

بررسی اثر تغییر اقلیم بر پیش‌بینی بارش بر اساس بهترین ماهواره در استان کرمانشاه

چکیده:

امروزه با توجه به گرم‌تر شدن زمین و کاهش بارش نیاز به پیش‌بینی‌های بلندمدت بارش برای برنامه‌ریزی و استفاده مناسب از منابع آبی در دسترس ضروری است. بر این اساس پیش‌بینی بارش در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ با استفاده از مدل KIOSTESM و CANESM5 از گزارش ششم IPCC در ۱۳ ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه استخراج گردید. با توجه به این‌که ایستگاه‌های سینوپتیک در همه نقاط قرار ندارند و نمی‌توان برای بعضی از قسمت‌های منطقه میزان بارش را برآورد نمود به‌منظور تعیین بهترین ماهواره در هر ایستگاه سینوپتیک از مجموعه داده‌ها و ماهواره‌های CHIRPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ این ۱۳ ایستگاه استفاده گردید. نتایج نشان داد برای ایستگاه‌های اسلام‌آباد، هرسین، گیلان غرب، جوانرود، کرمانشاه، روانسر، سنقر و سرپل ذهاب ماهواره TERRA و برای ایستگاه‌های سومار و تازه‌آباد مجموعه داده ERA5 و برای قصر شیرین، کنگاور و سرآرود ماهواره TRMM بهترین برآورد را دارد. نتایج نشان داد مدل CANESM در بیشتر ایستگاه‌ها بارش را کمتر از مشاهداتی محاسبه کرده است بیشترین اختلاف این مدل با داده‌های مشاهداتی و ماهواره به ترتیب برای کنگاور ۵۲ و ۵۰ درصد بیشتر از بارش کل است و برای ایستگاه سرآرود به ترتیب با ۱۲ و ۹ درصد کاهش کمترین اختلاف را دارند. نتایج نشان داد بدون داشتن داده‌های ایستگاه هواشناسی و تنها با تکیه بر داده‌های ماهواره منتخب در این پژوهش برای هر منطقه از استان کرمانشاه می‌توان پیش‌بینی‌های اقلیمی مناسبی تخمین زد.

کلیدواژه‌ها: بارش ماهواره‌ای، تغییر اقلیم، ریزمقیاس، TRMM, TERRA, ERA5

ABSTRACT

Today, due to global warming and decreasing precipitation, long-term precipitation forecasts are essential for planning and proper use of available water resources. Accordingly, precipitation forecasts for the period 2020 to 2039 were extracted using the KIOSTESM and CANESM5 models from the IPCC's sixth report at 13 synoptic stations in Kermanshah province. Given that synoptic stations are not located in all locations and it is not possible to estimate precipitation for some parts of the region, in order to determine the best satellite for each synoptic station, data from CHIRPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA satellites were used for the period 2000 to 2019 for these 13 stations. The results showed that for the stations of Islamabad, Harsin, Gilan Gharb, Javanroud, Kermanshah, Ravansar, Sonqor and Sarpol Zahab, the TERRA satellite has the best estimate, for the stations of Somar and Tazeabad the ERA5 dataset, and for Qasr Shirin, Kangavar and Sararood the TRMM satellite has the best estimate. The results showed that the CANESM model has calculated the precipitation less than the observations in most of the stations. The largest difference between this model and the observational and satellite data is 52 and 50 percent more than the total precipitation for Kangavar, respectively, and the smallest difference is 12 and 9 percent less for the Sararood station, respectively. The results showed that without having meteorological station data and relying only on the selected satellite data in this study, appropriate climate forecasts can be estimated for each region of Kermanshah province.

Keywords: *climate change, Downscale, ERA5, Satellite precipitation, TERRA, TRMM*

Extended Abstract

Investigating the Effect of Climate Change on the Forecast of precipitation Based on the Best Satellite in Kermanshah Province

Introduction

Today, due to global warming and decreasing rainfall, long-term precipitation forecasting is essential for planning and proper use of available water resources. Also, considering that synoptic stations are not available in all parts of the province, satellite precipitation data has been of interest to engineers and hydrological scientists.

In this study, precipitation data from CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA satellites were extracted in the Google Earth Engine environment and compared with data from 13 synoptic stations in Kermanshah province on a monthly scale. The best satellite was selected in each region of Kermanshah province, and then precipitation in the future period was compared with observational data and the selected satellite using the delta change coefficient downscaling method with bias correction.

Materials and Methods

Kermanshah province, which is located between latitudes 33 and 35 degrees north and longitudes 45 and 48 degrees east in western Iran. This province with an area of 24,640 square kilometers has four watersheds: Sirvan, Abrizgah or Gaumasi, Ghare Su and Alvand.

Error and Probability Criteria

The measurements used to evaluate the accuracy of the models include the correlation coefficient (CC), mean bias error (MBE), root mean square error (RMSE) and coefficient of variation of root mean square error (CV-RMSE), mean absolute error (MAE) and Pearson correlation coefficient (PCC). High CC and PCC and low values of MAE, CV-RMSE and RMSE have high accuracy in the estimates. Probability indices: false alarm ratio (FAR), probability of detection (POD), critical success index (CSI) and relative bias (Rbias). POD, FAR, CSI, Rbias are one, zero, one and zero for the best case, respectively.

Climate Change

The IPCC prepares reports every few years in which changes in climate variables are presented by GCM models as numerical models that represent physical processes of the atmosphere in the base and future periods. The latest report of this center, the sixth report CMIP6, is better than the fifth report and the CMIP5 scenarios. This report is based on socio-economic scenarios and a combination of energy forcing at the surface. In this study, SSP5-8.5 was used, which is a combination of socio-economic development 5 and radiative forcing 8.5, which is the worst case compared to other scenarios.

Results

TERRA satellite precipitation for the stations of Sonqor, Islamabad, Harsin, Gilan Gharb, Sarpol Zahab, Javanroud, Ravansar and Kermanshah, TRMM satellite for Kangavar, Qasr-e Shirin and Sararoud stations, and ERA5 satellite for Taze Abad and Somar stations have more appropriate estimates. In this study, the CANESM5 climate model predicted future rainfall and used observed and selected satellite data for downscaling. The results showed that the largest difference of this model for Kangavar is a 52% increase, which is reduced by observational data and is 50% higher. The same conditions have the smallest difference with the average rainfall of the Sar-Aroud station, with a decrease of 12 and 9%. Also, for most stations, the average total rainfall predicted using satellite data is close to the observed data, except for Somar and Taze Abad stations, where the difference between the two is approximately 6%. The largest decrease is related to the Javan-Roud station, which has a decrease of 30% in both observational and satellite data.

Conclusion

The results of comparing the precipitation data of CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA satellites with the data of 13 synoptic stations of Kermanshah in the statistical period from 2000 to 2020 on a monthly scale showed that, according to the criteria of long-term annual averaging and the criteria of total error of the stations. In Islamabad, West Gilan, Harsin, Javanrud, Sonqor, Ravansar and Sarpol Zahab and Kermanshah, the TERRA satellite had a better estimate than other satellites. The TRMM satellite has the best estimate for the Qasr-e-Shirin, Sarrud and Kangavar stations. Based on the observation and forecast of precipitation data in the central parts of the north and northwestern parts of the province and also in the south, it was more in stations such as Javanrud and Ravansar than in other parts of the province. The lowest amount was in the stations of Harsin, Qasr-e-Shirin and Somar. According to the results of climate change with the SSP8.5 scenario, among the CANESM5 and KIOSTESM models, the CANESM5 model has calculated less precipitation than the

observations at most stations. According to the results without having climate stations, predictions made using satellite data can be used instead of predictions using observations.

Author Contributions

Conceptualization, methodology, validation, investigation, resources, data curation, writing—original draft preparation, writing—review and editing, foroozanpayfeshordeh, supervision, project administration, Maryam Hafezparast Mavaddat, Counseling, Seyed Ehsan Fatemi.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Keywords: climate change, Downscaling, satellite precipitation, TRMM, ERA5, TERRA

مقدمه

تغییرات اقلیمی بر میزان بارش‌های جوی و تأثیر مستقیم آن‌ها بر خشک‌سالی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های بشر محسوب می‌شود؛ تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر به‌ویژه افزایش دمای جهانی و تغییر الگوهای بارش، تأثیرات قابل‌توجهی بر منابع آب و مدیریت آن در مناطق مختلف جهان داشته است. (IPCC, 2021) ایران نیز به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، با چالش‌های جدی در زمینه کاهش بارش و افزایش خشکسالی مواجه است. (Modarres et al., 2016) در این میان، استان کرمانشاه به‌عنوان یکی از مناطق مهم کشاورزی و دارای منابع آبی محدود، نیازمند برنامه‌ریزی دقیق برای مدیریت بهینه آب است. پیش‌بینی بلندمدت بارش به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه هیدرولوژیکی، می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در تدوین راهبردهای سازگاری با تغییرات اقلیمی کمک کند (Golian et al., 2020). با این حال، یکی از چالش‌های اساسی در پیش‌بینی بارش، کمبود داده‌های مشاهداتی در مناطق مختلف به‌ویژه در نقاطی است که ایستگاه‌های سینوپتیک وجود ندارند (Duan et al., 2019). در چنین شرایطی، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌عنوان جایگزین یا مکمل داده‌های زمینی، می‌تواند راه‌حلی کارآمد برای برآورد و پیش‌بینی بارش باشد (Kidd et al., 2017). با توجه به تعداد محصولات ماهواره‌ای موجود در پژوهش حاضر، انتخاب مناسب‌ترین منبع داده برای هر منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است.

از این‌رو مطالعاتی درباره تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر بارش و همچنین با توجه به این‌که ایستگاه‌های هواشناسی در تمام نقاط منطقه وجود ندارد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در بررسی بارش موردتوجه مهندسين قرار گرفته است. (Nazem AlSadat et al., 2006) در سری‌های زمانی بارش (سالانه، شش‌ماهه و فصلی) مناطق جنوب و جنوب غرب ایران برای دوره زمانی ۱۹۹۹-۱۹۵۱ نشان داد پدیده النینو- نوسانات جنوبی بر تغییرات اقلیمی ایران مؤثر است به‌طوری‌که افزایش شدت و تواتر پدیده النینو (دوره گرم) با روند افزایشی بارش فصول سرد مناطق جنوب مرکزی و جنوب غربی ایران در ارتباط است. (Binesh et al., 2018) به بررسی و تحلیل اثر تغییر اقلیم بر رژیم بارش‌های حداکثری حوضه سیل برگردان غرب در تهران در سه افق زمانی ۲۰۳۶، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ بر اساس داده‌های گزارش ارزیابی پنجم IPCC و تحت سناریوی RCP8.5 می‌پردازد. بررسی‌ها با توجه به محاسبات نشان می‌دهد که بهترین مدل به لحاظ دقت و توانایی شبیه‌سازی روند تغییرات بارش در حوزه موردبررسی، مدل MRI-

CGCM3 است. ریزمقیاس سازی نیز توسط روش عامل تغییر صورت گرفت. نتایج مدل سازی های صورت گرفته درمجموع حاکی از افزایش مقدار بارش در دوره های زمانی آینده است.

(Gudarzi and Soltani, 2014) در مطالعه ای به بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر میزان دما و بارش حوزه آبخیز اسکندری واقع در استان اصفهان برای دهه ۲۰۲۰ پرداخت. بدین منظور از مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس نمایی داده های پیش یابی مدل HadCM3 استفاده شده است. نتایج حاکی از افزایش ۷/۲ درصدی بارش سالانه و افزایش یک درجه سانتی گراد دمای متوسط سالانه است. با بررسی مقادیر فصلی پارامترهای اقلیمی می توان بیان داشت که بارش در فصل تابستان بیش از فصول دیگر کاهش داشته و در این فصل افزایش دمای قابل توجهی مشاهده می شود، بدین ترتیب در دهه آینده با کمبود آب جدی در این فصل روبرو خواهد بود. (Jafarzadeh et al. 2016) در پژوهشی با استفاده از داده های خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3، به ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر الگوی بارش در سه ده آتی استان خراسان جنوبی پرداخت. میزان بارش سالیانه استان در ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفت. در انتها نیز پهنه بندی تغییرات الگوی بارش در این دوره ها به دست آمد. نتایج نشان داد که به طور قابل محسوسی بارش در استان روند نزولی به خود خواهد گرفت. همچنین نتایج حکایت از این امر داشت که شهر اسدیه در این ۳ دهه بهترین وضعیت بارش و همچنین شهرهای طبس و نهبندان شاهد بدترین وضعیت بارش خواهند بود. (Karimi ahmadabad & Nabizadeh, 2018) در مطالعه ای اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر پارامترهای بارش روزانه، در حوضه آبریز دریاچه ارومیه که دارای آمار بلندمدت بودند تحت سناریوی منطقه ای A2 با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 انجام شد، برای ریزمقیاس نمایی از مدل LarsWG استفاده گردید. نتایج حاکی از کاهش بارش است. بیشترین کاهش مربوط به ماه آوریل به میزان ۷/۵ درصد و بیشترین افزایش آن مربوط به ماه فوریه به میزان ۵/۲۸ درصد خواهد بود.

(Liu et al, 2017) اساس مدل هیدرولوژیکی توزیع شده BTOPMC برای انجام شبیه سازی جریان روزانه در رودخانه نام خان و نام مانند، داده های باران سنج در مدل سازی هیدرولوژیکی داده های پراکنده حوضه های رودخانه در طول سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ و داده های بارش TRMM نتایج نشان می دهد که اگرچه اختلاف در روند جریان زیاد و جریان کم، بیشتر است فرآیند شبیه سازی های روزانه با داده های بارش TRMM اساساً می توانند روندهای جریان روزانه و تعیین زمان رسیدن به اوج را در چهار ایستگاه منعکس کنند. با مقایسه دو داده بارش نشان می دهد که ادغام داده های بارش TRMM و داده های باران سنج چشم انداز امیدوارکننده ای در شبیه سازی فرآیند هیدرولوژیکی در حوضه ای با داده پراکنده دارند.

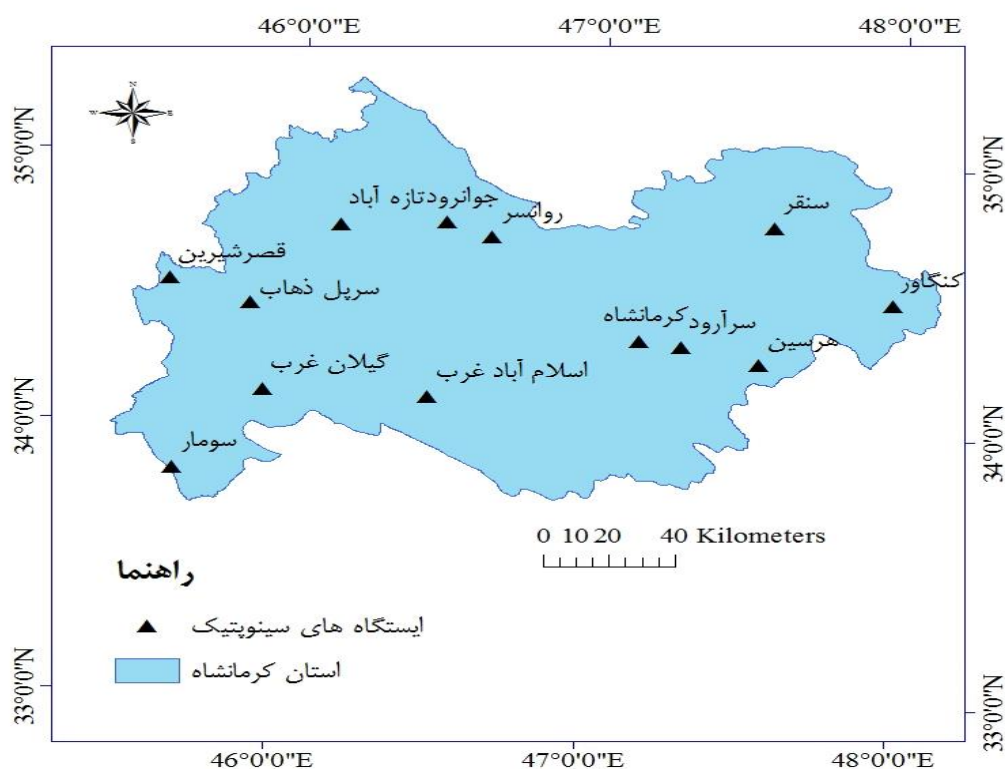
(Dezfooli, 2016) در یک پژوهش استفاده از تصاویر ماهواره ای حاصل از سنجش از دور را به عنوان یکی از راهکارهای عملی به منظور تخمین بارش در حوضه گرگان رود مطرح کرده اند. در این مقاله، به ارزیابی اطلاعات بارش ماهواره ای TRMM-3B42 V7 و PERSIANN پرداخته شده است نتایج نشان داد اگرچه TRMM-3B42 V7 و PERSIANN در مقیاس روزانه دقت کافی ندارند، ولی در مقیاس های ماهانه و فصلی با قیاس نتایج مطالعات مشابه، از دقت مناسبی برخوردارند. همچنین اگرچه TRMM-3B42 همبستگی بیشتری را با داده های مشاهداتی دارد، اما PERSIANN در آشکارسازی تعداد روزهای بارانی نتایج بهتری را ارائه کرده است. (Yuan et al, 2017) محصولات بارش ماهواره ای، اندازه گیری بارش جهانی (GPM) و اندازه گیری باران های استوایی (TRMM) یک منبع داده مهم برای کاربردهای هیدرولوژیکی در حوضه های ungauged است. عملکرد بازیابی (IMERG) GPM و تجزیه و تحلیل بارش ماهواره ای TRMM 3B42V7 برای شبیه سازی جریان در حوضه رودخانه Chindwin، میانمار، از آوریل ۲۰۱۴ تا دسامبر سال ۲۰۱۵ نیز ارزیابی شد. نتایج نشان می دهد، 3B42V7 در مقیاس های روزانه و ماهانه و در تشخیص باران شدید نسبت به IMERG بهتر عمل کرده است برای شبیه سازی جریان برای منطقه مورد مطالعه 3B42V7 بهتر از IMERG است. با توجه به مطالعات انجام شده تاکنون پژوهشی در ارتباط با ماهواره های منتخب برای ارزیابی بارش در استان کرمانشاه انجام نشده است و به علاوه پیش بینی اقلیمی همواره با توجه به داده های مشاهداتی ریزمقیاس گردیده است که در این پژوهش هم با داده های مشاهداتی و هم با داده های ماهواره ریزمقیاس گردیده است که با توجه به نبود ایستگاه در تمام نقاط منطقه داده های ماهواره ای می تواند برای مناطق صعب العبور یک گزینه مناسب جهت استفاده برای پیش بینی های اقلیمی باشد. بنابراین هدف از انجام این پژوهش تعیین دقت ماهواره منتخب در برآورد بارش و پیش بینی بارش در دوره های آتی در اثر تغییر اقلیم بر اساس

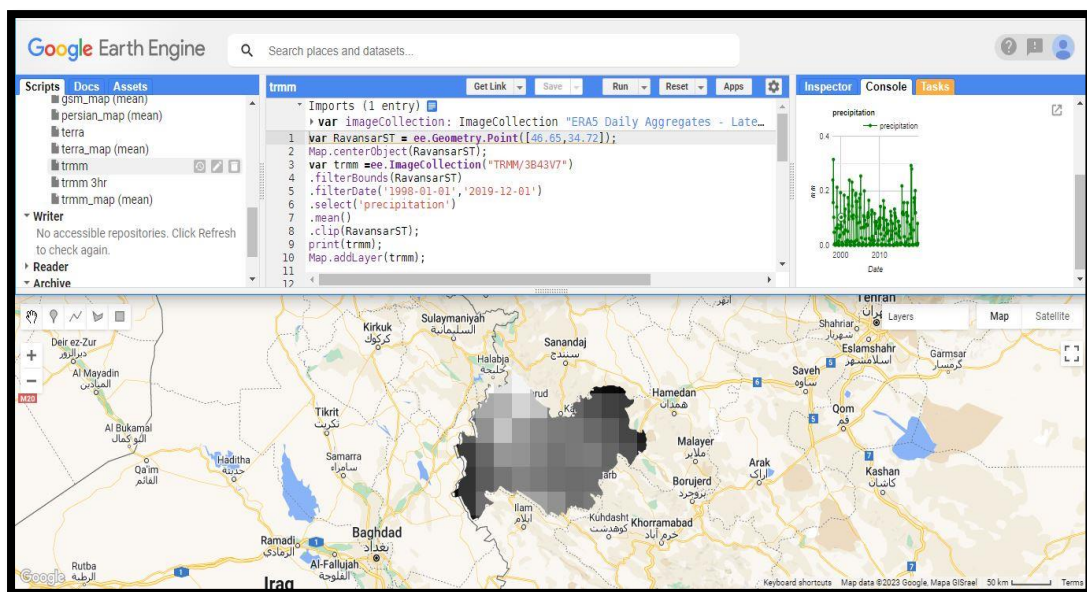
اطلاعات ماهواره منتخب است. از این رو در مناطقی که دارای ایستگاه سینوپتیک نیست با استفاده از داده‌های ماهواره و بدون حضور داده‌های مشاهداتی می‌توان به پیش‌بینی بارش آتی پرداخت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه که در بین عرض جغرافیایی 33 تا 35 درجه شمالی و طول جغرافیایی 45 تا 48 درجه شرقی در غرب ایران است با مساحت 24640 کیلومتر مربع، هفدهمین استان ایران از نظر وسعت به شمار می‌رود. این استان دارای چهار حوضه آبریز، سیروان، آبریزگاه یا گاو ماسی، قره‌سو و الوند است. منطقه مورد مطالعه همراه با ۱۳ ایستگاه سینوپتیک از سراسر استان و نیز محاسبات استخراج داده‌های بارش با ماهواره‌های مدنظر در محیط گوگل ارث اینجین در شکل ۱ نشان داده شده است.





شکل ۱. نقشه منطقه مطالعاتی استان کرمانشاه و محاسبات در محیط گوگل ارث اینجین

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه

ردیف	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	حد اکثر بارش (میلی متر)	حد اقل بارش (میلی متر)	میانگین بارش (میلی متر)
۱	اسلام‌آباد	۳۴/۱۲	۴۶/۴۷	۶۹۲/۱	۱۰۹/۰	۴۲۶/۳
۲	گیلان غرب	۳۴/۱۳	۴۵/۹۳	۵۶۵/۱	۱۹۷/۱	۳۹۶/۱
۳	هرسین	۳۴/۲۷	۴۷/۵۵	۳۸۳/۴	۱۶۶/۵	۲۹۶/۸
۴	جوانرود	۳۴/۷۷	۴۶/۵	۶۷۱/۱	۱۰۵/۹	۴۷۸/۳
۵	کنگاور	۳۴/۵	۴۷/۹۸	۵۶۹/۲	۱۵۲/۷	۳۷۰/۵
۶	کرمانشاه	۳۴/۳۵	۴۷/۱۵	۵۹۹/۶	۶۷/۰	۴۸۰/۴
۷	قصر شیرین	۳۴/۵۳	۴۵/۶	۴۳۴/۰	۷۱/۹	۲۹۹/۶
۸	روانسر	۳۴/۷۲	۴۶/۶۵	۷۱۶/۹	۱۳۵/۶	۴۷۲/۵
۹	سرارود	۳۴/۳۳	۴۷/۲۹	۱۳۸۵/۳	۰/۰	۵۵۳/۸
۱۰	سرپل ذهاب	۳۴/۴۵	۴۵/۸۷	۶۵۱/۶	۸۳/۹	۳۷۷/۳
۱۱	سنقر	۳۴/۷۸	۴۷/۵۸	۵۵۶/۸	۲۸۶/۷	۳۷۶/۸
۱۲	سومار	۳۳/۸۳	۴۵/۶۵	۹۶۲/۲	۵۲/۸	۲۹۸/۷
۱۳	تازه‌آباد	۳۴/۷۵	۴۶/۱۵	۶۱۵/۵	۱۷۴/۸	۴۰۲/۰

تغییر اقلیم

تغییر اقلیم عبارت است از تغییر بلندمدت در توزیع آماری الگوهای آب و هوایی (آشفته، ۱۳۹۳). یکی از عوامل تأثیرگذار بر تغییر اقلیم تغییر بارش است که به همراه صنعتی شدن جوامع، تأثیر مستقیم برافزایش گازهای گلخانه‌ای دارد؛ تغییرات درازمدت در پارامترهای اقلیمی را به اصطلاح تغییر اقلیم می‌گویند. IPCC هرچند سال یک‌بار گزارش‌هایی تهیه می‌کند که در آن تغییرات متغیرهای اقلیمی توسط مدل‌های GCM به‌عنوان مدل‌های عددی که فرایندهای فیزیکی اتمسفر در دوره پایه و آتی را مورد

بررسی قرار می‌دهد ارائه می‌کند. جدیدترین گزارش این مرکز گزارش ششم CMIP6 است که سناریوهای این گزارش به دو ردیف تقسیم می‌شود: سناریوهای جدید پایه_سناریوهای غیر کاهشی و سناریوی کاهشی_ دو سناریوی حدی. برتری سناریوهای گزارش ششم و مدل‌های CMIP6 نسبت به گزارش پنجم و سناریوهای CMIP5 در این است که این سناریو به رفع نقص‌های سناریوی CMIP5 پرداخته از جمله تخمین ضعیف واداشت تابش و خطاهای سینماتیک؛ این گزارش بر اساس سناریوهای اجتماعی اقتصادی و ترکیبی از واداشت انرژی در سطح ارائه شده است (Almasi et al, 2024). در این پژوهش از SSP5-8.5 استفاده شده است که ترکیبی از توسعه اجتماعی اقتصادی پنج و همچنین واداشت تابشی 8.5 که بدترین حالت برای هر یک است و در حقیقت این سناریو به روزرسانی شده سناریوی RCP8.5 است که اختلاف را نمایش می‌دهد (Payfeshorde et.al, 2022). دو مدل اقلیمی KIOSTESM و CANESM5 برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ مورد بررسی قرار گرفته است.

مشخصات ماهواره‌ها

در این مطالعه مجموعه داده‌های ۷ ماهواره که با توجه به این که زمان‌های برآورد بارش در این ماهواره‌ها متفاوت است داده‌ها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ مجموعه داده‌ها و ماهواره‌های CHIRPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA, در محیط ابری گوگل ارث اینجین کدنویسی گردیده (Baboli et al, 2024) و اطلاعات ماهواره‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که مشخصات آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است. داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاهی هر دو به عنوان داده‌های مشاهداتی در مقیاس ماهانه مورد استفاده قرار داده شده است.

جدول ۲. مشخصات ماهواره‌های مورد استفاده

ماهواره	TRMM/ 3B43V7	GSMaP Reanalysis	GSMaP Operational	GPM	PERSIANN- CDR	CHIRPS	TerraClim ate	ERA5
وضوح	۰.۲۵	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲۵	۰/۰۵	۲/۵ دقیقه	۰/۲۵
اولین تاریخ برآورد داده ماهواره	۱۹۹۸/۱/۱	۲۰۰۰/۱/۳	۲۰۱۴/۱/۳	۲۰۰۰/۱/۶	۱۹۸۳/۱/۱	۱۹۸۱/۱/۱	۱۹۵۸/۱/۱	۱۹۷۹/۲/۱
آخرین تاریخ برآورد داده ماهواره	۲۰۱۱/۱۲/۹	۲۰۱۴/۱۲/۳	۲۰۲۱/۲/۳	۲۰۲۰/۱/۱۱	۲۰۲۰/۰۹/۳۰	۲۰۲۱/۳/۱	۲۰۱۹/۱/۱۲	۲۰۲۰/۹/۷
مقیاس زمانی داده‌ها	ماهانه	۳ ساعته	۳ ساعته	ماهانه	روزانه	روزانه	ماهانه	روزانه
باند	بارش	نرخ بارش ساعته	نرخ بارش ساعته	بارش	بارش	بارش	بارش	بارش کل
واحد	میلی متر بر ساعت	میلی متر بر ساعت	میلی متر بر ساعت	میلی متر بر ساعت	میلی متر	میلی متر بر روز	میلی متر	متر

معیارهای خطا سنجی

به منظور محاسبه میزان تفاوت بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر ریزمقیاس شده از شاخص‌های ضریب همبستگی، میانگین انحراف خطا استفاده شد. این شاخص‌ها هم به خطاهای تصادفی و هم به خطاهای سیستماتیک حساسیت دارد. برای محاسبه این شاخص‌ها از مقدار بارش مشاهداتی و تخمین زده شده ماهواره‌ای استفاده می‌شود. معیارهای خطا سنجی مورد استفاده جهت بررسی دقت مدل‌ها در روابط تا ۱۰ ارائه شده است.

ضریب همبستگی (CC)

$$CC = \frac{COV(P^{est}, P^{obs})}{\sigma(P^{est}) \times \sigma(P^{obs})} \quad (1)$$

میانگین انحراف خطای اریبی (MBE)

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{t=1}^T (P_t^{est} - P_t^{obs})}{\sum_{t=1}^T P_t^{obs}} \times 100 \quad (2)$$

میانگین مجذور مربع خطا^۱ (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (P_t^{est} - P_t^{obs})^2}{T}} \quad (3)$$

ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا (CV-RMSE)

$$CV - RMSE(\%) = \frac{RMSE}{\left[\frac{\sum_{t=1}^T P_t^{obs}}{T} \right]} \times 100 \quad (4)$$

میانگین قدر مطلق خطا^۲ (MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^T |P_t^{est} - P_t^{obs}|}{T} \quad (5)$$

شاخص نرخ هشدار اشتباه^۳ (FAR) بیانگر حالاتی که در آن داده ماهواره‌ای وقوع بارش را نشان داده اما در ایستگاه بارشی رخ نداده

$$FAR = \frac{NR}{RR + NR} \quad (6)$$

احتمال آشکارسازی^۴ (POD) نشان‌دهنده‌ی میزان دقت در تشخیص وقوع بارش

$$POD = \frac{RR}{RR + RN} \quad (7)$$

شاخص موفقیت بحرانی^۵ CSI بیانگر نسبتی از وقوع بارش است که توسط مدل‌ها به درستی تشخیص داده شده

$$CSI = \frac{RR}{RR + NR + RN} \quad (8)$$

انحراف نسبی^۶ RBias نشان‌دهنده‌ی مقدار اختلاف بین مقدار برآورد شده و مقدار واقعی است.

$$RBias(\%) = \frac{RR + NR}{RR + RN} \times 100 \quad (9)$$

در معادلات فوق P^{est} و P^{obs} به ترتیب مقدار بارش مشاهداتی و تخمین زده شده ماهواره‌ای، $COV(P^{est}, P^{obs})$ کوواریانس آن‌ها، $\sigma(P^{est})$ و $\sigma(P^{obs})$ به ترتیب انحراف معیار بارش مشاهداتی و ماهواره‌ای، $\overline{P^{est}}$ و $\overline{P^{obs}}$ به ترتیب متوسط بارش مشاهداتی و ماهواره‌ای، t گام زمانی و T طول کل سری زمانی در نظر گرفته است. بالا بودن مقدار CC و PCC، کم بودن CV، MAE

¹ Root Mean Square Error

² Mean Absolute Error

³ False Alarm Ratio

⁴ Probability of Detection

⁵ Critical Success Index

⁶ Relative Bias

RMSE و RMSE نشان از دقت بالای تخمین‌ها دارد. همچنین مقادیر منفی و مثبت MBE به ترتیب به معنای کم تخمینی و بیش تخمینی داده‌های بارش ماهواره‌ای هستند؛ و RR نشان‌دهنده حالتی است که در ایستگاه بارش رخ داده است و مدل نیز وقوع بارش را نشان می‌دهد، NR نشان‌دهنده‌ی حالتی است که در ایستگاه بارش رخ نداده است اما مدل وقوع بارش را نشان می‌دهد، RN نشان‌دهنده‌ی حالتی است که در ایستگاه بارش رخ داده است و مدل وقوع بارش را نشان نمی‌دهد. در بهترین حالت ممکن مقادیر POD، FAR، CSI، RBias به ترتیب برابر یک، صفر، یک و صفر است.

ریز مقیاس نمایی

در این پژوهش، باهدف ریزمقیاس سازی از روش عامل تغییر (دلتا) استفاده شده است. در این روش با فرض اینکه مقدار تغییرات بارندگی در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه را می‌توان توسط خروجی‌های AOGCM به دست آورد و بر روی داده‌های مشاهداتی در ایستگاه موردنظر اعمال کرد ریزمقیاس سازی با استفاده از دو سری داده بارش مشاهداتی و ماهواره انجام شده است. در این روش تغییرات بارندگی در دوره آینده نسبت به حال، بر اساس خروجی مدل‌های AOGCM تحت یک سناریو مشخص (در این پژوهش سناریوی ۵-۸.۵) حساب می‌شود. بر اساس خروجی مدل‌های AOGCM در دوره حال و دوره آتی، تغییرات بارش برای میانگین درازمدت همراه از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}_{AOGCM, Fut, i}}{\bar{P}_{AOGCM, Base, i}} \right) \quad (10)$$

در رابطه بالا ΔP_i نشان‌دهنده‌ی میزان تغییر مربوط به بارندگی برای متوسط درازمدت برای همراه، $P_{-}(AOGCM, Fut, i)$ متوسط بلندمدت بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آینده برای همراه، $P_{-}(GCM, Base, i)$ متوسط بلندمدت بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره پایه ۲۰۱۹-۲۰۰۰ است. در مرحله بعد با اعمال مقدار تغییرات به دست آمده بر روی داده‌های موردنظر داده‌های ریزمقیاس شده برای دوره آینده با رابطه ۱۱ حاصل می‌شود.

$$P = P_{Obs} \times \Delta P \quad (11)$$

در روابط بالا، P_{Obs} نشان‌دهنده‌ی سری زمانی بارندگی برای دوره پایه ۲۰۱۹-۲۰۰۰، سری زمانی کوچک مقیاس شده حاصل از سناریوی اقلیمی بارش در دوره آینده است.

ریز مقیاس با تصحیح اریبی

به دلیل اینکه روش ریزمقیاس عامل تغییر (دلتا) بیش برآوردی دارد از تصحیح اریبی بر اساس میانگین سالانه برای رفع این مشکل استفاده گردید که از رابطه ۱۲ برای محاسبه مقدار دلتا و رابطه ۱۳ برای محاسبه بارش در دوره آتی استفاده می‌شود:

$$\Delta \mu_i = \left(\frac{\mu_{OBS}^p}{\mu_{GCM}^p} \right) \quad (12)$$

$$P = P_{GCM}^f \times \Delta \mu \quad (13)$$

P میزان بارش ماهانه، f بالانویس و p نشانگر آینده و گذشته، زیرنویس‌های OBS و GCM به ترتیب بیانگر بارش مشاهداتی و بارش پیش‌بینی شده توسط مدل اقلیمی است.

تولید نقشه‌های مکانی بارندگی

نقشه‌های بارش مکانی و تغییرات آن در هر ایستگاه و هر دوره زمانی از روش درون‌یابی کریجینگ که یک روش زمین‌آمار برای درون‌یابی داده‌ها بر اساس واریانس فضایی است، در محیط GIS و بر اساس رابطه ۱۴ در محیط Arc Map 10.8.2 تولید گردید.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) + \varepsilon \quad (14)$$

$Z(s_i)$ = مقدار اندازه‌گیری شده برای نمونه i ام، λ_i = وزن یا اهمیت وابسته به نمونه i ام، S_0 = محل پیش‌بینی، N = تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده تخمین گر کریجینگ ε مولفه تصادفی یکی از مهم‌ترین تخمین گرهای خطی نارایب است، زیرا اولاً بدون خطای سیستماتیک است و ثانیاً واریانس تخمین آن، حداقل است. در روش کریجینگ هر نمونه معلوم در تخمین نقطه مجهول، بستگی کامل به ساختار فضایی محیط مربوط دارد. درحالی‌که در روش‌های دیگر، وزن‌ها فقط به یک مشخصه هندسی مانند فاصله بستگی دارد و با تغییر ساختار فضایی نمونه‌ها، تغییری نمی‌کند و با ضعیف شدن ساختار فضایی، نقش نمونه‌ها کمتر می‌شود. تا آنجا که وزن تمام نمونه‌ها برابر خواهد شد. به عبارت دیگر دامنه تأثیر متغیر معلوم بر مجهول به حداکثر و حداقل فاصله نمونه‌ها از هم‌بستگی دارد، لذا در استفاده از این روش باید به توزیع فضایی نمونه‌ها و دامنه تأثیر آن‌ها توجه شود.

بحث

نتایج معیارهای احتمالاتی و خطا

نتایج معیارهای احتمالاتی و خطا برای داده‌های بارش ۱۳ ایستگاه سینوپتیک استان و ماهواره‌های مختلف در جدول ۳ به ترتیب آورده شده است.

جدول ۳. معیارهای خطا و احتمالاتی برای ۱۳ ایستگاه سینوپتیک

ماهواره	cc	MBE	RMSE	CV_RMSE	MAE	POD	FAR	CSI	Rbias
اسلام‌آباد غرب	CHRICS	+۰/۸۸	-۰/۰۲	۲۰/۹۸	۵۶/۰۹	۱۱/۸۰	+۰/۸۸	+۰/۹۱	+۰/۹۰
	PERSIAN CDR	+۰/۸۹	-۰/۰۶	۱۹/۹۳	۵۳/۲۸	۱۰/۸۴	+۰/۸۹	+۰/۹۹	+۰/۸۵
	ERA5	+۰/۹۲	+۰/۴۰	۲۵/۵۶	۶۸/۳۴	۱۷/۳۴	+۰/۹۲	+۰/۹۶	+۰/۹۰
	GPM	-۰/۳۵	+۰/۲۴	۷۸/۶۴	۲۱۰/۲۹	۶۵/۱۷	-۰/۳۵	+۰/۷۸	+۰/۵۸
	TRMM	+۰/۸۶	+۰/۱۴	۲۵/۹۸	۶۹/۴۶	۱۳/۴۳	+۰/۸۷	+۰/۹۷	+۰/۹۵
	TERRA	+۰/۸۹	-۰/۰۱	۲۰/۱۸	۵۳/۹۸	۱۱/۱۷	+۰/۸۹	+۰/۹۷	+۰/۹۳
	GSM	+۰/۶۹	+۰/۲۰	۴۳/۳۳	۱۱۵/۸۷	۲۴/۵۱	+۰/۶۹	+۰/۹۹	+۰/۸۰
	CHRICS	+۰/۷۳	+۰/۲۲	۳۳/۶۷	۱۰۲/۰۰	۱۹/۳۲	+۰/۷۳	+۰/۹۳	+۰/۹۰
گیلان غرب	PERSIAN CDR	+۰/۷۶	+۰/۰۱	۲۸/۵۰	۸۶/۳۳	۱۶/۶۳	+۰/۷۶	+۰/۹۹	+۰/۷۹
	ERA5	+۰/۷۹	+۰/۲۱	۲۹/۹۷	۹۰/۷۹	۱۷/۰۱	+۰/۷۹	+۰/۹۷	+۰/۹۰
	GPM	-۰/۳۰	+۰/۱۸	۷۱/۵۸	۲۱۶/۸۴	۵۷/۳۰	-۰/۳۰	+۰/۷۲	+۰/۴۸
	TRMM	+۰/۷۸	+۰/۱۵	۳۰/۵۰	۹۲/۳۸	۱۶/۵۸	+۰/۷۹	+۰/۹۷	+۰/۸۹
	TERRA	+۰/۷۷	+۰/۰۱	۲۷/۸۴	۸۴/۳۴	۱۴/۹۲	+۰/۷۷	+۰/۹۴	+۰/۹۱
	GSM	+۰/۵۶	+۰/۹۴	۷۴/۰۴	۲۲۴/۲۸	۳۸/۷۱	+۰/۵۷	+۰/۹۹	+۰/۷۳
هرسین	CHRICS	+۰/۷۸	+۰/۲۶	۲۴/۱۰	۸۵/۳۵	۱۴/۰۵	+۰/۷۸	+۰/۹۱	+۰/۹۰
	PERSIAN CDR	+۰/۷۵	+۰/۲۳	۲۴/۵۰	۸۶/۷۷	۱۴/۵۰	+۰/۷۶	+۰/۹۹	+۰/۸۳
	ERA5	+۰/۷۹	+۰/۶۸	۳۴/۰۷	۱۲۰/۶۹	۲۲/۱۶	+۰/۷۹	+۰/۹۶	+۰/۸۹
	GPM	-۰/۳۱	+۰/۳۳	۵۸/۱۹	۲۰۶/۱۴	۴۸/۳۵	-۰/۳۱	+۰/۹۱	+۰/۶۹

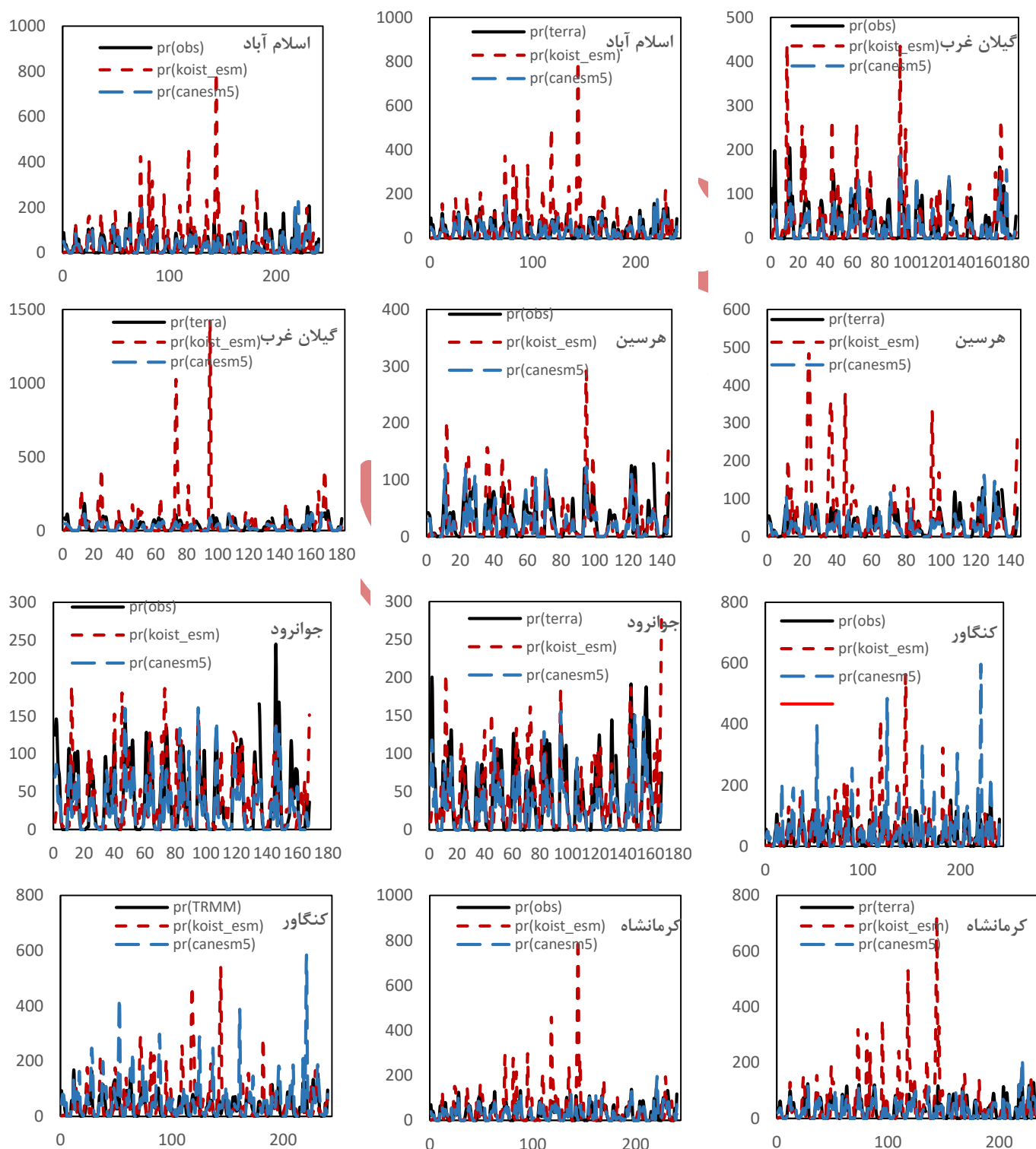
جوانرود	TRMM	+ / ۸۱	+ / ۲۷	۲۲/۶۲	۸۰/۱۲	۱۳/۴۶	+ / ۸۱	+ / ۹۹	+ / ۲۰	+ / ۸۰
	TERRA	+ / ۷۷	+ / ۱۱	۲۲/۰۴	۷۸/۰۶	۱۱/۳۱	+ / ۷۷	+ / ۹۷	+ / ۰۶	+ / ۹۲
	GSM	+ / ۵۶	+ / ۵۳	۴۶/۱۹	۱۶۳/۶۳	۲۵/۶۵	+ / ۵۷	۱/۰۰	+ / ۲۲	+ / ۷۸
	CHIRPS	+ / ۸۲	+ / ۱۱	۲۸/۲۴	۶۷/۰۲	۱۶/۷۲	+ / ۹۱	+ / ۸۹	+ / ۰۱	+ / ۸۹
	PERSIAN CDR	+ / ۸۰	- / ۱۴	۲۸/۲۸	۶۷/۱۱	۱۶/۷۴	+ / ۹۰	۱/۰۰	+ / ۱۲	+ / ۸۸
	ERA5	+ / ۸۸	+ / ۶۲	۴۲/۵۰	۱۰۰/۸۶	۲۷/۶۲	+ / ۹۴	+ / ۹۷	+ / ۰۶	+ / ۹۲
	GPM	+ / ۹۰	+ / ۱۷	۲۳/۲۸	۵۵/۲۴	۱۳/۸۳	+ / ۹۵	+ / ۹۹	+ / ۱۶	+ / ۸۴
	TRMM	+ / ۸۸	+ / ۲۰	۲۶/۱۱	۶۱/۹۶	۱۶/۰۰	+ / ۹۴	+ / ۹۹	+ / ۱۰	+ / ۸۹
کنگاور	TERRA	+ / ۸۶	+ / ۰۶	۲۴/۹۸	۵۹/۲۸	۱۴/۵۸	+ / ۹۲	+ / ۹۳	+ / ۰۴	+ / ۸۹
	GSM	+ / ۶۸	+ / ۲۳	۴۸/۰۳	۱۱۳/۹۸	۲۸/۷۸	+ / ۸۲	+ / ۹۹	+ / ۱۳	+ / ۸۷
	CHIRPS	+ / ۸۵	- / ۰۸	۱۸/۸۷	۵۷/۹۸	۱۱/۰۹	+ / ۸۵	+ / ۸۷	+ / ۰۱	+ / ۸۷
	PERSIAN CDR	+ / ۸۵	+ / ۱۴	۲۰/۱۳	۶۱/۸۶	۱۲/۱۰	+ / ۸۵	۱/۰۰	+ / ۱۱	+ / ۸۹
	ERA5	+ / ۸۴	+ / ۲۸	۲۴/۰۶	۷۳/۹۴	۱۴/۴۴	+ / ۸۵	+ / ۹۴	+ / ۰۴	+ / ۹۱
	GPM	+ / ۸۷	+ / ۰۸	۱۸/۵۸	۵۷/۱۱	۱۱/۴۳	+ / ۸۷	+ / ۹۶	+ / ۱۱	+ / ۸۶
	TRMM	+ / ۸۹	+ / ۱۵	۱۷/۸۸	۵۴/۹۳	۱۱/۰۲	+ / ۹۰	+ / ۹۸	+ / ۱۳	+ / ۸۶
	TERRA	+ / ۸۵	- / ۱۰	۱۸/۹۴	۵۸/۲۱	۱۰/۲۱	+ / ۸۶	+ / ۹۷	+ / ۰۳	+ / ۹۴
کرمانشاه	GSM	+ / ۶۲	+ / ۱۱	۳۸/۳۲	۱۱۷/۷۴	۲۲/۳۶	+ / ۶۳	+ / ۹۸	+ / ۱۲	+ / ۸۶
	CHIRPS	+ / ۸۸	+ / ۲۸	۲۱/۴۵	۶۶/۰۰	۱۳/۴۰	+ / ۸۹	+ / ۹۳	+ / ۰۱	+ / ۹۲
	PERSIAN CDR	+ / ۸۶	+ / ۱۲	۱۹/۵۶	۶۰/۲۱	۱۱/۹۴	+ / ۸۷	۱/۰۰	+ / ۰۹	+ / ۹۰
	ERA5	+ / ۸۳	+ / ۳۵	۲۷/۸۹	۸۵/۸۲	۱۷/۲۳	+ / ۸۳	+ / ۹۵	+ / ۰۲	+ / ۹۳
	GPM	+ / ۱۵	+ / ۱۹	۵۲/۳۰	۱۶۰/۹۶	۳۸/۱۲	+ / ۱۵	+ / ۸۸	+ / ۱۹	+ / ۷۳
	TRMM	+ / ۸۲	+ / ۱۹	۲۴/۳۱	۷۴/۸۲	۱۴/۲۸	+ / ۸۳	+ / ۹۷	+ / ۱۳	+ / ۸۴
	TERRA	+ / ۸۴	+ / ۰۱	۱۹/۴۸	۵۹/۹۵	۱۱/۱۱	+ / ۸۵	+ / ۹۵	+ / ۰۳	+ / ۹۳
	GSM	+ / ۸۶	- / ۱۸	۱۹/۲۶	۵۹/۲۶	۱۰/۸۱	+ / ۸۶	+ / ۹۹	+ / ۱۰	+ / ۸۹
قصر شیرین	CHIRPS	+ / ۶۸	+ / ۳۸	۳۳/۳۲	۱۲۷/۰۰	۱۹/۶۱	+ / ۶۸	+ / ۹۳	+ / ۰۲	+ / ۹۱
	PERSIAN CDR	+ / ۷۲	+ / ۲۴	۲۷/۲۰	۱۰۳/۶۸	۱۶/۰۸	+ / ۷۳	+ / ۹۸	+ / ۱۹	+ / ۸۰
	ERA5	+ / ۷۱	+ / ۶۲	۴۰/۴۸	۱۵۴/۲۹	۲۳/۱۷	+ / ۷۱	+ / ۹۵	+ / ۰۴	+ / ۹۱
	GPM	+ / ۷۵	+ / ۲۸	۳۰/۳۵	۱۱۵/۶۸	۱۷/۸۶	+ / ۷۵	+ / ۸۹	+ / ۱۳	+ / ۷۸
	TRMM	+ / ۷۵	+ / ۳۹	۳۱/۸۵	۱۲۱/۴۰	۱۸/۲۰	+ / ۷۵	+ / ۹۵	+ / ۰۶	+ / ۹۰
	TERRA	+ / ۶۳	+ / ۰۴	۲۹/۸۹	۱۱۳/۹۱	۱۶/۸۴	+ / ۶۴	+ / ۸۹	+ / ۰۲	+ / ۸۸
	GSM	+ / ۵۶	+ / ۳۶	۷۹/۹۲	۳۰۴/۶۲	۳۹/۳۲	+ / ۵۶	+ / ۹۹	+ / ۱۲	+ / ۸۷
	CHIRPS	+ / ۸۵	- / ۰۱	۲۵/۱۵	۶۰/۶۵	۱۴/۱۲	+ / ۸۶	+ / ۹۰	+ / ۰۰	+ / ۹۰
روانسر	PERSIAN CDR	+ / ۸۶	- / ۱۰	۲۵/۲۴	۶۰/۸۶	۱۳/۹۹	+ / ۸۶	+ / ۹۹	+ / ۰۹	+ / ۹۰
	ERA5	+ / ۸۹	+ / ۵۵	۳۷/۳۲	۹۰/۰۱	۲۵/۰۶	+ / ۸۹	+ / ۹۷	+ / ۰۵	+ / ۹۳
	GPM	+ / ۹۱	+ / ۰۶	۲۰/۱۶	۴۸/۶۲	۱۲/۰۳	+ / ۹۱	+ / ۹۶	+ / ۱۳	+ / ۸۴
	TRMM	+ / ۹۰	+ / ۰۴	۲۰/۶۲	۴۹/۷۳	۱۲/۲۹	+ / ۹۱	+ / ۹۷	+ / ۰۶	+ / ۹۱
	TERRA	+ / ۸۹	+ / ۰۱	۲۲/۲۹	۵۳/۷۵	۱۲/۵۱	+ / ۸۹	+ / ۹۳	+ / ۰۴	+ / ۹۰
	GSM	+ / ۶۸	+ / ۱۵	۴۹/۷۵	۱۱۹/۹۸	۲۷/۲۸	+ / ۶۸	+ / ۹۹	+ / ۱۱	+ / ۸۸
	CHIRPS	+ / ۸۷	+ / ۱۵	۲۱/۵۵	۶۱/۱۵	۱۳/۰۷	+ / ۸۷	+ / ۸۸	+ / ۰۲	+ / ۸۶
	PERSIANCD R	+ / ۸۵	+ / ۰۲	۲۱/۵۱	۶۱/۰۲	۱۲/۰۱	+ / ۸۵	+ / ۹۹	+ / ۱۰	+ / ۸۹
سرآرود	ERA5	+ / ۸۶	+ / ۳۸	۲۸/۱۰	۷۹/۷۴	۱۸/۱۷	+ / ۸۶	+ / ۹۲	+ / ۰۳	+ / ۸۹
	GPM	+ / ۹۴	+ / ۲۲	۱۶/۲۳	۴۶/۰۵	۱۰/۸۹	+ / ۹۴	۱/۰۰	+ / ۱۶	+ / ۸۴
	TRMM	+ / ۹۳	+ / ۱۴	۱۶/۰۰	۴۵/۴۱	۱۰/۰۶	+ / ۹۳	+ / ۹۹	+ / ۱۶	+ / ۸۳
	TERRA	+ / ۸۸	- / ۰۵	۱۹/۰۱	۵۳/۹۴	۹/۶۵	+ / ۸۸	+ / ۹۳	+ / ۰۳	+ / ۹۰

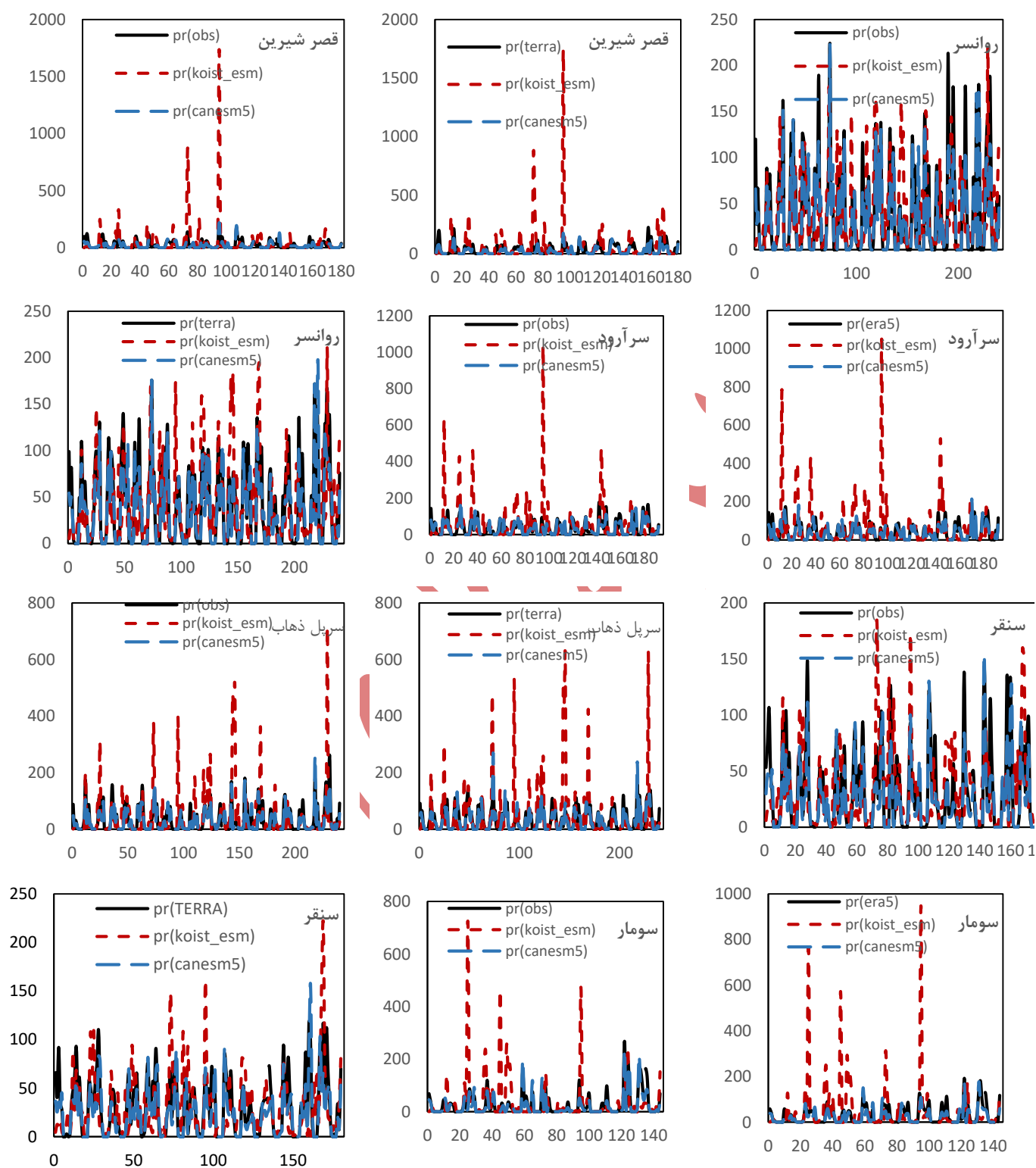
سرپل ذهاب	GSM	۰.۶۷	۰.۳۲	۴۸.۴۰	۱۳۷.۳۲	۲۵.۴۸	۰.۶۷	۱.۰۰	۰.۱۳	۰.۸۷
	CHIRIPS	۰/۸۴	۰/۳۷	۷۷/۴۷	۷۸/۳۶	۱۷/۱۲	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۰۰	۰/۸۹
	PERSIAN CDR	۰/۹۰	۰/۰۶	۳۸/۹۱	۳۹/۳۶	۷/۶۰	۰/۹۶	۱/۰۰	۰/۰۶	۰/۹۴
	ERA5	۰/۹۲	۰/۲۱	۴۵/۳۰	۴۵/۸۲	۹/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۰۰	۰/۹۳
	GPM	۰/۹۱	۰/۲۱	۴۴/۳۴	۴۴/۸۵	۱۰/۰۱	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۰۶	۰/۹۰
	TRMM	۰/۸۹	۰/۲۰	۵۱/۸۱	۵۲/۴۱	۱۰/۱۰	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۰۳	۰/۹۴
	TERRA	۰/۸۸	۰/۰۵	۴۳/۴۸	۴۳/۹۸	۹/۶۷	۰/۹۵	۰/۸۵	۰/۰۰	۰/۸۵
سنقر	GSM	۰/۸۲	۰/۸۸	۱۳۰/۳۲	۱۳۱/۸۲	۳۱/۰۹	۰/۹۲	۱/۰۰	۰/۰۹	۰/۹۱
	CHIRIPS	۰/۷۹	۰/۱۶	۲۴/۱۸	۷۷/۰۰	۱۳/۰۷	۰/۷۹	۰/۸۸	۰/۰۳	۰/۸۶
	PERSIAN CDR	۰/۷۳	۰/۱۷	۲۸/۱۱	۸۹/۵۱	۱۴/۳۴	۰/۷۳	۰/۹۹	۰/۱۲	۰/۸۷
	ERA5	۰/۸۴	۰/۲۱	۲۰/۸۹	۶۶/۵۰	۱۳/۰۳	۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۰۸	۰/۸۹
	GPM	۰/۸۸	۰/۱۵	۱۸/۱۷	۵۷/۸۵	۱۰/۷۲	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۱۷	۰/۸۳
	TRMM	۰/۸۵	۰/۰۶	۱۹/۰۲	۶۰/۵۸	۱۱/۱۸	۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۲۰	۰/۷۹
	TERRA	۰/۸۳	-۰/۰۳	۱۹/۵۹	۶۲/۳۹	۱۰/۳۵	۰/۸۴	۰/۹۷	۰/۰۴	۰/۹۳
سومار	GSM	۰/۶۵	۰/۳۱	۴۰/۲۷	۱۲۸/۲۳	۲۴/۵۱	۰/۶۵	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۸۲
	CHIRIPS	۰/۷۴	۰/۱۹	۳۰/۵۱	۱۱۵/۹۴	۱۸/۹۷	۰/۷۵	۰/۹۵	۰/۰۶	۰/۹۰
	PERSIAN CDR	۰/۷۱	۰/۰۸	۳۱/۶۱	۱۲۰/۰۹	۱۵/۶۸	۰/۷۱	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۸۳
	ERA5	۰/۸۴	۰/۱۶	۲۴/۴۳	۹۲/۸۴	۱۴/۰۱	۰/۸۴	۰/۹۵	۰/۰۶	۰/۹۰
	GPM	۰/۸۲	۰/۲۳	۲۵/۸۵	۹۸/۲۰	۱۴/۶۷	۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۱۲	۰/۸۶
	TRMM	۰/۸۲	۰/۱۹	۲۵/۶۵	۹۷/۴۷	۱۴/۸۶	۰/۸۳	۰/۹۶	۰/۰۸	۰/۸۹
	TERRA	۰/۷۷	-۰/۲۴	۳۰/۶۳	۱۱۶/۴۰	۱۵/۱۷	۰/۷۷	۰/۹۴	۰/۰۴	۰/۹۱
تازه‌آباد	GSM	۰/۵۷	۱/۱۳	۷۰/۱۹	۲۶۶/۷۰	۳۴/۸۶	۰/۵۷	۰/۹۷	۰/۱۸	۰/۸۰
	CHIRIPS	۰/۵۷	۰/۷۰	۶۳/۲۶	۱۷۲/۱۶	۳۶/۲۸	۰/۵۸	۰/۸۹	۰/۰۳	۰/۸۷
	PERSIAN CDR	۰/۶۸	-۰/۰۱	۳۳/۶۸	۹۱/۶۶	۱۹/۲۱	۰/۶۹	۰/۹۷	۰/۱۶	۰/۸۱
	ERA5	۰/۷۳	۰/۲۲	۳۵/۷۹	۹۷/۳۹	۱۹/۸۲	۰/۷۳	۰/۹۳	۰/۰۶	۰/۸۸
	GPM	۰/۷۵	۰/۳۹	۳۸/۳۸	۱۰۴/۴۵	۲۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۸۳
	TRMM	۰/۶۸	۰/۲۰	۳۷/۷۴	۱۰۲/۷۱	۱۹/۶۵	۰/۶۸	۰/۹۸	۰/۱۱	۰/۸۸
	TERRA	۰/۶۳	۰/۲۷	۴۲/۳۱	۱۱۵/۱۴	۲۳/۲۵	۰/۶۳	۰/۸۸	۰/۰۲	۰/۸۶
	GSM	۰/۵۶	۰/۶۵	۶۰/۵۱	۱۶۴/۶۸	۳۵/۲۷	۰/۵۶	۰/۹۸	۰/۱۹	۰/۸۰

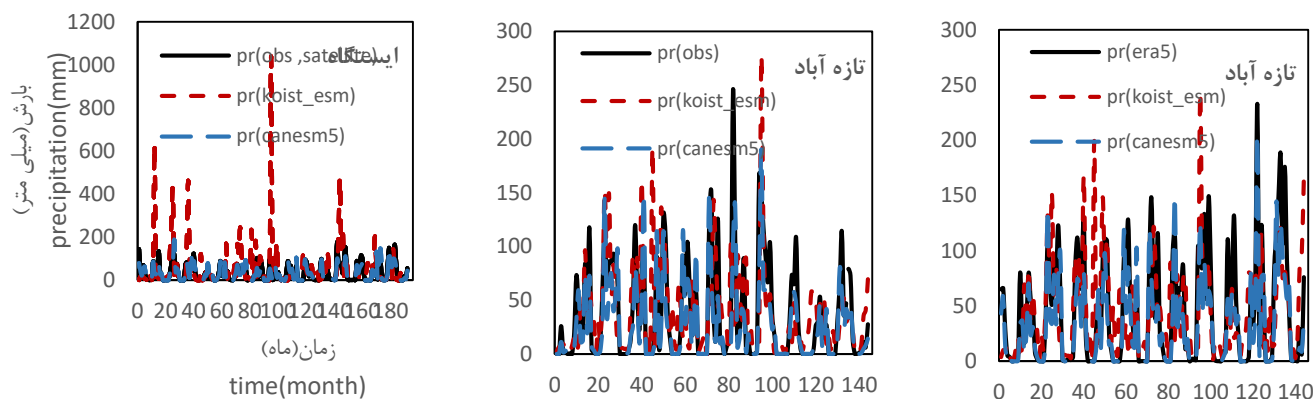
با توجه به اینکه بالا بودن مقدار CC و PCC، کم بودن CV-RMSE، MAE، و RMSE نشان از دقت بالای تخمین‌ها دارد، همچنین مقادیر منفی و مثبت MBE به ترتیب به معنای کم تخمینی و بیش تخمینی داده‌های بارش ماهواره‌ای هستند. CSI، FAR، POD، RBias به ترتیب هرچقدر که به یک، صفر، یک و صفر نزدیک‌تر باشد داده‌های برآورد شده مناسب‌تر و بیشتر به داده‌های مشاهداتی نزدیک است. برای ایستگاه‌های سنقر، اسلام‌آباد، هرسین، گیلان غرب، سرپل ذهاب، جوانرود، روانسر و کرمانشاه ماهواره TERRA و برای ایستگاه‌های کنگاور، قصر شیرین و سرآرود ماهواره TRMM و برای ایستگاه‌های تازه‌آباد و سومار ماهواره ERA5 برآورد مناسب‌تر دارد.

نتایج ماهانه پیش‌بینی بارش مدل‌های تغییر اقلیم CANESM5 و KIOSTESM

بر اساس ماهواره‌های منتخب هر منطقه و نیز داده‌های مشاهداتی در هر ایستگاه سینوپتیک ریزمقیاس سازی انجام شده و نتایج پیش‌بینی بارش با هر مدل اقلیمی و در هر ایستگاه به تفکیک در شکل ۲ نشان داده شده است. در این نمودارها محور افقی ماه و محور عمودی بارش به میلی‌متر آورده شده است و نیز برای هر ایستگاه دو نمودار ارائه گردیده است که یکی مقایسه مدل‌های تغییر اقلیم با داده‌های مشاهداتی (obs) هر ایستگاه و دیگری مقایسه داده‌های تغییر اقلیم با داده‌های ماهواره منتخب (نام ماهواره) هر ایستگاه می باشد.





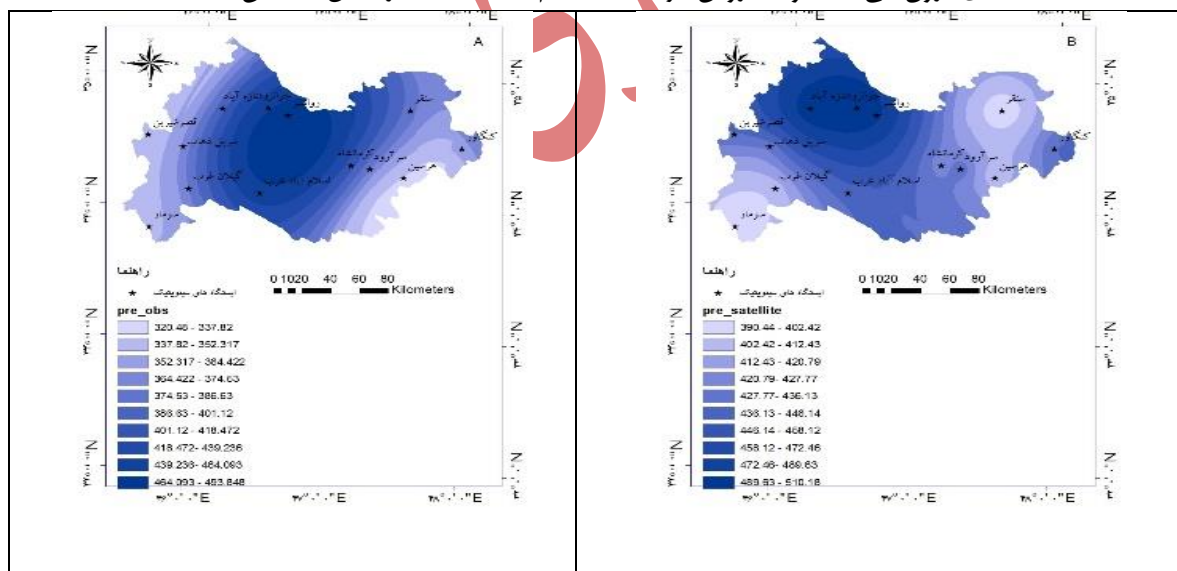


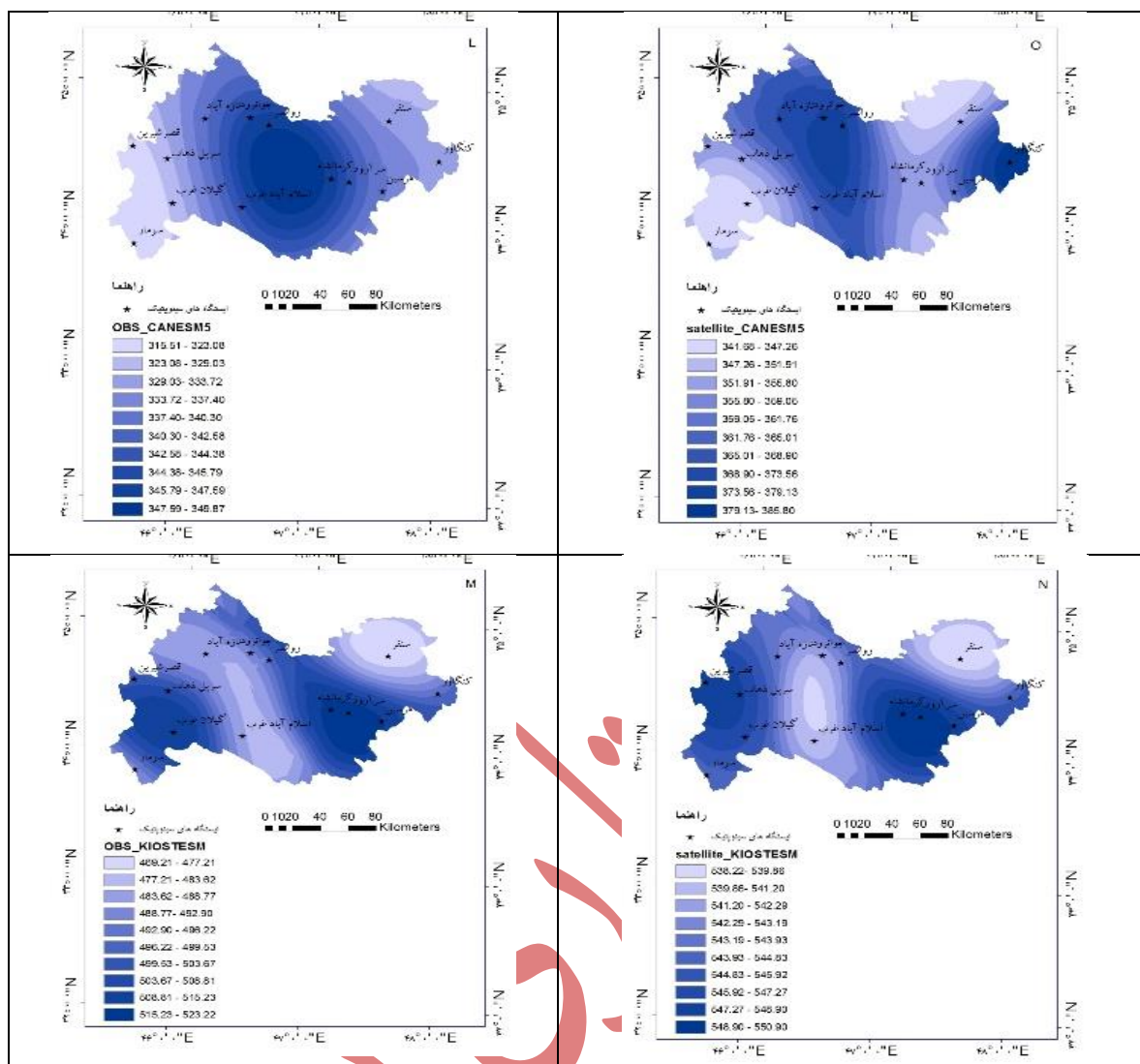
شکل ۲. نمودار پیش‌بینی ماهانه بارش با استفاده از مدل‌های تغییر اقلیم KIOSTESM و CANESM5

داده‌های هر ایستگاه و ماهواره منتخب برای آن ایستگاه به تفکیک بررسی شد؛ نتایج نشان داد که بارش پیش‌بینی شده با استفاده از هر دو داده مشاهداتی ایستگاه و ماهواره منتخب نسبت به دوره مشاهداتی جز در ایستگاه کنگاور که تقریباً ۵۰ درصد افزایش پیدا کرده است در بقیه ایستگاه‌ها کاهش پیدا کرده است. کمترین میزان این کاهش برای ایستگاه سرآرود و برای پیش‌بینی با داده‌های مشاهداتی ۱۲ درصد و برای پیش‌بینی با داده‌های ماهواره ۹ درصد بوده و بیشترین کاهش نیز برای ایستگاه جوانرود که در هر دو حالت پیش‌بینی ۳۰ درصد کاهش پیدا کرده است.

نمایش مکانی تغییرات بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک

برای هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک و ماهواره‌های منتخب برای هر ایستگاه و مدل‌های تغییر اقلیم CANESM5 و KIOSTESM نقشه‌های درون‌یابی شده توسط روش کریجینگ انجام شده است که در شکل ۳ نمایش داده شده است.





شکل ۳. خروجی‌های درون‌یابی Kriging از GIS برای داده‌های بارش در مقیاس سالیانه

با توجه به شکل ۳ قسمت A که نشان‌دهنده میانگین بارش مشاهداتی سالانه است همان‌طور که مشخص است قسمت‌های پررنگ نشان‌دهنده بارش بیشتر است که در این شکل ایستگاه‌های جوانرود، روانسر و تازه‌آباد دارای بیشترین بارش‌ها و ایستگاه‌های قصر شیرین، سمار و هرسین دارای کمترین بارش‌ها هستند. در قسمت B میانگین بارش سالانه ایستگاه‌ها بر اساس ماهواره‌های منتخب هر ایستگاه نمایش داده شده است که قصر شیرین و تازه‌آباد کمترین بارش را داشته‌اند که در مناطق گرمسیری استان کرمانشاه قرار دارند. L و O به ترتیب نتایج پهنه بندی بارش بر اساس مدل تغییر اقلیم CANESM5 برای داده‌های مشاهداتی و ماهواره منتخب است. اختلافاتی بین دو نقشه تولید شده وجود دارد ولی در هر دو نقشه مناطق مرکزی استان دارای باران بیشتری هستند که ایستگاه‌های جوانرود و اسلام‌آباد غرب را شامل می‌شود. M و N به ترتیب نتایج پهنه بندی بارش بر اساس مدل تغییر اقلیم KIOSTESM برای داده‌های مشاهداتی و ماهواره منتخب است که در این مدل اقلیمی ایستگاه‌های کرمانشاه، هرسین و سرارود در هر دو حالت در بازه پربارش قرار گرفته‌اند اما ریزمقیاس‌سازی بر اساس داده‌های ماهواره نسبت به داده‌های مشاهداتی باعث برآورد بیشتر در مقادیر بارندگی شده است که بایستی این نکته مورد توجه قرار گیرد و در صورت استفاده از داده‌های ماهواره برای بررسی اثر تغییر اقلیم ضریب کاهشی برای آنها در نظر گرفت.

نتیجه گیری

در این پژوهش ابتدا داده‌های بارش مجموعه داده و ماهواره‌های PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, CHIRPS, ERA5 در TERRA در محیط گوگل ارث اینجین استخراج گردید و با داده‌های ۱۳ ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه در مقیاس ماهانه مقایسه گردید. ماهواره منتخب در هر منطقه از استان کرمانشاه انتخاب گردیده و سپس بارش در دوره آینده با روش ریزمقیاس سازی عامل تغییر با داده‌های مشاهداتی و نیز ماهواره منتخب انجام شده و مقایسه گردیده است.

نتایج مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌ها با داده‌های مشاهداتی در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در مقیاس ماهانه نشان داد که با توجه به معیارهای خطا و معیارهای احتمالاتی و همچنین نمودارهای بارش در مقیاس ماهانه و میانگین درازمدت و مجموع سالانه بارش؛ برای ایستگاه‌های اسلام‌آباد، گیلان غرب، هرسین، جوانرود، سنقر، روانسر و سرپل ذهاب و کرمانشاه ماهواره TERRA برآورد بهتری نسبت به سایر ماهواره‌ها داشته است برای ایستگاه‌های تازه‌آباد و سومار ماهواره ERA5 بیشترین مطابقت را با داده‌های مشاهداتی دارد. برای ایستگاه قصر شیرین و سرآرود و کنگاور نیز ماهواره TRMM بهترین برآورد را دارد. با توجه به داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی و نقشه‌های درون‌یابی کریجینگ بارش در قسمت‌های مرکزی شمال و شمال غرب استان و همچنین جنوب در ایستگاه‌های مانند جوانرود و روانسر بیشتر از سایر نقاط استان بوده است و در ایستگاه‌های هرسین و قصر شیرین و سومار کمترین مقدار را داشته‌اند.

با توجه به نتایج تغییر اقلیم با سناریوی SSP5-8.5 گزارش ششم که توسعه شدید شرایط اقتصادی و اجتماعی و بیشترین مقدار بازتابش ناشی از گازهای گلخانه‌ای را در نظر می‌گیرد، از بین دو مدل CANESM5 و KIOSTESM مدل CANESM در بیشتر ایستگاه‌ها بارش را کمتر از مشاهداتی محاسبه کرده است. بیشترین اختلاف این مدل در حالتی که با داده‌های مشاهداتی ریزمقیاس شده باشد برای کنگاور ۵۲ درصد افزایش و در شرایطی که با داده ماهواره ریزمقیاس شود ۵۰ درصد بیشتر از میانگین کل بارش است. همین شرایط برای ایستگاه سرآرود به ترتیب با ۱۲ و ۹ درصد کاهش کمترین اختلاف را با میانگین بارش دارند. همچنین توجه به نمودارها برای بیشتر ایستگاه‌ها میانگین کل بارش پیش‌بینی شده با استفاده از داده‌های ماهواره نزدیک به داده‌های مشاهداتی است جز در ایستگاه سومار و تازه‌آباد که اختلاف این دو تقریباً ۶ درصد است. و می‌توان از پیش‌بینی انجام شده با استفاده از داده‌های ماهواره به‌جای پیش‌بینی با استفاده از مشاهداتی استفاده نمود.

به طور کلی ریزمقیاس سازی بر اساس داده‌های ماهواره نسبت به داده‌های مشاهداتی باعث برآورد بیشتر در مقادیر بارندگی شده است که بایستی این نکته مورد توجه قرار گیرد و در صورت استفاده از داده‌های ماهواره برای بررسی اثر تغییر اقلیم در مناطق مختلف استان کرمانشاه باید ضریب کاهشی برای آنها در نظر گرفت. مقادیر این ضرایب کاهشی را می‌توان از نتایج این پژوهش برآورد نمود.

"هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- آشفته پ.س. ۱۳۹۳. "تغییر اقلیم و آب: ابزارها و رویکردها"، انتشارات جاودان خرد، چاپ اول، تهران، ایران.
- الماسی، آرینا، فاطمی، سیداحسان، اقبال زاده، افشین. (۱۴۰۳). 'پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه تحت سناریوهای اجتماعی- اقتصادی گزارش ششم تغییر اقلیم، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب' (1), pp. 40-64. doi: 10.22126/atwe.2024.10245.1097
- بینش نگین، نیک سخن محمدحسین، & سارنگ امین. (۱۳۹۷) تحلیل تاثیر تغییر اقلیم بر بارش های حدی حوزه سیل برگردان غرب تهران. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز ۹(۱۷): ۲۳۴-۲۳۴.

پای فشرده، فروزان، حافظ پرست، مریم، فاطمی، سید احسان. (۱۴۰۱). 'ارزیابی داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه گاماسیاب در مقایسه با داده‌های ماهواره، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب: 2(3), pp. 92-113. doi: 10.22126/atwe.2022.7915.1021

جعفر زاده، احمد، خزیمه نژاد، خاشعی، عباس، بازی، & جعفر. (۲۰۱۶). پهنه‌بندی اثرات تغییر اقلیم روی الگوی بارش (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی). مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۳(۴)، ۱-۱۰.

دزفولی، دنیا، حسینی موغاری، ابراهیمی، کیومرث. (۲۰۱۶). 'مقایسه اطلاعات بارش ماهواره‌ای PERSIANN و TRMM-3B42 V7 با مشاهدات ایستگاه‌های زمینی (مطالعه موردی: حوضه گرگان‌رود). علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۷۶(۲): ۸۵-۹۸.

کریمی احمدآباد، مصطفی، نبی زاده، عادل (۱۳۹۷) ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سالهای ۲۰۱۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل WG- Lars، مجله جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۲(۶۵)، ۲۶۵-۲۸۵.

گودرزی، مسعود، سلطانی، & محمد جعفر. (۲۰۱۴). پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش دهه ۲۰۲۰. مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۲(۲)، ۳۱-۳۸.

ناظم السادات سید محمد جعفر، سامانی نوذر، & مولایی نیکو مصطفی. (۱۳۸۴) تغییر اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، بر همکنش با پدیده النینو نوسانات جنوبی مجله علمی کشاورزی ۲۸(۲): ۸۱-۱۰۰.

Almasi, A., Fatemi, S. E., & Eghbalzadeh, A. (2024). The prediction of monthly rainfall in Kermanshah Synoptic Station under the social-economic scenarios of the sixth climate change report. *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(1), 40-64. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10245.1097> (In Persian)

Ashoobteh, P. S. (2014). *Climate change: Concepts, consequences and solutions*. University of Tehran Press. (In Persian)

Baboli, N., Ghamarnia, H., and Hafezparast Mavaddat, M. (2024). Estimating wheat evapotranspiration through remote sensing utilizing GEESEBAL and comparing with lysimetric data. *Applied Water Science*, 14(9), 193.

Binesh, Negin, Niksokhan, Mohammad Hossein, & Amin. (2018). Analysis of Climate Change Impact on Extreme Rainfall Events in the West Flood-Diversion catchment of Tehran. *Journal of Watershed Management Research*, 9(17), 226-234. <https://sid.ir/paper/370216/en>. (In Persian)

Dezfooli D, Hosseini-Moghari S M, Ebrahimi K. (2016). Comparison of TRMM-3B42 V7 and PERSIANN Satellites Precipitation Data with Ground-Based Data (Case study: Gorganrood Basin, Iran). *Water and soil sciences (agricultural sciences and techniques and natural resources)*. 20 (76):85-98. DOI: 20.1001.1.24763594.1395.20.76.8.3 (In Persian)

Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., & Chiogna, G., (2019). Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy). *International Journal of Climatology*, 39(4), 2056-2076.

Golian, S., Mazdiyasni, O., & AghaKouchak, A., (2020). Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(3-4), 1539-1552.

Gudarzi Masoud, Soltani Mohammad Jafar. (2014). Forecasting the effect of climate change on temperature and precipitation in the 2020s. *Rain catchment surface systems*. 2 (2): 31-38. DOI: 20.1001.1.24235970.1393.2.2.5.0. (In Persian)

IPCC, 2021. Climate Change (2021): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jafarzadeh A, Khozaymehnezhad H, Khashei-Siuki A, bazi J.(2016). Impact Zonation of Climate Change on Rainfall Pattern (Case Study: South Khorasan Province). *Journal of Rainwater Catchment Systems* .3 (4) :1-10.DOI: 20.1001.1.24235970.1394.3.4.4.0.(In Persian)

Karimi Ahmad Abad, M., & Nabizadeh, A. (2018). Assessment of climate change impacts on climate parameters of Urmia Lake basin during 2011-2040 years by using LARS-WG model. *Geography and Planning*, 22(65), 265-285.<https://sid.ir/paper/380759/en>. (In Persian)

Kidd, C., Becker, A., Huffman, G. J., et al., (2017). So, how much of the Earth's surface is covered by rain gauges? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(1), 69-78.

Liu, X., Liu, F. M., Wang, X. X., Li, X. D., Fan, Y. Y., Cai, S. X., & Ao, T. Q. (2017). 'Combining rainfall data from rain gauges and TRMM in hydrological modelling of Laotian data-sparse basins'. *Applied Water Science*, 7(3), 1487-1496. DOI: 10.1007/s13201-015-0330-y

Modarres, R., Sarhadi, A., & Burn, D. H., (2016). Changes of extreme drought and flood events in Iran. *Global and Planetary Change*, 144, 67-81.

Nazem AlSadat, S.M.J., Samani, N., & Moulaei Nikou, M. (2006). Climate change in southern and southwestern Iran from precipitation: Interaction with el nino-southern oscillation. *The Scientific Journal of Agriculture (SJA)*, 28(2), 81-99. SID. <https://sid.ir/paper/24825/en>. (In Persian)

Payfeshordeh, F., Hafezparast, M., Fatemi, S. E. (2022). 'Evaluation of precipitation data of Gamasiab basin synoptic stations in comparison with satellite data', *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(3), pp. 92-113. doi: 10.22126/atwe.2022.7915.1021(In Persian)

Yuan, F., Zhang, L., Win, K. W. W., Ren, L., Zhao, C., Zhu, Y., ... & Liu, Y. (2017). 'Assessment of GPM and TRMM multi-satellite precipitation products in streamflow simulations in a data-sparse mountainous watershed in Myanmar'.*Remote Sensing*, 9(3), 302.DOR: <https://doi.org/10.3390/rs9030302>.