

Trend analysis of precipitation in Iran based on MERRA2

Derakhshandeh, A.¹  | Khorani, A.¹   | Rezazadeh, M.² 

1. Department of Geographical Sciences, Faculty of Humanities, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
2. Department of Marine and Atmospheric Science (Non-Biologic), Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran.

Corresponding Author E-mail: khorani@hormozgan.ac.ir

(Received: 1 Nov 2022, Revised: 4 March 2023, Accepted: 2 May 2023, Published online: 15 Nov 2023)

Summary

Different parts of the climate system as well as precipitation are subject to the global warming and climate change. The aim of present study is monitoring different aspects of changes and trends in precipitation over Iran, using MERRA2 reanalysis data from 1990 to 2020 based on 7 indices including Maximum 1-day precipitation (Rx1day), Simple precipitation intensity index (SDII), Maximum length of dry spell (CDD), Maximum length of wet spell (CWD), Annual count of days when PRCP ≥ 10 mm (Rx10mm), Annual count of days when PRCP ≥ 1 mm (Rx1mm), and Annual total precipitation on wet days (PRCPTOT). MERRA2 is the second generation of Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA) by NASA's GMAO (National Aeronautics and Space Administration, Global Modeling and Assimilation Office), with spatial resolution of 0.5° (approximately 50 kilometers) and temporal resolution up to hourly data. Correlation analysis between MERRA2 and observation data of 48 weather stations indicates acceptable results all over the country especially for the North, the North West and the Western parts. The highest values of R^2 was 0.94 calculated for the wet regions of the North and Northwest, the least values were 0.63 for the arid regions of the South and the Central parts of Iran. Mann-Kendall non-parametric test was used for trend analysis and detection. Mann-Kendall test uses time series data for consistently increasing or decreasing trends in a variable and can works with all statistical distributions. The results show a decreasing trend on 0.95 significance level in 3 indices including PRCPTOT, Rx1day, Rx10mm, in the West and Northwest of Iran. Previous researches confirmed and reported the similar results. In the North East part of the country (parts of the Khorasan-e-Razavi, Semnan and Golestan provinces) positive increasing trends was detected. Considering this distinct regional discrepancy in calculated trends (trends in indices), it is necessary to focus on the effects of possible changes in pressure and synoptic systems on the precipitation changes over Iran. For RX10mm increasing trends was detected for the South and South East of the country. Due to the high absolute humidity in these regions, if condition is suitable for convection and air ascending, Sudan low pressure and Indian monsoon make possible high amount of intense convective rainfall origin from Indian ocean. Overall, MERRA2 shows an underestimate for the region of highest rainfall (North of the country) and an overestimate for arid regions. As a conclusion, based on the results of this study it is necessary to have a distinct precise plane not only for managing the decreasing trends in precipitation and water deficits, but also for mitigating impacts of intense rainfall and flash floods. Further studies needed to determine simultaneous (combined) effects of precipitation and temperature changes in other to manag water resources.

Keywords: Precipitation, Change detection, MERRA2, Iran, Trend analysis.

Cite this article: Derakhshandeh, A., Khorani, A., & Rezazadeh, M. (2023). Trend analysis of precipitation in Iran based on MERRA2. *Journal of the Earth and Space Physics*, 49(3), 669-683. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.350125.1007465>

E-mail: (1) alikhavar@chmail.ir (2) rezazadeh@hormozgan.ac.ir



روند یابی بارش در ایران بر اساس داده‌های MERRA2

علی درخشنده^۱ | اسداله خورانی^۱ | مریم رضازاده^۲

۱. گروه علوم جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲. گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: khoorani@hormozgan.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱۰، بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳، پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۲/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۸/۲۴)

چکیده

تغییر اقلیم با تأثیرگذاری بر بخش‌های مختلف سیستم اقلیم موجب تغییرات بارندگی نیز شده است. در این تحقیق به بررسی تغییرات بارش در ایران بر اساس داده‌های بازکاوی MERRA2 طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۲۰ بر اساس هفت شاخص (میزان بارش کل سالانه، تعداد روزهای بارانی، تعداد روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر و بالاتر، حداکثر بارش روزانه، شدت بارش روزانه، بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی و بیشترین تعداد روزهای تر متوالی) پرداخته شده است. همبستگی داده‌های MERRA2 با داده‌های مشاهداتی برای کل کشور به‌ویژه برای شمال، شمال‌غرب و غرب در سطح قابل‌قبولی بوده است. برای آشکارسازی روندهای موجود در شاخص‌ها از آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده شد. نتایج حاصل از تحقیق نشان‌دهنده روند کاهشی سه شاخص بارشی شامل میزان بارش کل سالانه، تعداد روزهای بارانی، تعداد روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر و بالاتر در مناطق غرب و شمال‌غرب می‌باشد. در مناطق شمال‌شرق روند تغییرات بارش افزایشی و به سمت بارش‌های حدی است که این موارد در استان‌های خراسان رضوی، سمنان و گلستان نشان داده شده است. تعداد روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر و بالاتر نیز عمدتاً در جنوب و جنوب‌شرق کشور روند افزایشی معنی‌دار نشان داده است. در مجموع داده‌های MERRA2 کم برآوردی را برای مناطق بیشینه بارش مانند شمال کشور و بیش برآوردی را برای مناطق کم بارش‌تر و خشک نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: بارش، پایش تغییرات، ایران، MERRA2، تحلیل روند.

۱. مقدمه

دنبال می‌آورد (بابایی فینی و همکاران، ۱۳۸۱). عدم توزیع مناسب و کافی ایستگاه‌های زمینی از یک طرف و در دسترس نبودن آمار طولانی‌مدت بارش از طرف دیگر، پیچیدگی واکاوی بارش را دوچندان کرده است. امروزه توسعه مراکز پیش‌بینی و مدل‌سازی داده‌های اقلیمی امکان دسترسی به داده‌های تقریباً به‌هنگام را فراهم کرده است. داده‌های تحلیل مجدد در کنار داده‌های ایستگاهی و یا در مکان‌های فاقد داده مورد استفاده قرار می‌گیرد که در پژوهش‌های مختلف اعتبار این داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. این مدل‌ها با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سراسر کره‌زمین ایستگاه‌های همدیدی، بویه‌های دریایی، ایستگاه‌های جو

تغییرات بارش می‌تواند منجر به کاهش تولید محصولات کشاورزی، آسیب رساندن به ساختارها (سدها، سیستم‌های زهکشی شهری) و حتی تولید برق آبی شود (لورنز و همکاران، ۲۰۲۰). ویژگی عمده بارندگی ایران تغییرات زمانی-مکانی آن است. درحالی‌که میزان بارش در سواحل خزر، زاگرس و البرز به ترتیب حدود ۱۵۶۰ میلی‌متر، ۹۳۰ میلی‌متر، ۵۳۰ میلی‌متر است، در مناطق مرکزی به ۶۳ میلی‌متر می‌رسد. به‌علاوه ضریب تغییرات بارندگی در تعداد زیادی از ایستگاه‌ها به بیش از ۴۰ درصد می‌رسد. این توزیع زمانی و مکانی بارش در ایران متأثر از توزیع سیستم‌های گردش عمومی جو می‌باشد که کم‌ترین تغییر در الگوی آن، ناهنجاری‌های شدید آب‌وهوایی را به

روند تغییرات بارش نشان‌دهنده افزایش بارش طی سالیان اخیر است. مین آبادی و همکاران (۲۰۲۲) به تجزیه و تحلیل روند بارش در منطقه جنوب شرق کشور پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که به طور کلی میزان بارندگی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در ۴۰ سال گذشته افزایش نشان داده است؛ اگرچه در برخی موارد کاهش ناچیز نیز مشاهده شده است. مزیدی و همکاران (۱۴۰۱) روند بارش در جنوب و جنوب شرق ایران را مورد بررسی قرار دادند. این نتایج تحقیق نشان‌دهنده روند کاهشی معنی‌دار بارش سالانه برای ایستگاه‌های بندرعباس، بندرلنگه، ابوموسی و کیش در سطح ۹۵ درصد و برای ایستگاه‌های جاسک و ایرانشهر در سطح ۹۰ درصد می‌باشد. عسکری و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۲۷ ایستگاه سینوپتیک به بررسی روند نمایه‌های حدی بارش در ایران پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که در برخی از مناطق مانند ایستگاه‌های استان‌های هرمزگان، اصفهان و تهران روند نمایه‌ها مثبت و در آذربایجان شرقی و غربی روند نمایه‌ها منفی است. برنا و جهان (۱۳۹۴) به بررسی روند تغییرات بارش در استان بوشهر طی بازه زمانی ۱۳۹۱-۱۳۷۱ با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کنندال پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که از نظر حداکثر بارش روزانه و شدت بارش روزانه بوشهر روند منفی داشته است ولی بیشترین تعداد روزهای متوالی خشک و تعداد روزهای بارشی ۱۰ میلی‌متر و بالاتر روند افزایشی داشته است. در گاهیان و همکاران (۱۴۰۰) روند تغییرات بارش در کشور ایران را مورد مطالعه قرار داده نشان که روند تغییرات بارش‌های حدی در زاگرس جنوبی و جنوب شرق کشور روند افزایشی را نشان دادند. هدف مطالعه حاضر بررسی روند تغییرات میزان، مقدار و شدت بارش طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ است.

۲. داده و روش تحقیق

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه کشور ایران و اطراف آن، با وسعتی بیش از ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در جنوب غرب قاره آسیا

بالا و داده‌های به دست آمده از ماهواره‌های هواشناسی، داده‌های به دست آمده از خطوط هواپیمایی و کشتیرانی بین‌المللی و نیز با در نظر گرفتن رابطه فیزیکی-دینامیکی بین جو و اقیانوس و اثر توپوگرافی پیچیده کره زمین و توزیع دریاها، اقیانوس‌ها و جنگل‌های گسترده بر روی آن به پیش‌بینی حرکات جوی و متغیرهای مختلف در طی زمان می‌پردازند. MERRA2 یکی از این مدل‌های باز کاوی جو، است. طی سالیان اخیر مطالعاتی با استفاده از داده‌های این مدل در راستای بررسی تغییرات بارش انجام شده است که می‌توان به هامال و همکاران (۲۰۲۰)، ژو و همکاران (۲۰۲۲)، یاو و همکاران (۲۰۲۰) سی‌یو همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد.

روش‌های مختلفی برای بررسی وجود روند در سری‌های زمانی وجود دارد. اما معمول‌ترین روش که برای بررسی وجود روند در سری‌های زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد روش من-کنندال است (یو و همکاران، ۲۰۰۲). محققین زیادی در بخش‌های مختلف کره زمین به مطالعه تغییرات متغیرهای بارش و دما با استفاده از آزمون من-کنندال پرداخته و این تحقیقات نشان‌دهنده رفتار منطقه‌ای این متغیرها به ویژه متغیر بارش است (علی و همکاران، ۲۰۱۵؛ کوداه و همکاران، ۲۰۱۷؛ رحمانی و همکاران، ۲۰۱۶؛ صدیقو و همکاران، ۲۰۲۰؛ نیکادزینو و همکاران، ۲۰۲۰). در داخل کشور پژوهش‌های متعددی به روندیابی تغییرات بارش در کشور پرداخته‌اند که می‌توان به امینی‌نیا و همکاران (۱۳۸۹)، ایران‌نژاد و همکاران (۱۳۸۶)، میرموسوی (۱۳۸۷)، میرعباسی نجف آبادی و دین پزوه (۱۳۹۱)، امیر رضاییه و همکاران (۱۳۹۵)، طاووسی (۱۳۹۷)، علیپور و ملکیان (۱۳۹۸)، اشاره کرد که به بررسی تغییرات بارش در شمال غرب و غرب کشور پرداخته‌اند و نتایج تحقیقات آنها نشان‌دهنده روند کاهشی بارش در این منطقه از کشور است. در تحقیقاتی دیگر، باقرپور و همکاران (۱۳۹۶)، سلمانی و همکاران (۱۳۹۸)، مدرسی و همکاران (۱۳۸۹)، اکبری و نودهی (۱۳۹۴) نیز به بررسی روند تغییرات بارش در شمال شرق کشور و همچنین استان گلستان پرداختند که

واقع شده است که به لحاظ موقعیت جغرافیایی در نیمه جنوبی منطقه معتدل شمالی بین 25° ، 47° و 39° عرض شمالی از خط استوا و 14° ، 44° و 20° ، 63° طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد (شکل ۱). در شمال کشور ایران دریای خزر و در جنوب آن خلیج فارس و دریای عمان قرار گرفته است. رشته کوه البرز شمال غرب تا از شمال شرق ایران و رشته کوه زاگرس از قسمت‌های شمال غرب تا جنوب شرق امتداد یافته است. با توجه به موقعیت جغرافیایی خاص و نزدیکی به مدار رأس‌السرطان کشور قسمت اعظم کشور ایران را پهنه‌های بیابان تشکیل داده است.

۲-۲. داده‌های مورد استفاده

۲-۲-۱. داده‌های دیده‌بانی ایستگاه‌های هواشناسی همدید

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های بارش روزانه ۴۸ ایستگاه سینوپیتیک کشور (شکل ۲) است که داده‌های آن از سازمان هواشناسی کشور به آدرس www.irimo.ir اخذ شد.

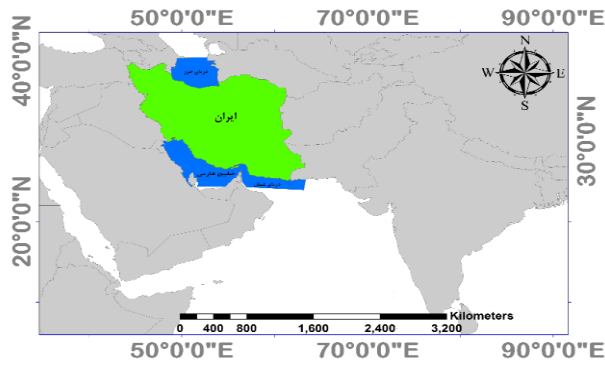
۲-۲-۲. داده‌های MERRA2

در این تحقیق داده‌های بارش روزانه مدل بازکاوی جو MERRA2 برای سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۰ از سایت ESGF اخذ شد (<https://esgf-node.llnl.gov>).

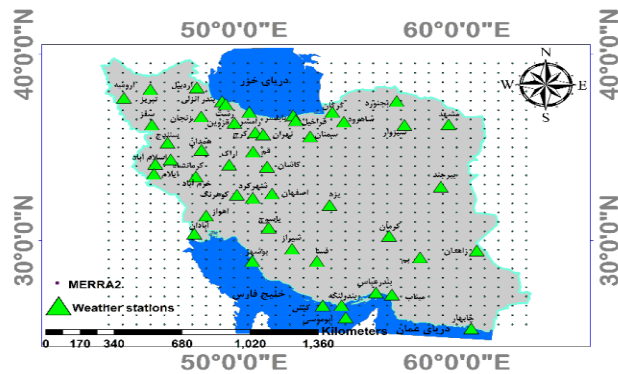
MERRA2 نسخه دوم پایگاه مدل MERRA می‌باشد که توسط مرکز مدل‌سازی و داده‌کاوی سازمان فضایی و هوانودی آمریکا NASA به صورت شبکه‌بندی شده برای کل جهان ارائه شده است. پروژه MERRA که روی تجزیه و تحلیل بلندمدت شرایط آب‌وهوایی (از ژانویه ۱۹۸۰ تا امروز) تمرکز کرده است، برای طیف وسیعی از

مقیاس‌های آب‌وهوا، مجموعه‌ای از مشاهدات و نتایج جوی بازکاوی شده مبتنی بر پایش‌های ماهواره‌های و الگوریتم‌های سنجش از دور را در اختیار کاربران قرار می‌دهد (بلوم و همکاران، ۱۹۹۶). داده‌های این مدل از قدرت تفکیک قابل‌قبولی برخوردار بوده و از کیفیت و دقت بسیار بالاتری نسبت به ابزارهای مشابه (NCEP/NCAR, ECMWF) برخوردار می‌باشند. در این میان، نسخه MERRA2 یکی از قابل اعتمادترین مدل‌های پایگاه MERRA می‌باشد که با هدف کمک به محققان مختلف از جمله اقلیم‌شناسی و محیط‌زیست برای پاسخگویی به مسئله‌های مربوط به تحقیقات آب‌وهوایی و تغییرات اقلیمی برای بهره‌برداری بهینه از مشاهدات ماهواره‌ای، به کار گرفته شده است (مولود و همکاران، ۲۰۱۲). سری زمانی طولانی مدت (از ۱۹۸۰) از داده‌های بازکاوی بارش با تفکیک فضایی ۵۰ کیلومتر از قابلیت‌های MERRA2 است که برای داده‌گذاری آن از داده‌های رادار و مایکروویو نیز استفاده شده است. در واقع MERRA2 اولین مدل بازکاوی جهانی است که برای داده‌گذاری از داده‌های مشاهداتی (بر مبنای سنجش از دور) هواویزها و تعامل آنها با سایر فرایندهای فیزیکی سامانه اقلیم استفاده می‌کند.

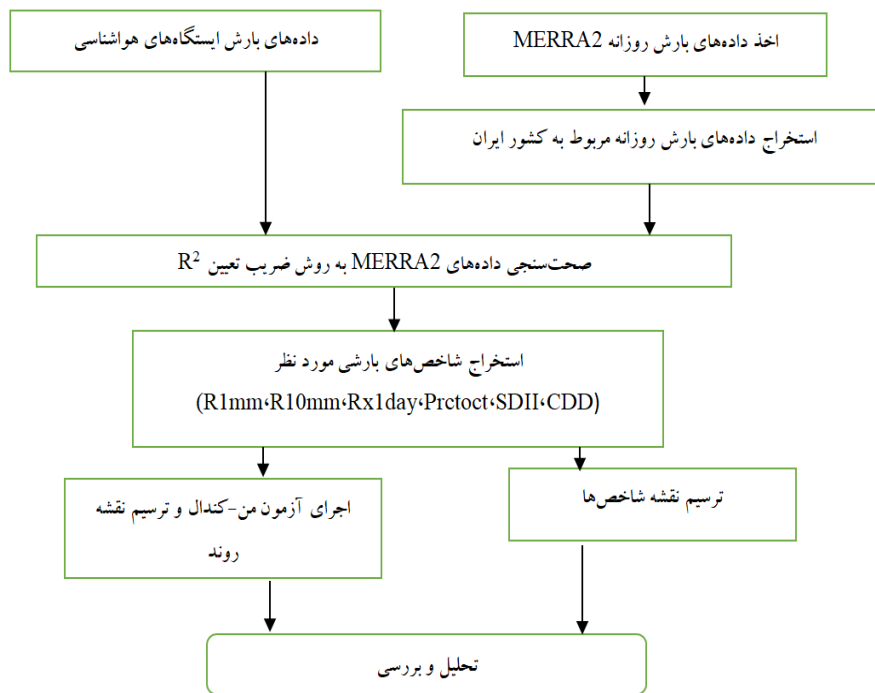
با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار متلب داده‌های بارش روزانه MERRA2 استخراج و با داده‌های ایستگاه مشاهداتی مقایسه شد. سپس شاخص‌های بارش کل سالانه، تعداد روزهای بارانی، تعداد روزهای بارشی ۱۰ میلی‌متر و بالاتر، حداکثر بارش روزانه، شدت بارش روزانه، بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی و بیشترین تعداد روزهای تر متوالی محاسبه شد و در ادامه Z من-کندال برای هریک از شاخص‌ها محاسبه شد و نقشه‌های روند برای هر شاخص تهیه شد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب آسیا.



شکل ۲. یاخته‌های بارشی بازکاوی شده MERRA2 و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در مطالعه حاضر.



شکل ۳. روندنمای تحقیق.

در تشخیص و شاخص‌های تغییر اقلیم (ETCDDI)

استفاده شده است (جدول ۱).

۳-۲. روش کار

۱-۳-۲. شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش

در این مطالعه از ۷ شاخص ارائه شده توسط تیم متخصص

جدول ۱. شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش.

شاخص	توضیحات	رابطه	یکا
Rx1day	حداکثر بارش یک روزه	$Rx1day_j = \text{Max}(RR_{ij})$ RR_{ij} = مقدار بارش روزانه در دوره i و دوره	میلی‌متر
SDII	نمایه ساده شدت روزانه، بارندگی کل سالانه تقسیم بر تعداد روزهای بارانی در سال	$SDII_j = \frac{\sum_w^w IRRw_j}{w}$ RR_{wj} = میزان بارش در یک روز بارانی ($RR \geq 1mm$) در دوره J w = روزهای تر در دوره J	میلی‌متر بر روز
CDD	بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی‌متر باشد	اگر RR_{ij} میزان بارش روز در روز i و در دوره J باشد، آنگاه تعداد روزهای خشک متوالی که $RR_{ij} < 1mm$ شمارش می‌شود.	روز
CWD	بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی‌متر باشد	اگر RR_{ij} میزان بارش روز در روز i و در دوره J باشد، آنگاه تعداد روزهای خشک متوالی که $RR_{ij} > 1mm$ شمارش می‌شود.	روز
R10mm	روزهای بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر و بالاتر	اگر RR_{ij} میزان بارش روز در روز i و در دوره J باشد، آنگاه روزهای با بارش سنگین یعنی بارش روزانه مساوی و یا بالاتر از ۱۰ میلی‌متر عبارت است از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 10mm$	روز
R1mm	تعداد روزهای بارانی	اگر RR_{ij} میزان بارش روز در روز i و در دوره J باشد، آنگاه تعداد روزهای بارشی عبارت است از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 1mm$	روز
PRCTOT	مقدار بارش کل سالانه	اگر میزان بارش روزانه در روز i و در دوره J و i تعداد نماینده تعداد روزهای در J باشد، آنگاه $PRCTOT_j = \sum_i^j RR_{ij}$	میلی‌متر

$$Var[s] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p T_i i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (۴)$$

که در آن، T_i تعداد داده‌های گروه همسو و p تعداد گروه‌های رتبه‌های همسو است. آمار آزمون استاندارد ZMK به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} & (s > 0) \\ 0 & (s = 0) \\ \frac{s+1}{\sqrt{Var(s)}} & (s < 0) \end{cases} \quad (۵)$$

آماره استاندارد Mann-Kendall Z با توزیع نرمال استاندارد $E(Z)=0$ and $V(Z)=1$ مطابقت دارد. وقتی قدر مطلق Z بزرگ‌تر از مقدار $Z_{1-\alpha/2}$ برای تست دنباله دوم و $Z_{1-\alpha}$ برای تست دنباله اول باشد H_0 رد می‌شود. در اینجا α سطح معناداری آماری مربوطه است.

۳-۳-۲. درونیابی IDW

همه روش‌های درونیابی بر این اساس می‌باشند که نقاطی که به هم نزدیک‌تر هستند نسبت به نقاطی که دورتر هستند میزان مشابهت بیشتری دارند. در روش IDW فرض

۲-۳-۲. آزمون من-کندال

آزمون روند من-کندال یک آزمون ناپارامتریک است که روندهای افزایشی یا کاهشی (یکنواخت) را در یک سری زمانی محاسبه می‌کند (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۵). برای یک سری زمانی معین به اندازه $n\{X_i, i=1, 2, \dots, n\}$ نشان می‌دهد که سری به طور مستقل توزیع شده است و H_1 دلالت بر وجود یک روند یکنواخت دارد. بنابراین آمار آزمون من-کندال به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (۱)$$

در اینجا، X_i و X_j مقادیر دنباله i هستند و n طول سری زمانی است.

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

میانگین و واریانس s به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$E[s] = 0 \quad (۳)$$

دارای همبستگی بالای ۰/۷ می‌باشند. بیشترین میزان این ضریب مربوط به ایستگاه بندرانزلی با ضریب تعیین ۰/۹۴ و کمترین میزان نیز مربوط به ایستگاه میناب با مقدار ۰/۶۳ می‌باشد. به نظر می‌رسد کارایی این مدل در باز کاوی داده‌های بارشی مناطقی که تغییر پذیری بارش بیشتر است مانند جنوب و مرکز ایران، کمتر می‌باشد.

۲-۳. بارش کل سالانه

بیشترین میزان بارش کل سالانه مربوط به نواحی اطراف دریای خزر و غرب رشته کوه زاگرس و کمترین میزان بارش نیز مربوط به مرکز و شرق کشور است. بیشترین میزان بارش کل سالانه حدود ۱۳۹۱/۲ میلی‌متر و کمترین میزان بارش کل سالانه نیز ۶۵/۱ میلی‌متر است که مربوط به نواحی مرکزی، شرقی و جنوب کشور می‌باشد (شکل ۵-الف). روند تغییرات بارش کل سالانه طی این سال‌ها در نواحی شمال غرب و مناطقی از شرق روند کاهشی را نشان داده است که این روند کاهشی در بخش شمال غربی کشور شامل آذربایجان شرقی و غربی، کردستان و کرمانشاه در سطح ۰/۹۵ معنادار است. در بخش‌هایی از مناطق شمال، شرق، مرکز، جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی روند افزایشی نشان داده شده است. البته این روند افزایشی فقط در استان‌های واقع در جنوب دریای خزر شامل مازندران و گلستان و لکه‌های پراکنده دیگری در شهرکرد و جنوب غرب کشور از نظر آماری در سطح ۰/۹۵ معنادار است (شکل ۵-ب).

بر این است که میزان تشابه و همبستگی بین همسایه‌ها با فاصله بین آنها متناسب است؛ که می‌توان آن را به صورت تابعی با معکوس از فاصله هر نقطه از نقاط همسایه تعریف کرد (هارمان، ۲۰۱۶).

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=0}^N z_i d_i^{-n}}{\sum_{j=1}^N d_j^{-n}} \quad (6)$$

ZO = مقدار تخمین متغیر Z در نقطه مجهول

Zi = مقدار نمونه در نقطه i

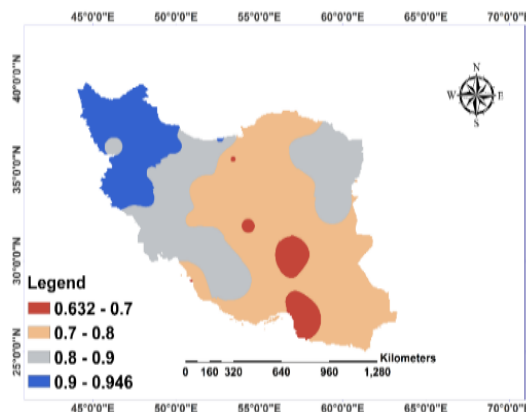
di = فاصله نقطه نمونه تا نقطه مورد تخمین

n = ضریبی که وزن را بر اساس فاصله تعیین می‌کند

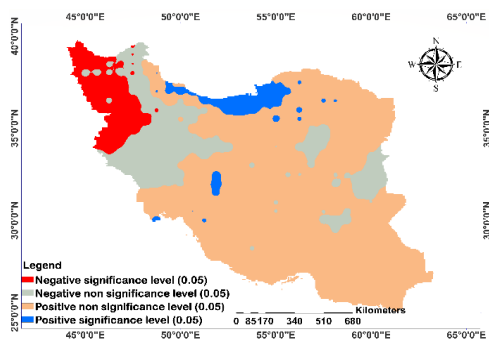
۳. نتایج

۳-۱. صحت‌سنجی داده‌های باز کاوی جو MERRA2

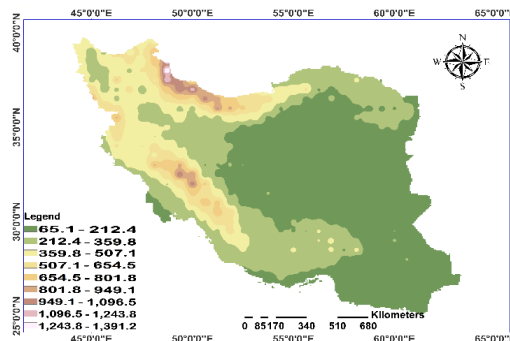
به منظور صحت‌سنجی داده‌های MERRA2، ضریب تعیین (R^2) داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌ها با داده‌های مدل برای دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. باتوجه به شکل (۴) ضریب تعیین داده‌های ایستگاهی و داده‌های MERRA2 در تمام ایستگاه‌ها بالاتر از ۰/۶۳ می‌باشد. به طوری که مناطق شمال غرب کشور دارای بیشترین مقادیر این ضریب یعنی بالاتر از ۰/۹ و بخش‌هایی از شمال، شمال شرق و غرب کشور مقادیر بالای ۰/۸ را نشان داده‌اند. سایر مناطق کشور به استثنای جنوب شرق هرمزگان و مناطقی از استان کرمان که ضریب بالای ۰/۶ را نشان داده‌اند،



شکل ۴. ضریب تعیین داده‌های بارش ماهانه MERRA2 و ایستگاه‌های مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۲۰).



(ب)



(الف)

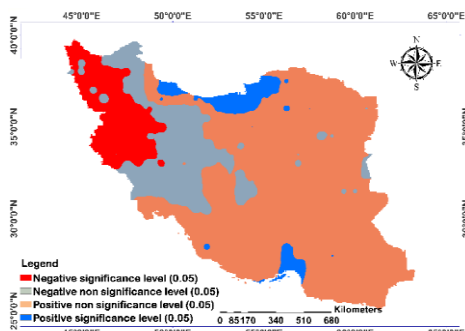
شکل ۵. الف) شاخص بارش کل سالانه (میلی‌متر) دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰ ب) روند تغییرات بارش کل سالانه بر اساس آزمون من-کندال برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰.

۳-۳. تعداد روزهای بارشی

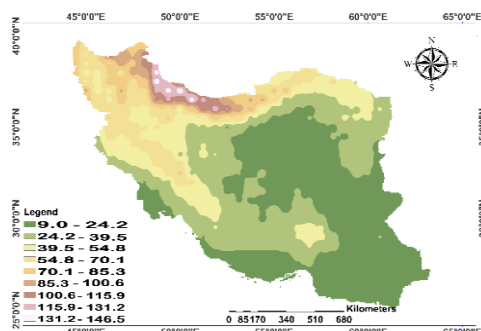
۳-۴. تعداد روزهای بارشی ۱۰ میلی‌متر و بالاتر

بیشترین تعداد روزهای بارشی ۱۰ میلی‌متر و بالاتر مربوط به بخش غربی دریای خزر و غرب زاگرس و کمترین تعداد این روزها نیز مربوط به شرق، مرکز و جنوب کشور است. به طوری که در بیشترین حالت تعداد روزهای دارای بارش ۴۷/۳ روز و در کمترین حالت ۱/۵ روز را نشان داده است (شکل ۷-الف). تغییرات روند این شاخص در مناطق شمال‌غرب، شمال‌شرق و اطراف رشته کوه البرز روند کاهشی را نشان داده است که این روند کاهشی در مناطقی از استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، زنجان، کردستان، کرمانشاه، قزوین و خراسان شمالی از نظر آماری معنادار است. همچنین این شاخص در مناطق جنوب و جنوب‌شرق، مرکز و جنوب‌غرب شامل استان‌های هرمزگان، جنوب سیستان و بلوچستان، فارس، بوشهر، کرمان و یزد دارای روند معنادار مثبت یا افزایشی است (شکل ۷-ب).

بیشترین تعداد روزهای دارای بارش مربوط به نواحی غربی دریای خزر و غرب زاگرس و کمترین تعداد روزهای دارای بارش مربوط به مرکز و شرق کشور است. به طوری که در بیشترین حالت تعداد روزهای دارای بارش ۱۴۶ روز و در کمترین حالت ۹ روز نشان داده شده است (شکل ۶-الف). تغییرات تعداد روزهای بارشی طی این سال‌ها در مناطق جنوبی دریای خزر، همچنین در جنوب، شرق و جنوب‌غرب کشور روند افزایشی را نشان می‌دهد. این روند افزایشی در بخش‌هایی از استان‌های مازندران، گلستان و هرمزگان در سطح آماری ۰/۹۵ معنادار است. مناطق شمال‌غرب کشور مانند استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، زنجان، کردستان، کرمانشاه و همدان دارای روند منفی است. این روند منفی در بخش‌هایی از آذربایجان شرقی و غربی، کردستان و مناطقی از استان کرمانشاه معنادار است (شکل ۶-ب).

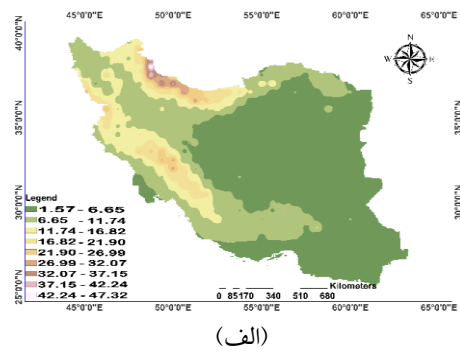
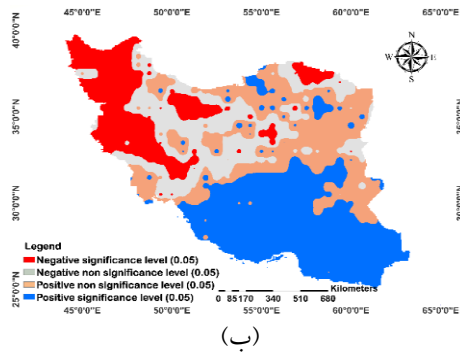


(ب)



(الف)

شکل ۶. الف) شاخص تعداد روزهای بارشی (روز) دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰ ب) روند تغییرات شاخص تعداد روزهای بارشی بر اساس آزمون من-کندال برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰.



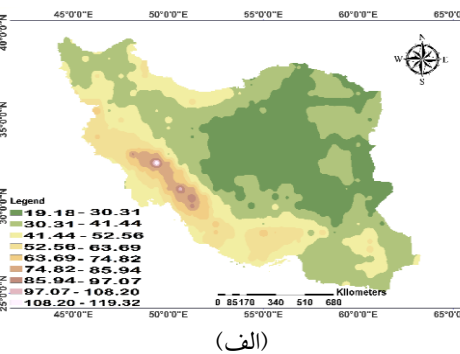
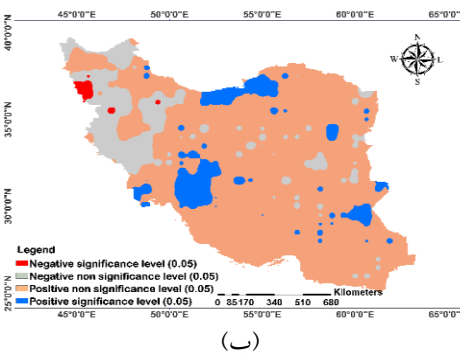
شکل ۷. الف) شاخص تعداد روزهای بارشی ۱۰ میلی‌متر و بالاتر (روز) دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰ ب) روند تغییرات تعداد روزهای بارشی ۱۰ میلی‌متر و بالاتر بر اساس آزمون من-کندال (ب) برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰.

۳-۶. شدت بارش روزانه

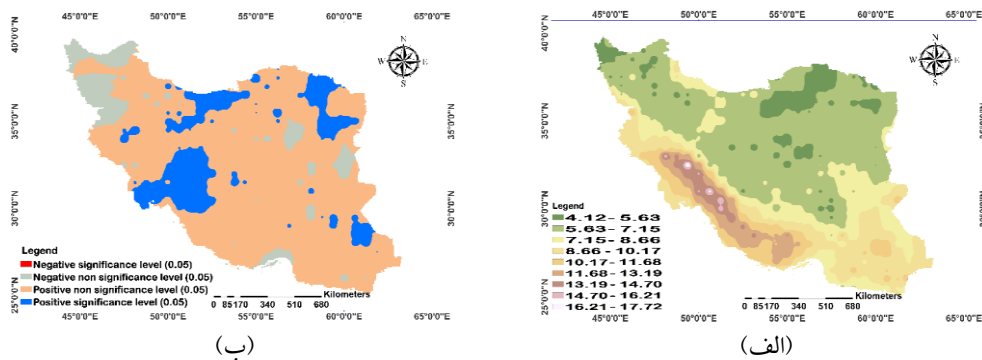
بیشترین مقدار شاخص شدت بارش روزانه را برای بخش‌های مرکزی و غرب زاگرس، شامل اطراف شهرکرد و یاسوج و پس از آن نواحی جنوب، جنوب‌شرق کشور و بخش غربی دریای خزر محاسبه شده است. مقدار این شاخص در بیشترین حالت ۱۷/۷ میلی‌متر در ساعت را نشان داده و کمترین میزان شدت بارش روزانه هم با رقم ۴/۱ میلی‌متر برای نواحی شمال‌شرق، شمال‌غرب، نواحی مرکزی کشور و اطراف رشته کوه البرز استخراج شده است (شکل ۹-الف). از نظر روند تغییرات بیشتر مناطق کشور به غیر از مناطقی از استان‌های هرمزگان، آذربایجان شرقی و غربی، کردستان و خراسان جنوبی دارای روند مثبت بوده‌اند که این روند مثبت در مناطقی از استان‌های خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، مازندران، گلستان، تهران، البرز، سیستان و بلوچستان، خراسان شمالی و خراسان جنوبی در سطح ۰/۹۵ معنادار بوده است (شکل ۹-ب).

۳-۵. حداکثر بارش روزانه

بیشترین مقادیر شاخص حداکثر بارش روزانه مربوط به زاگرس مرکزی، نواحی اطراف شهرکرد و یاسوج و سپس نواحی شمالی و غرب کشور می‌باشد. به طوری که در بیشترین حالت به ۱۱۹/۳ میلی‌متر در روز و در کمترین حالت که مربوط به نواحی مرکزی، شرق و شمال‌شرق کشور است به ۱۹/۱ میلی‌متر بر روز می‌رسد (شکل ۸-الف). این تغییرات طی سال‌های اخیر در مناطق شرق، جنوب، جنوب‌شرق، جنوب‌غرب و شمال کشور روند افزایشی داشته است. این روند افزایشی در مناطقی از گلستان، مازندران، کهگیلویه و بویراحمد و سیستان و بلوچستان معنادار بوده است. شمال‌غرب کشور شامل بخش‌هایی از استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام، آذربایجان غربی، اردبیل و زنجان دارای روند منفی بوده است که این روند منفی در مناطقی از آذربایجان غربی، کردستان و زنجان در سطح ۰/۹۵ معنادار بوده است (شکل ۸-ب).



شکل ۸. الف) شاخص حداکثر بارش روزانه (میلی‌متر) دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰ ب) روند تغییرات حداکثر بارش روزانه بر اساس شاخص من-کندال برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰.



شکل ۹. الف) شدت بارش روزانه (میلی متر در روز) دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰ (ب) روند تغییرات شدت بارش روزانه بر اساس شاخص من-کندال برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰.

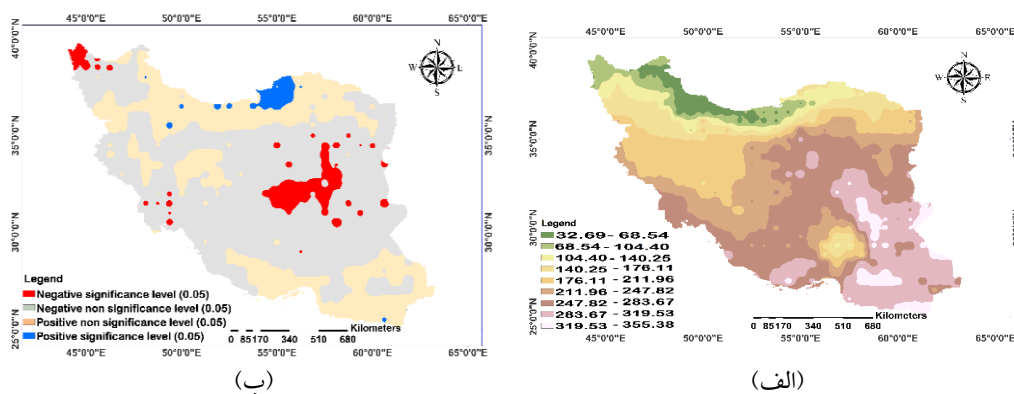
۷-۳. بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی

بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی مربوط به بیابان لوت، شرق و جنوب شرق کشور است و کمترین تعداد روزهای خشک متوالی نیز مربوط به سواحل دریای خزر به ویژه بخش غربی این سواحل است. بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی ۳۵۵/۳ روز و کمترین تعداد آن ۳۲/۶ روز متوالی بوده است (شکل ۱۰-الف). تغییرات این شاخص در جنوب و شمال کشور روند افزایشی را نشان داده است. این روند افزایشی در مناطقی از استان های گلستان و مازندران و در مناطق بسیار محدودی از استان های گیلان، قزوین و جنوب سیستان و بلوچستان از نظر آماری معنادار بوده است. این شاخص در مناطق غربی، مرکز و شرق کشور دارای روند کاهشی بوده که این روند کاهشی در مناطقی از استان های آذربایجان غربی، اصفهان، یزد، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، سمنان و خوزستان در سطح ۰/۹۵ معنادار

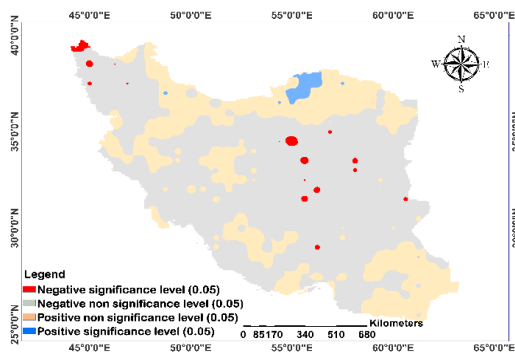
است (شکل ۱۰-ب).

۸-۳. بیشترین تعداد روزهای تر متوالی

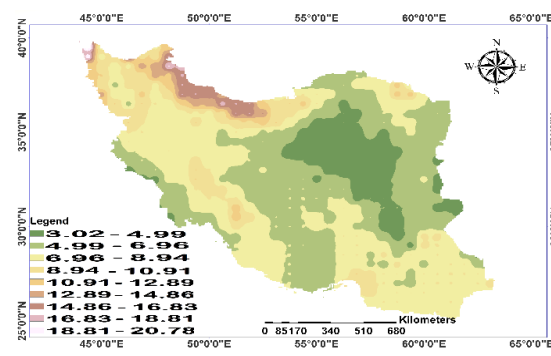
بیشترین تعداد روزهای تر متوالی مربوط به بخش غربی دریای خزر، شمال غرب و جنوب شرق و کمترین ارقام این شاخص نیز مربوط به نواحی غربی، مرکزی و شرق کشور می باشد. بیشترین مقدار ۲۰/۷ روز متوالی و در کمترین مقدار ۳/۰۲ روز بوده است (شکل ۱۱-الف). سواحل دریای خزر، جنوب شرق، شمال شرق کشور و مناطقی از استان های چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، کرمانشاه، همدان، زنجان و قزوین روند افزایشی را نشان می دهند که این روند افزایشی تنها در بخش محدودی از استان گلستان در سطح ۰/۹۵ معنادار است. مناطق غرب، شرق و شمال غرب کشور روند کاهشی را نشان می دهد که این روند کاهشی برای لکه های محدود از استان آذربایجان غربی و مناطق پراکنده ای از مرکز کشور از نظر آماری در سطح ۰/۹۵ معنادار بوده است (شکل ۱۱-ب).



شکل ۱۰. الف) بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی (روز) دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰ (ب) روند تغییرات شاخص بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی بر اساس آزمون من-کندال برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰.



(ب)



(الف)

شکل ۱۱. الف) بیشترین تعداد روزهای تر متوالی (روز) دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۰ ب) روند تغییرات شاخص بیشترین تعداد روزهای تر متوالی بر اساس آزمون من-کنال برای دوره (۲۰۲۰-۱۹۹۰).

۴. بحث و نتایج

(۱۳۸۶)؛ میرموسوی (۱۳۸۷)؛ میرعباسی نجف آبادی و همکاران (۱۳۹۱)؛ امیر رضاییه و همکاران (۱۳۹۵)؛ طاووسی (۱۳۹۷)؛ علیپور و ملکیان (۱۳۹۸)؛ رحیمی و سادات فاطمی (۲۰۱۹)؛ علیجانی و همکاران (۱۳۹۱)؛ حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۹)؛ نساجی زواره و قرمزچشمه (۱۴۰۱)؛ و رسولی و همکاران (۱۳۹۲) اشاره کرد. البته حلبیان و کیخسروی کیانی (۱۳۹۹) در تحقیقی مشابه با استفاده از داده‌های پایگاه GPCP نتایج متفاوتی برای روند بارش‌های شمال غرب کشور گزارش کرده‌اند (روند افزایشی)، که احتمالاً ناشی از تفاوت در داده‌های پایگاه مورد استفاده بوده است. عزیززاده چوبری و نجفی (۱۳۹۶) علت این کاهش بارش ایران را ناشی از بالا بودن ظرفیت نگهداری رطوبت در اقلیم گرم این منطقه و نیاز به زمان بیشتر برای اشباع هوا از بخار آب و در نتیجه خارج شدن بخش بیشتری از بخار از این مناطق به عرض‌های بالاتر از طریق گردش کلی جو و همچنین بالاتر رفتن ارتفاع تراز میعان به واسطه افزایش دما می‌دانند. البته وجود روندهای افزایشی معنی‌دار در شاخص‌های بارش کل سالانه، تعداد روزهای بارشی و سایر شاخص‌های بارشی مورد بررسی در سواحل جنوبی دریای خزر و برخی از مناطق جنوب و جنوب غرب کشور نشان می‌دهد که علاوه بر تحلیل فوق باید به تغییرات منطقه‌ای سامانه‌های فعال در کنترل بارش کشور نیز توجه شود.

برای بخش‌هایی از استان‌های گلستان، مازندران و شرق

در مطالعه حاضر به بررسی تغییرات بارش کشور ایران بر اساس مجموعه‌ای از شاخص‌ها، با استفاده از داده‌های بازکای MERRA2 پرداخته شده است. صحت‌سنجی داده‌های MERRA2 نشان‌دهنده کیفیت مناسب این داده‌ها است، به طوری که ضریب تعیین داده‌های MERRA2 با داده‌های مشاهداتی در همه ایستگاه‌ها بالاتر از ۰/۶ و در ایستگاه‌های واقع در غرب و شمال غرب کشور بالاتر از ۰/۸ است. این یافته با نتایج تحقیقات ژو و همکاران (۲۰۲۲) وی و همکاران (۲۰۲۱) مبنی بر کیفیت‌سنجی داده‌های پایگاه‌های مختلف بارشی همخوانی دارد. وی و همکاران (۲۰۲۰) از بین داده‌های بازکای از منابع مختلف، بهترین عملکرد را برای MERRA2 برآورد کرده و ژو و همکاران (۲۰۲۲) مقداری کم برآوردی را برای این داده‌ها گزارش کرده‌اند.

با استفاده از داده‌های بازکای MERRA2 شاخص‌های بارشی و روند تغییرات آنها در مقیاس زمانی روزانه طی بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ محاسبه شد. نتایج تحقیق بیانگر روند کاهشی شاخص‌های بارش کل سالانه و تعداد روزهای بارشی در مناطق غرب و مخصوصاً شمال غرب و اطراف دریاچه ارومیه است. این یافته در منابع پژوهش‌های متعدد قبلی هم با داده‌های ایستگاهی و هم با داده‌های پایگاه‌های مختلف بارشی تأیید شده است. از این پژوهش‌ها می‌توان به تحقیق‌های عزیززاده چوبری و نجفی (۱۳۹۶)؛ امینی‌نیا و همکاران (۱۳۸۹)؛ ایران‌نژاد و همکاران

دارد. ولی یافته‌های مزیدی و همکاران (۱۴۰۱) را تأیید نمی‌کند. در این مناطق رطوبت مطلق به دلیل بالابودن دما زیاد است. در شرایطی که امکان صعود این هوای مرطوب فراهم شود (با تضعیف زبانه پرفشار جنب حاره‌ای در این مناطق)، سامانه‌های کم‌فشار سودانی و موسمی تابستانه هندوستان با منشأ اقیانوس هند، می‌توانند بارش‌های همرفتی شدیدی ایجاد کنند (لشکری، ۱۳۸۲؛ خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۸؛ علیجانی، ۱۳۷۹).

۵. نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات بارش در در عرض‌های جنب‌حاره‌ای مانند کشور ایران به سبب کمبود بارش و اهمیت بالای منابع آب و از سوی دیگر احتمال بالای وقوع سیل بسیار اهمیت دارد. در پژوهش حاضر روند تغییرات بارش در کشور ایران مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان‌دهنده روندهای کاهشی معنی‌دار در شاخص‌های مورد بررسی برای غرب و مخصوصاً شمال‌غرب کشور است. طبیعتاً این تغییرات بر روی منابع آب مناطق شمال‌غرب، کشاورزی و محیط‌زیست این مناطق تأثیرگذار است. در بخش‌هایی از شمال‌شرق کشور مانند استان گلستان روند شاخص‌های مورد بررسی مثبت و معنادار است. بارش‌های ۱۰ میلی‌متر و بالاتر نیز در نواحی جنوبی کشور روند افزایشی نشان داده است. تفاوت‌های منطقه‌ای بارز در روندهای این شاخص‌ها، اهمیت مطالعه تغییرات ایجاد شده در سامانه‌های فشاری کنترل‌کننده اقلیم ایران را آشکار می‌سازد. ضروری است که در مناطقی که بارش‌ها روند کاهشی داشته است، برنامه‌ریزی‌های لازم جهت مدیریت بهینه منابع آب مانند احداث سدها، روش‌های نوین آبیاری، تغییر الگوی کشت و استفاده از محصولات‌ی که به آب کمتری نیاز دارند صورت گیرد. در مناطقی که روند بارش به سمت بارش‌های سنگین گرایش پیدا کرده است هم باید از ساخت‌وساز در حاشیه رودخانه پرهیز شده، مناسب‌بودن دهانه پل‌ها و مهار آب جهت استفاده در فصل‌های خشک و سایر اقدامات مهار سیلاب و خشکسالی را مد نظر قرار

گیلان، روند شاخص‌های بارش کل سالانه، تعداد روزهای بارشی، افزایش معنی‌دار را نشان می‌دهند که این روند افزایشی در استان گلستان نسبت به سایر استان‌ها بارزتر می‌باشد. شاخص‌های طول روزهای تر و خشک متوالی نیز در این استان روند افزایشی معنادار را نشان می‌دهد. این یافته با نتایج تحقیق باقرپور و همکاران (۱۳۹۶)، سلمانی و همکاران (۱۳۹۸)، مدرسی و همکاران (۱۳۸۹)، اکبری و نودهی (۱۳۹۴) نیز همخوانی دارد. با وجود این که این منطقه هم عرض با شمال‌غرب کشور است، اما روندهای مشاهده شده در شاخص‌های مورد بررسی برای این دو منطقه کاملاً متفاوت است. پیرنیا و همکاران (۱۳۹۴) دریای خزر را مهم‌ترین منبع رطوبتی بارش این منطقه دانسته، تغییرات بارش این مناطق را در ارتباط با دمای سطح دریای خزر در نظر گرفته‌اند. تعدادی از محققین نیز به نقش دورپیوندها مانند ENSO در تغییرات بارش کشور و طبیعتاً این منطقه نیز پرداخته‌اند (قوبدل رحیمی، ۱۳۸۴؛ عساکره و همکاران، ۱۳۹۱). با این وجود به نظر می‌رسد که در تحلیل تغییرات بارش این منطقه باید به وردایی‌ها و تغییرات پرفشار سبیری توجه شود. این سامانه حرارتی نقش مستقیمی در کنترل مسیر سامانه‌های سودانی در پهنه ایران دارد (لشکری، ۱۳۸۱). همچنین نقش این پرفشار در شکل‌گیری و حرکت شرق‌سوی سامانه‌های بارشی (سیکلون‌های) با منشأ مدیترانه و شرق اقیانوس اطلس بارز است (علیجانی، ۱۳۷۹). در صورت تضعیف فشار مرکزی این سامانه در اثر گرمایش جهانی، سامانه‌های بارشی امکان بیشتری برای نفوذ به شرق دریای خزر و شمال‌شرق ایران و در نتیجه افزایش بارش منطقه خواهند داشت. عساکره (۱۳۸۶) نیز در تحلیل روند کاهشی بارش در غرب و شمال‌غرب کشور احتمال ارتباط آن‌را با مکانیزم‌های باران‌زای پهنه کشور مطرح کرده است.

بارش‌های ۱۰ میلی‌متر و بالاتر نیز در نیمه جنوبی کشور روند افزایشی را نشان می‌دهد که با یافته‌های عسکری و همکاران (۱۳۸۶)، برنا و جهان (۱۳۹۴)، درگاهیان و همکاران (۱۴۰۰)، علیجانی و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی

دریای خزر و مقایسه آن با تغییرات درمقیاس جهانی و نیمکره شمالی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۶(۱۱)، ۹۰-۱۰۰.

حجازی زاده، ز؛ حلیان، ا؛ کربلائی درئی، ع. و طولابی نژاد، م. (۱۳۹۹). واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش در گستره ی ایران زمین. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۳)، ۱۳۵-۱۵۰.

حلیان، ا. و کیخسروی کیانی، م. ص. (۱۳۹۹). ارزیابی تغییرات نمایه‌های فرین بارش در ایران. مجله برنامه‌ریزی فضایی، ۱۰(۴)، ۲۴-۴۵.

خوش اخلاق، ف؛ عزیزی، ق؛ لشکری، ح. و ماهوتچی، م. (۱۳۹۸). واکاوی الگوهای هم‌دید- پوشی بارش‌های آب‌سنگین فراگیر تابستانه جنوب شرق ایران. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۹(۳۳)، ۲۰۲-۱۸۵.

درگاهیان، ف؛ دوستکامیان، م. و صادقی، م. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی ایران طی دوره‌های مختلف و ارتباط آن با گرمایش جهانی. فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی منابع آب، ۱۴(۴۹)، ۳۰-۴۷.

رسولی، ع؛ روشنی، ر. و قاسمی، ا. ر. (۱۳۹۲). تحلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های سالانه ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۸(۱)، ۲۰۵-۲۲۴.

سلمانی، ح؛ بردی شیخ، و؛ سلمان ماهینی، ع؛ اوقن، م. و فتح‌آبادی، ا. (۱۳۹۸). تحلیل روند بلندمدت سری‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در شرق حوزه آبخیز گرگانرود استان گلستان با استفاده از روش‌های آماری حذف خودهمبستگی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۰(۱۹)، ۵۸-۷۲.

طاووسی، ت. (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در پهنه‌های آب‌وهوایی غرب و شمال غرب ایران. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۷(۱۰۵)، ۸۵-۹۶.

عساکره، ح. (۱۳۸۶). تغییرات زمانی- مکانی بارش ایران زمین طی دهه‌های اخیر. نشریه جغرافیا و توسعه، ۵(۱۰)، ۱۴۵-۱۶۴.

داد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی تغییرات شاخص‌های حدی دما نیز مورد بررسی قرار بگیرد تا با تلفیق نتایج آن با نتایج حاصل از تغییرات بارش (پژوهش حاضر) بتوان امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تری در مورد مدیریت منابع آب را فراهم ساخت.

مراجع

اکبری، م. و نودهی، و. (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل روند بارش سالانه و تابستانه استان گلستان. مجله آمایش جغرافیایی فضا. ۵(۱۷)، ۱۵۰-۱۴۱.

امیررضائیه، ع؛ پرهت، ج. و احمدی، ف. (۱۳۹۵). بررسی روند تغییرات بارش و دمای شمال غرب کشور در نیم قرن اخیر. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰(۶)، ۷۹۷-۸۰۹.

امینی‌نیا، ک؛ لشکری، ح. و علیجانی، ب. (۱۳۸۹). بررسی و تحلیل نوسانات بارش برف سنگین در شمال غرب ایران. مجله فضای جغرافیایی، ۱۰(۲۹)، ۱۳۵-۱۶۳.

ایران‌نژاد، پ؛ کتیرایی بروجردی، پ. و حجام، س. (۱۳۸۶). سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۳(۱)، ۶۷-۸۳.

بابایی فینی، ا. و فرج‌زاده اصل، م. (۱۳۸۱). الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران. مجله مدرس علوم انسانی، ۶(۴)، ۵۱-۷۰.

باقرپور، م؛ سیدیان، س؛ فتح‌آبادی، ا. و محمدی، ا. (۱۳۹۶). بررسی کارایی آزمون من کندال در شناسایی روند سری‌های دارای خودهمبستگی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۱(۳۶)، ۱۱-۲۱.

برنا، ر. و جهان، آ. (۱۳۹۴). مطالعه روند تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی دما و بارش در جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: استان بوشهر). مجله جغرافیای طبیعی، ۸(۲۸)، ۴۳-۶۳.

پیرنیا، ع؛ حبیب‌نژاد روشن م. و سلیمانی ک. (۱۳۹۴). بررسی تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی

- سودانی ورودی به ایران. فصلنامه دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس، ۶(۲)، ۲۵.
- لشکری، ح. (۱۳۸۲). مکانیسم تکوین - تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیایی (منتشر نمی‌شود)*، ۳۵(۳)، ۱-۱۸.
- مدرسی، ف.؛ عراقی‌نژاد، ش.؛ ابراهیمی، ک. و خیاط خلقی، م. (۱۳۸۹). بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانود-قره سو. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۴(۳)، ۴۷۶-۴۸۹.
- مزیدی، ا.؛ سلامتی هرمزی، و.؛ امیدوار، ک. و مظفری، غ. (۱۴۰۱). آشکارسازی تغییرات زمانی-مکانی بارش‌های جنوب شرق ایران. *مجله کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۱۰(۱)، ۶۵-۴۷.
- میرعباسی نجف آبادی، ر. و دین‌پژوه، ی. (۱۳۹۱). تحلیل روند تغییرات بارش‌های شمال غرب ایران در نیم قرن گذشته. *علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)*، ۳۵(۴)، ۵۹-۷۳.
- میرموسوی، س. (۱۳۸۷). مطالعه نوسانات دما و بارش سالانه در منطقه شمال غرب ایران. *مجله پژوهش‌های جغرافیایی*، ۴۰(۶۶)، ۸۷-۹۹.
- نساجی زواره، م. و قرمزچشمه، ب. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات زمانی-مکانی مقادیر حدی بارش روزانه (ناحیه شمال و غرب ایران). *سامانه‌های سطوح آبگیر باران* ۱۴۰۱؛ ۱۰(۱)، ۴۰-۲۷.
- عساکره، ح. و رزمی، ر. (۱۳۹۱). تحلیل تغییرات بارش سالانه شمال غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)*، ۲۳(۳)، ۱۴۷-۱۶۲.
- عسگری، ا.؛ رحیم‌زاده، ف.؛ محمدیان، ن. و فتاحی، ا. (۱۳۸۶). تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۳(۳)، ۴۲-۵۵.
- علیپور، ح. و ملکیان، آ. (۱۳۹۸). تحلیل همگنی و روند بارش‌های آستانه با رویکرد آماری ناپارامتری در شمال غرب ایران. *مجله مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۱(۴)، ۹۱۷-۹۲۸.
- علیجانی، ب. (۱۳۷۹). آب‌وهوای ایران. پیام نور.
- علیجانی، ب.؛ محمودی، پ. و چوگان، ع. (۱۳۹۱). بررسی روند تغییرات بارش‌های سالانه و فصلی ایران با استفاده از روش ناپارامتریک «برآورد کننده شیب سنس». *نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی*، ۳(۹)، ۲۳-۴۲.
- علیزاده چوبری، ا. و نجفی، م. ا. (۱۳۹۶). روند تغییرات دمای هوا و بارش در مناطق مختلف ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۴۳(۳)، ۵۸۴-۵۶۹.
- قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۴). اثر الگوی بزرگ مقیاس گردش جوی - اقیانوسی «انسو» بر تغییرپذیری فصلی اقلیم در ایران: آثار «ال‌نینو» و «لانینا» بر تغییرپذیری بارش‌های بهاری در آذربایجان شرقی. *مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۹(۴)، ۷۱-۸۸.
- لشکری، ح. (۱۳۸۱). مسیریابی سامانه‌های کمفشار the Tibetan Plateau and the surroundings. *Scientific reports*, 7(1), 1-10.
- Hamal, K., Sharma, S., Khadka, N., Baniya, B., Ali, M., Shrestha, M. S., Xu, T., Shrestha, D., & Dawadi, B. (2020). Evaluation of MERRA-2 precipitation products using gauge observation in Nepal. *Hydrology*, 7(3), 40.
- Harman, B. I., Koseoglu, H., & Yigit, C. O. (2016). Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey. *Applied Acoustics*, 112, 147-157.
- Kendall, M. G. (1970). Rank Correlation Methods

Ali, N., Ahmad, I., Chaudhry, A. G., & Raza, M. A. (2015). Trend analysis of precipitation data in Pakistan. *Sci Int*, 27, 803-808.

Alijani, B., O'Brien, J., & Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theor Appl Climatol* 94, 107-124. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0344-y>

Bloom, S. C., Takacs, L. L., da Silva, A. M., & Ledvina, D. (1996). Data Assimilation Using Incremental Analysis Updates. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 1256-1271.

Cuo, L., & Zhang, Y. (2017). Spatial patterns of wet season precipitation vertical gradients on

- 2nd edn (New York: Hafner).
- Koudahe, K., Kayode, A. J., Samson, A. O., Adebola, A. A., & Djaman, K. (2017). Trend analysis in standardized precipitation index and standardized anomaly index in the context of climate change in Southern Togo. *Atmospheric and Climate Sciences*, 7(04), 401.
- Lorenzo, M. N., & Alvarez, I. (2020). Climate change patterns in precipitation over Spain using CORDEX projections for 2021–2050. *Science of The Total Environment*, 2020 Jun; 723, 138024.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 13(3), 245-259.
- Molod, A., Takacs, L., Suarez, M., Bacmeister, J., Song, I.S., & Eichmann, A. (2012). The GEOS-5 atmospheric general circulation model: mean climate and development from MERRA to fortuna; NASA technical report series on global modeling and data assimilation. Greenbelt. 117, 28-45.
- Nyikadzino, B., Chitakira, M., & Muchuru, S. (2020). Rainfall and runoff trend analysis in the Limpopo river basin using the Mann Kendall statistic. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 117, 102870.
- Olofintoye, O. O., & Sule, B. F. (2010). Impact of global warming on the rainfall and temperature in the Niger Delta of Nigeria. *Journal of Research Information in Civil Engineering*, 7(2), 33-43.
- Rahimi, M., & Sadat fatemi, S. (2019). Mean versus Extreme Precipitation Trends in Iran over the Period 1960–2017. *Pure Appl. Geophys.*
- Rahmani, V., Hutchinson, S. L., Harrington Jr, J. A., & Hutchinson, J. S. (2016). Analysis of frequency and magnitude of extreme rainfall events with potential impacts on flooding: A case study from the central United States. *International Journal of Climatology*, 36(10), 3578-3587.
- Saddique, N., Khaliq, A., & Bernhofer, C. (2020). Trends in temperature and precipitation extremes in historical (1961–1990) and projected (2061–2090) periods in a data scarce mountain basin, northern Pakistan. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34(10), 1441-1455.
- Wei, L., Jiang, S., Ren, L., Wang, M., Zhang, L., Liu, Y., & Yang, X. (2021). Evaluation of seventeen satellite, reanalysis, and gauge-based precipitation products for drought monitoring across mainland China. *Atmospheric Research*, 105813.
- Xu, X., Frey, S. K., & Ma, D. (2022). Hydrological performance of ERA5 and MERRA-2 precipitation products over the Great Lakes Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 39, 100982.
- Yao, J., Chen, Y., Yu, X., Zhao, Y., Guan, X., & Yang, L. (2020). Evaluation of multiple gridded precipitation datasets for the arid region of northwestern China. *Atmospheric Research*, 236, 104818.
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of hydrology*, 259(1-4), 254-271.