



Evaluating the Performance of Precipitation Products Taking into Account the Climatic and Topographic Conditions across Iran

A. Nezafat¹, A. Moridi^{2*}, A. Gorjizade³,
and H. Yousefi⁴

Abstract

Precipitation is a major component of the hydrological cycle which has significant changes over space and time. Missing data in precipitation measurements and improper distribution of precipitation measurement sites cause major problems in hydrological studies. Satellite data is a new alternative for estimating precipitation data and the present study aimed at evaluating the performance of P-CDR (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks- Climate Data Record) and CHIRPS (Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station Data) with spatial separation of 0.25×0.25 and on a daily, monthly and yearly scale for the period of 1990 to 2019 in 88 synoptic stations located in Iran. As a result of annual precipitation estimation analysis and according to performance evaluation indices, P-CDR had better performance than CHIRPS in all regions except for the north and northwest of Iran. Precipitation estimation by P-CDR dataset in all basins except Urmia and Sarakhs had less error in estimating monthly precipitation compared to CHIRPS, and it had the highest correlation with observed data. CHIRPS daily rainfall estimation had better performance than P-CDR, especially in the Persian Gulf and Oman Sea basins. As CSI (critical success index) showed, CHIRPS had a better performance in detecting rainy and non-rainy days in almost all stations. According to the results of altitude-rainfall analysis, both datasets in the highlands of the Zagros mountain chain and north of the Alborz mountain chain performed weak in estimating precipitation.

Keywords: Precipitation Estimation, Evaluation Indices, Satellite Precipitation Dataset, Climatic Conditions, Topographic Conditions.

Received: April 27, 2021

Accepted: July 10, 2021

ارزیابی عملکرد محصولات شبکه‌بندی بارش با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و توپوگرافی در ایران

آرزو نذافت^۱، علی مریدی^{۲*}، علی گرجی‌زاده^۳
و حسین یوسفی^۴

چکیده

بارش یک جزء اصلی چرخه هیدرولوژیکی هست که دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مکان و زمان است. وجود داده‌های گم‌شده در داده‌های بارش اندازه‌گیری شده و توزیع نامناسب نقطه محل‌های اندازه‌گیری بارش سبب به وجود آمدن مشکلات اساسی در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی می‌گردد و از آنجایی که داده‌های ماهواره‌ای- باران‌سنجی جزء راه‌حل‌های جدید در جهت برآورد داده‌های بارش است، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد داده‌های ماهواره‌ای- باران‌سنجی P-CDR^{۱۵} و CHIRPS^{۱۲} با تفکیک مکانی $(0/25 \times 0/25)$ و در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ با استفاده از ۸۸ ایستگاه سینوپتیک واقع در ایران انجام شد. برآورد بارش سالانه داده‌های مدل شبکه‌بندی شده دارای تخمین فرا برآورد و فرو برآورد در ایستگاه‌ها هستند و با توجه به شاخص‌های ارزیابی عملکرد P-CDR در مناطقی به‌غیر از شمال و شمال غرب ایران نسبت به CHIRPS بهتر است. تخمین بارش ماهانه مجموعه داده P-CDR در همه حوضه‌ها به‌غیر از ارومیه و سرخس دارای خطای کمتر در برآورد بارش ماهانه و بیشترین همبستگی با داده‌های مشاهداتی نسبت به CHIRPS است. برآورد بارش روزانه داده‌های شبکه‌بندی CHIRPS دارای عملکرد بهتر نسبت به P-CDR بخصوص در حوضه خلیج فارس و دریای عمان است. همچنین، داده‌های CHIRPS بر اساس شاخص تشخیصی CSI^{۱۳} دارای عملکرد بهتر در تشخیص روزهای بارانی و غیر بارانی تقریباً در تمام ایستگاه‌ها است. طبق نتایج حاصل از تحلیل‌های ارتفاع و بارندگی می‌توان بیان کرد که ارتفاع نیز به‌عنوان عامل مؤثر در عملکرد داده‌های شبکه‌ای بارش هست به گونه‌ای که هر دو مجموعه داده در مناطق مرتفع کوه‌های زاگرس و مناطق شمالی رشته‌کوه البرز قدرت کمتری در برآورد و تشخیص بارش دارد.

کلمات کلیدی: تخمین بارندگی، شاخص‌های ارزیابی، داده‌های شبکه‌بندی بارش، شرایط اقلیمی، شرایط توپوگرافی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۲/۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۴/۱۹

1- M.Sc. Student of Water Resources Management and Engineering, Water Resources Engineering Department, Civil, Water and Environmental Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: ar.nezafat@mail.sbu.ac.ir

2- Assistant Professor of Civil Engineering, Environmental Engineering Department, Civil, Water and Environmental Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a_moridi@sbu.ac.ir

3- Ph.D. Graduate in Water Resources Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: aligorzade@gmail.com

4- Ph.D. Student, Water Resources Engineering Department, Civil, Water and Engineering Environmental Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: ho_yousefi@sbu.ac.ir

*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1400.17.2.5.8](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1400.17.2.5.8)

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳- دانش آموخته دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۴- دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

گرفته است، در نتیجه داده‌های بارش به صورت گسترده در مقیاس مکانی و زمانی در دسترس است (Tapiador et al., 2012).

انواع مجموعه داده‌های شبکه‌بندی بارش در زمینه‌های مختلف بکار گرفته شده است. (Aksu and Akgül (2020) عملکرد داده‌های شبکه‌های ARC²⁹، CMORPH¹⁰، TAMSAT¹¹ و CHIRPS¹² را با استفاده از ۷۷ ایستگاه در سراسر کشور ترکیه برای دوره آماری ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه به کمک شاخص‌های ارزیابی PCC، MAE، PB، MAE و نش-ساتلکیف و شاخص‌های تشخیصی POD، FAR، FB و HK مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج بیانگر تطابق چشمگیر داده‌های CHIRPS در گام‌های زمانی ماهانه و سالانه با داده‌های مشاهده‌ای هست و احتمال تشخیص بارش برای این داده بین ۰/۸۳ تا ۰/۹۸ است. (Gorzizade et al. (2020) عملکرد سه نوع مجموعه داده شبکه‌ای بارش را در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ با ۴ ایستگاه باران‌سنجی در حوضه مارون بررسی نمودند؛ نتایج آنان حاکی از آن است که با توجه به شاخص‌های ارزیابی RMSE و CC داده‌ی شبکه‌ای بارش ERA5 بیشترین تطابق را با داده‌های مشاهده‌ای دارد و از لحاظ قدرت تشخیص بارش نیز بر اساس شاخص CSI¹³ همین داده شبکه‌ای بارش در همه‌ی ایستگاه‌ها بهترین عملکرد را دارد. Chavoshian (2019) and Katiraie-Boroujerdy دو مجموعه داده باران‌سنجی (CRU، APHRODITE¹⁴) و دو مجموعه داده ماهواره‌ای (PERSIANN، CMORPH) و سه مجموعه داده ترکیبی (P-CDR¹⁵، GPCP و TRMM3B42V7) را در ایران برای گام زمانی فصلی و سالانه و دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ بررسی نمودند، نتایج نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف مجموعه‌ها در مناطق پرباران شمال رشته‌کوه البرز این اختلاف در کرانه‌ی دریای خزر در حدود ۸۰ درصد میانگین بارش سالانه (در حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال) می‌رسد، مناطق کویری مرکزی، نواحی بسیار خشک جنوب شرقی. Hosseini-Moghari et al. (2018) چهار نوع داده بارش شبکه‌ای P-CDR، CRU، GPCC و UDEL¹⁶ را در سراسر ایران به روش مستقیم مورد ارزیابی قرار دادند نتایج آنان نشان می‌دهد که همه داده‌های شبکه‌ای دارای برآوردهای روبه بالا و روبه پایین در ایستگاه‌ها می‌باشند به گونه‌ای که برای بارش سالانه بیشتر از ۶۰۰ میلی‌متر برآورد رو به پایین و کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر برآورد روبه بالا را پیش‌بینی می‌کنند. همچنین، نتایج آنان نشان داد که GPCC جزء مناسب‌ترین مجموعه داده‌ها برای سراسر ایران است. (Alijanian et al. (2017) با ارزیابی پنج داده شبکه‌ای بارش شامل PERSIANN، P-CDR، TRMM، CMORPH و MSWEP¹⁷ با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه و در

بارش به عنوان یک اصل اساسی در چرخه آب است که بین اقیانوس، زمین و جو ارتباط دارد (Ghajarnia et al., 2015). این پارامتر دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مکان و زمان است. داده‌های دقیق بارش در تفکیک زمانی و مکانی بالا از اهمیت بسیاری برخوردار است (Duan and Bastiaanssen, 2013). داده‌های مشاهده‌ای حاصل ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران می‌تواند به‌طور کلی دقیق‌ترین مقادیر را در مکان‌های اندازه‌گیری در اختیار کاربر قرار دهد. منابع ماهواره‌ای که عمدتاً به صورت شبکه‌بندی شده هستند و برخلاف داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی دارای مشکل عدم پیوستگی مکانی و زمانی نمی‌باشند با این حال به علت عدم قطعیت در برآورد بارش بایستی قبل از استفاده مورد ارزیابی قرار گیرند (Mehran and Aghakouchak, 2014). وجود محدودیت‌های اقتصادی، توپوگرافی و جغرافیایی باعث ایجاد پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی می‌شود (Xu et al., 2008; Su et al., 2016). توزیع مکانی نسبتاً ضعیف باران‌سنج‌ها باعث ایجاد ضعف در برآورد الگوهای بارش می‌شود (Javanmard et al., 2010). علت اصلی این موضوع؛ اول محدود بودن تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی است که در آن انعکاس تغییرات بارش مؤثر در سطح دشوار هست و علت دیگر آن، مشاهدات باران‌سنج‌ها تنها می‌تواند منعکس‌کننده میزان بارش در شعاع کمی در اطراف محل قرارگیری باران‌سنج باشد (Collischonn et al., 2008). بنابراین ارائه اطلاعات مکانی باران با وضوح بالا از مشاهدات و اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای کار دشواری است (Jia et al., 2011). این در حالی است که داده‌های سنسج از دور روش‌های جدیدتری در دستیابی به داده‌های بارش با تنوع مکانی و زمانی با دقت زیادی را ارائه می‌دهند (Xie and Xiong, 2011). ورودی لازم جهت تولید داده‌های شبکه‌ای بارش از منبع متفاوت تهیه می‌شود؛ داده‌های باران‌سنجی، مشاهدات ماهواره و استفاده از مدل‌های عددی جهت ترکیب این داده‌ها هستند. این نوع داده‌ها به چهار دسته تقسیم می‌شوند (Duan et al., 2016): الف) داده‌هایی که در تولید آن تنها از منبع ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده شده برای مثال GPCC¹، CRU²، ب) داده‌هایی که منبع ایجاد آن‌ها مشاهدات ماهواره‌ای هست مانند CMAP³، PERSIANN⁴، ج) مجموعه داده‌هایی که از ترکیب دو منبع مشاهدات ماهواره‌ای و باران‌سنجی هستند برای نمونه GPCP⁵، TRMM3b42⁶ و د) مجموعه داده‌های باران که از تحلیل دوباره داده‌های تاریخی توسط مدل‌های جوی و یا عددی پیش‌بینی آب‌وهوا حاصل می‌شوند (Balsamo et al., 2015) مانند ERA5⁷ و MERRA⁸. طی دهه‌های گذشته تلاش فراوانی برای تولید داده‌های ماهواره‌ای صورت

بارش با دقت مناسب به عنوان جزء اصلی چرخه هیدرولوژی و پارامتر اساسی در تصمیم‌گیری‌های هیدرولوژیکی به‌خوبی احساس می‌شود، بنابراین با در نظر گرفتن پتانسیل مجموعه داده‌های شبکه‌ای بارش می‌توان از این نوع داده‌ها جهت تکمیل یا جایگزین داده‌های مشاهده‌ای استفاده نمود، البته این نوع داده‌ها مانند سایر داده‌ها همراه خطا هستند. به منظور کاهش این خطاها مطالعات متعددی جهت بررسی و ارزیابی قدرت تشخیص و برآورد بارش توسط انواع داده‌های شبکه‌بندی شده بارش در مناطق مختلف صورت گرفته است. ما در این تحقیق به ارزیابی عملکرد دو مجموعه داده شبکه‌ای بارش از نوع ماهواره‌ای - باران‌سنجی در سراسر ایران با در نظر گرفتن حوضه‌های آبریز درجه یک شش‌گانه پرداختیم و علاوه بر آن میزان تأثیر ارتفاع در توزیع بارش برآورد شده را نیز مورد ارزیابی قرار دادیم. وجه تمایز این مطالعه از مطالعات صورت گرفته؛ عمده پژوهش‌های انجام شده در محدوده مطالعاتی بر روی منابع TRMM و PERSIANN معطوف بوده است و در این پژوهش از داده‌های CHIRPS استفاده شده، داده‌ها در گام‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه مورد ارزیابی قرار گرفتند و تأثیر ارتفاع نیز در توزیع بارش برآورد شده بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کشور ایران در خاورمیانه بین موقعیت $40^{\circ} 24' N$ و $64^{\circ} 44' E$ واقع شده است و مساحت 1648000 کیلومتر مربع را در برمی‌گیرد. ارتفاع آن بین 25 متر از سطح دریا در مناطق شمالی و 5600 متر از سطح دریا در کوه‌های البرز متغیر است (Khalili and Rahimi, 2013). ایران از لحاظ توپوگرافی بسیار متغیر است و شامل دو رشته‌کوه مرتفع و دو کویر بزرگ است، از این رو کشور ایران دارای اقلیم‌های متفاوتی هست. تقسیم‌بندی محدوده‌های مطالعاتی (ایران) به حوضه‌های آبریز یکی از مهم‌ترین نیازها در بررسی‌های منابع آب است که با هدف تسهیل در دستیابی به آمار و اطلاعات و هماهنگی بین مطالعات آب‌های سطحی انجام گرفته است. ایران از شش حوضه اصلی خزر، خلیج فارس و دریای عمان، ارومیه، مرکزی، هامون و سرخس تشکیل شده است. در این مطالعه به بررسی ارتباط داده‌های شبکه‌بندی شده و مشاهداتی در هر حوضه پرداخته شده و در هر حوضه ارتباط بارش با ارتفاع از سطح دریا نیز دیده شده است. به منظور ایجاد پراکندگی با پوشش‌دهی مناسب از ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده مطالعاتی، انتخاب تعداد نقطه محل‌های مورد بررسی متناسب با مساحت تحت پوشش هر حوضه از مساحت کل ایران است.

مقیاس زمانی روزانه و ماهانه بیان کردند که به ترتیب TRMM، MSWEP و P-CDR عملکرد مناسبی در شرایط بدون بارش دارند در حالی که P-CDR در شرایط با بارش زیاد بدترین عملکرد را نسبت به سایر داده‌های شبکه‌بندی دارد. (Duan et al. 2016) در این ارزیابی هشت داده بارش شبکه‌ای شامل TRMM3b42v7، GSMAP¹⁸، P-CDR، CHIRPS، CMOPRH-CRT، CMOPRH-RAW و PGF¹⁹ با تفکیک مکانی مختلف که یکسان‌سازی شده و تفکیک زمانی روزانه، ماهانه و سالانه نتایج آنان نشان می‌دهد که مجموعه داده‌های CHIRPS، TRMM و CMOPRH-BLD دارای عملکرد بهتری هستند. در حالی که PGF بدترین عملکرد در هر سه مقیاس زمانی است. همه هشت محصول بالاترین خطا را در ماه‌های دسامبر تا فوریه (زمستان) برای حالتی که بارش کم هست دارند. (Abera et al. 2016) به ارزیابی دقت اطلاعات پنج داده شبکه‌ای بارش از جمله SM2R-CCI²¹، 3B42V7، CFSR²⁰، TAMSAT، CMORPH با شاخص‌های ارزیابی Bias، CC و RMSE در آفریقا پرداختند نتایج نشان می‌دهد که مجموعه داده TAMSAT با بیش از ۹۱٪ توانایی در تشخیص باران با شدت‌های مختلف و همچنین تشخیص روزهای خشک شناسایی شده است و CFSR به دنبال TAMSAT با ۷۷٪ توانایی در تشخیص روزهای خشک جزء بهترین عملکردها از میان داده‌های شبکه‌ای مورد ارزیابی هستند. (Metkan et al. 2009) به ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM و METEOSAT²² در استان گیلان جهت پایش سیلاب پرداختند در الگوریتم تخمین بارندگی ماهواره‌ای اغلب از داده‌های مادون قرمز و ماکروویوهای غیرفعال استفاده می‌شود، داده‌های مادون قرمز دارای قدرت تفکیک زمانی بالا هستند، اما توان نفوذ کمی در ابر را دارند در مقابل داده‌های ماکروویو غیرفعال از ابر عبور می‌کند و تخمین دقیقی از نرخ بارندگی دارند ولی قدرت تفکیک زمانی کمی دارند. متکان و همکارانش با الگوریتم ترکیب این دو سری داده ضمن حفظ مزایا، معایب را تا حد امکان کاهش داد و در این تحقیق قابلیت الگوریتم ترکیبی همسان‌سازی احتمال داده‌های TRMM و METEOSAT در تخمین بارندگی شدید ۱۹ مرداد سال ۸۴ که منجر به وقوع سیل شد را مورد بررسی قرار دادند و با مدل هیدرولوژیکی GeoSFM²³ به پایش سیلاب پرداختند نتایج آنان نشان می‌دهد که بین تخمین ماهواره‌ها و مشاهدات زمینی همبستگی 0.533 وجود دارد.

با توجه به مشکل کمبود آب در ایران که به‌عنوان یک بحران ملی مطرح شده است و عدم وجود داده‌های بارش دقیق که از پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی ناشی می‌گردد نیاز به داده‌های

۲-۲- مجموعه داده‌های بارش

جهت ارزیابی مجموعه داده‌های انتخاب‌شده در این مطالعه از دو سری داده استفاده شده است که در این بخش یک مرور کلی درباره هر یک از آن‌ها ارائه خواهد شد. مشخصات کلی از سری داده مورد استفاده در مطالعه در جدول ۲ آمده است.

در مطالعه حاضر با توجه به داده‌های تأییدشده هواشناسی از آمار بارندگی روزانه ۸۸ ایستگاه در سراسر ایران در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۹) استفاده گردیده است. شکل ۱ محدوده مطالعاتی موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و جدول ۱ فعالیت‌های تحقیقی انجام شده در ایران بر روی مجموعه داده‌های بارش و همچنین شکل ۲ الگوی مکانی بارش مشاهده‌ای و دو مجموعه داده شبکه‌ای بارش را نشان می‌دهد.

Table 1- Research conducted in Iran on rainfall data sets
جدول ۱- فعالیت‌های تحقیقی انجام‌شده در ایران بر روی داده‌های بارش

Reference	Study area	Dataset in use	Highest correlation coefficient		
			Daily	Monthly	yearly
Alijanian et al. (2017)	Iran	CMORPH, P-CDR TRMM, PERSIANN	0.72	0.8	-
Moghari et al. (2018)	Iran	P-CDR, GPCC UDEL, CRU	-	0.98	-
Javanmard et al. (2010)	Iran	TRMM 3B42	-	-	0.77
Gorjizadeh et al. (2019)	Upstream of the Maroon dam	CHIRPS P-CDR, Era-interim	0.79	0.93	-
Azizian et al. (2018)	SefidRood Catchment	PERSIANN, TRMM ECMWF	0.8	0.9	-
Abdolahi et al. (2016)	GorganRood Catchment	CMORPH TRMM3B42RT	0.7	0.93	-
Miri et al. (2016)	Iran	GPCC	-	0.6	-
Darand et al. (2015)	Iran	GPCC	-	0.9425	0.9385

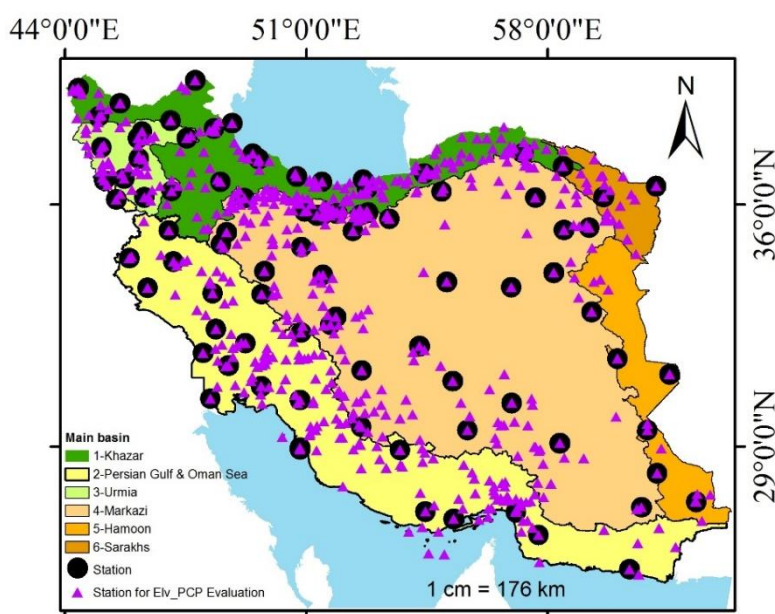


Fig.1- Study area considering the division of the main catchment area and rain gauge stations
شکل ۱- محدوده مطالعاتی با در نظر گرفتن تقسیم‌بندی حوزه آبریز اصلی و محل ایستگاه‌های باران‌سنجی

Table 2- Summary of gridded precipitation products evaluated in this study

جدول ۲- ویژگی سری داده‌های مورد ارزیابی در این مطالعه

Product	Spatial coverage	Spatial Resolution	Instrument	Use Data
P-CDR	60°N - 60°S	0.25×0.25	Satellite + Gage	1990 - 2019
CHIRPS	50°N - 50°S	0.05×0.05	Satellite + Gage	1990 - 2019

عکس فاصله با داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی ترکیب می‌شود و محصول نهایی CHIRPS تهیه می‌شود (Duan et al., 2016b) در این مطالعه از داده‌های CHIRPS با تفکیک مکانی ۰/۲۵ استفاده شده است. داده‌های این مدل شبکه‌ای از طریق لینک <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/> قابل دسترسی است.

۲-۵- شاخص‌های ارزیابی

شاخص‌های گوناگون ارزیابی و تشخیصی جهت مقایسه، سنجش و ارزیابی مجموعه‌های ماهواره‌ای برای تعیین دقت این داده‌ها در محدوده‌ی مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفته است. آنچه در این ارزیابی مهم به‌شمار می‌آید این است که جنس ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در سطح مورد مطالعه از نوع نقطه‌ای است ولی داده‌های تهیه‌شده از ماهواره‌ها به‌صورت شبکه‌بندی شده، سلولی و پیوسته در سطح حوضه می‌باشند. بنابراین جهت ارزیابی این داده‌ها با یکدیگر از طریق میانبازی دوبعدی، مقادیر بارش هر ایستگاه از نزدیک‌ترین پیکسل مجاور آن محاسبه شد. در پژوهش حاضر از ۳ شاخص تشخیصی FAR، POD، CSI و ۵ شاخص ارزیابی شامل RMSE، MBE، BIAS، CC و NSE استفاده شده است که در جدول ۴ روابط محاسباتی آورده شده است. شاخص ارزیابی میانگین خطای اشتباه (MBE) که نشانگر میانگین انحراف معیار مقدار برآوردی از مقدار مشاهده‌ای است، مقدار این شاخص هر چه به صفر تمایل داشته باشد نشان‌دهنده تخمین بهتر مدل در برآورد مقادیر متغیر مورد نظر است به عبارتی این شاخص کارایی مدل را در برآورد مقادیر نشان می‌دهد اگر مقدار شاخص بزرگ‌تر از صفر باشد نشان‌دهنده این است که مدل میزان بارش را بیشتر تخمین زده است و اگر کوچک‌تر از صفر باشد نشان‌دهنده این است که میزان بارش توسط مدل کمتر تخمین زده است و اگر مقدار شاخص برابر صفر باشد نشانگر عدم وجود خطا است. شاخص ارزیابی ریشه دوم متوسط مربعات خطا (RMSE) که بین بازه صفر تا ∞ + متغیر است، مقدار کم این شاخص نشانگر تفاوت کم بین داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده است. شاخص ارزیابی همبستگی (CC) نشان‌دهنده میزان ارتباط مقادیر برآورد شده با مقادیر محاسبه شده است که هر چه مقدار آن بیشتر باشد رابطه بین مقادیر مدل و

۲-۳- PERSIANN-CDR

با هدف رفع نیاز به یک مجموعه داده‌های پایدار با وضوح زمانی و مکانی بالا و بلندمدت برای مطالعه تغییرات آب‌وهوا و تعیین متغیرهای آن، مباحث هیدرولوژیکی، مدیریت منابع آب و رخداد‌های بارش شدید ناشی از تغییرات آب‌وهوا مورد توجه قرار گرفته است، بدین ترتیب سری داده‌های P-CDR را می‌توان در مطالعات مربوط به سیلاب (Casse et al., 2016)، خشک‌سالی (Guo et al., 2016) و مطالعات مربوط به بارش شدید (Ashouri et al., 2016) به کار برد. P-CDR از الگوریتم PERSIANN و با استفاده از داده‌های مادون‌قرمز تولید می‌شود. در سری داده‌های PERSIANN داده‌ها در زمان واقعی نزدیک و به‌طور منظم بر اساس اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای در دسترس است در حالی که P-CDR در برآورد بارش از داده‌های ماهانه سنجنده GPCP استفاده کرده، این سری داده‌ها از نوع داده‌های ماهواره‌ای- باران‌سنجی هستند. P-CDR داده‌های بارش روزانه با وضوح مکانی بالا ۰/۲۵ درجه و پوشش سراسری ۶۰°S - ۶۰°N از سال ۱۹۸۳ تاکنون را ارائه می‌دهد. در این مطالعه از داده‌های بارش روزانه P-CDR با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه استفاده شده است. داده‌های این مدل شبکه‌ای از طریق لینک <http://chrsdata.eng.uci.edu> قابل دسترسی است.

۲-۴- CHIRPS

سری داده‌های CHIRPS داده بارش روزانه را در مقیاس مکانی ۰/۰۵ درجه برای مختصات جغرافیایی ۵۰°N-۵۰°S از سال ۱۹۸۱ تاکنون را ارائه می‌دهد. داده CHIRPS شامل سری داده بارش ماهانه آب و هواشناسی (CHPCLIM) که از بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی FAO، GHCN تهیه شده‌اند، اطلاعات CCD که بر اساس داده گرمای مادون‌قرمز که در CPC و NCDC موجود است به دست می‌آید. سری داده‌های TRMM 3B42V7، CFSV2 و داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی جزء منابع دیگر هستند، در ابتدا داده CCD با TRMM3B42V7 کالیبره می‌شود سپس به‌وسیله داده‌های CHPCLIM انحراف و بایاس آن‌ها حذف می‌شود و داده‌های CHRP تولید می‌شود و در نهایت داده CHRP با الگوریتم وزن‌دهی بر اساس

۲-۶- نمودار تیلور

منحنی تیلور بر اساس ارتباط هندسی میان ضریب همبستگی R^2 ، انحراف معیار سری‌های زمانی و RMSD که ارتباط میان مدل‌های مرجع و شبیه‌سازی شده را تعیین می‌کند (Lo Conti et al., 2014). دیاگرام تیلور ابزاری مناسب جهت بررسی و ارزیابی روش‌های و مدل‌های متنوع است. نمودار تیلور به صورت ربع دایره ارائه می‌شود که ضریب همبستگی به صورت شعاع دایره روی قوس آن، مقادیر انحراف به صورت دوائر متحدالمرکز نسبت به مرکز دایره و مقادیر RMSD به دایره‌های متحدالمرکز نسبت به نقطه مرجع ترسیم می‌شود. نقطه مرجع همان وضعیت ایستگاه‌های زمینی هست که روی محور افقی قرار می‌گیرد زیرا مقدار RMSD و R^2 در مقایسه با خود داده‌های زمینی به ترتیب برابر صفر و یک است. در این دیاگرام هر مجموعه داده به وسیله یک نقطه جداگانه نمایش داده می‌شود، بدیهی است که نقطه‌ای که به نقطه‌ای واقعی نزدیک‌تر است از لحاظ شاخص‌هایی که روی نمودار است بهتر عمل می‌کند.

۲-۷- ضریب همبستگی

ضریب همبستگی عبارت است از شاخص آماری نزدیکی داده‌ها به خط رگرسیون برازش شده است. شد. ضریب R^2 در بازه صفر تا یک تغییر می‌کند و بهترین حالت زمانی رخ می‌دهد که این ضریب برابر یک باشد و صفر نشان می‌دهد که مدل هیچ یک از تغییرپذیری داده‌های پاسخ در اطراف میانگین آن را تبیین نمی‌کند. از لحاظ تئوری اگر ضریب تعیین برابر یک بیانگر این است که تمامی مقادیر مشاهده‌شده با مقادیر برازش شده یکسان خواهند بود و همه نقاط داده‌ها بر روی خط برازش شده قرار خواهند گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی داده‌های شبکه بارش در گام زمانی روزانه

در این مطالعه جهت ارزیابی عملکرد هریک از داده‌های شبکه‌ای بارش نقشه‌های بارش روزانه هر منبع بارشی به صورت مجزا در بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ ترسیم و شاخص‌های آماری ارزیابی و تشخیصی برای هر یک محاسبه گردید که نتایج آن‌ها در شکل ۲ و ۳ به ترتیب نشان داده شده است. بررسی شاخص‌های ارزیابی مربوط به منبع بارش CHIRPS در مقیاس زمانی روزانه حاکی از عملکرد بالای آن نسبت به منبع بارش P-CDR هست. بازه تغییرات ضریب همبستگی CC در سطح کشور ایران برای داده شبکه‌ای بارش CHIRPS بین ۰/۲۶۶ تا ۰/۷۶۲ است، نتایج نشان می‌دهد که حداکثر این شاخص در حوضه دریاچه ارومیه و قسمت غربی حوضه دریای

مشاهده‌ای بهتر و نزدیک‌تر خواهد بود. شاخص ارزیابی بایاس (BIAS) یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی مجموعه داده‌های بارش است و اختلاف بین داده‌های بارش شبکه‌ای و داده‌های مشاهده‌ای را نشان می‌دهد که بین $+\infty$ تا $-\infty$ در حال تغییر است. ضریب نش- ساتکلیف (NSE) بیانگر میزان رابطه بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمین زده‌شده است که بین $-\infty$ و یک متغیر هست، NSE برابر یک، رابطه کامل بین داده‌ها را نشان می‌دهد درحالی‌که مقادیر منفی آن بیانگر رابطه ضعیف بین سری داده‌های برآورد شده و مشاهده‌ای است. سه شاخص آماری تشخیصی FAR، POD و CSI میزان دقت مدل را در تشخیص وقوع باران نشان می‌دهد. نرخ هشدار اشتباه (FAR) نسبت تعداد بارش برآورد شده نادرست به کل بارش برآورد شده هست به عبارتی بیانگر شرایطی است که در آن ماهواره وقوع بارش را برآورد کرده اما در محل بارشی رخ نداده است و محدوده تغییرات این شاخص بین صفر و یک است که مقدار بهینه آن صفر است. احتمال آشکارسازی (POD) این شاخص نسبت تعداد تشخیص صحیح بارش مدل به تعداد کل رخدادهای بارش‌های ثبت شده در منبع ایستگاه‌های زمینی است. شاخص آستانه موفقیت (CSI) این شاخص تابعی از FAR و POD است که ترکیبی از اخطار اشتباه برآورد و رویدادهای از دست رفته است، این نمایه احتمال شناخت درست روزهای بارانی و غیر بارانی را بیان می‌کند و مقدار بهینه آن یک است. با توجه به اینکه کشور ایران دارای آب و هوای نیمه‌خشک و خشک است آستانه بارش برای محاسبه شاخص‌های طبقه‌بندی ۰/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. P_i مقدار پیش‌بینی شده، \bar{P} متوسط مقدار پیش‌بینی شده، O_i مقدار مشاهده‌شده در ایستگاه، \bar{O} مقدار متوسط مشاهده‌شده در ایستگاه، n تعداد داده‌ها، F تعداد دفعاتی باران وجود نداشته اما مدل وقوع بارش را نشان می‌دهد، H تعداد دفعاتی که باران به وقوع پیوسته و مدل نیز وقوع بارش را تشخیص داده است و M تعداد دفعاتی که بارش رخ داده است ولی مدل وقوع بارش را تشخیص نداده است. روش‌های متعددی برای درون‌یابی وجود دارد مانند Theissen, Kriging و IDW^{24} که هریک دارای یکسری معایب و مزایا هستند (Hofstra et al., 2008). در این مطالعه از روش درون‌یابی برای تهیه نقشه تغییرات شاخص‌های آماری ارزیابی استفاده شده است (Duan et al. (2016a) و Gorjizade et al. (2020b) در این روش فرض اساسی بر این است که میزان تشابه و همبستگی بین همسایه‌ها با فاصله بین آن‌ها متناسب است، به عبارتی نقاط نزدیک‌تر به یکدیگر نسبت به نقاط دورتر همبستگی و تشابه بیشتری دارند.

Table 4- Statistical metrics used in the evaluation and classification of precipitation products

جدول ۴- شاخص‌های آماری ارزیابی و طبقه‌بندی محصولات بارش مورد استفاده در پژوهش

Statistical Index	Equation
Correlation Coefficient	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$
Mean bias error	$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n}$
Root mean square error	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$
Nash-Sutcliffe efficiency	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$
Bias	$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$
False Alarm Ratio	$FAR = \frac{F}{F + H}$
Probability of detection	$POD = \frac{H}{H + M}$
Critical success index	$CSI = \frac{H}{H + F + M}$

NSE برای CHIRPS و P-CDR به ترتیب ۱/۱۸- تا ۰/۴۸۴ و ۲/۲۲- تا ۰/۳۹۸ است. با توجه به شکل ۲، پراکندگی نقاطی با نش-ساتکلیف بیشتر از ۰/۳ در CHIRPS بیشتر است و همچنین تنها در قسمت کوچک از نواحی شمالی حوضه مرکزی مشرف به حوضه دریای خزر دارای مقادیر منفی است و در مقابل P-CDR در اکثر نواحی محدوده‌ی مطالعاتی دارای نش-ساتکلیف منفی است. شاخص NSE برتری عملکرد CHIRPS نسبت به P-CDR را نشان می‌دهد. جهت تعیین قدرت تشخیص بارش از طریق الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای از سه شاخص تشخیصی FAR، POD و CSI استفاده نمودیم که نتایج آن برای سراسر ایران در ۸۸ ایستگاه به صورت نقشه تهیه شده و در شکل ۳ قابل مشاهده است. منبع بارش CHIRPS در تشخیص روزهای بارانی و غیر بارانی دارای قدرت عملکرد بیشتر نسبت به داده‌های شبکه‌ای P-CDR است. به گونه‌ای که شاخص تشخیصی FAR در اکثر ایستگاه‌ها در محدوده مطالعاتی دارای مقادیر قابل قبول هست و بازه تغییرات آن بین صفر تا ۰/۴۵ است در مقابل بیشترین مقدار هشدار اشتباه ۰/۸ > FAR در ایستگاه‌های حوضه مرکزی مربوط به مدل P-CDR است به این معنی که در این ایستگاه‌ها بیش از ۸۰ درصد از پیش‌بینی‌های که بیانگر روزهای بارانی بودند در صورتی که در محل ایستگاه بارشی صورت نگرفته است. مقدار شاخص POD

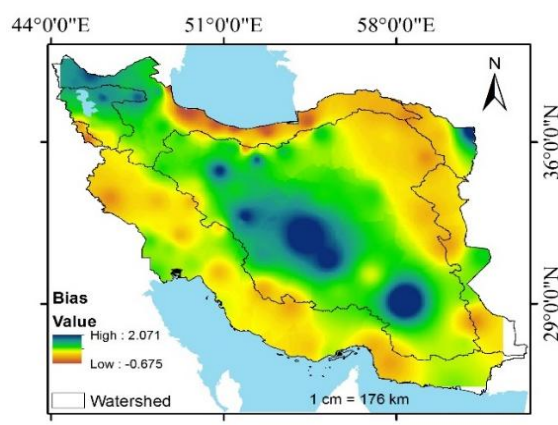
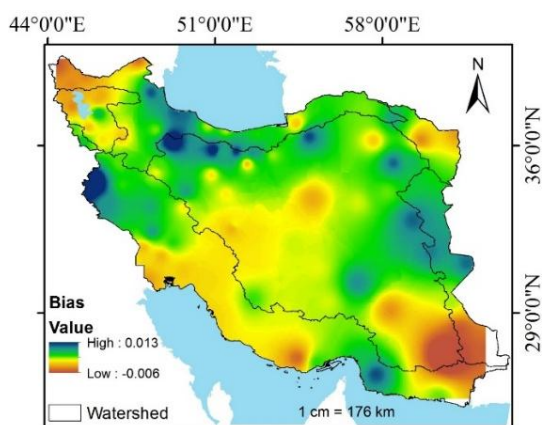
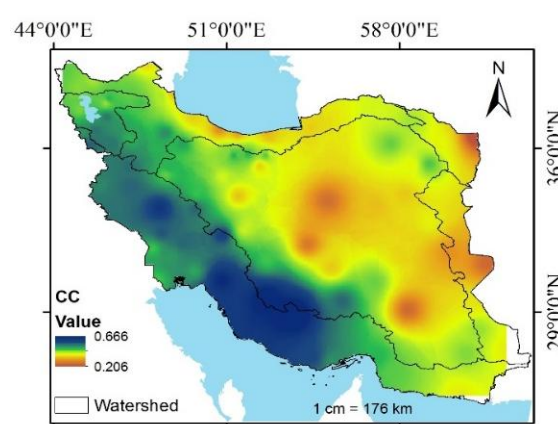
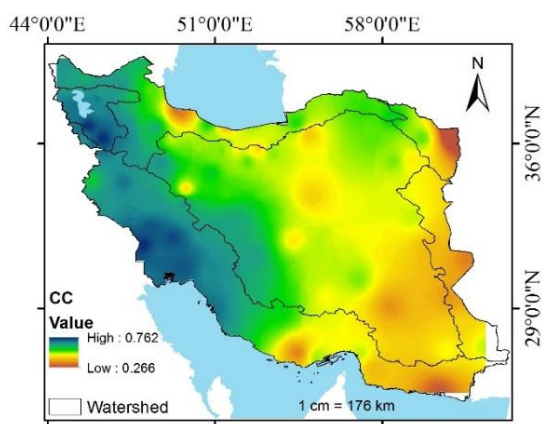
عمان و خلیج فارس رخ داده است و حداقل مقادیر این شاخص که بیانگر عدم همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای با منبع بارشی مدنظر است در سطح حوضه سرخس، جنوب شرق حوضه مرکزی و حوضه دریای عمان و خلیج فارس روی داده است. طبق شاخص آماری MBE در ۵۸ ایستگاه از ۸۸ نقطه محل مورد بررسی در منبع شبکه‌ای بارش CHIRPS در حالت فروبرآورد قرار دارد به عبارتی مقدار بارش توسط مدل کمتر از بارش مشاهده‌ای تخمین شده است، این وضعیت بیشتر در حوضه‌ی دریای عمان و خلیج فارس، حوضه دریاچه ارومیه و قسمت غرب و جنوب غرب حوضه مرکزی نمایان می‌شود و حالت فرآبرآورد این منبع بارش در حوضه دریای خزر و قسمت شمال و شمال شرق حوضه مرکزی اتفاق می‌افتد. در مقابل داده‌های بارش شبکه‌ای P-CDR در اکثر ایستگاه‌ها که در قسمت حوضه‌ی مرکزی و حوضه دریاچه ارومیه قرار دارند حالت فرآبرآورد را نشان می‌دهند. مقدار شاخص RMSE که بیانگر میانگین خطای موجود بین داده‌های محلی و داده‌های شبکه‌ای بارش است در منبع CHIRPS همواره کمتر از منبع بارش P-CDR است، بیشترین RMSE برای هر دو منبع بارش در طول دریای خزر در حوضه دریای خزر روی می‌دهد. مقدار شاخص ارزیابی نش-ساتکلیف در هر دو داده شبکه‌بندی شده بارش از مقدار ایده‌آل این شاخص یعنی ۰/۵ کمتر است به گونه‌ای که بازه تغییرات

داده‌های مرجع بر اساس شاخص CC, NSE در نواحی غربی محدوده مطالعاتی بیشتر از P-CDR است.

۳-۲- ارزیابی داده‌های شبکه‌ای بارش در گام زمانی ماهانه

شکل ۴ نمودار تیلور بارش ماهانه در محدوده مطالعاتی به تفکیک حوضه آبریز را نشان می‌دهد. در همه حوضه‌ها به‌غیر از حوضه‌های مرکزی کمترین انحراف معیار مربوط به CHIRPS و در حوضه‌های خلیج فارس و دریا عمان، دریاچه‌ی ارومیه، سرخس و هامون مربوط به P-CDR است و در حوضه خزر مقدار انحراف معیار این دو مجموعه داده تقریباً با هم برابر هستند. از دیگر اطلاعاتی که می‌توان از نمودار تیلور به دست آورد خطوط RMSD است که مقدار خطای برآورد را نشانی می‌دهد و با توجه به این خطوط بهترین مجموعه داده شبکه‌بندی شده در هر ایستگاه مشخص می‌شود. در حوضه‌ها مرکزی، هامون، خلیج فارس و دریای خزر کمترین مقدار RMSD مربوط به P-CDR است که بیانگر کمترین خطای عملکرد برآورد داده‌های بارش ماهانه است و مقدار این شاخص در حوضه خلیج فارس به کمتر از ۰/۳ است.

اکثر ایستگاه‌های در مدل CHIRPS بیشتر از P-CDR هستند، در CHIRPS در تشخیص روزهای بارانی در حوضه‌های دریاچه ارومیه، دریای خزر، غرب حوضه دریای عمان و قسمت شمالی حوضه مرکزی بهتر عمل می‌کند، مدل دیگر به‌طور کلی در قسمت غرب و شمال غرب ایران عملکرد نامناسب دارد و در قسمت شرق و جنوب شرق محدوده مطالعاتی بهتر عمل می‌کند. حداکثر مقدار CSI در حوضه دریاچه ارومیه با $CSI=0/44$ که مربوط به مدل CHIRPS رخ می‌دهد که به این معنی است که به‌طور کلی قدرت تشخیص این مدل در روزهای بارانی و غیر بارانی برای آن ایستگاه در حدود ۴۴ درصد هست و تقریباً در تمام ایستگاه‌ها مقدار این شاخص در مدل CHIRPS بیشتر از P-CDR است. مطابق نتایج حاصل از شاخص‌های طبقه‌بندی و نقشه تغییرات این شاخص‌ها در شکل ۳، CHIRPS تقریباً در تمام نقطه محل‌های مورد بررسی در محدوده مطالعاتی قدرت تشخیص بیشتری نسبت به P-CDR دارد به عبارتی دیگر CHIRPS وقوع یا عدم وقوع بارش را بهتر تشخیص داده است و همچنین بر اساس نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی و نقشه الگوی مکانی تغییرات این شاخص‌ها در گام زمانی روزانه، CHIRPS به‌طور کلی در نواحی غربی محدوده مطالعاتی بهتر عمل می‌کند و همبستگی این مجموعه داده با



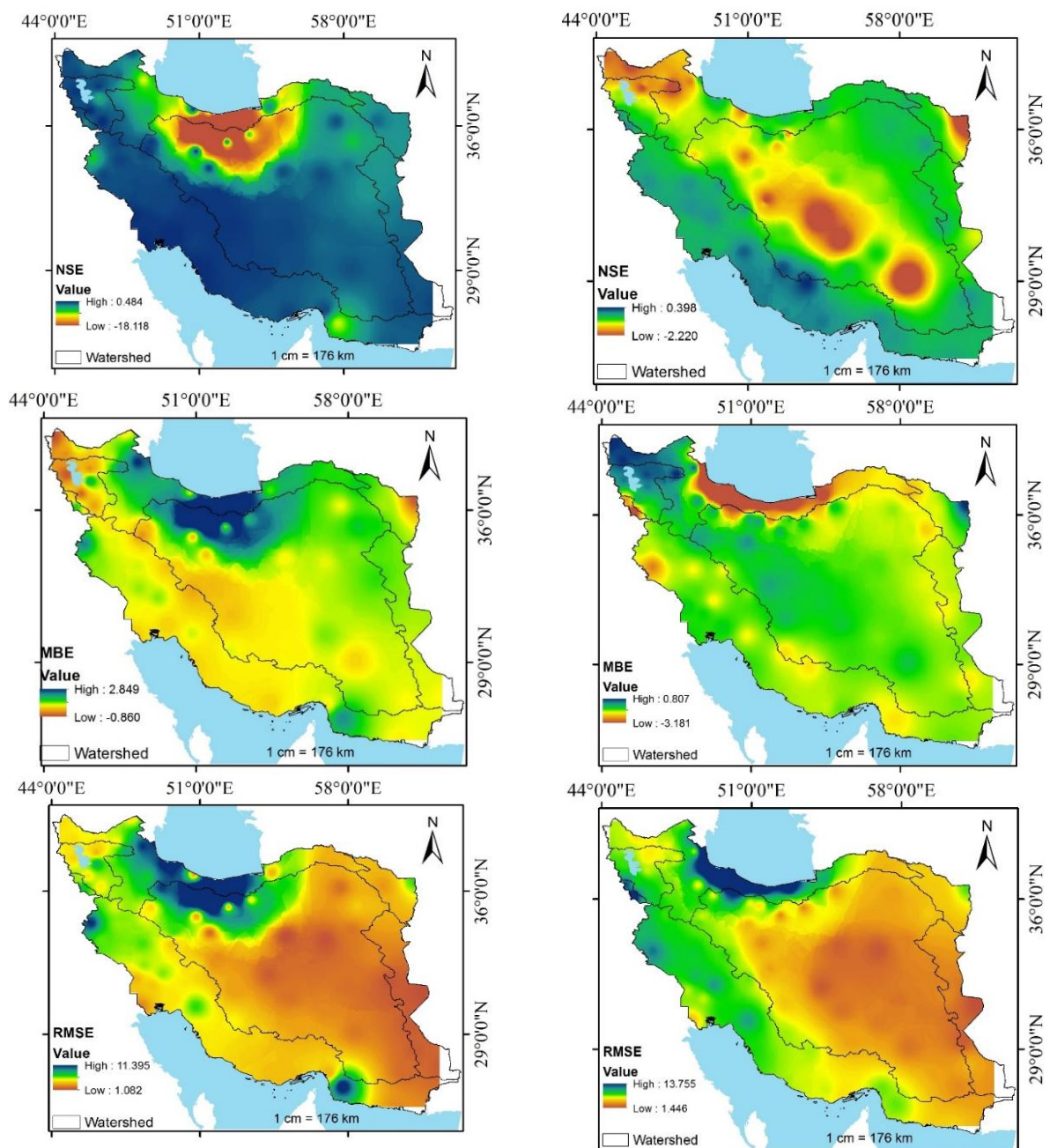


Fig. 2- Spatial pattern of changes in the evaluation indexes on daily scale (Left side: CHIRPS, Right side: P-CDR)

شکل ۲- الگوی مکانی تغییرات شاخص‌های ارزیابی در مقیاس روزانه (سمت راست: P-CDR و سمت چپ: CHIRPS)

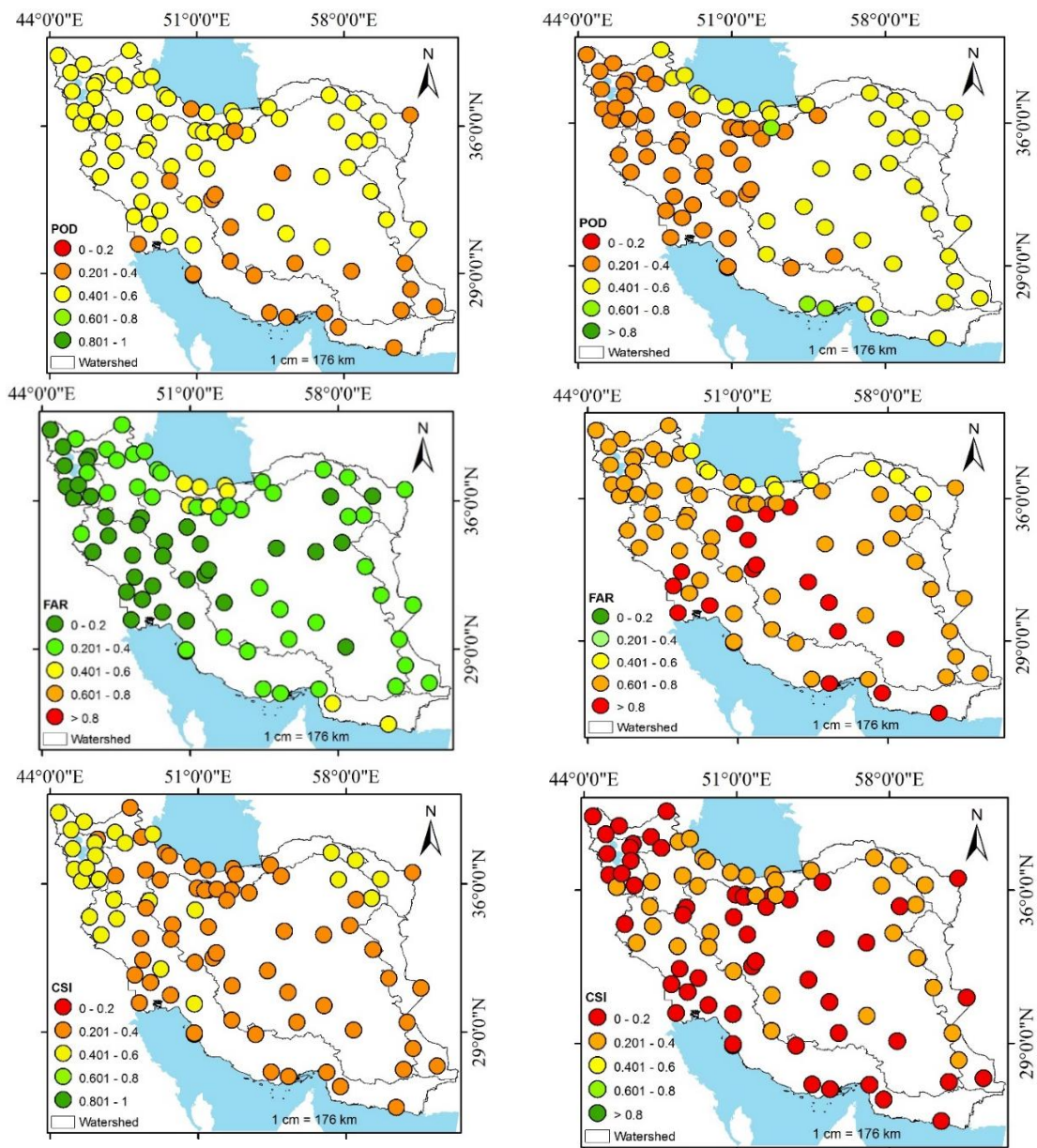


Fig. 3- Map of changes in the classification indexes on daily scale (Left: CHIRPS, Right: P-CDR)
شکل ۳- نقشه تغییرات شاخص‌های تشخیصی در مقیاس روزانه (سمت راست: P-CDR و سمت چپ: CHIRPS)

۳-۳- ارزیابی منابع بارش در مقیاس زمانی سالانه
 همان‌گونه که در شکل ۵ قابل مشاهده است؛ داده شبکه بارش P-CDR در قسمت شمال غرب ایران که شامل حوضه دریاچه ارومیه، شمال غربی حوضه دریای خزر و حوضه دریای عمان و خلیج فارس هست مقدار بارش را بیشتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد کرده است در مقابل CHIRPS در این نقاط مقدار بارش را کمتر از مقادیر مشاهده‌ای تخمین کرده است و در قسمت شمالی حوضه مرکزی حالت بیش برآورد رخ داده است.

در همه حوضه‌ها به‌غیراز حوضه سرخس و ارومیه نزدیک‌ترین نقطه به نقطه‌ی مرجع همان مجموعه داده شبکه‌بندی شده P-CDR است به عبارتی این وضعیت نشان می‌دهد که این مجموعه داده از لحاظ شاخص‌های موجود در نمودار بهتر عمل می‌کند به این معنی که دارای خطای کم در برآورد داده‌های بارش و همبستگی بیشتر با داده‌های مشاهداتی نسبت به دیگر مجموعه داده شبکه‌ای بارش است؛ و در سرخس CHIRPS نزدیک‌تر به نقطه مرجع قرار دارد.

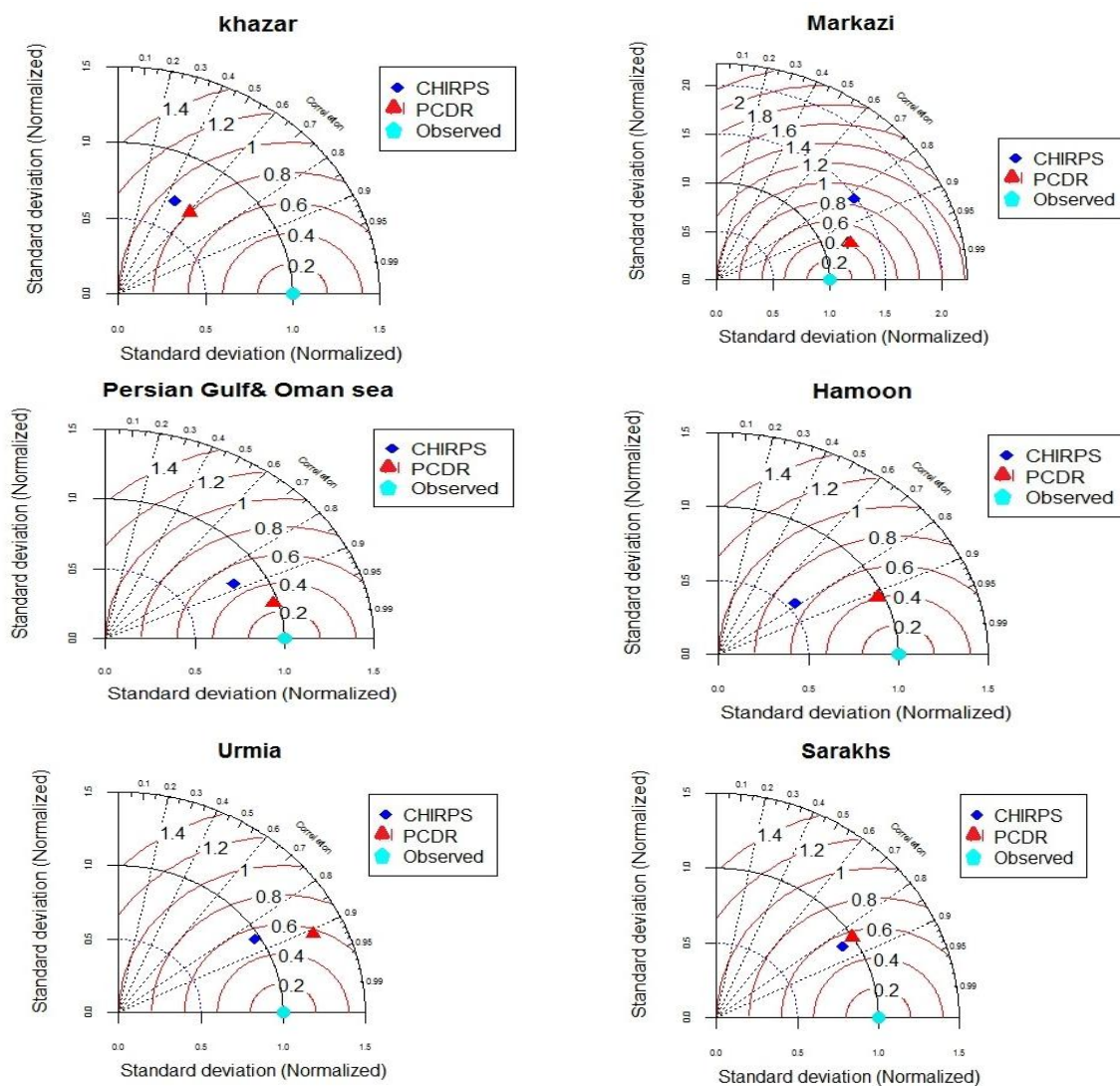


Fig. 4- Taylor chart of monthly rainfall over Iran sorted by catchment

شکل ۴- نمودار تیلور بارش ماهانه در سراسر ایران به تفکیک حوضه آبریز

مشاهده‌ای و برآورد شده بارش سالانه در محدوده مطالعاتی در شکل ۵ آمده است الگوی مکانی بارش از اطلاعات میانگین بارش سالانه در سال‌های آماری مورد مطالعه بارش‌های برآورد شده منبع داده‌های شبکه‌ای بارش و داده‌های مشاهده‌ای تهیه شده است.

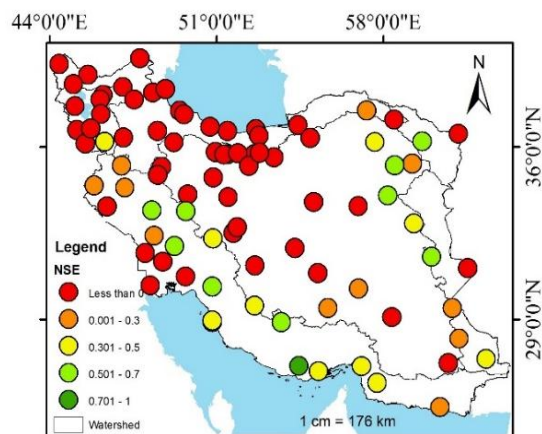
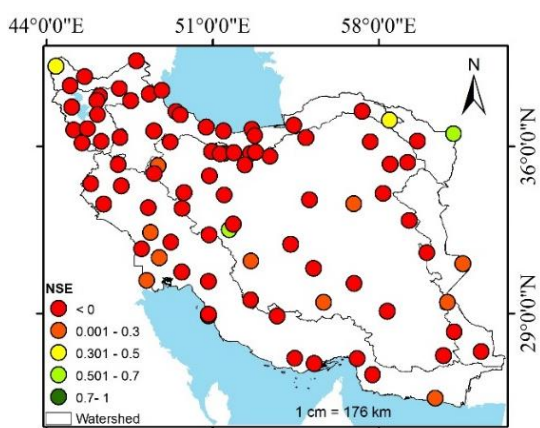
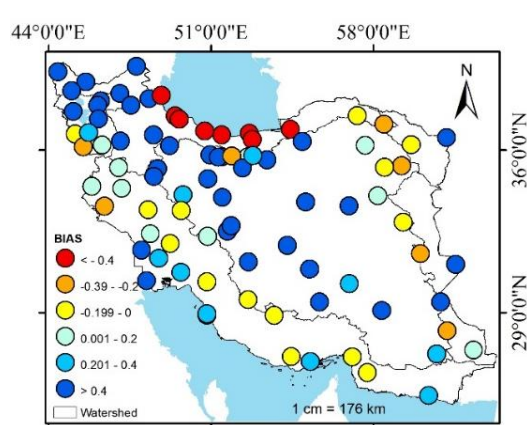
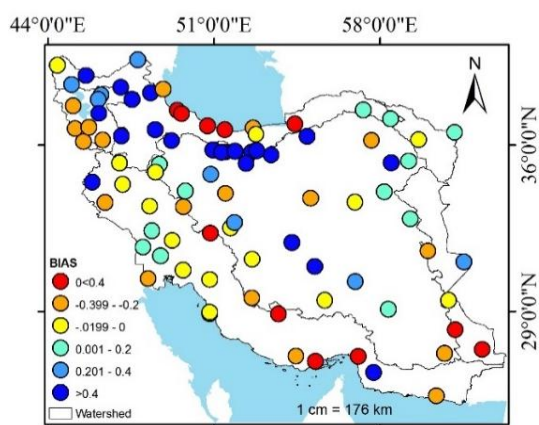
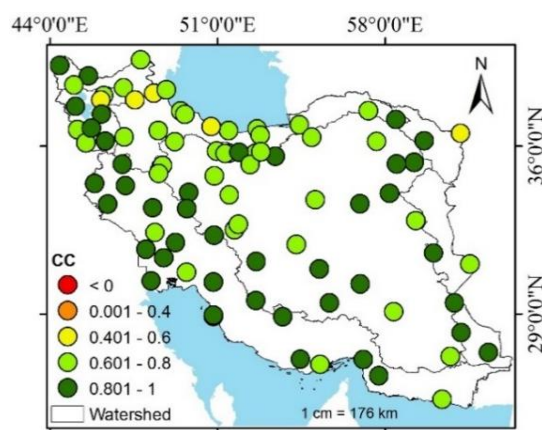
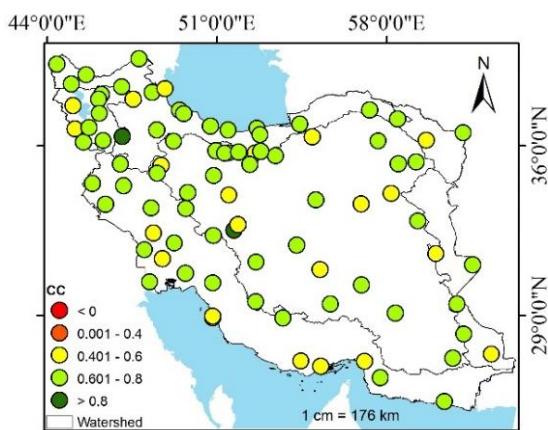
۳-۴- بررسی پراکندگی بارش و ارتفاع

عوامل متعددی مانند توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدروگرافی و پوشش گیاهی باعث تغییرات بارش می‌شود (Bedidi et al., 1990). عامل توپوگرافی از متغیرهای دیگری مانند ارتفاع، کوه‌شناسی، موقعیت و اقلیم منطقه تشکیل شده است و مجموعه این عوامل منجر به تغییرات بارندگی می‌شود (Kurupinar, 1995)، در این مطالعه از متغیر ارتفاع

با توجه به نقشه‌های تهیه شده برای این گام زمانی که در شکل ۵ قابل مشاهده است و تغییرات شاخص همبستگی CC در P-CDR در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۰/۶-۱ است که بیانگر همبستگی خوب داده‌ها در این گام زمانی است و میزان تغییرات این شاخص برای منبع داده CHIRPS در اکثر نقاط مورد بررسی بین ۰/۴-۰/۶ است که برتری P-CDR را در همبستگی داده‌های مشاهده‌ای و این منبع داده بارشی را نشان می‌دهد. شاخص ارزیابی نش- ساتکلیف نشان‌دهنده عملکرد بهتر P-CDR در این گام زمانی است برای داده شبکه‌ای بارش P-CDR شاخص NSE نشان می‌دهد که عملکرد این محصول در قسمت‌های شمال و شمال غرب ایران مناسب نیست ولی در سایر مناطق بهتر از CHIRPS عمل می‌کند، بازه تغییرات آن در محدوده مطالعاتی بین ۳۶/۷۵- الی ۰/۸۱ است. الگوی مکانی داده‌های

و ۳ مجموعه داده بارش ترسیم شده و در شکل‌های ۷ تا ۱۱ قابل مشاهده هست.

برای بررسی پراکندگی بارش در محدوده مطالعاتی مورد نظر استفاده شد و نمودار تغییرات ارتفاع در برابر میانگین بارش سالانه در ۶۰۰ ایستگاه در سراسر ایران به تفکیک حوضه‌های آبریز اصلی شش‌گانه



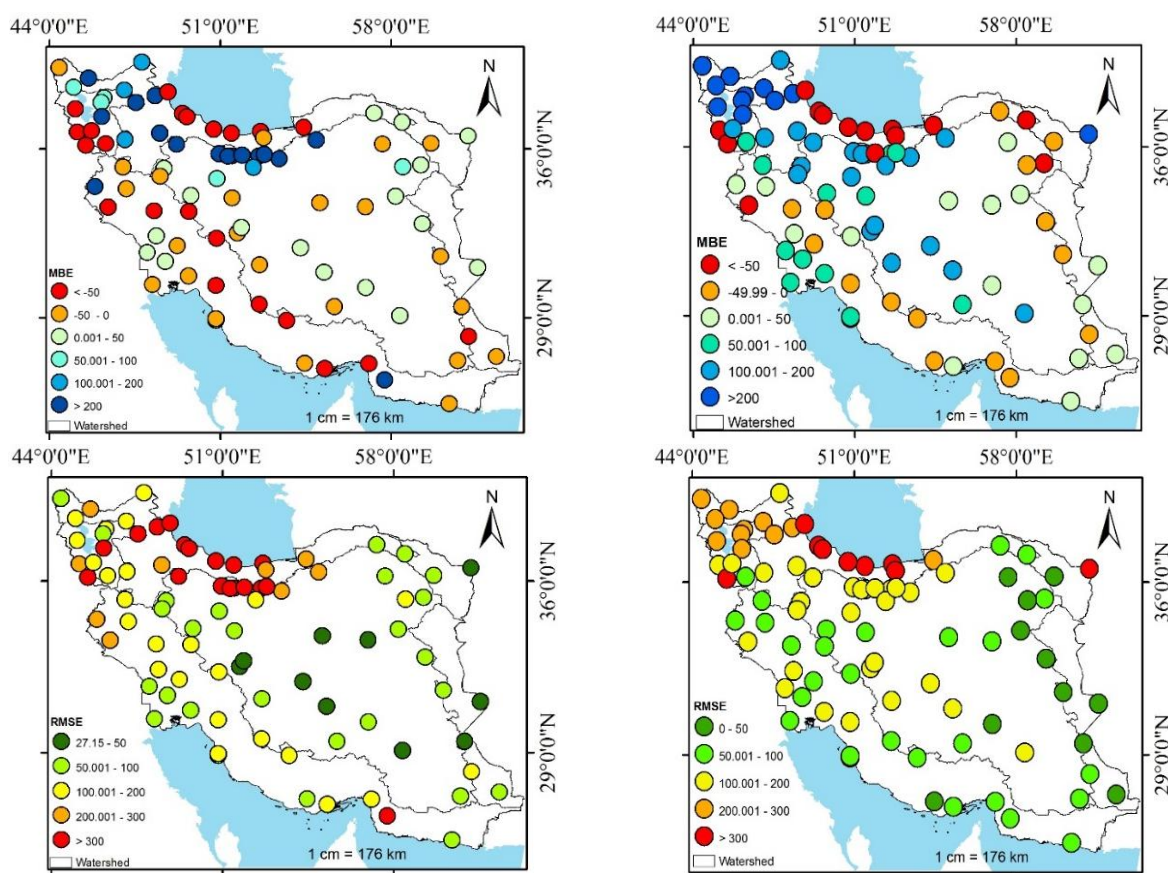


Fig. 5- Map of changes in the evaluation indexes on yearly scale (Left: CHIRPS, Right: P-CDR)
 شکل ۵- نقشه تغییرات شاخص‌های ارزیابی در مقیاس زمانی سالانه (سمت راست: P-CDR و سمت چپ: CHIRPS)

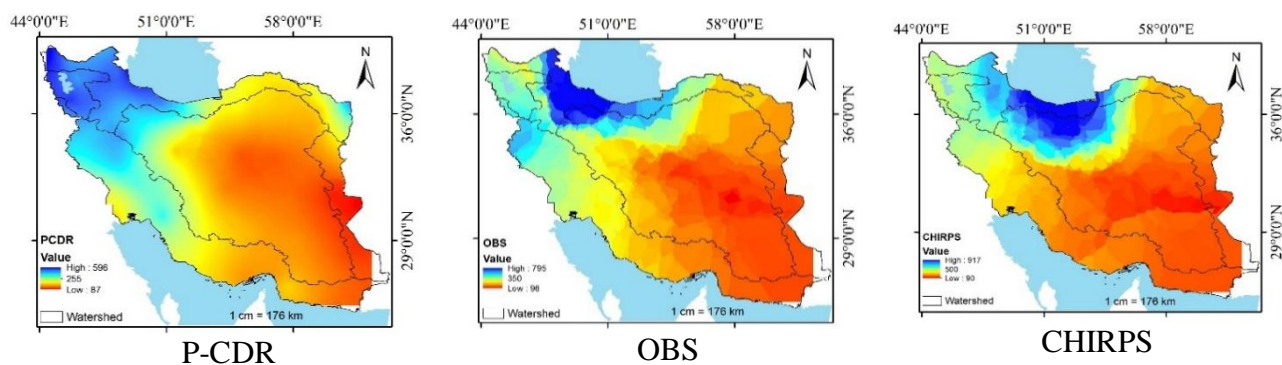


Fig. 6- Spatial pattern of observational and estimated annual rainfall
 شکل ۶- الگوی مکانی داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده بارش سالانه

خلیج فارس به وضوح وجود رابطه خطی بین داده‌های بارش مشاهده‌ای بارش و تغییرات ارتفاع با ضریب همبستگی ۰/۵ قابل مشاهده است که با افزایش ارتفاع توپوگرافی به ازای هر ۱۰۰ متر، میانگین بارندگی سالانه به مقدار ۱۹ میلی‌متر افزایش می‌یابد و رابطه خطی برازش داده‌شده برای P-CDR و CHIRPS به ترتیب دارای ضریب

در حوضه دریای خزر رابطه بین ارتفاع و داده‌های مشاهده‌ای بارش به صورت رابطه درجه دو (سه‌می) است در صورتی که هر دو مجموعه داده‌های شبکه‌ای بارش همبستگی ناچیزی با این حالت دارند که این می‌تواند از ضعف ماهواره در تشخیص رژیم‌های بارندگی حاکم بر حوضه یعنی جریان‌های همرفتی باشد. در حوضه دریای عمان و

بارش شبکه‌ای P-CDR و ارتفاع در این حوضه دارای $R^2 = 0.374$ است که نسبت به دیگر مجموعه داده شبکه‌بندی شده بارش تغییرات آن با ارتفاع به داده‌های مشاهداتی نزدیک است در صورتی که رابطه بین داده‌های شبکه‌ای بارش CHIRPS با ارتفاع دارای ضریب همبستگی 0.15 برای برازش خطی است. در حوضه سرخس در نمودار پراکندگی ارتفاع و بارش رابطه خطی برای داده‌های مشاهده‌ای بارش و داده‌های شبکه‌ای بارش به ترتیب با ضریب همبستگی 0.33 است. در حالی که در این حوضه رابطه نمودار پراکندگی داده‌های CHIRPS و P-CDR و ارتفاع از رابطه خطی برازش داده شده تبعیت نمی‌کند؛ به عبارتی با افزایش ارتفاع مقدار بارش افزایش پیدا نکرده است و مقدار ضریب همبستگی در این دو مجموعه داده به ترتیب 0.057 و 0.058 است. شکل‌های ۷ تا ۱۲ نمودار پراکندگی داده‌های شبکه‌ای و مشاهده‌ای بارش و ارتفاع را نشان می‌دهد.

همبستگی 0.305 و 0.11 است، با توجه به روند تغییرات ارتفاع و بارش در نمودار پراکندگی و ضریب همبستگی برای داده‌های P-CDR می‌توان بیان کرد که با توجه به شرایط ارتفاع در این حوضه P-CDR بهتر عمل می‌کند. حوضه دریاچه‌ی ارومیه در طی سال‌ها ترکیبی از روند افزایشی و کاهش بارش را تجربه کرده است (Nazeri et al., 2017)، با توجه به این شرایط نمودار خطی برازش داده شده به داده‌های بارش و تغییرات ارتفاع در این حوضه دارای مقدار ضریب همبستگی ناچیز است. در حوضه مرکزی نمودار پراکندگی داده‌های بارش مشاهده‌ای و ارتفاع در برازش خطی دارای ضریب همبستگی 0.248 هست و نمودار داده‌های بارش شبکه‌ای P-CDR با ضریب همبستگی 0.103 نسبت به داده‌های بارش شبکه‌ای CHIRPS با $R^2 = 0.478$ همبستگی بهتری با برازش خطی دارد. در حوضه هامون رابطه خطی میان داده‌های بارش مشاهده‌ای و ارتفاع با ضریب همبستگی 0.56 برقرار است، و برازش خطی برای داده‌های

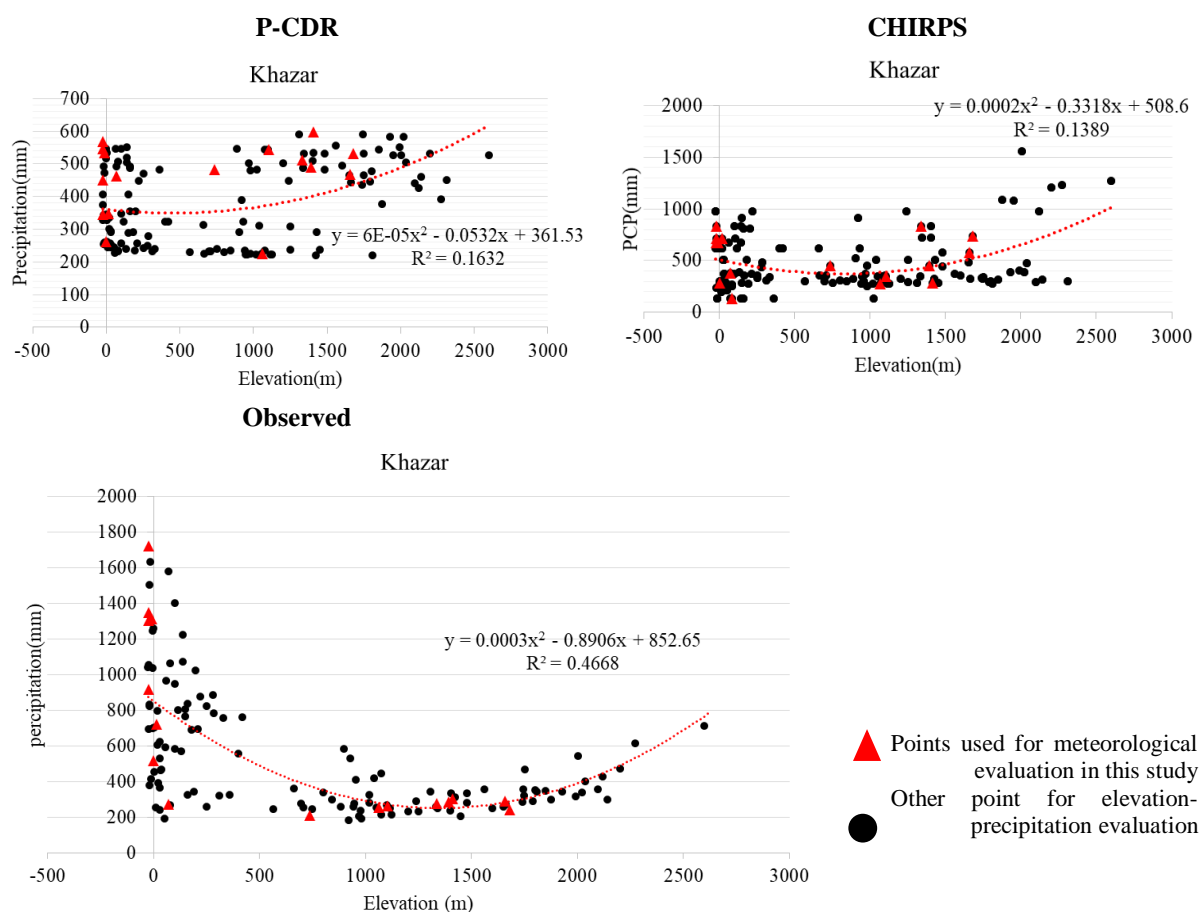


Fig. 7- Changes in precipitation data vs altitude in Khazar basin
 شکل ۷- تغییرات داده‌های بارندگی نسبت به ارتفاع در حوضه آبریز خزر

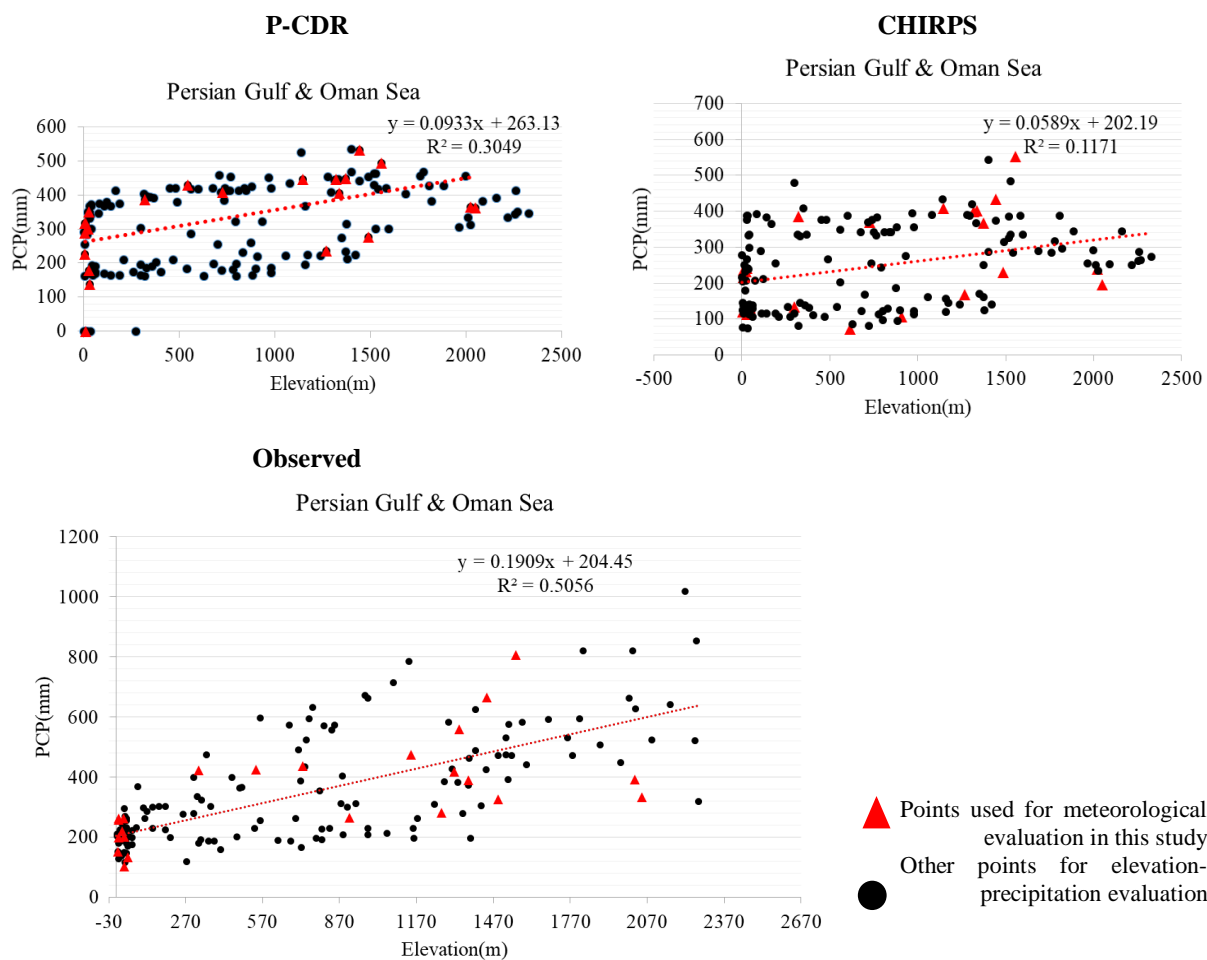
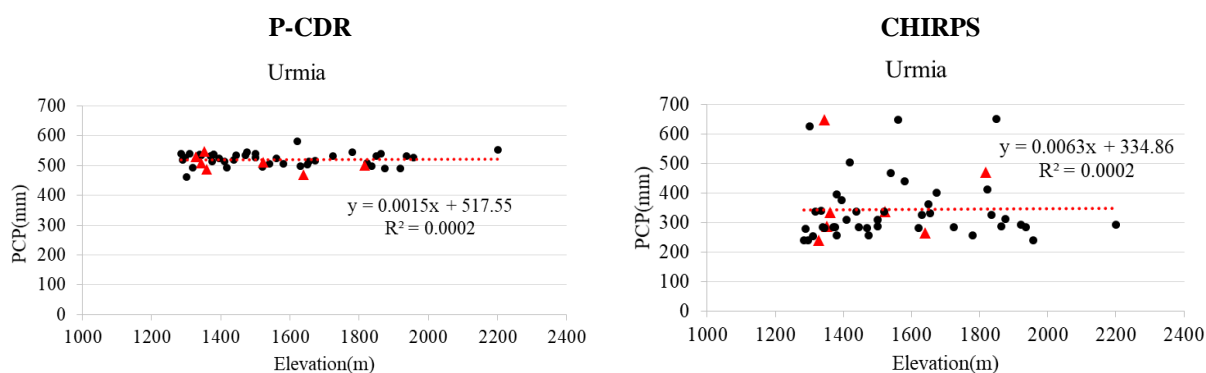


Fig. 8- Changes in precipitation data vs altitude in Persian Gulf & Oman sea basin
شکل ۸- تغییرات داده‌های بارندگی نسبت به ارتفاع در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان



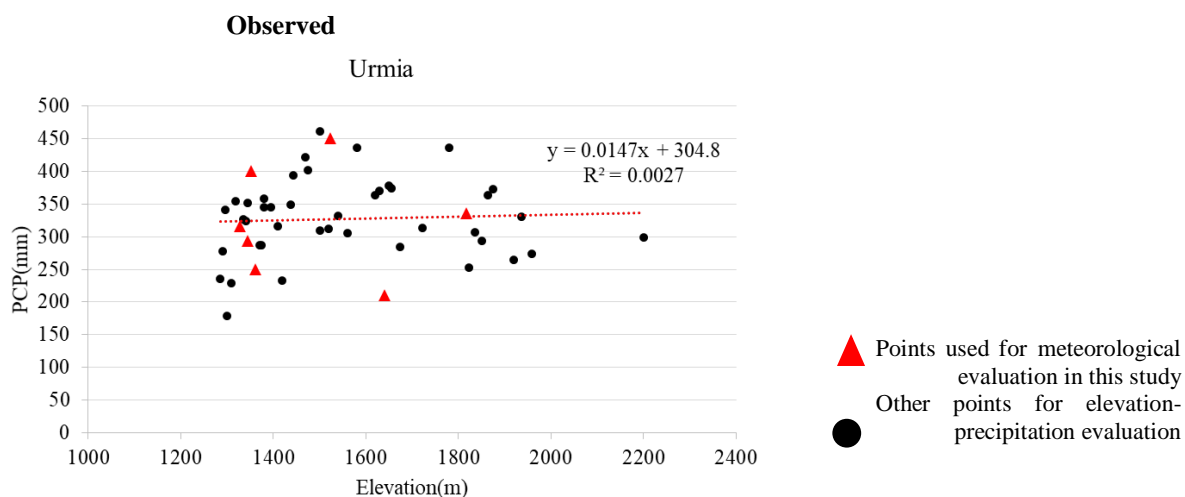


Fig. 9- Changes in precipitation data vs altitude in the Urmia basin
شکل ۹- تغییرات داده‌های بارندگی نسبت به ارتفاع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

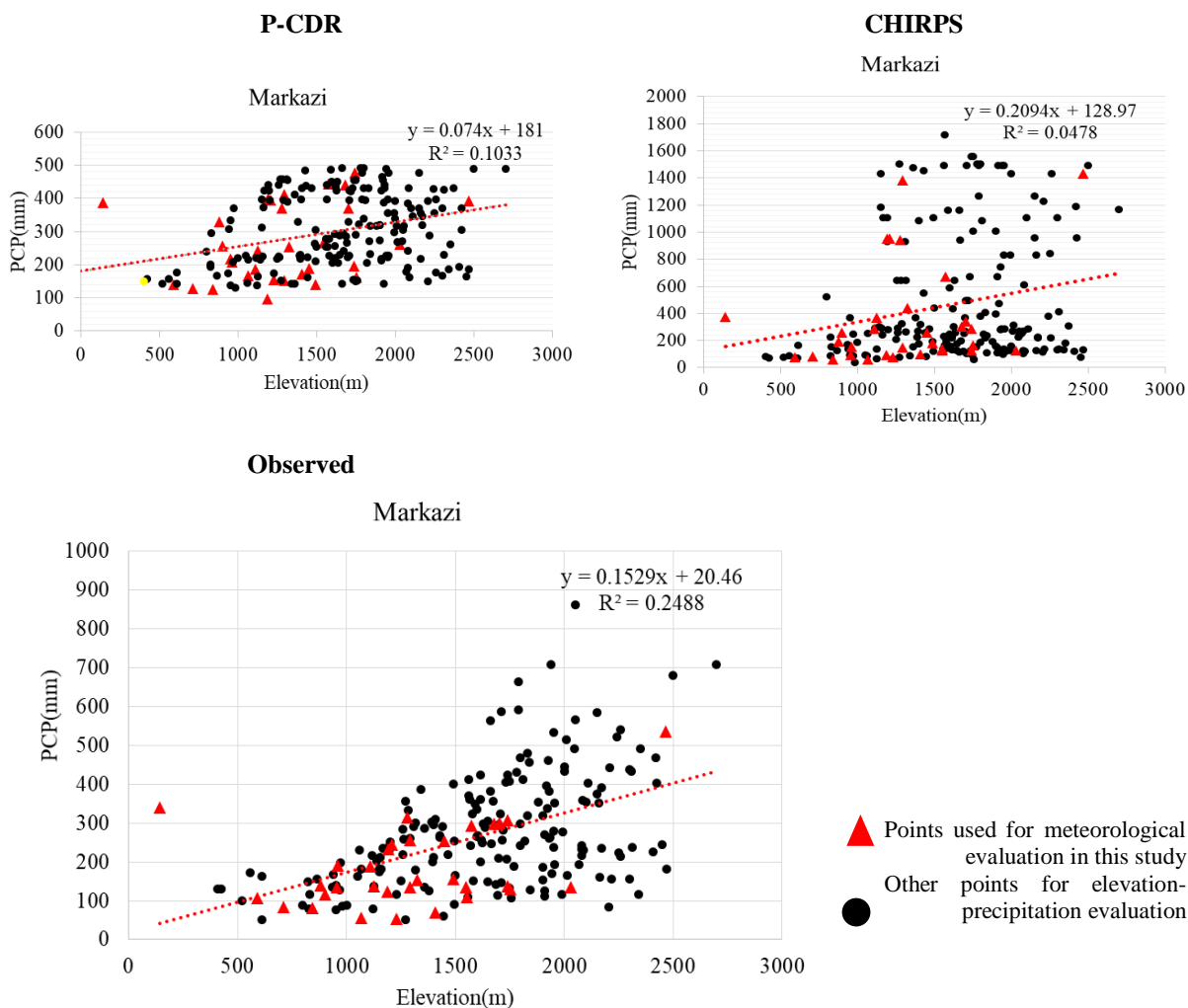


Fig. 10- Changes in precipitation data vs altitude in the Markazi basin
شکل ۱۰- تغییرات داده‌های بارندگی نسبت به ارتفاع در حوضه آبریز مرکزی

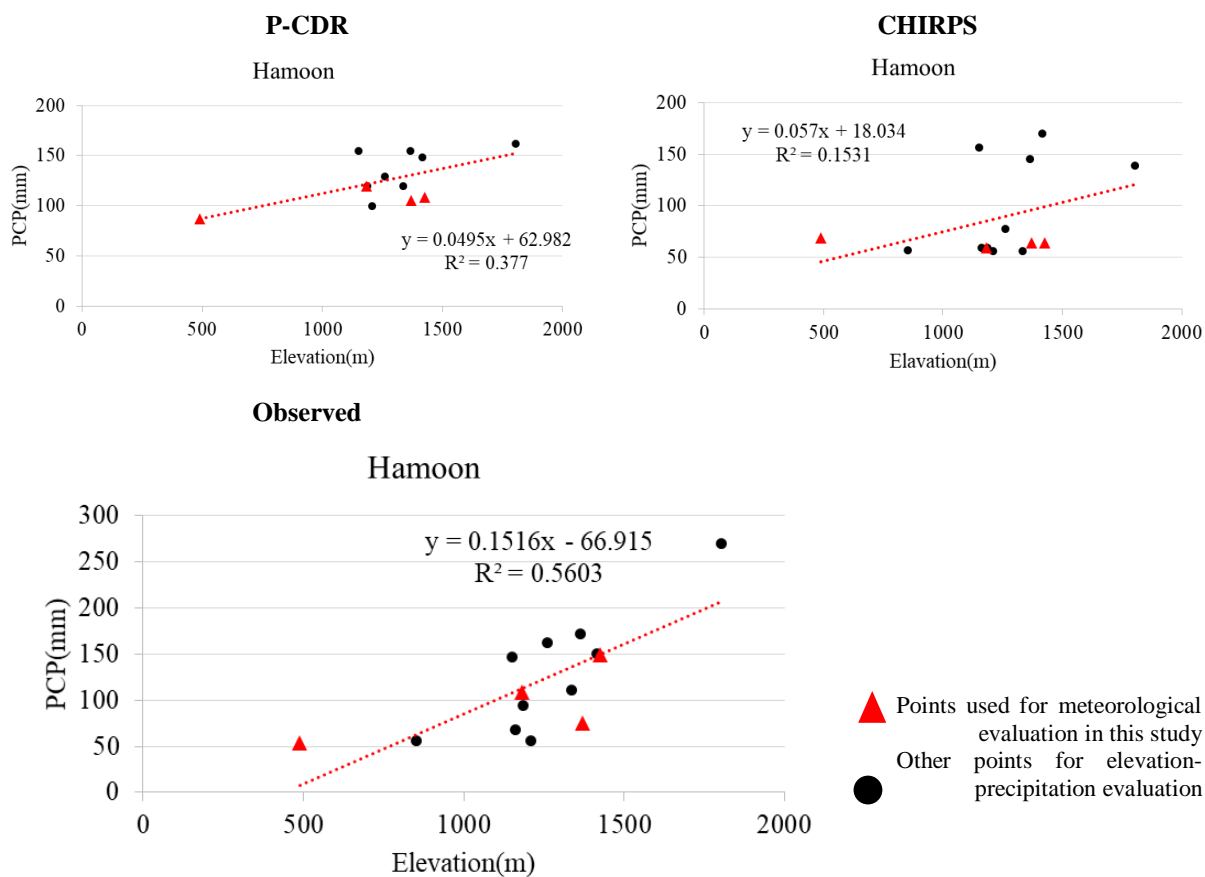
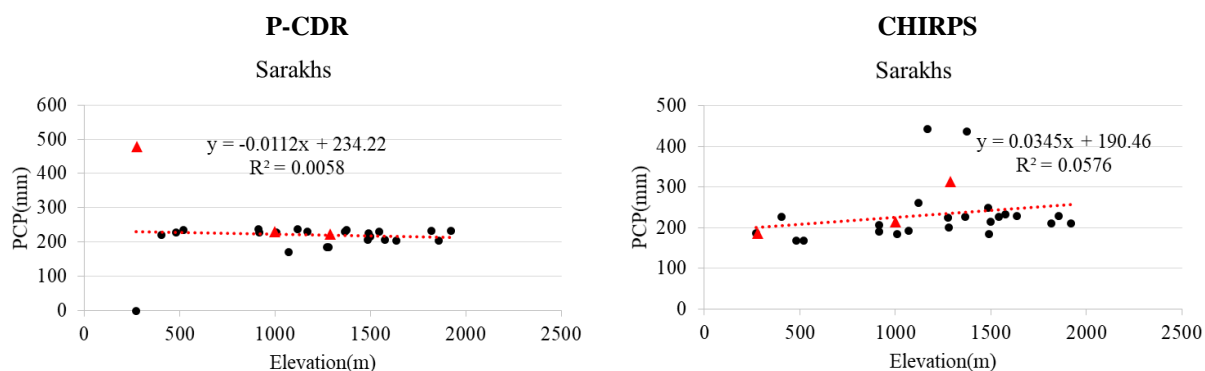


Fig. 11- Changes in precipitation data vs altitude in the Hamoon basin
 شکل ۱۱- تغییرات داده‌های بارندگی نسبت به ارتفاع در حوضه آبریز هامون



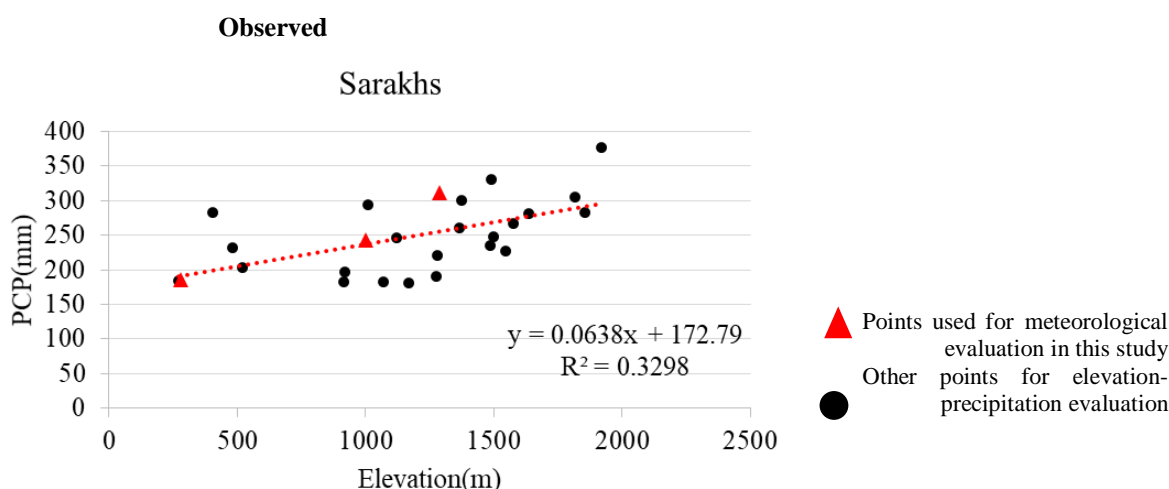


Fig. 12- Changes in precipitation data vs altitude in the Sarakhs basin
 شکل ۱۲- تغییرات داده‌های بارندگی نسبت به ارتفاع در حوضه آبریز سرخس

۴- جمع‌بندی

مرکزی CHIRPS به صورت فراب‌آورد عمل می‌نماید و این اختلاف مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای به ۸۳ میلی‌متر در فصل زمستان می‌رسد. در مقیاس زمانی سالانه دارد در صورتی که CHIRPS این نواحی مقدار بارش را کمتر برآورد کرده است. بر اساس شاخص‌های ارزیابی CC و NS به‌غیر از نواحی شمال و شمال غرب ایران P-CDR بهتر عمل می‌کند. بر اساس تحلیل‌های حاصل از نمودار پراکندگی بارش و ارتفاع می‌توان بیان کرد که ارتفاع نیز یکی دیگر از عوامل مهم در عملکرد داده‌های شبکه‌ای بارش هست و در این مطالعه در یک ارتفاع مشخص در حوضه‌های خلیج فارس و دریای عمان، هامون و مرکزی P-CDR مقدار بارش نزدیک به مقادیر بارش مشاهده‌ای تخمین کرده است و مقدار ضریب همبستگی رابطه خطی برازش داده‌شده به تغییرات بارش P-CDR و ارتفاع در این حوضه‌ها به مقدار آن در داده مشاهده‌ای بارش نسبت به مجموعه داده دیگر نزدیک است.

پی‌نوشت‌ها

1. Global Precipitation Climatology Centre
2. Climatic Research Unit
3. CPC Merged Analysis of Precipitation
4. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks
5. Global Precipitation Climatology Project
6. Tropical Rainfall Measuring Mission
7. ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast) Reanalysis V5
8. Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications
9. The Africa Rainfall Climatology version 2.0

این مطالعه به بررسی و ارزیابی دقت و قدرت داده‌های شبکه‌بندی شده بارش P-CDR و CHIRPS در برآورد بارش در گام‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه به تفکیک در حوضه‌های آبریز اصلی در ایران به روش ارزیابی هواشناسی پرداخته است و در این راستا از داده‌های ۸۸ ایستگاه هواشناسی واقع در سراسر ایران با پراکندگی مناسب در بازه زمانی ۱ ژانویه ۱۹۹۰ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۹ استفاده گردید. برای ارزیابی در گام زمانی روزانه از شاخص‌های ارزیابی RMSE، MBE، BIAS، CC، NS و شاخص‌های تشخیصی POD، FAR و CSI نیز استفاده شد و نقشه‌های پهنه‌ای که با روش IDW تهیه شده‌اند، تغییرات این شاخص را نشان می‌دهد. در مقیاس روزانه CHIRPS در حالت فرو برآورد قرار دارد که این وضعیت در حوضه دریاچه ارومیه، غرب و جنوب حوضه مرکزی و حوضه دریای عمان و خلیج فارس مشهود هست. مقدار شاخص RMSE همواره در CHIRPS در این گام زمانی کمتر از P-CDR است و بر اساس FAR در حوضه مرکزی P-CDR تشخیص روزهای بارانی ضعیف عمل می‌کند و مقدار آن به ۰/۸ نیز می‌رسد و طبق شاخص CSI در تشخیص روزهای بارانی و غیر بارانی تقریباً در تمام ایستگاه‌ها عملکرد CHIRPS بهتر است. در گام زمانی ماهانه از نمودارهای تیلور به منظور ارزیابی استفاده شد. در گام زمانی ماهانه در همه حوضه‌ها به‌غیر از ارومیه و سرخس P-CDR نسبت به CHIRPS نقطه نزدیک به نقطه مرجع در نمودار تیلور قرار دارد که این وضعیت حاکی از آن است که این مجموعه داده از لحاظ شاخص‌های موجود در نمودار بهتر عمل می‌کند. در حوضه دریاچه ارومیه هر دو مجموعه مقدار بارش را بیشتر برآورد کردند و در حوضه

- Bedidi A, Cervelle B, Rudant JP, and Carbonnel JP (1990) Relation between rainfall and topography at meso-scale in intertropical region (Ouagadougou, Burkina Faso). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Serie 2 Mecanique Physique Chimie Sciences de l'Univers Sciences de la Terre (France)*
- Casse C, Gosset M, Vischel T, Quantin G, and Tanimoun BA (2016) Model-based study of the role of rainfall and land use-land cover in the changes in the occurrence and intensity of Niger red floods in Niamey between 1953 and 2012. *Hydrology and Earth System Sciences* 20(7):2841–2859
- Chavoshian, A; Katirai-Boroujerdy PS (2019) Evaluation and application of different observational (land and satellite) datasets over Iran. *Journal of Water and Soil* 33(3):501–520
- Collischonn B, Collischonn W, and Tucci CEM (2008) Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology* 360(1–4):207–216
- Duan Z and Bastiaanssen WGM (2013) First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling--calibration procedure. *Remote Sensing of Environment* 131:1–13
- Duan Z, Liu J, Tuo Y, Chiogna G, and Disse M (2016) Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Science of the Total Environment* 573:1536–1553
- Ghajarnia N, Liaghat A, and Arasteh PD (2015) Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin-Iran. *Atmospheric Research* 158:50–65
- Gotjizade A, Akhoond-Ali A, Shahbazi A, Moridi A (2020) Evaluation and comparison of high spatial resolution gridded precipitation by TRMM, ERA5 and PERSIANN-CCS datasets on the upstream of the maron basin, Iran. *AUT Journal of Civil Engineering* 4(4):10-10, doi: 10.22060/ajce.2020.17043.5610
- Guo H, Bao A, Liu T, Chen S, and Ndayisaba F (2016) Evaluation of PERSIANN-CDR for meteorological drought monitoring over China. *Remote Sensing* 8(5):1–17
- Hofstra N, Haylock M, New M, Jones P, and Frei C (2008) Comparison of six methods for the interpolation of daily, European climate data. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, Wiley Online Library 113(D21)
- Hosseini-Moghari SM, Araghinejad S, and Ebrahimi K (2018) Spatio-temporal evaluation of global gridded
10. Climate Prediction Center MORPHing Technique
11. Tropical Applications of Meteorology Using Satellite
12. Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data
13. Critical Success Index
14. Asian Precipitation Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation
15. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks-Climate Data Record
16. The University of Delaware
17. Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation the University of Delaware
18. Global Satellite Mapping of Precipitation
19. Princeton University Global Meteorological Forcing
20. Climate Forecast System Reanalysis
21. Satellite Soil Moisture (SM) Observations Derived from the ESA Climate Change Initiative
22. Meteorological Satellites
23. The Geospatial Stream Flow Mode
24. Inverse Distance Weight

۵- مراجع

- Abera W, Brocca L, and Rigon R (2016) Comparative evaluation of different satellite rainfall estimation products and bias correction in the Upper Blue Nile (UBN) basin. *Atmospheric Research*, Elsevier B.V., 178–179:471–483
- Aksu H and Akgül MA (2020) Performance evaluation of CHIRPS satellite precipitation estimates over Turkey. *Theoretical and Applied Climatology* 142(1–2):71–84
- Alijanian M, Rakhshandehroo GR, Mishra AK, and Dehghani M (2017) Evaluation of satellite rainfall climatology using CMORPH, PERSIANN-CDR, PERSIANN, TRMM, MSWEP over Iran. *International Journal of Climatology* 37(14):4896–4914
- Ashouri H, Nguyen P, Thorstensen A, Hsu KL, Sorooshian S, and Braithwaite D (2016) Assessing the efficacy of high-resolution satellite-based PERSIANN-CDR precipitation product in simulating streamflow. *Journal of Hydrometeorology* 17(7):2061–2076
- Balsamo G, Albergel C, Beljaars A, Boussetta S, Brun E, Cloke H, Dee D, Dutra E, Munõz-Sabater J, Pappenberger F, ... Vitart F (2015) ERA-Interim/Land: A global land surface reanalysis data set. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(1):389–407

- Metkan A, Shakiba A, and Davood A (2009) :Capability of combined infrared and inactive microwave data Remote sensing and rainfall estimation and flood monitoring (Case study of Golestan province). *Iranian Remote Sensing & GIS* 1(2):31–44
- Nazeri Tahroudi M, Ahmadi F, and Khalili K (2017) Evaluation the trend and trend chang point of Urmia Lake Basin precipitation. *Journal of Water and Soil* 31(2):644–659
- Su F, Hong Y, and Lettenmaier DP (2008) Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. *Journal of Hydrometeorology* 9(4):622–640
- Tapiador FJ, Turk FJ, Petersen W, Hou AY, García-Ortega E, Machado LAT, Angelis CF, Salio P, Kidd C, Huffman GJ, and de Castro M (2012) Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. *Atmospheric Research* 104-105:70–97
- Xie P and Xiong A-Y (2011) A conceptual model for constructing high-resolution gauge-satellite merged precipitation analyses. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Wiley Online Library 116(D21)
- Xu H, Xu C-Y, Chen S, and Chen H (2016) Similarity and difference of global reanalysis datasets (WFD and APHRODITE) in driving lumped and distributed hydrological models in a humid region of China. *Journal of Hydrology* 542:343–356
- precipitation datasets across Iran. *Hydrological Sciences Journal* 63(11):1669–1688
- Javanmard S, Yatagai A, Nodzu MI, Bodaghjamali J, and Kawamoto H (2010) Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM-3B42 over Iran. *Advances in Geosciences* 25:119–125
- Jia S, Zhu W, Lu A, and Yan T (2011) A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam Basin of China. *Remote Sensing of Environment* 115(12):3069–3079
- Khalili A and Rahimi J (2014) High-resolution spatiotemporal distribution of precipitation in Iran: A comparative study with three global-precipitation datasets. *Theoretical and Applied Climatology* 118(1–2):211–221
- Kurupinar M (1995) Investigation of the topographical effects on the precipitation distribution over Turkey by satellite data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 371–372
- Lo Conti F, Hsu KL, Noto LV, and Sorooshian S (2014) Evaluation and comparison of satellite precipitation estimates with reference to a local area in the Mediterranean Sea. *Atmospheric Research*, Elsevier B.V. 138:189–204
- Mehran A and Aghakouchak A (2014) Capabilities of satellite precipitation datasets to estimate heavy precipitation rates at different temporal accumulations. *Hydrological Processes* 28(4):2262–2270