشور با استفاده از رگرسیون چندک. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۴(۱۵)، ۳۹-۵۴. doi: 10.30488/ccr.2023.411246.1155
۸. جاوری، مجید. (۱۳۸۰). تغییرات زمانی دما و بارش ایران، رساله دکتری، رشته آب و هواشناسی، دانشگاه تهران
۹. حلبیان، امیرحسین. (۱۴۰۱). ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۵(۱۳)، ۱۰۱-۱۱۶. <https://sid.ir/paper/254484/fa>
۱۰. حجام، سهراب؛ خوشخو، یونس؛ وندی، رضا شمس الدین. (۱۳۸۷). تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۶۳(۶۳)، ۱۵۷-۱۶۸. <https://sid.ir/paper/5428/fa>
۱۱. رسولی، علی اکبر؛ قاسمی، احمد رضا؛ روشنی، رقیه؛ قاسمی، احمد رضا. (۱۳۹۲). تحلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های سالانه ایران. *تحقیقات جغرافیایی (توقف انتشار)*، ۲۸(۱۰۸)، ۲۰۵-۲۲۴.
۱۲. رحیمی، دانا؛ خوشحال دستجردی، جواد؛ رحیمی، داریوش. (۱۳۹۹). تحلیل روند سیلابهای حداکثر در حوضه کرخه. *مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی*، ۲۶۹(۴۳-۵۸). <https://doi.org/10.22111/jneh.2020.32258.1579>
۱۳. رورده، همت‌الله؛ یوسفی، یدالله؛ معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ فیضی، وحید. (۱۳۹۳). تغییرپذیری زمانی - مکانی بارش‌های حدی در ایران. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲۵(۲)، ۲۵-۳۶. doi: 20.1001.1.20085362.1393.25.2.4.8
۱۴. ستاری، محمدتقی؛ باقری، راضیه؛ شیرینی، کیمیا؛ الله‌پوردی پور، پویا. (۱۴۰۳). مدل‌سازی بارش روزانه و ماهانه تبریز با استفاده از مدل‌های یادگیری جمعی و رگرسیون درخت تصمیم. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۵(۱۸)، ۳۱-۴۸. doi: 10.30488/ccr.2024.433394.1192
۱۵. شاکریان، سجاد؛ ترابی پوده، حسن؛ شاهی نژاد، بابک؛ نقوی، حامد. (۱۳۹۸). بررسی روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه‌های حوضه کارون بزرگ با استفاده از روش TFPW - MK، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۳): ۲۷۲-۲۸۲. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.3.21.2>
۱۶. عزیزی، قاسم؛ علیزاده، تیمور. (۱۳۹۳). ارتباط بین تیپ الگوهای گردشی تراز دریا، با بارش‌های فراگیر در ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۶(۳)، ۲۹۷-۳۱۰. doi: 10.22059/jphgr.2014.52133
۱۷. عزیزی، قاسم؛ صفراد، طاهر؛ محمدی، حسین؛ فرجی سبکبار، حسنعلی. (۱۳۹۵). ارزیابی و مقایسه داده‌های بازکاوی‌شده بارش جهت استفاده در ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۸(۱)، ۳۳-۴۹. doi: 10.22059/jphgr.2016.57026
۱۸. عزیزی، قاسم؛ روشنی، محمود. (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۶۳(۱۳-۲۸).

۱۹. کریمی، مصطفی؛ جعفری، ایوب؛ بنی عامریان، امیر؛ کاکي، سيف اله. (۱۳۹۹). تحلیل آماری - همبندی تاریخ اولین بارش مؤثر در غرب و شمال غرب ایران. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۰(۲)، ۱-۱۹. doi: 10.22126/ges.2020.4514.2117
۲۰. کریمی، مصطفی؛ نوروزی، فهیمه؛ جعفری، مهناز؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ شمسی پور، علی اکبر. (۱۴۰۰). هم زمانی تغییرات مکانی و اچرخند عربستان در تراز ۸۵۰ hPa با بارش‌های اکتبر تا مارس در ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۳(۴)، ۵۰۹-۵۲۹. doi: 10.22059/jphgr.2022.330917.1007647
۲۱. میرزایی حسنیو، ایوب، عبقری، هیراد، و عرفانیان، مهدی. (۱۳۹۹). تحلیل روند بارندگی و شاخص تمرکز بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه. *جغرافیا و توسعه*، ۱۸(۵۹)، ۲۱-۴۰. SID. <https://sid.ir/paper/361697/fa>
۲۲. مظفری، غلامعلی؛ شفیعی، شهاب (۱۳۹۵). واکاوی زمانی - مکانی بارش‌های حدی مناطق غربی ایران، *فصلنامه جغرافیای سرزمین*، ۱۳(۵۲)، ۷۷-۹۴. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/822705?FullText=FullText>
۲۳. ملکی نژاد، حسین؛ سلیمانی مطلق، مهدی؛ جایدری، اعظم؛ شاطرآبشوری، سمیه. (۱۳۹۱). تحلیل روند تغییرات بارندگی و خشکسالی با استفاده از آزمون‌های من-کندال و سن در استان تهران. *نیوار*، ۳۷(۸۱-۸۰)، ۴۳-۵۴.
۲۴. محمدی، حسین؛ عزیزی، قاسم؛ تقوی، فرحناز؛ یوسفی، یدالله. (۱۳۹۰). تغییرپذیری زمانی و مکانی بیشینه بارش ماهانه در بخش‌های جنوبی دریای خزر. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۳(۷۵). <https://sid.ir/paper/466528/fa>
۲۵. محمدی، حسین؛ عزیزی، قاسم؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ فیروز، رنجبر. (۱۳۹۶). تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش روزانه در ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۹(1)، 21-37. doi: 10.22059/jphgr.2017.61577
۲۶. موحدی، سعید؛ سلطانپان، محمود (۱۳۹۰). سامانه اطلاعات جغرافیایی و اقلیم‌شناسی، انتشارات کنکاش، چاپ اول.
۲۷. یاری زنگنه، مرضیه؛ مصطفوی، اسماعیل؛ داستار، یگانه. (۱۴۰۴). تحلیل و ارزیابی محتوایی تولیدات علمی پژوهشگران ایران در حوزه موضوعی تغییرات اقلیمی: یک مطالعه علم‌سنجی، *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی (مقالات آماده انتشار)*. doi: 10.30488/ccr.2025.498605.1263
۲۸. یوسفی، یدالله. (۱۳۹۰). تغییرپذیری زمانی و مکانی تناوب‌های بارشی در کرانه‌های جنوبی دریای خزر، رساله دکتری، رشته آب‌وهواشناسی، دانشگاه تهران.
۲۹. یوسفی، پریسا. (۱۳۹۸). واکاوی تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش در زاگرس جنوبی، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آب‌وهواشناسی، دانشگاه تهران.
30. Agbo, P. Golden C. Offorson, Abubakar S. Yusuf, John O. Basse, Moses A. Okono, Ugochukwu Nkajoe, Patrick O. Ushie. (2025). Innovative trend analysis of precipitation changes over Nigeria: A case study of locations across the Niger and Benue Rivers. *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences*, 7(1), 1868. <https://doi.org/10.46481/jnsps.2025.1868>
31. Ferreira, G. W., & Reboita, M. S. (2022). A new look into the South America precipitation regimes: observation and forecast. *Atmosphere*, 13(6), 873. <https://doi.org/10.3390/atmos13060873>
32. Hartmann, H., & Andresky, L. (2013). Flooding in the Indus River basin - A spatiotemporal analysis of precipitation records. *Global and Planetary Change*, 107, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.04.002>
33. Hamed, K. H. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of hydrology*, 349(3-4), 350-363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>
34. Kim, B. S., Hossein, S. Z., & Choi, G. (2011). Evaluation of temporal-spatial precipitation variability and prediction using seasonal ARIMA model in Mongolia. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 15(5), 917-925. <https://doi.org/10.1007/s12205-011-1097-9>
35. Lana, A., Campins, J., Genovés, A., & Jansà, A. (2007). Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Islands. *Advances in Geosciences*, 12, 27-32. <https://doi.org/10.5194/adgeo-12-27-2007>

36. Martínez, M. D., Lana, X., Burgueño, A., & Serra, C. (2007). Spatial and temporal daily rainfall regime in Catalonia (NE Spain) derived from four precipitation indices, years 1950-2000. *International Journal of Climatology*, 27(1), 123–138. <https://doi.org/10.1002/joc.1369>
37. Mondal, A., Kundu, S., & Mukhopadhyay, A. (2012). Case Study Rainfall Trend ANALYSIS BY MANN-KENDALL TEST : A CASE STUDY OF NORTH-EASTERN PART OF CUTTACK DISTRICT , ORISSA School of Oceanographic Studies , Jadavpur University , Kolkata-700032 * Author for Correspondence Case Study Trend Analysis. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, 2(1), 70–78.
38. Nazeri Tahroudi, M. Comprehensive global assessment of precipitation trend and pattern variability considering their distribution dynamics. *Sci Rep* 15, 22458 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06050-5>
39. Nishiyama, K., Endo, S., Jinno, K., Bertacchi Uvo, C., Olsson, J., & Berndtsson, R. (2007). Identification of typical synoptic patterns causing heavy rainfall in the rainy season in Japan by a Self-Organizing Map. *Atmospheric Research*, 83(2-4 SPEC. ISS.), 185–200. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.10.015>
40. Rasooli, A. A., Ghasemi, A. R. , Roshani, R. and Ghasemi, A. R. (2013). Analyzing the Spatial-Temporal Changes of Annual Precipitation of Iran. *Geographical Research*, 28(108), 205-224.
41. Sayem, M.Zaman, & Jha, M. K. (2014). Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. *Atmospheric Research*, 137, 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.012>
42. Stathis, D., & Myronidis, D. (2009). Principal component analysis of precipitation in Thessaly region (central Greece). *Global Nest Journal*, 11(4), 467–476. <https://doi.org/10.30955/gnj.000534>
43. Sharafi, S., & Mir Karim, N. (2020). Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(16), Article 759. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05695-y>
44. Seibert, P., Frank, A., & Formayer, H. (2007). Synoptic and regional patterns of heavy precipitation in Austria. *Theoretical and Applied Climatology*, 87(1–4), 139–153. <https://doi.org/10.1007/s00704-006-0198-8>
45. Wan, L., Zhang, X. P., Ma, Q., Zhang, J. J., Liu, E. J., & Xie, M. L. (2011). Spatiotemporal trends of precipitation on the Loess Plateau of China. In *International Congress on Modelling and Simulation*, Perth, Australia (pp. 12-16).
46. Yang, P., Xia, J., Zhang, Y., & Hong, S. (2017). Temporal and spatial variations of precipitation in Northwest China during 1960–2013. *Atmospheric Research*, 183, 283–295. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.09.014>