

## Investigating precipitation changes in the southern coast of Iran using ERA5 data

Kamali, M.<sup>1</sup>  | Torabi Azad, M.<sup>2</sup> 

1. Master's student in Meteorology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.
2. Professor, North Tehran Branch, , Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Corresponding Author E-mail: [M\\_Azad@Iau-tnb.ac.ir](mailto:M_Azad@Iau-tnb.ac.ir)

(Received: 21 Aug 2023, Revised: 09 Mar 2024, Accepted: 30 Apr 2024, Published online: 30 Apr 2024)

### Abstract

Precipitation is an important but variable quantity in the climate system. Monitoring the changes of this quantity has many complications, so in this research, we tried to investigate the trend of precipitation changes in the coastal strip of southern Iran using ERA5 data. In this regard, the monthly rainfall data of ERA5 model was used for the time period of 1981-2020. For this investigation, linear regression tests and Mann-Kendall test were used to measure the correlation and the trend of changes of this quantity in 3 provinces of Khuzestan, Bushehr and Hormozgan. Examining the results of the correlation between the observational data and the model data indicated a high and significant correlation, which showed a high correlation of 95 percent with a correlation coefficient of more than 0.92. Examining the time series of the data indicated an increase in regional precipitation in the spring season and a decrease in the winter season. Intra-seasonal changes showed that winter precipitation decreased compared to autumn rains, spring rains increased compared to autumn, summer rains increased compared to autumn rains, and summer rains increased compared to spring rains in the region. The monthly survey of precipitation showed that the concentration of the increasing rate of rainfall was concentrated in the northern regions of Khuzestan province, which shows a significant upward trend in some regions such as the east of Hormozgan province in January.

**Keywords:** Precipitation, Trends, ERA5 model, Southern coasts of Iran

**Cite this article:** Kamali, M., & Torabi Azad, M. (2024). Investigating precipitation changes in the southern coast of Iran using ERA5 data. Journal of the Nivar, 48(124-125), 187-202. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.412682.1258>

E-mail: (1) [kamali120@yahoo.com](mailto:kamali120@yahoo.com)



## بررسی تغییرات بارش در نوار ساحلی جنوب ایران با استفاده از داده های ERA5

مریم کمالی<sup>۱</sup> | مسعود ترابی آزاد<sup>۲</sup> ✉

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.
۲. استاد فیزیک دریا، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: [M\\_Azad@iau-tnb.ac.ir](mailto:M_Azad@iau-tnb.ac.ir)

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۳۰، بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱)

### چکیده

بارش کمیتی مهم و تغییرپذیر در سیستم اقلیمی است. پایش تغییرات این کمیت دارای پیچیدگی های فراوانی می باشد. در این تحقیق سعی شده تا به بررسی روند تغییرات بارش در نوار ساحلی جنوب ایران با استفاده از داده های ERA5 پرداخته شود. در این راستا از داده های بارش ماهانه مدل ERA5 برای دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۱ استفاده شده است. از آزمون های رگرسیون خطی و آزمون من-کنندال برای ارتباط سنجی و روند تغییرات این کمیت در ۳ استان خوزستان، بوشهر و هرمزگان استفاده گردید. بررسی نتایج حاصل از ارتباط سنجی بین داده های مشاهداتی و داده های مدل حاکی از ارتباط بالا و معنادار است که همبستگی بالای ۰/۹۵ با ضریب تبیین بیش از ۰/۹۲ را نشان می دهد. بررسی سری زمانی داده ها حاکی از افزایش بارش های منطقه ای در فصل بهار و کاهش آن در فصل زمستان است. تغییرات درون فصلی نشان داد که بارش های زمستانه نسبت به بارش های پاییزه کاهش، بارش های بهاره نسبت به پاییزه افزایش، بارش های تابستانه به نسبت بارش های پاییز روند صعودی داشته و بارش تابستانه به نسبت بارش های بهاره نیز در منطقه در حال افزایش است. بررسی ماهانه بارش ها نشان داد که غالب تمرکز نرخ افزایشی بارش در مناطق شمالی استان خوزستان می باشد، که این وضعیت در برخی مناطق به مانند شرق استان هرمزگان در ماه ژانویه روند صعودی چشم گیری را نشان می دهد.

کلیدواژه ها: بارش، روند، مدل ERA5، سواحل جنوبی ایران

### ۱. مقدمه

عملکرد بالایی را از خود نشان داده اند ولی برای پی بردن به میزان دقت اندازه گیری ها در ایستگاه های مشاهده ای و اینکه تا چه میزان به واقعیت نزدیک باشد، نیاز به بررسی دارد (نوروزی و کرمی، ۱۳۸۸). در عصر حاضر که نوسان و پویایی اقلیمی تأثیر زیادی بر محیط زیست و توسعه اجتماعی دارد و بسیاری از چالش های جهانی مانند ناامنی غذایی، بحران آب، از دست دادن تنوع زیستی و مسائل مربوط به سلامت به تغییرات آب و هوایی وابسته است،

بارش یکی از عناصر مهم و فعال در چرخه اکوسیستم و روابط مربوط به محاسبات پارامترهای هوا و اقلیم می باشد. این متغیر تنها عاملی است که اثر مستقیم بر چرخه ی هیدرولوژی دارد و پایش و اندازه گیری دقیق آن در حوزه های مختلف از جمله مدیریت منابع آب بسیار مهم است از میزان بارش می توان شدت و تغییرات آن را برآورد کرد. از گذشته تا به امروز یکی از مهمترین روش ها برای پایش متغیرهای آب و هواشناسی استفاده از ایستگاه های سنجش زمین است که

استناد: کمالی، مریم و ترابی آزاد، مسعود. (۱۴۰۳). بررسی تغییرات بارش در نوار ساحلی جنوب ایران با استفاده از داده های ERA5. مجله نیوار، ۴۸ (۱۲۴-۱۲۵)، ۱۸۷-۲۰۲

DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.412682.1258>

رایانامه: (۱) [kamali120@yahoo.com](mailto:kamali120@yahoo.com)



پایگاه ECMWF از نوع ترکیب داده است و از انواع داده های مشاهدات سطح زمین، رادپوسوند، اندازه گیری با بالون، نیمرخ های هوانوردی، و ماهواره های تابشی، طیف سنج و ارتفاع سنج ماهواره ای (ERS<sup>6</sup>)، سنجنده های نوآ، سنجنده های تهیه نقشه مجموع ازن (TOMS<sup>7</sup>)، اشعه ماوراء بنفش خورشید (SBUV<sup>8</sup>) و... استفاده می کنند. تحقیقات صورت گرفته نشان داد که منابع بارشی بازتحلیل شده و منبع بارش ماهواره ای در برآورد وقایع حدی بارش برآورد کمتری داشته اند. همچنین می توان به کارایی بهتر محصول ERA5 نسبت به ERA-Interim و TRMM<sup>9</sup> اشاره نمود (هنین و همکاران، ۲۰۱۸). ژو و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی منابع مختلف مدل های مختلف بارشی از جمله ERA5 در حوضه رودخانه آسینیواین کشور کانادا پرداختند. نتایج نشان داد که در حالت کلی محصولات بارش مورد نظر در فصل بهار و پاییز بهترین عملکرد در سطح حوضه مورد نظر را نشان داده است. از نتایج دیگر این پژوهش این است که ERA5 عملکرد بهتری نسبت به ERA-Interim داشته است. امجد و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی منابع مختلف بارش با داده های زمینی در کشور ترکیه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که در حالت کلی منبع بارش ماهواره ای GPM-IMERGV07 در برآورد بارش در مقیاسهای مختلف زمانی نتایج بهتری ارائه و تمامی منابع بارش مورد اشاره در برآورد بارش روزانه دارای بیش برآوردی می باشند. همچنین منبع بارش ERA5 با توجه به شاخصهای آماری ضریب همبستگی و شاخصهای جدول توافقی نتایج بهتری نسبت به منبع بارش ERA-Interim ارائه داد. شن و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی عملکرد مدل ERA5 در پایش بارش های شدید در حوضه آبریز یانگ تسه چین پرداختند. بررسی ها نشان داد که سیر تغییرپذیری این نوع بارش ها در حوضه آبریز دارای روندی صعودی بوده و از طرفی برای پایش این نوع بارش ها مدل

پایش دقیق عوامل آب و هوایی نظیر بارش بسیار مهم می باشد (شمیدبولر، ۲۰۰۷؛ وزینیکی و همکاران، ۲۰۱۶؛ پاچوری و همکاران، ۲۰۱۴؛ تانگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ میشر و همکاران، ۲۰۱۶). اما با توجه به پراکندگی، تراکم نامناسب، کمبود و همچنین وجود خلأهای آماری، پژوهشگران در بخش های بزرگی از جهان و به ویژه در کشورهای دارای تنوع زیاد توپوگرافی، با چالش های فراوانی برای پایش مواجه هستند (عرفانی و همکاران، ۱۳۹۹). امروزه توسعه پایگاههای مدلسازی و پیش بینی داده های اقلیمی با توان تفکیک مکانی و زمانی، امکان دسترسی به داده های تقریباً به هنگام را فراهم کرده و تا حدودی چالش های مذکور را مرتفع نموده است. پایگاه های داده کاوی نظیر NCEP/NCAR<sup>1</sup>، پایگاه اقلیم جهانی (CRU<sup>2</sup>)، مرکز پیشبینی میان مدت-جوی اروپایی (ECMWF<sup>3</sup>) از این نوع می باشند. مدلسازی داده های اقلیمی با بهره گیری از داده های ایستگاه های هواشناسی سراسر کره زمین (ایستگاه های همدیدی، بویه های دریایی، ایستگاه های جو بالا)، داده های بدست آمده از ماهواره های هواشناسی، داده های بدست آمده از خطوط هواپیمایی و کشتیرانی بین المللی و نیز با در نظر گرفتن رابطه فیزیکی دینامیکی بین جو و اقیانوس و اثر توپوگرافی پیچیده کره زمین و توزیع اقیانوس ها و جنگل های گسترده بر روی آن به پیشبینی حرکات جوی و متغیرهای مختلف مانند بارش، دما، فشار، باد و... در طی زمان می پردازند و عمدتاً به صورت شبکه بندی شده هستند (دی و همکاران، ۲۰۱۱؛ بالسامو و همکاران، ۲۰۱۵). این پایگاه ها، به دلیل عدم قطعیت هایی که در تخمین پارامترهای اقلیمی دارند، بایستی قبل از استفاده مورد ارزیابی و تصحیح قرار گیرند. لذا برای تمامی مطالعات منابع آب و مدلسازی های هیدرولوژیکی استفاده از این پایگاه های داده، نیازمند یک سری بررسی های اولیه می باشد (حسینی و همکاران، ۱۴۰۱). داده های ERA<sup>4</sup> و ERA-Interim<sup>5</sup> از

5 -ECMWF Reanalysis Interim

6 -European Respiratory Society

7 -Total Ozone Mapping Spectrometer

8 -Solar Backscatter UV

9 - Tropical Rainfall Measuring Mission

1- National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research

2- Climatic Research Unit

3- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

4 -ECMWF Reanalysis v5

خطای موجود در دمای ۲ متری و فشار سطحی ERA5-Land به طور معناداری افزایش می یابد. باپیرزاده و همکاران (۱۴۰۱) با مطالعه مقایسه ای روشهای نگاشت چندک برای تصحیح اریبی داده های بارش ERA5 نشان داد که عملکرد روش نگاشت چندک به توابع عملکرد، مجموعه پارامترها و شرایط اقلیمی بستگی دارد. مقدسی و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی اثر توزیع مناسب تر مشخصات خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از داده های رواناب مدل ERA5 در اقلیم های مختلف کشور دریافتند که ارزیابی داده های مدل ERA5 حاکی از دقت بیشتر متغیرهای دما، تبخیر، تعرق و پتانسیل بارش می باشد.

کاربرد داده های شبکه بندی شده با توان تفکیک بالا و استفاده از آن ها امری ضروری در پایش کمیت های اقلیمی است. بر همین اساس سعی شد تا به بررسی روند تغییرات بارش در نوار ساحلی جنوب ایران با استفاده از داده های ERA5 پرداخته شود. علت انتخاب منطقه به دلیل توسعه آن در نوار ساحلی و از طرفی تاثیرپذیری آن از سامانه های فعال جوی جنب حاره است، تا مشخص گردد برهمکنش آب های آزاد و گرم جنوب با سامانه های فعال در منطقه حاره و جنب حاره طی ۴ دهه اخیر چه تاثیری بر روی بارش منطقه داشته اند.

## ۲. داده ها و روش ها

پایگاه داده ERA5 نسل پنجم از داده های بازتحلیل مرکز ECMWF است که برای بررسی وضعیت جوی و اقلیمی جهانی در چهار تا هفت دهه گذشته است. در حال حاضر داده های ERA5 از سال ۱۹۵۰ در دسترس است (Hersbach and et al. 2018). این داده ها دارای خطای کمتری نسبت به نسخه پیشین (ERA-Interim) دارند. این داده ها آخرین مجموعه داده های باز تحلیل با تفکیک مکانی ۳۱ کیلومتر و ۱۳۷ تراز فشاری می باشند که پارامترهای جوی، سطح زمین و اقیانوسی را همراه با عدم قطعیت های آنها در اختیار کاربران قرار می دهد. در این تحقیق از داده های ماهانه مدل ERA5 با دقت مکانی ۰/۱۲۵

ERA5 از دقت بالایی برخوردار است. چیاوارالوتی و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از سری زمانی بلندمدت داده های ERA5 به تحلیل روند بارش در ایتالیا پرداختند. نتایج نشان داد که روند کاهشی بارش ها در دوره زمستانه در اکثر مناطق ایتالیا بوجود آمده است. این در حالی است که در سایر فصول روند بارش ها مثبت مشاهده شده است.

عربی یزدی و همکاران (۱۳۹۸) با ارزیابی تولیدات شبکه ای تحلیل مجدد پایگاه اروپایی پیش بینی های میان مدت جوی ECMWF در مناطق اقلیمی مختلف ایران به این نتیجه رسیدند که می توان از داده های این مدل در کنار داده های ایستگاهی و یا برای مناطق با تراکم ایستگاه کم و فاقد ایستگاه استفاده نمود. عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) با ارزیابی عملکرد داده های بازتحلیل شده ERA5 در تخمین بارش روزانه و ماهانه در استان اردبیل دریافتند که این مدل را دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه میتواند بعد از اعمال تصحیحات اریبی به عنوان جایگزین مناسبی برای نقاط فاقد ایستگاه اندازه گیری بارش در سطح منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد. پیل پایه و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی با عنوان تحلیل وضعیت خشکسالی در سطح کشور ایران با استفاده از محصول بارشی مرکز ECMWF دریافتند که نتایج ارزیابی های اولیه حاکی از این بود که منبع بارش Era-interim می تواند به عنوان یک جایگزین مناسب برای ایستگاه های سینوپتیک در سطح کشور استفاده شود. به همین جهت از این داده های این پایگاه جهت بررسی وضعیت خشکسالی در سطح کشور استفاده شد. نویدی نساج و همکاران (۱۴۰۰) با ارزیابی داده های بارش شبکه بندی جهانی در پایش خشکسالی حوضه آبریز کارون به این نتیجه رسیدند که بر اساس مدل های ERA5، GPCC و PCDR می توان ارتباط قوی بارش با خشکسالی های شدید منطقه را به دست آورد. سام خانیانی و همکاران (۱۴۰۱) با مقایسه داده های بازتحلیل ERA5-Land با مشاهدات زمینی در ایران بدین نتیجه رسیدند که رابطه مقادیر برآورد شده خطا و اختلاف ارتفاع نقاط شبکه ERA5-Land و ارتفاع ایستگاه با افزایش اختلاف ارتفاع، اندازه اریبی منفی و جذر میانگین مربعات

صورت رایگان موجود است، و با نرم افزار GrADS یا در محیط پایتون قابلیت مشاهده گرافیکی آن ها فراهم می شود. کافیسیت تاریخ، ساعت، سطح (زمین یا سطوح مختلف جو) و فراسنج مورد نظر انتخاب شود تا لینک دانلود فعال گردد. دانلود داده های ERA5 از سایت [cds.climate.copernicus.eu](http://cds.climate.copernicus.eu) و [www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis](http://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis) انجام شد. با وجود داده های بارشی باز تحلیل شده ERA5 با دقت بالا برای اطمینان بیشتر در این تحقیق از داده های مشاهداتی سه ایستگاه سینوپتیک اهواز، بوشهر و بندرعباس در سه استان با طول دوره آماری ۴۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۸۱) نیز استفاده شد (جدول ۱). بر اساس جدول ۱ مشاهده می شود که ایستگاه های منتخب از هر استان دارای مجموع بارشی سالانه متفاوتی می باشند که ایستگاه بوشهر با متوسط ۲۷۹ میلیمتر بیشترین و ایستگاه بندرعباس با ۱۸۲ میلیمتر کمترین مقدار بارش ایستگاهی را دارند.

درجه جغرافیایی (حدود ۱۰ کیلومتر) طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۱ استفاده شده است (شکل ۱). از منابع مهم بارش می توان به داده های بازتحلیل شده ERA5 مرکز ECMWF اشاره کرد. در این پایگاه اطلاعاتی علاوه بر تجزیه و تحلیل داده های دیده بانهای سطح زمین، اندازه گیری های کشتی ها، رادارهای هواشناسی، بالن های هواشناسی، ماهواره ها و برخی داده های دیگر از مدل سازی عددی برای ایجاد داده های بازتحلیل و جدید استفاده می شود. بر روی آن ها عملیات کنترل کیفیت و بر آورد خطاهای اندازه گیری انجام می گیرد. لذا میزان خطای این منبع اطلاعاتی در مقایسه با داده های زمینی اندک و قابل چشم پوشی است. به همین دلیل می توان از آن ها در کنار داده های زمینی یا حتی به عنوان جایگزینی برای داده های زمینی در مناطق بدون ایستگاه استفاده نمود. دانلود داده های ERA5 در محیط ویندوز و لینوکس امکان پذیر است با این امکان که کد پایتون آن برای دانلود راحت تر در دسترس کاربران قرار می گیرد. این داده ها با توجه به انتخاب کاربر به دو فرمت NetCDF و GRIB به

جدول ۱. مشخصات ایستگاه های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	مجموع بارش سالانه (میلیمتر)
اهواز	۴۸/۷۴	۳۱/۳۴	۲۲	۲۱۳
بوشهر	۵۰/۸۲	۲۸/۹	۹	۲۷۹
بندر عباس	۵۶/۳۷	۲۷/۲۱	۹/۸	۱۸۲

بر اساس آزمون کندال متغیر  $\tau$  جهت اندازه گیری رابطه بین  $x$  و  $y$  ارائه شد و من با استفاده از آزمون کندال یکی از متغیرها را زمان در نظر گرفت تا روند را مورد آزمون قرار دهد (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۵). آزمون ناپارامتری من کندال برای شناسایی روند سریهای زمانی داده ها استفاده می شود. در این آزمون تصادفی بودن داده ها با عدم وجود روند مشخص می گردد. در آزمون من کندال  $H_0$  (عدم وجود روند) و  $H_1$  (وجود روند) به ترتیب با سری زمانی داده بدون و با روند مطابقت دارند (رابطه های ۴-۱).

پس از اخذ داده های مورد نظر در دو دسته ایستگاهی و شبکه بندی شده ابتدا همگنی و نرمال بودن آنها بررسی گردید و سپس اقدام به ارتباط سنجی و صحت سنجی بین داده های مشاهداتی و مدل ERA5 شد. در این راستا از مدل رگرسیونی استفاده به عمل آمد تا مقدار همبستگی و سطح معناداری داده های سالانه مشخص گردد. در ادامه با استفاده از آزمون من-کندال در نرم افزار SPSS روند بارش ماهانه بدست آمد. برای این کار سری زمانی ۴۰ ساله از هر ماه تهیه شد تا روند تغییرات کمیت بارش در طی زمان مشخص گردد.

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(Y_j - Y_i) \tag{1}$$

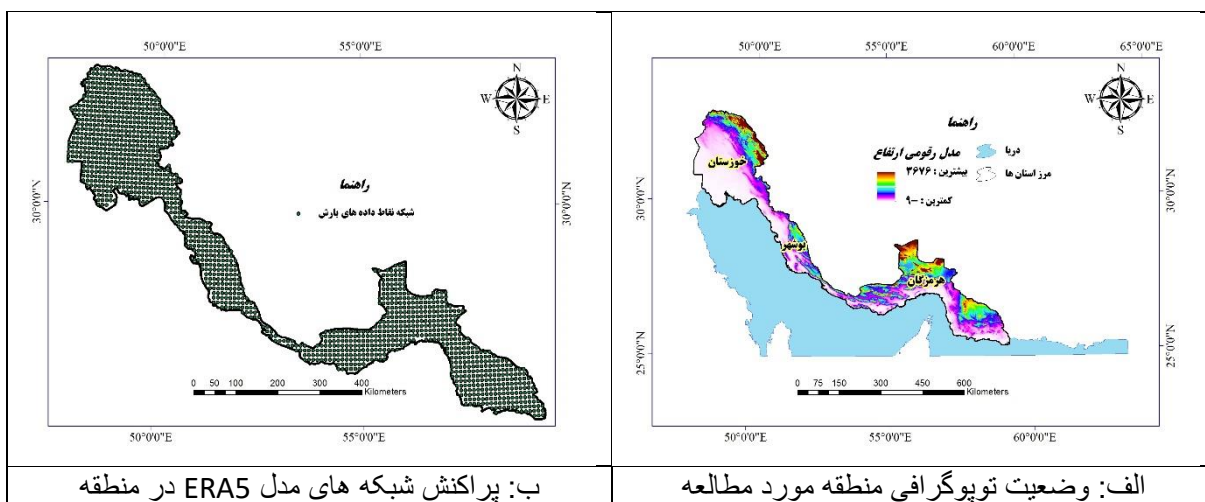
$$\text{sgn}(Y_j - Y_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (Y_j - Y_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (Y_j - Y_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (Y_j - Y_i) < 0 \end{cases} \tag{2}$$

$$R(S) = \frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \tag{3}$$

$$Z_m = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \tag{4}$$

کاهش و مقدار مثبت آن نشان دهنده روند افزایشی در سری داده ها می باشد. با توجه به سطح معنی داری ۹۵ درصد اگر  $|ZM| < 1.96$  باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی دار و در غیراینصورت فاقد روند ارزیابی می شود.

در روابط ۱ تا ۴،  $N$  تعداد داده مشاهده شده (طول دوره آماری)،  $X_i$  و  $X_j$  به ترتیب  $i$  امین و  $j$  امین داده مشاهده ای، و  $q$  عدد گروه های ایجاد شده (با داده های برابر و بیشتر از دو عضو)،  $t_p$  تعداد داده های برابر در  $p$  امین گروه و  $ZM$  مقدار آماره من - کندال است. مقدار منفی  $ZM$  بیانگر روند



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

بود که همبستگی به مقدار ۰/۹۶ با ضریب تبیین ۰/۹۲ بین این دو نوع داده حاکم است (جدول ۲ و شکل ۲). همانطور که مشاهده می شود همبستگی بالایی بین متوسط بارش منطقه ای و داده های ایستگاهی وجود دارد. در نتیجه داده های ERA5 همبستگی بالایی با داده های مشاهداتی داشته و می توان از

### ۳. بحث

بر اساس آنچه گفته شد در ابتدا به بررسی ارزیابی داده های مدل و مشاهداتی پرداخته شد. نتایج نشان داد که بر اساس جدول ۲ همبستگی بالایی بین داده های ایستگاهی بارش و شبکه بندی شده ERA5 حاکم است. نتایج گویای این امر

متوسط بارش ۳ ایستگاه نماینده در منطقه بررسی گردد. برای مقایسه از معیار برآورد خطای استاندارد استفاده شد.

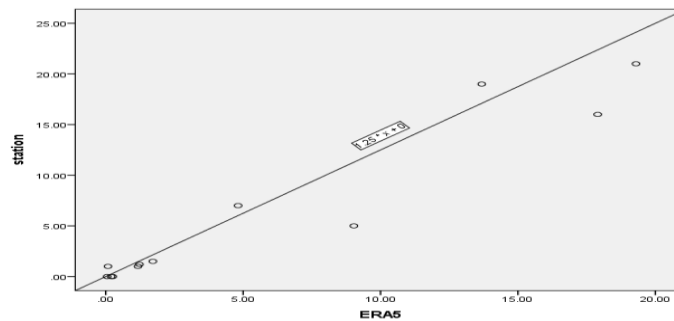
آن به عنوان یک ابزار مفید برای پایش کمیت هایی همچون بارش استفاده نمود. اجرای مدل رگرسیونی بصورتی بود که طی بازه ۴۰ ساله تغییرات بارش متوسط منطقه ای (۳ استان) با

جدول ۲. خلاصه مدل رگرسیون و همبستگی بین داده های بارش ایستگاهی و داده های ERA5

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
۱	۰/۹۶	۰/۹۲۱	۰/۹۱۴	۲/۳۴

a. Predictors: (Constant), ERA5

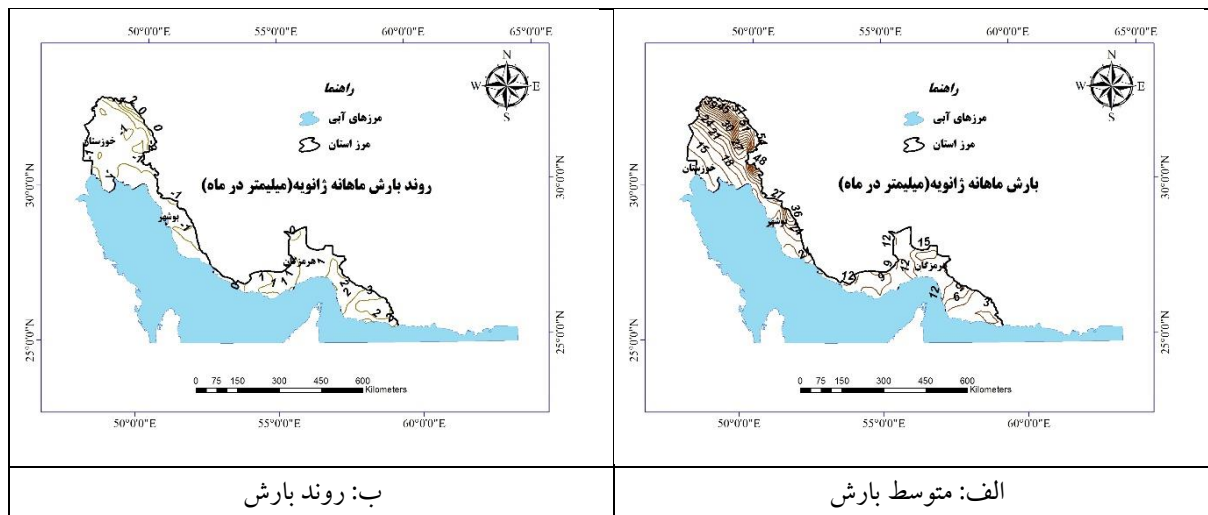


شکل ۲. نمودار همبستگی و خط رگرسیون بین داده های ایستگاهی بارش و داده های ERA5

### روند ماهانه بارش

با توجه به شکل ۳ مشاهده می شود که در ماه ژانویه غالب بارش های منطقه متمرکز بر روی شمال استان خوزستان است که به بیش از ۵۴ میلیمتر در ماه می رسد. در این ماه کمینه بارش ها در شرق استان هرمزگان مشاهده می شود. بررسی ها نشان داد که در ۴ دهه گذشته روند رو به کاهش بارش در استان خوزستان و بوشهر وجود دارد. این روند کاهشی در اغلب مناطق نزدیک به ۱ میلیمتر در ماه می رسد. از طرفی در شرق استان هرمزگان روند رو به رشد با بیش از ۲ الی ۳ میلیمتر بارش ثبت شد.

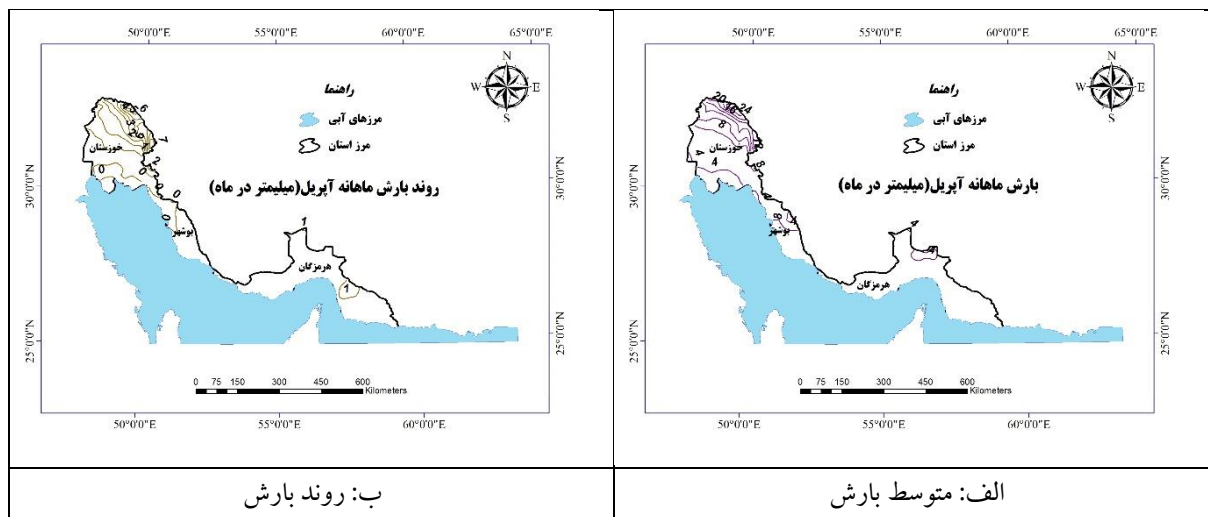
بررسی حاصل از نتایج آزمون های مقایسه ای نیز نشان می دهد که مقادیر بارش ERA5 دقت قابل قبولی برای استفاده در تحقیق حاضر داشته است. مقادیر شاخص های خطا سنجی MAD و RMSE اختلاف ناچیزی بین داده های ایستگاهی و داده های شبکه بندی شده دارند. سپس به منظور بررسی روند تغییرات بارش در سواحل جنوبی ایران مقادیر هر یک از آنها برای هر استان بطور مجزا متوسط گیری شدند. در ادامه پس از ایجاد یک سری زمانی از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ توزیع فصلی هر یک از فراسنج ها با استفاده از داده های ERA5 محاسبه و نمودار هر یک بصورت جداگانه رسم شد.



شکل ۳. وضعیت بارش در ماه ژانویه

در برخی مناطق به بیش از ۷ میلی متر می رسد. در قسمت های جنوبی این استان و عمده مناطق استان بوشهر روند خاصی در بارش ها مشاهده نمی شود. اما در برخی مناطق استان هرمزگان بارش ها حدود ۱ میلی متر افزایش داشته اند (شکل ۴).

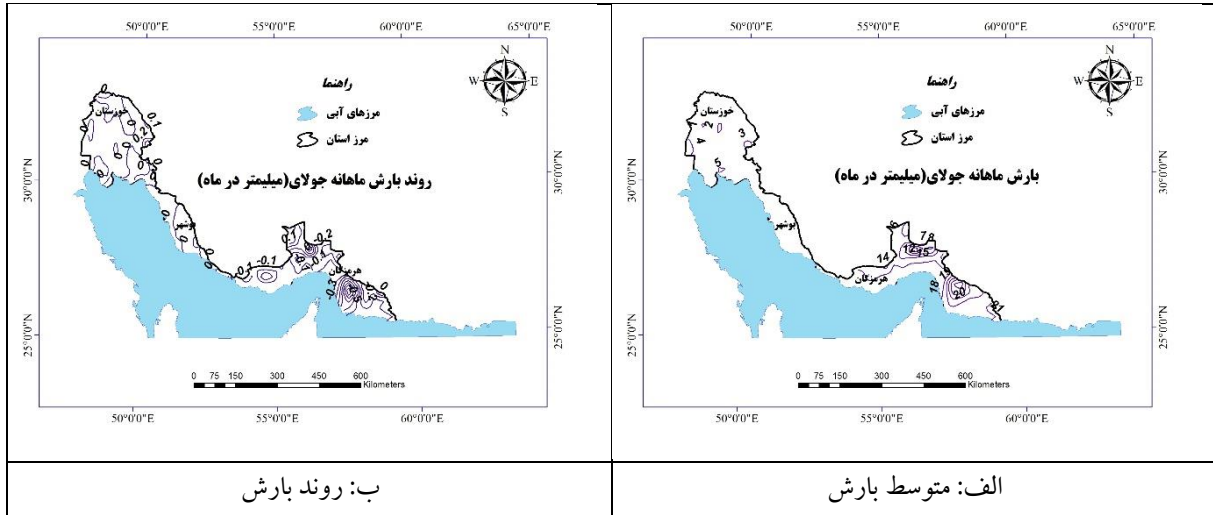
در ماه آوریل تمرکز بارش ها در نیمه غربی منطقه مورد مطالعه می باشد و تقریباً در نیمه شرقی، بارش خاصی در این ماه از سال به طور میانگین مشاهده نمی شود. نتایج حاصل از روند تغییرات نشان داد که در این ماه در نوار شمالی استان خوزستان بارش ها به شدت افزایش یافته که مقدار آن گاهاً



شکل ۴. وضعیت بارش در ماه آوریل

را تجربه نموده اند که این روند کاهشی در برخی موارد نزدیک به ۰/۵- میلی متر می رسد. در استان خوزستان و در شرق آن بارش ها دارای روندی افزایشی هستند و مقدار آن بین ۰/۱ تا ۰/۲ میلی متر در ماه ثبت شد (شکل ۵).

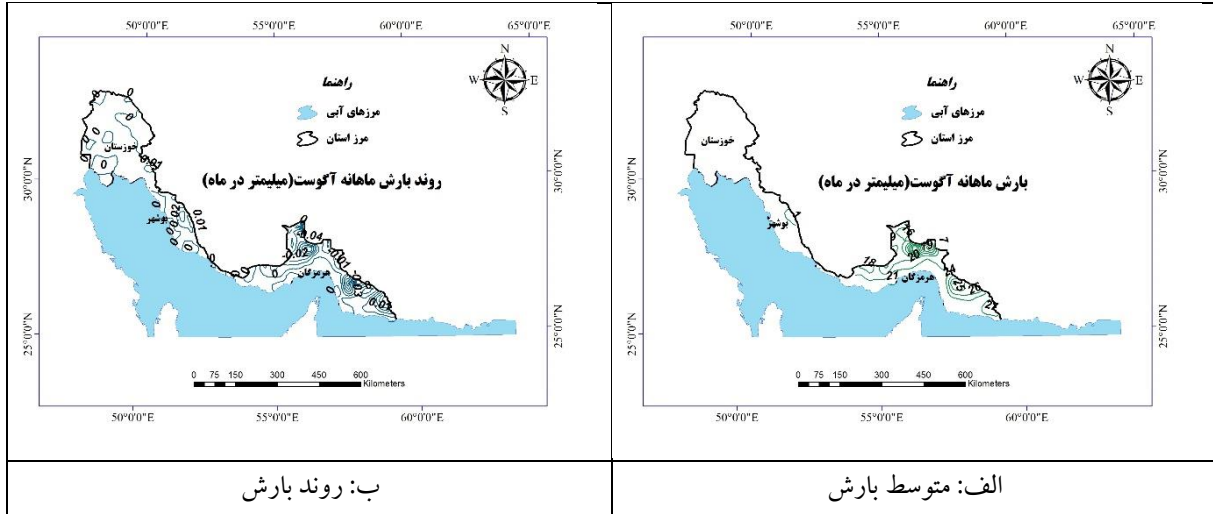
بارش تابستانه به خصوص در ماه جولای نشان داد که عمده بارش ها در این دوره بر روی استان هرمزگان متمرکز است. از طرفی متوسط بارش در این ماه در نیمه غربی منطقه مورد مطالعه کمتر از ۵ میلی متر است. بررسی ها نشان داد که در این دوره در اغلب مناطق استان هرمزگان بارش ها روند کاهشی



شکل ۵. وضعیت بارش در ماه جولای

بارش بصورت منطقه‌ای بوده و در شرق و مرکز این استان به وجود آمده است. در نیمه غربی منطقه مورد مطالعه روند خاصی از بارش‌ها مشاهده نشد و عمده تغییرات زمانی و مکانی بارش در شرق منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

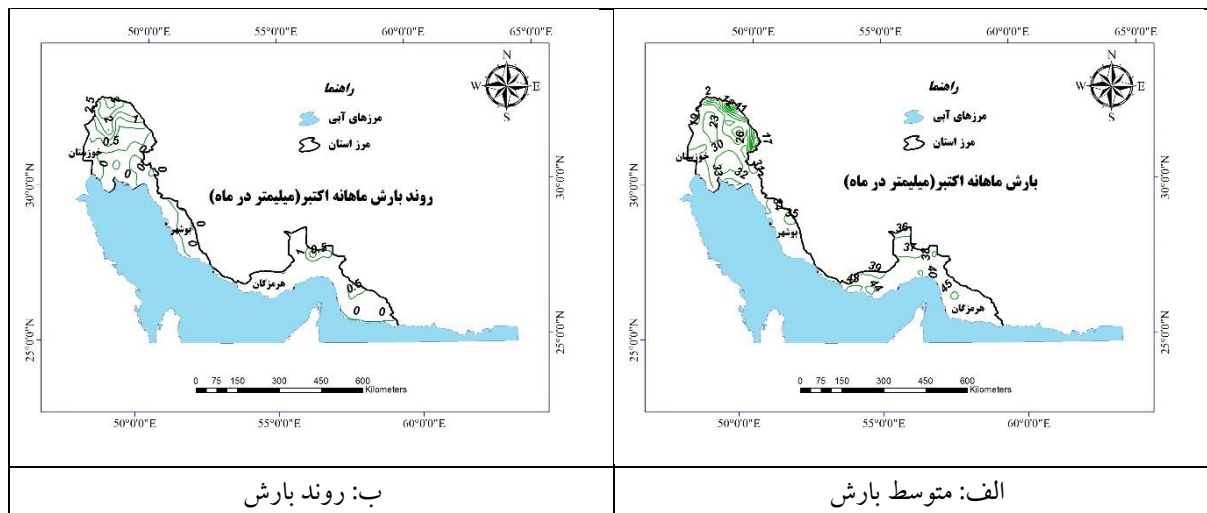
در شکل ۶ مشاهده می‌شود که اغلب بارش‌ها در استان هرمزگان است و در استان‌های بوشهر و خوزستان در این دوره بارشی نازل نشده است. در این دوره روند رو به کاهش بارش در استان هرمزگان نیز به چشم می‌خورد. این کاهش



شکل ۶. وضعیت بارش در ماه آگوست

خصوص در مناطق شمالی آن بین ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر را نشان می‌دهند. در این دوره در استان بوشهر هیچ روند به خصوصی از بارش مشاهده نشد.

براساس شکل ۷ بارش‌ها در ماه اکتبر به شدت در حال افزایش هستند. این افزایش بارش در قسمت‌هایی از استان خوزستان کمی بیش از ۲/۵ میلی‌متر در ماه را گزارش می‌کنند. از طرفی این روند افزایشی در استان هرمزگان و به



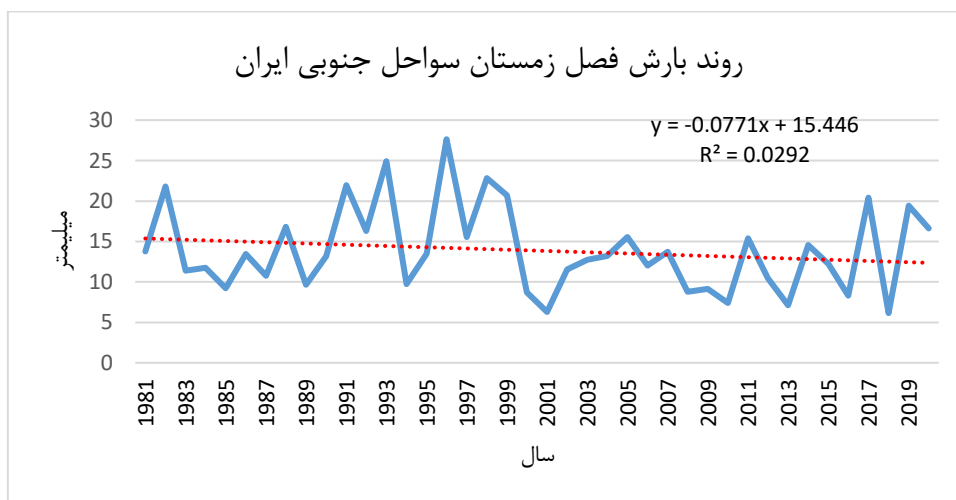
شکل ۷. وضعیت بارش در ماه اکتبر

ایران مشاهده می شود. بطوریکه خط روند دارای شیبی پایین سو است که تاییدی بر این ادعا می باشد (شکل ۸). در شکل ۹ روند بارش برای دوره بهار ارائه شده است. نتایج نشان داد در این فصل عمده بارش ها در این منطقه روندی افزایشی را گزارش می دهند. افزایش بارش بهاره در این منطقه حاکی از افزایش ورود سامانه های جوی ناپایدار در این فصل از سال است که سبب شده تا شرایط جوی مناسبی جهت نزولات جوی در منطقه فراهم گردد. بر اساس نمودار تهیه شده مشاهده می شود که بین سال های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱ افت شدید بارشی وجود داشته اما پس از آن روند افزایشی در بارش های منطقه بوجود آمده است.

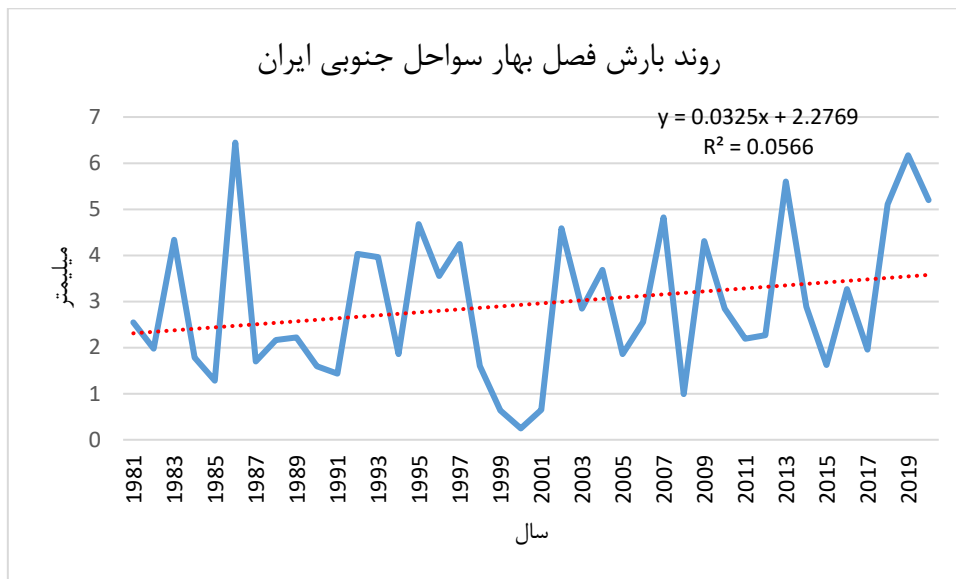
بر اساس نتایج آزمون من کندال در روند ماهانه بارش مشاهده شد در ماه های فوریه، مارس، ژوئن، نوامبر و دسامبر متوسط بارش منطقه ای در سواحل جنوبی ایران بصورت کاهشی است. بیشترین کاهش بارش در ماه ژوئن با ۱/۲- میلیمتر در ماه می باشد.

### روند فصلی بارش

بررسی روند بارش نشان داد که در چهار دهه گذشته در فصل زمستان بارش دارای نوسان بالایی می باشد به گونه ای که میانگین بارش از ابتدای دوره آماری تا سال ۱۹۹۱ روندی کاهشی داشته و پس از آن روندی افزایشی داشته است. سپس از سال ۱۹۹۹ روند کاهشی محسوسی در بارش های جنوب



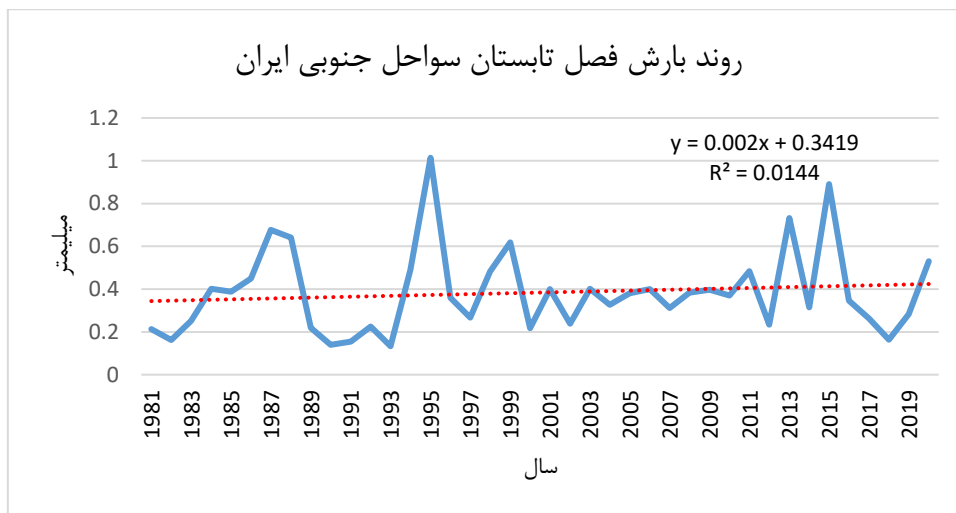
شکل ۸. نمودار روند بارش فصل زمستان سواحل جنوبی ایران



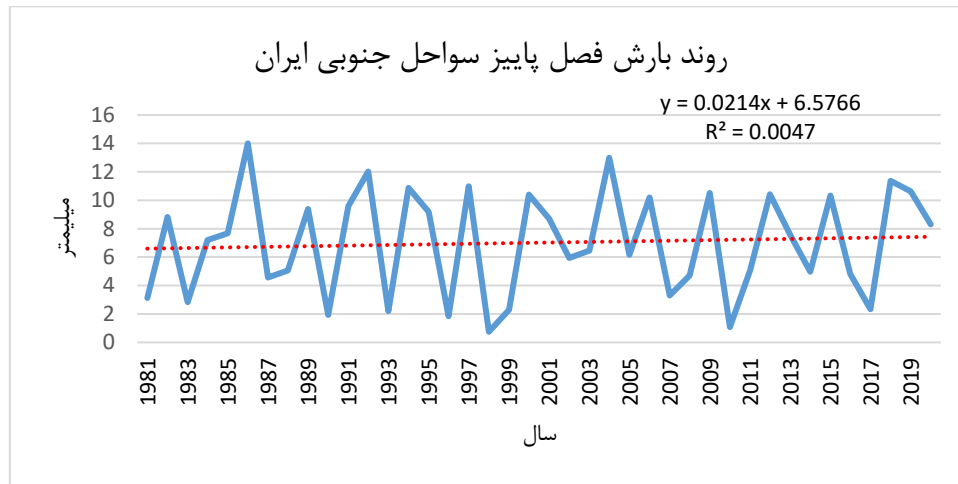
شکل ۹. نمودار روند بارش فصل بهار سواحل جنوبی ایران

در دوره های ۱۹۸۷، ۱۹۹۵ و سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ می باشد. با این حال روند نسبی افزایشی در بارش ها دیده شده اما روند معناداری نمی باشد.

در شکل ۱۰ که برای بررسی روند بارش در فصل تابستان تهیه شده مشاهده شد که این دوره خشکترین دوره منطقه از نظر بارشی است و نزولات جوی در کمترین مقدار در این زمان نازل شده اند. بررسی ها حاکی از تغییر ناگهانی نمودار بارش



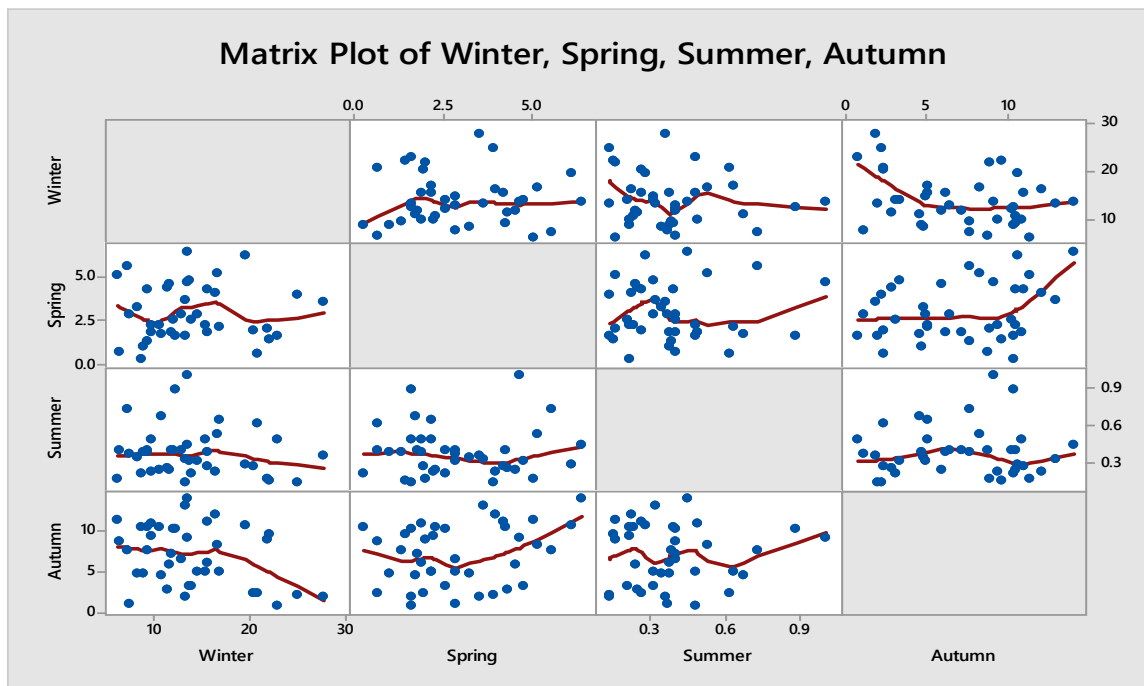
شکل ۱۰. نمودار روند بارش فصل تابستان سواحل جنوبی ایران



شکل ۱۱. نمودار روند بارش فصل پاییز سواحل جنوبی ایران

نوسانات بارش در هر دوره دارای افت و خیز است و کاهش و افزایش بارش ها در این فصل هر ساله دستخوش تغییرات شدیدی می شود. اما با این حال روند مشخصی در بارش های این دوره مشاهده نمی شود. از طرفی کاهش و افزایش بارش این منطقه دارای نوسانی نزدیک به ۱۲ میلیمتر می باشد (شکل ۱۱).

بررسی روند فصلی بارش بر اساس نتایج آزمون من کندال نشان داد که عمده افزایش بارش ها در منطقه مربوط به فصل تابستان و پس از آن این روند در فصل زمستان است. در فصل های بهار و پاییز منطقه نرخ بارش ها نزولی و با کاهشی ۰/۱۵- تا ۰/۳- میلیمتر در ماه در کل منطقه بارش ها کاهشی می باشد. روند فصلی بارش در فصل پاییز نشان می دهد که



شکل ۱۲. نمودار روند تغییرات بین فصلی بارش سواحل جنوبی ایران

ها برای پایش تغییرات بارش در منطقه استفاده کرد. همانطور که در سایر تحقیقات مشابه این موضوع به اثبات رسید از آن جمله می توان به تحقیقات عزیز ی و همکاران (۱۳۹۹) و پیل پایه و همکاران (۱۳۹۹) اشاره نمود.

-بررسی روند خطی کمیت بارش بصورت فصلی نشان داد که افزایش و کاهش معنادار بارش ها به ترتیب در فصول زمستان و بهار منطقه بوقوع پیوسته است. بیشترین تغییر پذیری بارش در این دو فصل سبب شده تا بارش ها در منطقه از نظر زمانی دستخوش تغییرات گردد و لازمه اجرای برنامه ریزی مناسب برای این تغییر الگوی در منطقه نیاز است. با بررسی فصول تابستان و پاییز نیز روندهایی مشاهده شد ولی از شدت بالایی برخوردار نبود. لازم به توضیح است که میانگین فصلی و منطقه ای نتایج فوق را بدست آورد.

-روند بین فصلی بارش ها در منطقه حاکی از تغییرات این کمیت در طی ۴۰ سال گذشته است. بدین صورت که بارش های زمستانه نسبت به بارش های پاییزه کاهش محسوسی داشته و بارش های بهاره نسبت به پاییز روندی افزایشی به خود گرفته است. از طرفی طی سال های اخیر بارش های تابستانه به نسبت بارش های پاییز روند صعودی داشته است. بر اساس مشاهدات بارش ها تابستانه به نسبت بارش های بهاره نیز در منطقه در حال افزایش است. همچنین روندهای فصلی بارش که به صورت منطقه ای در سواحل جنوبی ایران از طریق رگرسیون خطی ساده محاسبه شده، نشان داد که طی ۴۰ سال گذشته، بارش در فصل زمستان در منطقه رو به کاهش است اما در فصل بهار این روند افزایشی می باشد. مطالعات اخیر بیان می دارد که در پی گرمایش جهانی بارش های رگباری افزایش یافته اند و بارش فصل بهار که عمدتاً رگباری است ارتباط با تغییرات اقلیمی دارد (Ghafarian و همکاران، ۲۰۲۱).

-بررسی روند ماهانه برای دوره های نماینده از هر فصل نشان داد که افزایش بیش از ۳ میلیمتری بارش ها در شرق استان هرمزگان در ماه ژانویه بوقوع پیوسته است. از طرفی در این ماه در قسمت محدوده ای شمال شرق استان خوزستان نیز این روند افزایشی مشاهده شد. این در حالی است که در ماه آوریل

بر اساس شکل ۱۲ نموداری جهت بررسی تغییرات بین فصلی برای ۴۰ سال تهیه شد، مشاهده می شود که بارش های زمستانه نسبت به بارش های پاییزه کاهش محسوسی داشته است. از طرفی بارش های بهاره نسبت به پاییز روندی افزایشی به خود گرفته است. در این بین نیز طی سال های اخیر بارش های تابستانه به نسبت بارش های پاییز روند صعودی به خود گرفته است. همانطور که مشاهده می شود بارش ها تابستانه به نسبت بارش های بهاره نیز در منطقه در حال افزایش می باشد. در سایر مقایسه های درون فصلی روند افزایشی یا کاهشی شدیدی مشاهده نشد.

#### ۴. نتیجه گیری

مطالعه روند تغییرات بلندمدت پارامترهای هیدرواقلمی از جمله متداول ترین روش های بررسی و تحلیل ارزیابی تغییرات اقلیم در سطح منطقه ای است. امروزه بحث تغییر اقلیم و اثرات و پیامدهای کوتاه مدت و بلندمدت آن به عنوان یکی از مطالب با اهمیت در حوزه تحقیقات علوم جغرافیایی مطرح می باشد. در نتیجه می توان گفت تغییر اقلیم، یکی از مؤثرترین عوامل تغییر دهنده الگوی بارش و دما در یک منطقه می باشد. نتایج حاصل از بررسی ارزیابی داده های شبکه بندی شده مدل ERA5 با داده های ایستگاهی نشان داد که برونداد این مدل علاوه بر داشتن همبستگی بسیار بالا (بیش از ۹۶ درصد) و درصد اطمینان لازم برای بررسی شرایط بارشی در منطقه، ابزاری مهم جهت بررسی فراسنج های مورد نظر در منطقه می باشد. حداقل ضریب تبیین نیز بالاتر از ۰/۹۲ محاسبه شد. بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط پورانتظاری و همکاران (۱۴۰۱) و نویدی نساج و همکاران (۱۴۰۰)، ارتباط بالایی بین فراسنج های ثبت شده در ایستگاه و برونداد مدل ERA5 وجود دارد. به منظور بررسی روند تغییرات بارش در نوار ساحلی جنوب ایران با استفاده از داده های ERA5 نتایج زیر حاصل شد.

-نتایج حاصل از ارزیابی مدل نشان داد که بارش های پایگاه داده ERA5 همبستگی بالا و معناداری با بارش های مشاهداتی در ایستگاه های منطقه داشته و می توان از این داده

همکاران (۱۴۰۲) اشاره شده که این داده ها این قابلیت را داشته تا ابزاری مهم برای روند تغییرات و پایش این کمیت در منطقه باشد.

## ۵. مراجع

۱. پاییززاده، کاوه؛ سید کابلی، حسام؛ نجفی، لیلا (۱۴۰۱). مطالعه مقایسه ای روش های نگاهت چندک برای تصحیح اریبی داده های بارش بازتحلیل ERA5. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۲.
۲. پورانتظاری، سعیده و اسماعیلی، کاظم و فرید حسینی، علیرضا و غفاری، الهه، ۱۴۰۱، صحت سنجی پهنه و هیدروگراف سیلاب با استفاده از داده های بارش ERA5 مطالعه موردی: حوضه زشک، فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره: ۱۱، شماره: ۳
۳. پیل پایه، علیرضا؛ نجفیان قوجه بیگلوف داوود؛ سعدی، توفیق؛ رحمتی، اکبر (۱۳۹۹). تحلیل وضعیت خشکسالی در سطح کشور ایران با استفاده از محصول بارشی مرکز ECMWF. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. دوره ۷، شماره ۳.
۴. حسینی، زهراسادات؛ مقدسی، مه نوش؛ پایمزد، شهلا (۱۴۰۱). ارزیابی دقت پایگاه داده ECMWF در پیشبینی داده های اقلیمی و پایش خشکسالی حوزه آبریز قره چای استان مرکزی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۵۳.
۵. سام خانیانی، علی؛ محمدی، عاطفه (۱۴۰۱). مقایسه داده های بازتحلیل ERA5-Land مشاهدات زمینی در ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۶، شماره ۱.
۶. عربی یزدی، اعظم؛ ثنایی نژاد، حسین؛ مفیدی، عباس (۱۳۹۸). ارزیابی تولیدات شبکه ای تحلیل مجدد پایگاه اروپایی پیش بینی های میان مدت جوی ECMWF در مناطق اقلیمی مختلف ایران. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی. سال دهم - شماره ۳۸.

روند افزایشی فقط در ارتفاعات شمالی استان خوزستان به چشم می خورد. در ماه جولای بارش ها در شرق استان هرمزگان روندی کاهشی به خود گرفته اما در اکثر مناطق استان های بوشهر و خوزستان و قسمت های شمالی استان هرمزگان بارش ها روند صعودی را تجربه کرده اند. در ماه اکتبر نیز فقط نواحی شمالی استان خوزستان روند رو به رشدی از بارش ها داشته و در بیشتر مناطق روند کاهشی محسوسی مشاهده شد. بررسی نتایج حاصل از تغییرات ماهانه بارش در منطقه نشان داد که با کاهش بارش در نوار غربی منطقه، به بارش ها در نوار شرقی افزوده شده است. بدین صورت که این الگوی الاکلنگی بیشتر در تابستان مشاهده شد و بارش های تابستانه در استان هرمزگان روند افزایشی را نشان می دهد. اما عکس این موضوع در دوره زمستانه نیز اتفاق افتاده است. بدین صورت که بارش های زمستانه در نوار شرقی به شدت در حال کاهش و در نوار غربی منطقه مورد مطالعه از افزایش نسبتاً چشمگیری برخوردار است. این افزایش بارش ها در شرق منطقه مورد مطالعه می تواند حاصل پدیده ی گرمایش در دریا های منطقه حاره باشد که سبب شده تا ضمن تشدید سیستم موسمی، جریانات بالاسو در منطقه افزایش یابد. با افزایش جریانات بالاسو بارش های موسمی تا قسمت های شرقی استان هرمزگان نفوذ کرده اند. از طرفی با افزایش دمای دریاهای محلی و شار قائم رطوبت به جو، با نفوذ هر سیستم ناپایدار به منطقه شرایط برای بارش فراهم شده است. این وضعیت در اغلب مناطق جنب حاره که بین دریا و خشکی هستند به وجود آمده که از دیگر پیامدهای تغییر اقلیم به حساب می آیند. این نگاه همه جانبه به منطقه نشان داد که تغییر پذیری الگوی بارش از تغییرات گردش جو منطقه تاثیر پذیرفته و با تغییر مسیر سامانه های ناپایدار و جابجایی مکانی سیستم های جوی در منطقه، الگوهای بارشی جدیدی در منطقه در حال ظهور هستند. با پرداختن به این موضوع می توان جهت مدیریت منابع آب و از طرفی بخش های مصرفی عمده در این ۳ استان تمهیدات لازم را اندیشید. همانطور که در تحقیق شمیدبولر (۲۰۰۷) نیز بر آن تاکید داشته و از طرفی این تغییرات بارش برای برنامه ریزی در تحقیق مقدسی و

14. Bosilovich, M. G., Chen, J., Robertson, F. R., & Adler, R. F. (2008). Evaluation of global precipitation in reanalyses. *Journal of applied meteorology and climatology*, 47(9), 2279-2299.
15. Chiaravalloti, F., Caloiero, T., & Coscarelli, R. (2022). The long-term ERA5 data series for trend analysis of rainfall in Italy. *Hydrology*, 9(2), 18.
16. Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., ... & Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656), 553-597.
17. Ghafarian, P., Tajbakhsh, S. and Delju, A.H., (2021) Analysis of the long-term trend of temperature, precipitation, and dominant atmospheric phenomena in Lake Urmia.
18. Hénin, R., Liberato, M. L., Ramos, A. M., & Gouveia, C. M. (2018). Assessing the use of satellite-based estimates and high-resolution precipitation datasets for the study of extreme precipitation events over the Iberian Peninsula. *Water*, 10(11), 1688.
19. Hersbach, H., de Rosnay, P., Bell, B., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., ... & Zuo, H. (2018). Operational global reanalysis: progress, future directions and synergies with NWP.
20. Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. New York, NY: Oxford University Press.
21. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.
22. Mishra, A. K., Singh, V. P., & Jain, S. K. (2010). Impact of global warming and climate change on social development. *Journal of Comparative Social Welfare*, 26(2-3), 239-260.
23. Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & van Ypersele, J. P. (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* (p. 151). Ipcc.
۷. عرفانی، عاطفه؛ بابائیان، ایمان؛ انتظاری، علیرضا (۱۳۹۹). بررسی قدرت تفکیک مکانی مناسب داده های بارش روزانه پایگاه ERA-Interim در شمال شرق ایران. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی. سال دهم، شماره سی و هشتم.
۸. عزیزی، جوانشیر؛ رسول زاده، علی؛ رحمتی، اکبر؛ شایقی، افشین؛ باختر، آیدین (۱۳۹۹). ارزیابی عملکرد داده های بازتحلیل شده ERA5 در تخمین بارش روزانه و ماهانه در استان اردبیل. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱۱.
۹. مقدسی، فاطمه؛ مقدسی، مهنوش؛ محمدی، مهدی (۱۴۰۲). بررسی اثر توزیع مناسب تر مشخصات خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از داده های رواناب مدل ERA5 در اقلیم های مختلف کشور. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۲، جلد ۱.
۱۰. نوروزی مقدم، الناز و کرمی، وحید (۱۳۸۸). بکارگیری فن آوری سنجش از دور در پایش و ارزیابی شبکه های آبیاری و زهکشی در حال بهره برداری، دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران.
۱۱. نویدی نساچ، بهزاد؛ ظهراپی، نرگس؛ نیکبخت شهبازی، علیرضا؛ فتحیان، حسین (۱۴۰۰). ارزیابی داده های بارش شبکه بندی جهانی در پایش خشکسالی (مطالعه موردی: حوضه ی آبریز کارون بزرگ). نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دهم، شماره سه.
12. Amjad, M., Yilmaz, M. T., Yucel, I., & Yilmaz, K. K. (2020). Performance evaluation of satellite-and model-based precipitation products over varying climate and complex topography. *Journal of Hydrology*, 584, 124707.
13. Balsamo, G., Albergel, C., Beljaars, A., Boussetta, S., Brun, E., Cloke, H., ... & Vitart, F. (2015). ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 389-407.

- on fire weather in the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 105(1), 1-21.
27. Woznicki, S. A., Nejadhashemi, A. P., Tang, Y., & Wang, L. (2016). Large-scale climate change vulnerability assessment of stream health. *Ecological Indicators*, 69, 578-594.
28. Xu, X., Frey, S. K., Boluwade, A., Erler, A. R., Khader, O., Lapen, D. R., & Sudicky, E. (2019). Evaluation of variability among different precipitation products in the Northern Great Plains. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 24, 100608.
24. Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19703-19708.
25. Shen, L., Wen, J., Zhang, Y., Ullah, S., Meng, X., & Chen, G. (2022). Performance evaluation of ERA5 extreme precipitation in the yangtze river delta, China. *Atmosphere*, 13(9), 1416.
26. Tang, Y., Zhong, S., Luo, L., Bian, X., Heilman, W. E., & Winkler, J. (2015). The potential impact of regional climate change