DOI: 10.22059/ijswr.2021.318173.668880

تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۴، تیر ۱۴۰۰ (ص ۹۳۲-۹۱۷)

(علمی – پژوهشی)

# Correcting and Improving the Performance of Soil Moisture-based Product (SM2RAIN-ASCAT) Over Iran at Daily and Monthly Time Scales

**SAKINE KOOHI[1], ASGHAR AZIZIAN[1*], LUCA BROCCA[2]**

1. Water Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2. Hydrology Group of the Research Institute for Geo-Hydrological Protection, Perugia, Italy.

(Received: Feb. 3, 2021- Revised: Feb. 19, 2021- Accepted: March. 14, 2021)

## ABSTRACT

Estimating precipitation plays an important role in different studies, including meteorological, hydrological, flood simulation, and drought monitoring. SM2RAIN-ASCAT is the newest attempt to estimate precipitation using surface soil moisture and inverse solving the soil-water balance equation. This research addressed the performance of the SM2RAIN-ASCAT dataset over diverse climate regions of Iran at daily and monthly time scales in 54 synoptic stations located in Iran (2007-2018). In addition, improving the efficiency of this product using Quantile Mapping bias correction method is another objective of this study. Results showed that the performance of SM2RAIN-ASCAT at the monthly time scale was better than the daily time scale, and in most parts of Iran, the correlation coefficient between observed and estimated datasets was relatively high. At the monthly time step, 67% of the studied stations had a CC value higher than 0.65. Moreover, findings indicated that this product tended to overestimate in Iran's north and west parts. Based on the RMSE value at the monthly time scale, SM2RAIN-ASCAT performed well at extra-arid and arid regions compared to the Mediterranean and humid climate zones. Also, removing bias from the raw dataset increased the efficiency of SM2RAN-ASCAT in most parts of the studied areas. Based on contingency table metrics, the bias-corrected dataset's skills in detecting rainy days and false alarm ratio (FAR) improved significantly. For instance, the FAR metric averagely improved 26 and 45 % at daily and monthly time scales, respectively. Finally, results indicated that SM2RAIN-ASCAT is a valuable dataset for estimating monthly precipitation, especially in arid-desert to extra-arid climates. The accuracy of this dataset increases using bias correction in different climates.

**Keywords**: Rainfall, Soil–Water Balance, SM2RAIN Algorithm, Bias Correction, Remote Sensing.

*Corresponding Author Email: Azizian@Eng.ikiu.ac.ir

# اصلاح و بهبود کارائی منبع بارشی مبتنی بر رطوبت خاک SM2RAIN-ASCAT در سطح ایران در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه

**سکینه کوهی[۱]، اصغر عزیزیان[۱*]، لوکا بروکا[۲]**

۱. مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.

۲. موسسه تحقیقات هیدرولوژی، مرکز ملی مطالعات ایتالیا، پروجیا، ایتالیا.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۱- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴)

## چکیده

تخمین مناسب بارش در مطالعات مختلفی همچون هواشناسی، هیدرولوژیکی، شبیه‌سازی سیلاب و پایش خشکسالی از اهمیت بالایی برخوردار است. منبع بارشی SM2RAIN-ASCAT از جدیدترین تلاش‌ها بمنظور تخمین بارش برمبنای تغییرات رطوبتی سطح خاک و حل معکوس بیلان آب-خاک می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی منبع بارش SM2RAIN-ASCAT در اقلیم‌های مختلف ایران و در مقیاس‌های روزانه و ماهانه به انجام رسیده است. لازم بذکر است که در تحقیق حاضر از مقادیر بارش منبع SM2RAIN-ASCAT براساس ۵۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در سطح کشور در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است. همچنین بهبود کارائی این منبع بارشی با حذف اریب از داده‌ها از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد که برای این منظور روش اصلاح اریبی نگاشت چندک مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد که منبع SM2RAIN-ASCAT در تخمین بارش ماهانه دارای عملکرد به مراتب بهتری نسبت به مقیاس روزانه در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه به غیر از ایستگاه‌های واقع در نوار شمالی کشور، است. در این مقیاس زمانی و در بیش از ۶۷ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی مقدار شاخص CC بالاتر از ۰/۶۵ می‌باشد. مقدار شاخص RMSE در مقیاس ماهانه در اقلیم‌های مختلف نشان داد که منبع بارشی SM2RAIN-ASCAT در اقلیم‌های خیلی‌خشک تا خشک دارای خطای به مراتب کمتری نسبت به اقلیم‌های مدیترانه‌ای تا خیلی مرطوب می‌باشد. حذف اریب از داده‌ها با استفاده از روش نگاشت چندک نیز منجر به افزایش کارائی منبع SM2RAIN-ASCAT و کاهش هشدارهای غلط در بخش‌های عمده‌ای از ایران گردید. به عنوان مثال، مقادیر شاخص FAR در مقیاس روزانه و اقلیم‌های مختلف با بهبودی معادل ۱۷/۸ تا ۳۵/۱ درصد و درگام زمانی ماهانه با بهبودی در حدود ۳۰/۶ تا ۵۹/۰ درصد روبرو بوده است. بنابراین منبع SM2RAIN-ASCAT به صورت خام از منابع ارزشمند در تخمین بارش ماهانه بویژه در اقلیم‌های خیلی‌خشک تا خشک می‌باشد، که با تصحیح اریبی می‌توان بر دقت منبع مذکور در اقلیم‌های مختلف افزود.

**واژه‌های کلیدی:** بارش، بیلان آب-خاک، الگوریتم SM2RAIN، تصحیح اریبی، سنجش از دور.

## مقدمه

با توجه به تاثیر بارش در بسیاری از مطالعات، این مولفه اقلیمی یکی از عناصر مهم در مدیریت صحیح منابع آب، مطالعات هیدرولوژیکی، پیش‌بینی سیل، پایش خشکسالی و تغییر اقلیم می‌باشد. بر همین اساس نیز سازمان رصد اطلاعات هواشناسی (GCOS[۱]) بارش را به عنوان مهم‌ترین مولفه‌ها در بین متغیرهای آب و هوایی معرفی نموده است (Maggioni and Massari, 2018). بنابراین آگاهی از مقدار صحیح و قابل اعتماد این مولفه از اهمیت بالایی در مطالعات هیدرولوژی، سیل، برنامه‌ریزی برای آبیاری در کشاورزی و پایش خشکسالی برخوردار است. پایش و اندازه‌گیری مقدار بارش در محلِ ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی از جمله روش‌های دقیق برای تخمین این مولفه می‌باشد. اما نبود شبکه باراسنجی مناسب و پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های موجود و از آنجاییکه تعمیم بارش اندازه‌گیری شده در یک نقطه خاص به یک منطقه وسیع می‌تواند با خطاهای نسبتا زیادی نیز همراه باشد، تخمین صحیح مقدار بارش به یکی از چالش‌های اساسی محققین و مهندسین تبدیل شده است (Ashouri *et al.*, 2015). امروزه و با توجه به گسترش تکنیک‌های سنجش از دوری، منابع ماهواره‌ای متعددی همچون TRMM، PERSIANN، APHRODITET، CMORPH،

* نویسنده مسئول: Azizian@eng.ikiu.ac.ir

۱ Global Climate Observing System

GPCC، ECMWF و ... بمنظور تخمین بارش توسعه داده شده‌اند. در این منابع ماهواره‌ای با فراهم‌آوری یک پوشش مکانی وسیع و کاربرد الگوریتم‌های تخمین بارندگی سعی بر ارائه مقدار بارش در مقیاس‌های زمانی و مکانی گوناگون برای تمام جهان شده است. تاکنون مطالعات بسیاری در خصوص اعتبارسنجی این منابع بارشی و مقایسه آن‌ها با مشاهدات زمینی صورت پذیرفته است. از جمله Stampoulis and Anagnostou (2012) به ارزیابی مقادیر بارش منابع TRMM و CMORPH در مقیاس زمانی روزانه در قاره اروپا پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد هر دو منبعِ مورد مطالعه کاملا وابسته به تغییرات فصلی و توپوگرافی منطقه است. همچنین این محققین بیان نمودند که تفاوت مهم بین دو منبع مورد بررسی، بیش‌برآورد منبع TRMM در مناطق مرتفع بویژه در فصول سرد سال و کم‌برآورد منبع CMORPH در مناطق با ارتفاع کم می‌باشد. Abdollahi *et al.* (2017) به بررسی دقت منابع بارش ماهواره‌ای CMORPH و TRMM 3B42RT V7 در حوضه آبریز گرگانرود پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که منابع مورد مطالعه با کم‌برآورد در تخمین بارش همراه هستند. همچنین براساس مقدار شاخص POD[1]، منبع CMORPH از عملکرد بهتری در آشکارسازی تعداد روزهای بارانی برخوردار است، در صورتیکه نرخ هشدار اشتباه (FAR[2]) این منبع نسبت به TRMM 3B42RT V7 ضعیف‌تر می‌باشد و این بدین معناست که تعداد روزهایی که ماهواره وقوع بارش را نشان داده اما در ایستگاه بارانسنجی بارشی ثبت نشده است، بیشتر می‌باشد. Owusu *et al.* (2019) نیز در پژوهشی به ارزیابی سه منبع بارشی TMPA 3B42RT، TMPA 3B42 و CMORPH در گام‌های زمانی روزانه، ماهانه، سالانه و فصلی پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که محصولات TMPA با عملکرد بهتری در تخمین بارش همراه بوده‌اند و می‌توان از آن‌ها برای تکمیل و یا تخمین سری زمانی بارش در حوضه‌های مشابه استفاده نمود. درحالیکه، CMORPH در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار بارش را بیش از مقدار مشاهده‌ای تخمین زده است. Mohsan *et al.* (2018) به بررسی عملکرد منبع بارشی GPM برای تخمین بارش روزانه در میانمار پرداختند، نتایج نشان داد که محدوده تغییرات مقدار شاخص CC از ۰/۰۶۴ تا ۰/۵۸می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار ضریب همبستگی و شاخص POD بین بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای مربوط به مناطق شمالی و نواحی دلتایی منتهی به مناطق جنوبی میانمار است، که حاکی از وابستگی این شاخص‌ها به مقدار بارش می‌باشد. Azizian and Amini (2020) به ارزیابی کارایی محصولات سنجش از دور PERSIANN شامل PERSIANN، PERSIAN-CDR و PERSIANN-CCs در سطح کشور ایران پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا بر میزان همبستگی بارش منابع مذکور و بارش مشاهداتی افزوده شده است. علاوه بر این در اقلیم‌های خیلی مرطوب و خیلی خشک میزان خطا در تخمین بارش توسط این منابع بیش از سایر اقلیم‌ها می‌باشد. همچنین Gebremicael *et al.* (2019) به ارزیابی دقت ۸ منبع سنجش از دور بارش در یکی از حوضه‌های اتیوپی که از تنوع توپوگرافی برخوردار می‌باشد، پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که بطور کلی مقدار شاخص PBias و r در مناطق مرتفع (بیش از ۳۰۰۰ متر) نسبت به مناطق کم‌ارتفاع (کمتر از ۲۰۰۰ متر) به ترتیب با ۳۵٪ افزایش و ۲۸٪ کاهش همراه بوده است.

بررسی مطالعات انجام گرفته حاکی از آن است که اگرچه منابع ماهواره‌ای و سنجش از دور بارش از قابلیت بالایی بمنظور تخمین این بارش برخوردار هستند، اما دقت این منابع به شدت تحت تاثیر نوع اقلیم و شرایط توپوگرافی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه سنسورهای این منابع به صورت غیرمستقیم اقدام به تخمین مقدار بارش می‌نمایند، در برخی موارد ممکن است، در باز تولید مقدار بارندگی عملکرد خوبی نداشته باشند. علاوه بر این، همین ماهیت اندازه‌گیری غیرمستقیم بارش سبب تحمیل عدم‌قطعیت بالایی بر نتایج آن‌ها می‌گردد (Borga, 2002; Kucera *et al.*, 2013). از همین رو در سال‌های اخیر رویکرد استفاده از داده‌های رطوبت خاک یا مقدار جریان رودخانه برای تصحیح و یا تخمین مقدار بارش تحت عنوان هیدرولوژی معکوس[3] که برای اولین بار توسط Kirchner (2009) ارائه شد، گسترش یافته است. Brocca *et al.* (2014) نیز با کاربرد همین رویکرد و استفاده از الگوریتم SM2RAIN به تخمین مقدار بارش براساس داده‌های رطوبت خاک پرداختند. در پژوهش مذکور از مقادیر رطوبت سطحی خاک سنجنده ASCAT استفاده گردید. استفاده از این الگوریتم با عملکرد مناسبی در محاسبه بارش‌های ایتالیا و استرالیا همراه بود، به همین دلیل Brocca *et al.* (2019) کاربرد الگوریتم SM2RAIN را به مقیاس جهانی گسترش دادند. نتایج نشان داد که داده‌های بارش ASCAT - SM2RAIN با عملکرد بهتری نسبت به داده‌های بارش GPCC و IMERG در تخمین بارش آفریقا، جنوب آمریکا، بخش‌های مرکزی و غربی ایالات متحده و بخش‌های مرکزی آسیا همراه بوده است. اکنون نتایج حاصل از این شبیه‌سازی برای تمام بخش‌های

۱ Probability Of Detection

۲ False Alarm Ratio

۳ Hydrology Backward

مختلف دنیا در مقیاس زمانی روزانه و با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ کیلومتر طی بازه سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۱۹، بصورت رایگان در دسترس عموم قرار دارد، ولی تاکنون در کشور ما توجه چندان زیادی به این منبع ارزشمند بارشی نشده است. از سویی دیگر با توجه به وجود خطاهای سیستماتیک یا اختلاف زیاد برخی از داده‌های سنجش از دور با مقادیر مشاهده‌ای و از آنجاییکه منبع SM2RAIN-ASCAT نیز بر مبنای داده‌های رطوبت خاک سنجش از دور است، وجود خطاهای سیستماتیک در این منبع نیز دور از انتظار نمی‌باشد و در نتیجه اعمال فرآیند پس‌پردازش و اصلاح اریبیِ داده‌های خام ضروری است. روش‌های پارامتری و ناپارامتری زیادی برای اصلاح خطاهای سیستماتیک ارائه شده است از آن جمله می‌توان به روش‌های نگاشت چندک[۱]، نسبت-گیری خطی، تبدیل توانی، میانگین‌گیری مدل بیزین یا رگرسیون بردار پشتیبان اشاره نمود. تاکنون در مطالعات مختلفی به ارزیابی روش‌های مختلف اصلاح خطای داده‌ها پرداخته شده است (Amini *et al.*, 2020; Aminyavari *et al.*, 2018; Hamill *et al.*, 2017; Javanmard Ghasab *et al.*, 2018; Shabanpour *et al.*, 2020) نتایج حاصل از این تحقیقات بیانگر تاثیر مثبت و کارایی روش نگاشت چندک در کاهش اریب داده‌های پیش‌بینی بارش بوده است و این روش به عنوان یکی از روش‌های آماری قابل قبول در اصلاح خطای اریبی داده‌ها معرفی شده است.

لذا با توجه به توضیحات فوق و از آنجاییکه تاکنون در تحقیقی به ارزیابی منبع بارش مبتنی بر رطوبت خاک ASCAT-SM2RAIN در سطح کشور پرداخته نشده است، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی منبع بارشی SM2RAIN-ASCAT در تخمین بارش روزانه و ماهانه اقلیمهای مختلف ایران به انجام رسیده است. همچنین بررسی تاثیر کاربرد روش اصلاح اریب به روش نگاشت چندک بر عملکرد این منبع بارشی از دیگر اهداف این تحقیق بشمار می‌آید.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش ایران می‌باشد که در محدوده جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی واقع شده است. تنوع توپوگرافی در کشور ایران منجر به ایجاد شرایط اقلیمی متفاوت در آن شده است. بطوریکه براساس طبقه‌بندی اقلیمی انجام شده توسط Rahimi *et al.* (2013) اقلیم‌های موجود در کشور ایران شامل ۸ دسته می‌باشند که عبارتند از: خیلی-خشک (Extra-Arid) ، نیمه خشک (Semi-Arid) ، خشک (Arid-desert) ، مدیترانه‌ای (Mediterranean) ، نیمه‌مرطوب (Semi-Humid) ، مرطوب (Humid) و خیلی مرطوب (Per-Humid) نوع A و B می‌باشد. علاوه بر این تغییرات و تنوع زمانی و مکانی بارش از جمله ویژگی‌های اصلی اقلیم ایران است. بطوریکه مقدار بارش در سواحل شمالی و رشته کوه البرز و زاگرس بیش از ۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد، درحالیکه در مناطق مرکزی به ۶۰ میلی‌متر نیز می‌رسد و حتی گاها طی چند سال ممکن است بارشی رخ ندهد. در پژوهش حاضر از مقادیر بارش ثبت شده در ۵۴ ایستگاه سینوپتیک کشور بمنظور ارزیابی منبع بارش SM2RAIN-ASCAT طی سال‌های آماری ۲۰۱۸-۲۰۰۷ استفاده شده است. لازم بذکر است که سعی گردید تا ایستگاه‌ها به صورتی انتخاب شوند که از پراکندگی مناسبی در اقلیم‌های مختلف کشور برخوردار باشند. علاوه بر این از آنجاییکه بررسی طی سال‌های آماری ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ صورت پذیرفته است، از ایستگاه‌های سینوپتیک که در تمام این بازه زمانی دارای آمار بارشی ثبت شده می‌باشند، استفاده شده است. در شکل (۱) پراکندگی ایستگاه‌های منتخب و نوع اقلیم بخش‌های مختلف ایران نشان داده شده است.

### منبع بارشی SM2RAIN-ASCAT

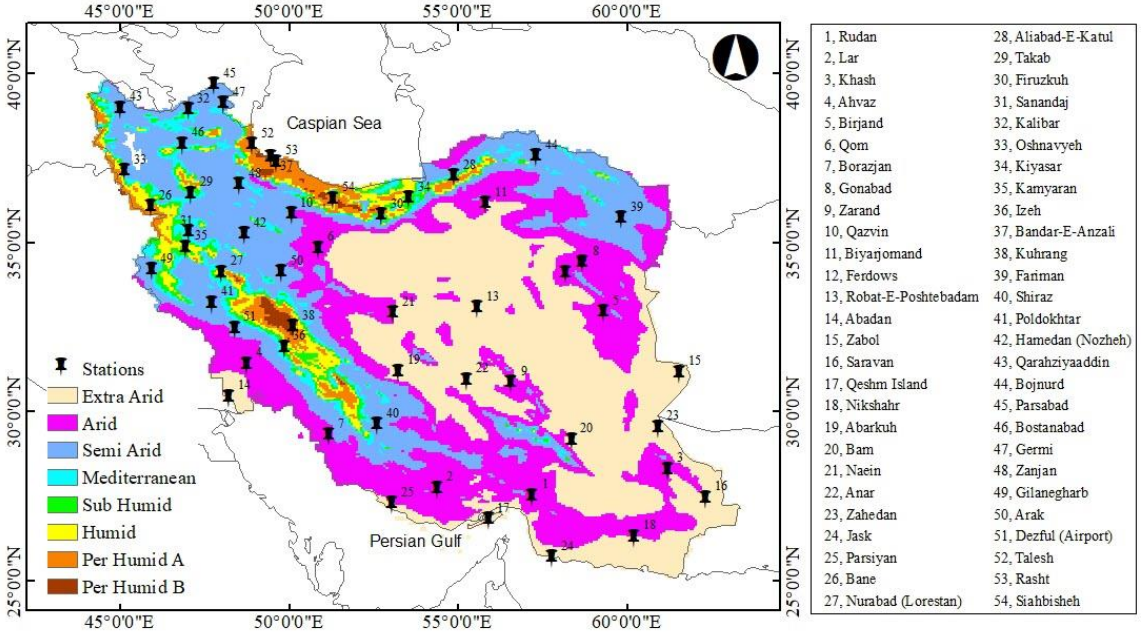
SM2RAIN-ASCAT از منابع بارشی جدیدی است که مقادیر بارش آن با استفاده از داده‌های رطوبت خاک سنجنده ASCAT و بکارگیری الگوریتم SM2RAIN بدست آمده است. مقادیر بارش مربوط به این منبع با واحد میلی‌متر بر روز و در مقیاس مکانی ۱۲/۵ کیلومتر برای بخشهای مختلف جهان در دسترس می‌باشد. اساس الگوریتم SM2RAIN که توسط Brocca *et al.* (2014) ارائه شده است، حل معکوس معادله بیلان آب-خاک و بازیابی مقدار بارش با توجه به میزان رطوبت خاک می‌باشد. بعبارت دیگر یکی از فرض‌های اساسی الگوریتم این است که خاک به عنوان یک باران‌سنج طبیعی برای اندازه‌گیری مقدار بارش عمل می-نماید. در این الگوریتم از معادله بیلان آب-خاک بشرح رابطه ۱ استفاده می‌شود.

$$nZ\frac{dS(t)}{dt} = p(t) - g(t) - r(t) - e(t) \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن، n: تخلخل خاک (بی بعد)، Z: عمق لایه خاک (میلی‌متر)، S(t): رطوبت نسبی خاک (بی بعد)، t: زمان، p(t): شدت بارش (میلی‌متر بر روز)، g(t): نفوذ عمقی به اضافه رواناب زیرسطحی (میلی‌متر بر روز)، r(t): رواناب سطحی (میلی‌متر بر روز)، e(t): نرخ تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر بر روز) هستند. مقادیر بارش SM2RAIN-ASCAT از پایگاه اینترنتی

۱ Quantile Mapping

https://doi.org/10.5281/zenodo.3405563 بصورت رایگان قابل دریافت می‌باشند. در پژوهش حاضر مقادیر بارش این پایگاه طی دوره آماری ۲۰۱۸-۲۰۰۷ مورد ارزیابی قرار گرفته است.




**شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب و نقشه تغییرات اقلیمی ایران (Rahimi et al., 2013)**

### روش ناپارامتری نگاشت چندک

کاربرد داده‌های رطوبت خاک در الگوریتم SM2RAIN می‌تواند منجر به ایجاد خطاهایی در تخمین بارش شود، بنابراین لازم است تا قبل از استفاده، داده‌های این منبع بارشی مورد تصحیح قرار گیرد. یکی از روش‌های مناسب و کارا بمنظور کاهش خطاهای سیستماتیک موجود در داده‌ها، اصلاح اریبی آن‌ها می‌باشد. همانطور که پیش از این عنوان گردید روش نگاشت چندک از جمله روش‌های موثر و کارآمد برای کاهش خطای اریبی می‌باشد. لذا در پژوهش حاضر و بمنظور تصحیح خطای اریبی داده‌های منبع SM2RAIN-ASCAT از این روش استفاده گردید. در این روش ناپارامتری تابع توزیع تجمعیِ (CDF[۱]) مقادیر بارش منبع مورد بررسی با استفاده از یک تابع انتقال با تابع توزیع تجمعی بارش مشاهده‌ای مطابقت داده می‌شود. در پژوهش حاضر از رابطه ۲ به عنوان تابع انتقال استفاده شده است (Gupta *et al.*, 2019).

$$P_{BC} = CDF_G^{-1}(CDF_{S2R}(P_{S2R})) \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن $CDF_G^{-1}$ معکوس تابع توزیع تجمعی مقادیر بارش ایستگاه سینوپتیک، $CDF_{S2R}$ تابع توزیع تجمعی مقادیر بارش منبع SM2RAIN-ASCAT، $P_{S2R}$ مقادیر بارش منبع SM2RAIN-ASCAT و $P_{BC}$ مقادیر بارش اصلاح شده می‌باشد.

طی روش نگاشت چندک، مقادیر بارش چندک‌های مختلف از منبع SM2RAIN-ASCAT جایگزین چندک متناظر از مقادیر بارش ایستگاه زمینی می‌شود. حفظ مقادیر بارش حدی علاوه بر مقادیر میانگین و انحراف از معیار داده‌های اصلی از مزیت‌های این روش ناپارامتری تصحیح اریبی به شمار می‌رود (Themeßl *et al.*, 2012).

### شاخص‌های ارزیابی

در پژوهش حاضر و بمنظور بررسی کارائی منبع SM2RAIN-ASCAT از دو سری شاخص استفاده شده است. گروه اول شاخص‌های آماری که شامل ضریب همبستگی (CC[۲])، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[۳])، شاخص اریبی (BIAS) و متوسط خطای اریب (MBE[۴]) می‌باشند. گروه دوم ، شاخص‌های جدولی می‌باشند که عبارتند از: شاخص احتمال بازیابی بارش (POD)، نرخ هشدار اشتباه (FAR) که از آنها برای بررسی دقت منبع مذکور در تشخیص رخداد یا عدم‌رخداد بارش استفاده شده است. معادلات مورد استفاده برای محاسبه هر یک از شاخص‌های فوق، محدوده تغییرات و مقدار بهینه آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

در جدول (۲)، $G_i$: مقادیر بارش ایستگاه‌های سینوپتیک،

۱ Cumulative Distribution Function
۲ Correlation Coefficient
۳ Root Mean Square Error
۴ Mean Bias Error

$S_i$: مقادیر بارش منبع SM2RAIN-ASCAT، N: تعداد داده‌ها، $\bar{G}$: متوسط بارش ایستگاه‌ها، $\bar{S}$: متوسط مقادیر بارش منبع SM2RAIN-ASCAT، A: مجموع مواقعی است که رخداد بارش توسط ایستگاه سینوپتیک ثبت و منبع SM2RAIN-ASCAT آن را تخمین زده است، B: مجموع مواقعی که رخداد بارش توسط ایستگاه سینوپتیک ثبت شده ولی منبع SM2RAIN-ASCAT آن را تخمین نزده است، C: مجموع مواقعی که بارشی توسط ایستگاه ثبت نشده ولی توسط منبع SM2RAIN-ASCAT تخمین‌زده شده است، می‌باشند.

**جدول ۱- شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده در این پژوهش**

| Indices | Equation | Values range | Optimal value | Reference |
|---|---|---|---|---|
| CC | $\frac{\sum_{i=1}^{N}(G_i-\bar{G})(S_i-\bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(G_i-\bar{G})^2\sum_{i=1}^{N}(S_i-\bar{S})^2}}$ | ۱- تا ۱ | ۱ | (Pearson, 1896) |
| RMSE | $\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(G_i-S_i)^2}$ | صفر تا بی‌نهایت | صفر | (Hyndman and Koehler, 2006) |
| BIAS | $\frac{\sum_{i=1}^{N}(S_i-G_i)}{\sum_{i=1}^{N}G_i}\times 100$ | منفی بی‌نهایت تا مثبت بی‌نهایت | صفر | (Stanski *et al.*, 1989) |
| MBE | $\frac{\sum_{i=1}^{N}(S_i-G_i)}{N}$ | منفی بی‌نهایت تا مثبت بی‌نهایت | صفر | (Stanski *et al.*, 1989) |
| POD | $\frac{A}{A+B}$ | صفر تا ۱ | ۱ | (Panofsky and Brier, 1965) |
| FAR | $\frac{C}{A+C}$ | صفر تا ۱ | صفر | (Stanski *et al.*, 1989) |

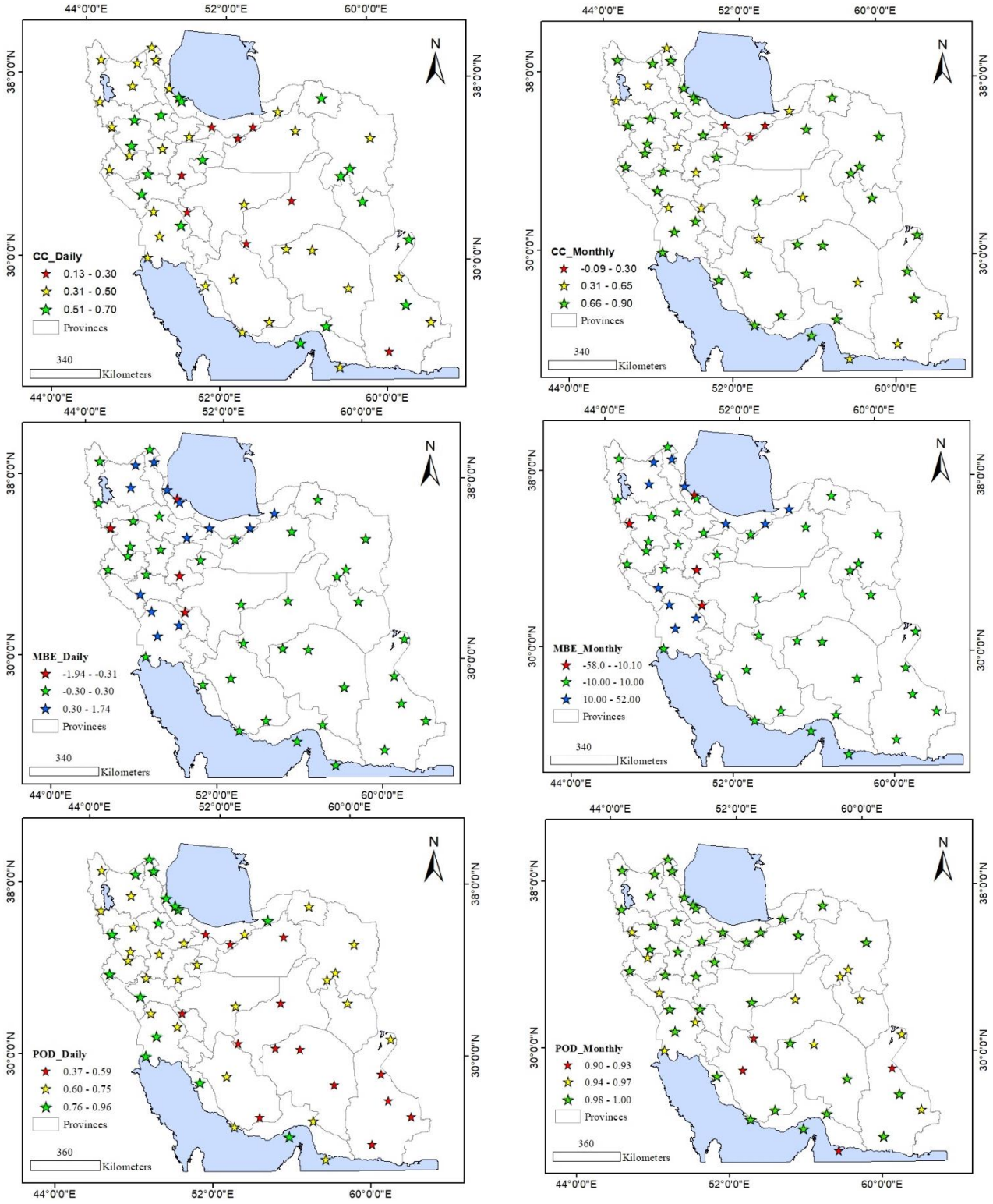
## نتایج

**عملکرد منبع بارش SM2RAIN-ASCAT در تخمین مقدار بارش**

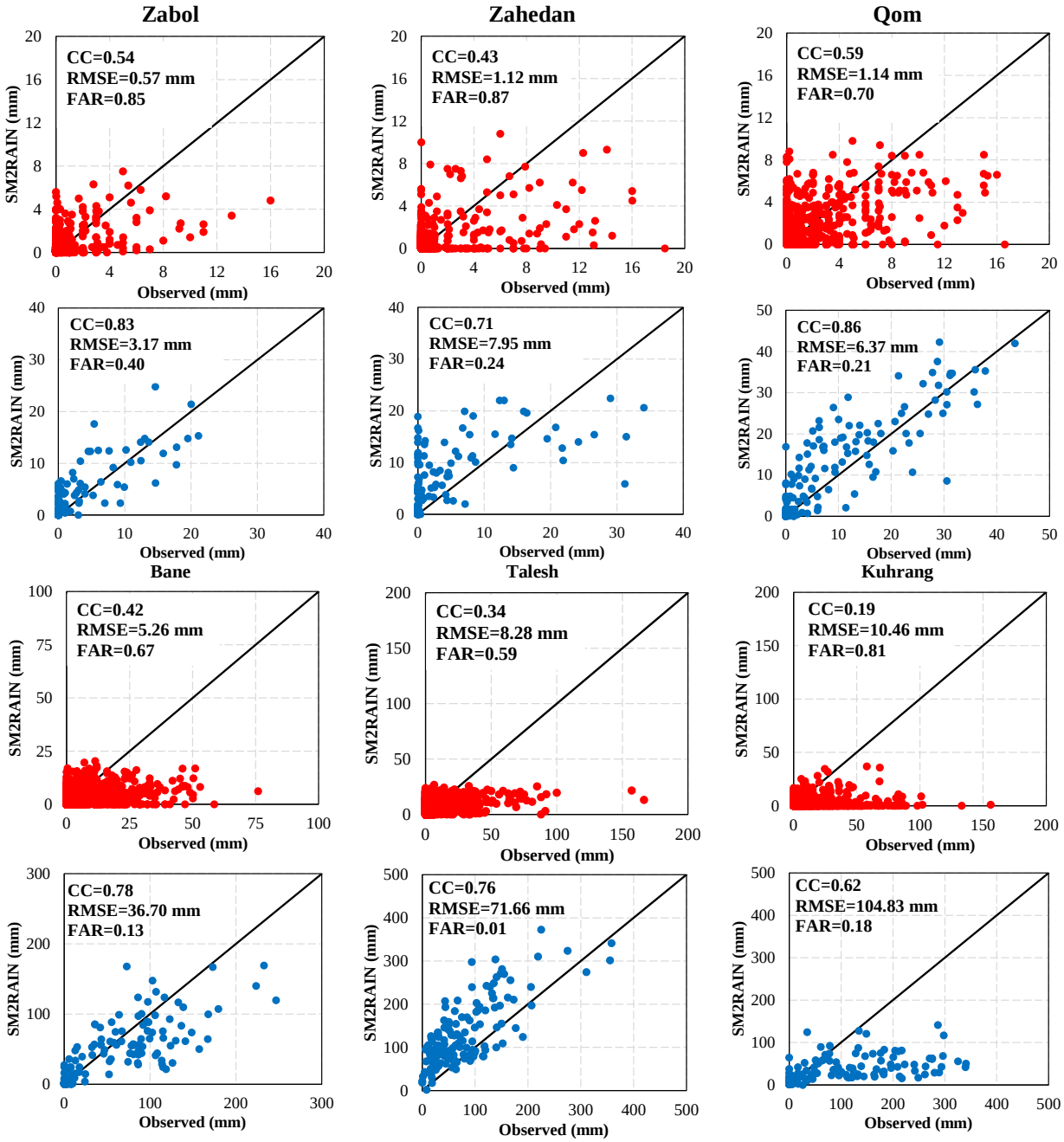
بمنظور ارزیابی عملکرد منبع SM2RAIN-ASCAT در تخمین بارش، مقدار شاخص‌های آماری و جدولی در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه محاسبه گردیدند. در شکل (۳) تغییرات مکانی شاخص‌های CC، MBE و POD برای مقیاس روزانه و ماهانه نشان شده است. بررسی مقدار شاخص CC در سطح کشور نشان داد که در مقیاس روزانه این شاخص از ۰/۱۴ تا ۰/۶۷ متغیر می‌باشد و مقدار متوسط آن ۰/۴۳ است. در مقیاس ماهانه نیز مقادیر بارش SM2RAIN-ASCAT از همبستگی بیشتری با داده‌های ایستگاه-های سینوپتیک برخوردار می‌باشد. محدوده تغییرات شاخص CC در این مقیاس زمانی از ۰/۰۹- تا ۰/۹ می‌باشد و مقدار متوسط آن در حدود ۰/۶۶ است. همچنین نتایج حاکی از آن است که در مقیاس ماهانه ۶۷ درصد از ایستگاه‌های مطالعاتی دارای مقدار شاخص CC بیش از ۰/۶۵ هستند و این در حالیست که در مقیاس روزانه تنها در ۲ درصد از ایستگاه‌ها مقدار ضریب همبستگی بیش از ۰/۶۵ می‌باشد. با توجه به شکل (۳) مشخص است که در مقیاس ماهانه مقادیر بارش ایستگاه‌های واقع در نوار شمالی کشور (ایستگاه‌های فیروزکوه، کیاسر و سیاه‌بیشه) از همبستگی ضعیفی با منبع SM2RAIN-ASCAT برخوردار هستند، درصورتیکه در ایستگاه‌های واقع در غرب و شرق کشور، مقدار شاخص CCبیشترین مقدار برخوردار می‌باشد. بررسی شاخص MBE که نشان‌دهنده میزان بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی منبع SM2RAIN-ASCAT می‌باشد نشان داد که این منبع بارشی در شمال و غرب کشور در هر دو مقیاس زمانی تمایل به بیش-برآوردی مقدار بارش دارد. طبق محاسبات صورت گرفته متوسط شاخص MBE در مقیاس‌های روزانه و ماهانه به ترتیب معادل ۰/۱۳ و ۳/۸۲ میلی‌متر می‌باشد.

ارزیابی نتایج بر اساس شاخص جدولی POD نشان داد که عملکرد منبع بارشی مذکور در تشخیص صحیح تعداد روزهای بارانی در مقیاس ماهانه به مراتب بهتر از مقیاس روزانه می‌باشد، بطوریکه مقدار آن در سطح ایستگاه‌های مطالعاتی همواره بالای

۰/۹ بوده و نشان دهنده آن است که منبع SM2RAIN-ASCAT در بیش از ۹۰ درصد از رخدادهای مورد بررسی، روزهای بارانی را درست گزارش نموده است. درحالیکه در مقیاس روزانه مقدار متوسط POD در حدود ۰/۶۸ بوده و براساس بررسی‌های صورت گرفته تنها در حدود ۵۸ درصد از ایستگاه‌های زمینی بیش از ۷۰ درصد از روزهای بارانی به درستی گزارش شده‌اند. با توجه به شکل (۳) مشخص است که منبع بارشی مورد مطالعه در ایستگاه-های واقع در شمال، مرکزی و جنوب شرقی کشور از عملکرد ضعیف‌تری در گزارش تعداد روزهای بارانی برخوردار بوده است، درحالیکه عملکرد آن در شمال غربی و غرب کشور مناسب ارزیابی می‌شود.




**شکل ۳- تغییرات مکانی شاخص‌های CC، MBE و POD برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس‌های روزانه و ماهانه**



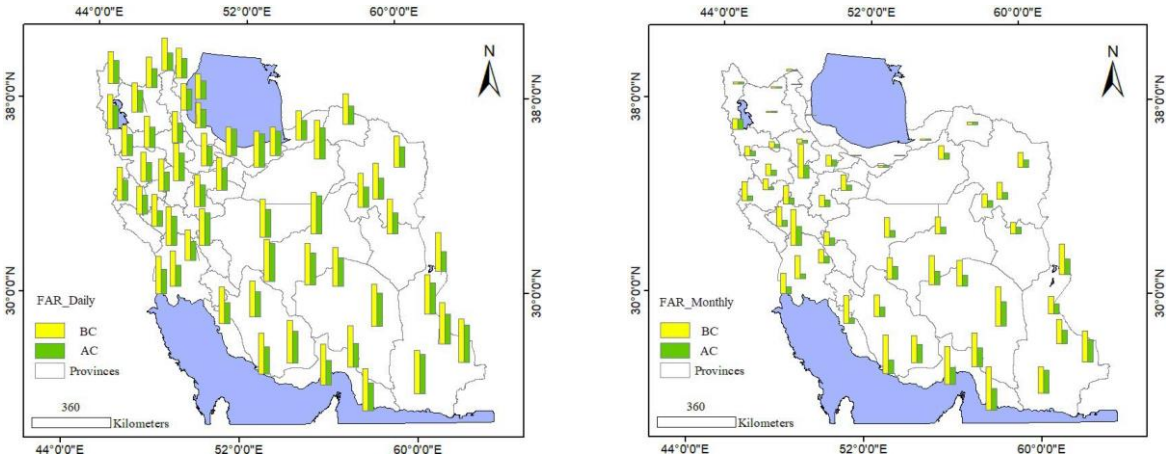

**شکل ۴- عملکرد منبع بارش در تخمین بارش روزانه و ماهانه در تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک ( ●: روزانه، ●: ماهانه)**

برای بررسی دقیق‌تر عملکرد منبع SM2RAIN-ASCAT نمودار پراکنش مقادیر بارش در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه برای تعدادی از ایستگاه‌های مورد مطالعه (با توجه به تعداد بالای خروجی‌های مربوط به این بخش) در شکل (۴) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد منبع بارشی مورد مطالعه در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی و در گام زمانی روزانه دارای کم‌برآوردی در تخمین میزان بارش می‌باشد، درحالیکه برخلاف مقیاس روزانه، در مقیاس ماهانه داده‌های بارشی از همبستگی بیشتری با مقادیر زمینی برخوردار هستند و مقدار شاخص CC نیز با افزایش همراه می‌باشد. همچنین براساس شاخص FAR مشاهده شد که در تمام ایستگاه‌های مطالعاتی در مقیاس روزانه مقدار نرخ هشدار اشتباه بیش از ۰/۲۵ می‌باشد، درحالیکه در گام زمانی ماهانه در حدود ۶۰ درصد از ایستگاه‌ها مقدار این شاخص کمتر از ۰/۲۵ است و این مورد بدین معناست که منبع مورد ارزیابی در این ایستگاه‌ها در ۷۵ درصد مواقع تعداد روزهایی که براساس آمار ثبت شده در ایستگاه دارای بارش می‌باشد را به درستی گزارش نموده است و توانایی منبع SM2RAIN-ASCAT را در تشخیص روزهای بارانی از غیربارانی در مقیاس ماهانه نشان می‌دهد. درصورتیکه

SM2RAIN-ASCAT از کارایی مناسبی در رابطه با این مهم در گام زمانی روزانه برخوردار نبوده است.

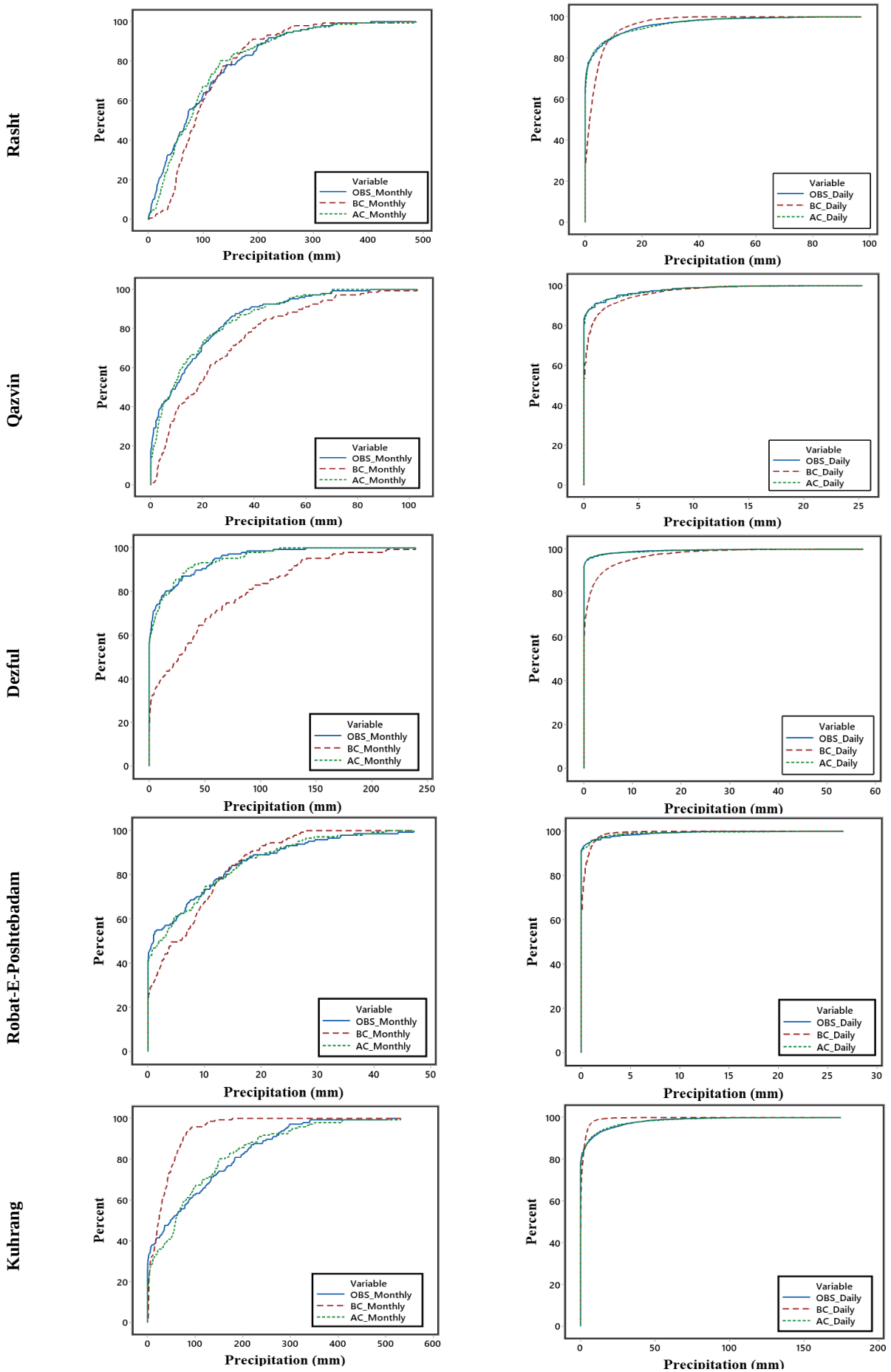
**ارزیابی منبع SM2RAIN-ASCAT پس از اصلاح اریبی**

در این بخش به بررسی تاثیر کاربرد روش نگاشت چندک بر بهبود داده‌های بارش SM2RAIN-ASCAT و کاهش میزان خطای آن پرداخته شده است. به همین منظور مقدار شاخص FAR برای قبل و بعد از پردازش مقادیر بارش منبع مذکور در سطح ایستگاه-های مورد مطالعه محاسبه و در شکل (۵) ارائه شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که کاربرد روش نگاشت چندک و تصحیح داده‌ها با کاهش مقدار شاخص نرخ هشدار اشتباه همراه بوده است که به معنای بهبود عملکرد این منبع بارشی در تشخیص روزهای بارانی از غیربارانی می‌باشد. محاسبات بعمل آمده نشان داد که محدوده تغییرات شاخص FAR در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس روزانه و ماهانه پیش از تصحیح اریبی داده‌ها به ترتیب ۰/۵۴ تا ۰/۹۵ و ۰ تا ۰/۵۷ است درحالیکه با کاربرد روش نگاشت چندک محدوده تغییرات این شاخص در دو گام زمانی مذکور به ترتیب ۰/۳۴ تا ۰/۸۶ و ۰ تا ۰/۳۲ کاهش یافته است. با توجه به نتایج داده‌های خام منبع SM2RAIN-ASCAT در مقیاس روزانه در تمام ایستگاه‌های بیش از ۵۰ درصد از گزارش‌های وقوع بارش به اشتباه بوده است درصورتیکه با اصلاح آن‌ها مشاهده می‌شود که مقادیر شاخص هشدار اشتباه به طور متوسط با ۴۶ درصد بهبود همراه می‌باشد بنابراین توصیه می‌گردد که برای استفاده از داده‌های روزانه این منبع بارشی حتما پیش از استفاده از داده‌های خام، فرآیند اصلاح اریبی صورت پذیرد تا از اعلام هشدارهای اشتباه جلوگیری شود. با توجه به نتایج مشخص است که اصلاح اریبی داده‌ها از تاثیر بالایی بر کاهش مقدار شاخص MBE و بهبود مقادیر بارشی برخوردار بوده است. بطوریکه در هر دو گام زمانی روزانه و ماهانه پس از حذف اریب از داده‌ها مقدار این شاخص در سطح ایستگاه-های مورد مطالعه حول مقدار صفر می‌باشد، با توجه به نتایج محدوده تغییرات شاخص مذکور برای داده‌های خام روزانه و ماهانه به ترتیب ۱/۹۴- تا ۱/۷۴ و ۵۷/۹- تا ۵۱/۹ میلی‌متر است درحالیکه پس از پردازش داده‌ها این مقدار به ۰/۱- تا ۰/۰۷ و ۰/۵۸- تا ۰/۶۸ میلی‌متر کاهش یافته است. نمودار توزیع بارش تجمعی برای مقادیر مشاهداتی و منبع مورد مطالعه پیش و پس-پردازش شده در شکل (۶) برای برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد با اعمال تصحیح اریبی نمودار توزیع تجمعی منبع SM2RAIN-ASCAT تقریبا منطبق با نمودار مشاهداتی شده است درحالیکه با استفاده از داده‌های خام این منبع بارشی، نمودار CDF از اختلافی زیادی با نمودار مشاهده‌ای برخوردار است و در بسیاری از ایستگاه‌ها (به عنوان مثال ایستگاه سینوپتیک قزوین و دزفول) تمایل به بیش-برآوردی مقادیر بارش در مقیاس روزانه توسط این منبع بارشی وجود دارد.



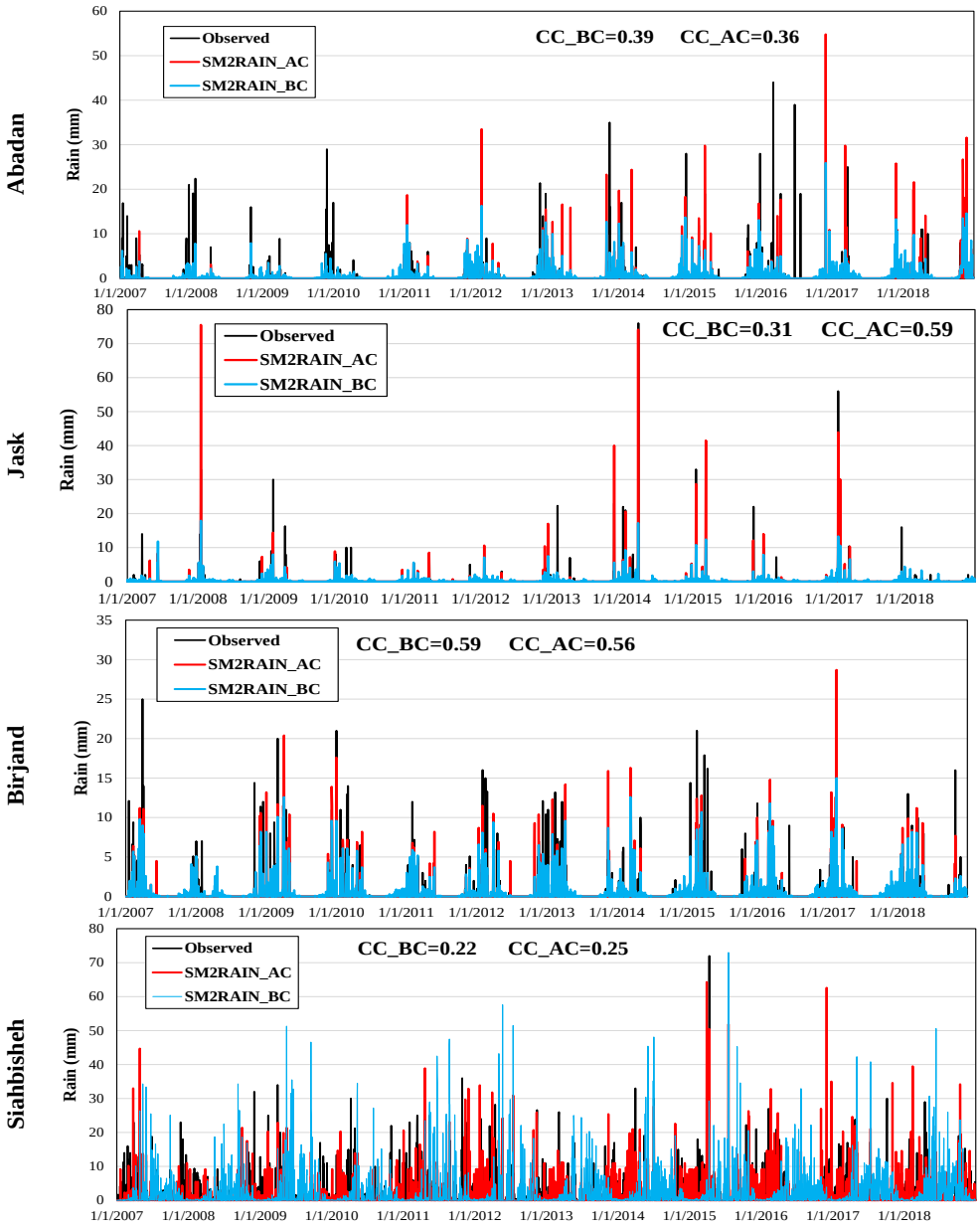

**شکل ۵- تغییرات مکانی شاخص FAR پیش و پس از تصحیح اریبی داده‌ها**

البته در برخی از ایستگاه‌ها همچون کوهرنگ همانطور که مشاهده می‌شود منبع مورد مطالعه با کم‌برآوردی در تخمین مقادیر بارش تا ۳۵۰ میلی‌متر برخوردار است اما انجام اصلاح اریبی داده‌ها منجر به تطابق بیشتر نمودار توزیع تجمعی با نمودار مشاهداتی شده است. با توجه به نتایج مشخص است که هر چند نمودار توزیع تجمعی بارش ماهانه از اختلاف کمتری با نمودار CDF مشاهداتی برخوردار است اما همان اختلاف اندک نیز با کاربرد روش نگاشت چندک از بین رفته و دو نمودار مذکور بر یکدگیر منطبق گشته‌اند.




شکل ۶- توزیع بارش تجمعی مشاهداتی و منبع SM2RAIN-ASCAT پیش و پس از پردازش در تعدادی از ایستگاه‌های مورد مطالعه

به منظور ارزیابی دقیق‌تر تاثیر روش نگاشت چندک بر عملکرد منبع بارشی سری زمانی بارش روزانه در تعدادی از ایستگاه‌های مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۷) نشان داده شده است. با توجه به نتایج مشخص گردید که کاربرد این روش علی‌رغم اینکه در برخی از ایستگاه‌ها منجر به همبستگی بیشتر مقادیر بارش با داده‌های مشاهداتی نشده است ولی بررسی سری زمانی بارش نشان می‌دهد که داده‌های تصحیح شده از انطباق بیشتری با مقادیر مشاهداتی به ویژه در مقادیر بالای بارش برخوردار است. به عنوان مثال در ایستگاه سینوپتیک رشت مقادیر بارش خام منبع SM2RAIN-ASCAT از انطباق چندانی با مقادیر مشاهداتی برخوردار نبودند، درصورتیکه پس از اصلاح داده‌ها هر چند که مقدار ضریب همبستگی با بهبود زیادی همراه نبوده ولی سری زمانی بارش هم از نظر زمانی و هم مقدار از تطابق بیشتری با سری زمانی مشاهداتی برخوردار است. همچنین همانطور که مشاهده می‌شود در ایستگاه‌های جاسک و بیرجند مقادیر منبع بارشی به صورت خام با کم‌برآوردی در تخمین بارش همراه هستند، اما تصحیح اریبی آن‌ها منجر به بهبود مقادیر بارش به ویژه مقادیر بالای بارش شده است که این مورد می‌تواند گویای کارایی این منبع بارشی در مطالعات مرتبط با مقادیر حداکثر بارش همچون تخمین حداکثر بارش محتمل باشد.

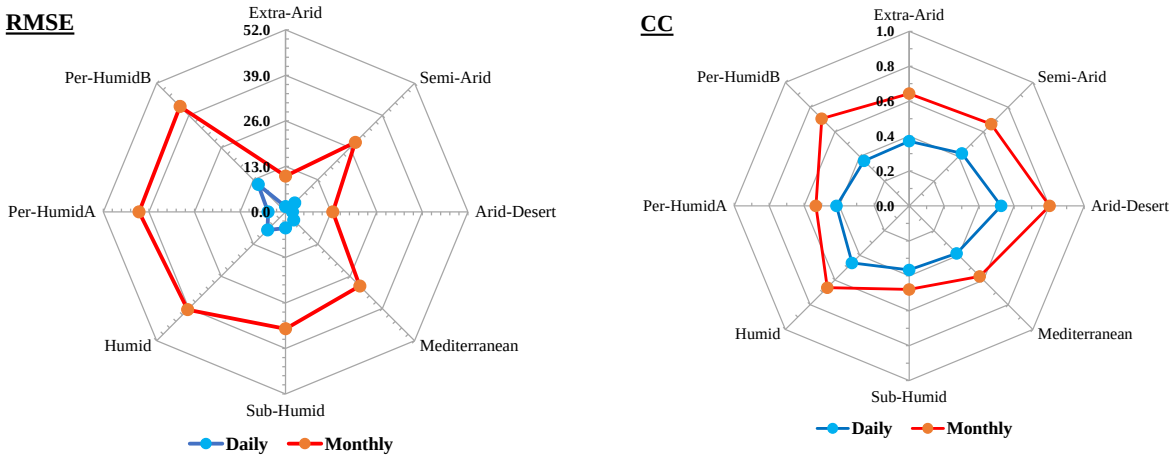



شکل ۷- سری زمانی بارش مشاهداتی و منبع SM2RAIN-ASCAT پیش و پس از پردازش در تعدادی از ایستگاه‌های مورد مطالعه

**بررسی تاثیر اقلیم بر عملکرد منبع بارش SM2RAIN-ASCAT**

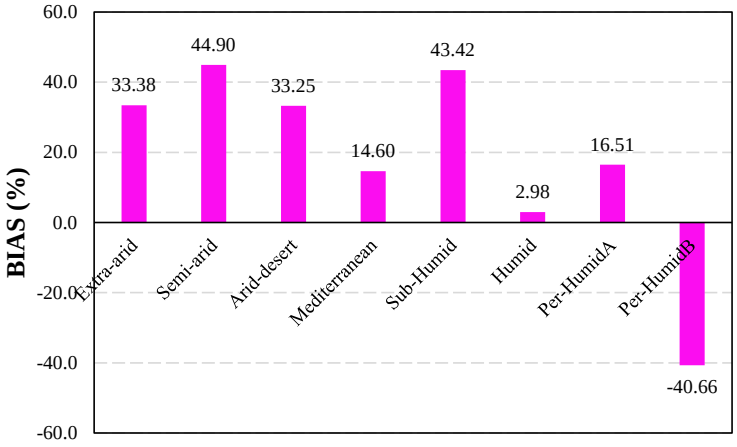
در این بخش به بررسی کارایی منبع SM2RAIN-ASCAT در اقلیم‌های مختلف ایران پرداخته شده است. به منظور بررسی عملکرد منبع بارشی مذکور در هر اقلیم، مقدار شاخص‌های آماری CC و RMSE در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه محاسبه گردید که در شکل (۸) ارائه شده است. طبق نتایج بدست آمده، میزان همبستگی بین منبع SM2RAIN-ASCAT و داده‌های مشاهداتی در مقیاس روزانه و در تمامی اقلیم‌های مورد مطالعه کمتر از ۰/۵ بوده است و تنها در اقلیم خشک مقدار شاخص CC نسبتاً قابل قبول و بیش از ۰/۵ می‌باشد. در مقیاس زمانی ماهانه مقادیر بارش منبع مذکور در اقلیم‌های خیلی‌خشک، خشک، نیمه‌خشک، مرطوب و خیلی مرطوب نوع B از بیشترین همبستگی با مقادیر مشاهداتی برخوردار است و متوسط مقدار شاخص CC در این اقلیم‌ها بیش از ۰/۶۵ برآورد شده است. با افزایش رطوبت و حرکت از اقلیم خیلی خشک به سمت خیلی مرطوب مقدار شاخص RMSE افزایش چشمگیری داشته است که نشان‌دهنده خطای بیشتر منبع بارشی در این اقلیم‌ها می‌باشد.

به عنوان مثال، متوسط مقدار RMSE در مقیاس ماهانه در اقلیم‌های خیلی‌خشک تا خشک به ترتیب برابر با ۱۰/۳، ۲۸/۱ و ۱۰/۳ میلی‌متر است که در اقلیم‌های مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب به ترتیب معادل ۲۹/۹، ۶۵/۵، ۳۳/۴، ۴۱/۸ و ۹۷/۸ میلی‌متر می‌باشد. عملکرد ضعیف این منبع بارشی در این اقلیم‌ها و افزایش خطای آن می‌تواند ناشی از ساده‌سازی‌هایی باشد که در معادله بیلان در الگوریتم SM2RAIN صورت پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به حذف پارامتر تبخیر و تعرق و رواناب اشاره نمود که از تاثیر بالایی بر معادله بیلان آب–خاک برخوردار هستند و حذف آنها می‌تواند عملکرد این الگوریتم را در تخمین بارش به شدت تحت تاثیر قرار دهد. در همین رابطه (Taromi *et al.*, 2020) نشان دادند که فقط با افزودن پارامتر تبخیر و تعرق به الگوریتم مذکور می‌توان عملکرد آن را در تخمین بارش افزایش داد و از میزان خطای آن کاست، بطوریکه مقدار شاخص RMSE پس از افزودن تبخیر و تعرق با ۱۵ درصد کاهش همراه بوده است.



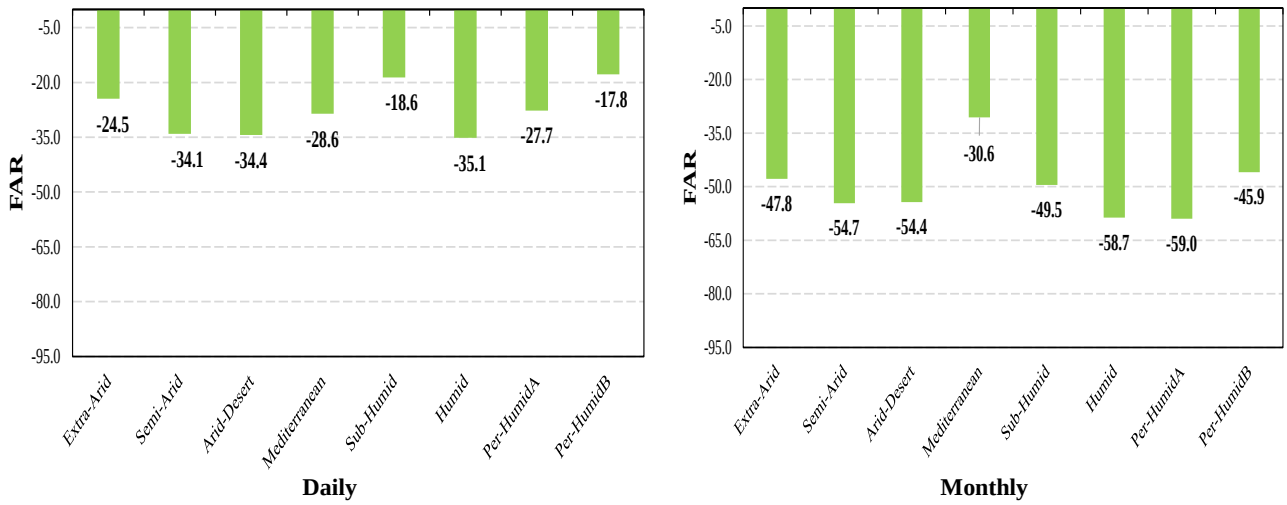

**شکل ۸- مقدار شاخص‌های CC و RMSE در اقلیم‌های مختلف**

بر اساس شاخص BIAS مشخص شد که منبع SM2RAIN-ASCAT با تمایل به بیش‌برآوردی در تخمین بارش اقلیم‌های خیلی‌خشک تا خشک همراه می‌باشد بطوریکه مقدار شاخص BIAS در این اقلیم‌ها بیش از ۳۳ درصد است. با توجه به تاثیر بالای تبخیر و تعرق در بیلان مناطق خشک این بیش‌برآوردی می‌تواند ناشی از عدم لحاظ نمودن ترم تبخیر و تعرق در این الگوریتم باشد. در حالیکه در اقلیم خیلی مرطوب نوع B تمایل به کم‌برآوردی در این منبع وجود دارد و مقدار شاخص BIAS مربوط به آن حدود ۴۰/۶ درصد تخمین زده شده است. عملکرد ضعیف منبع SM2RAIN-ASCAT در این اقلیم می‌تواند ناشی از این باشد که در شرایط خیلی مرطوب عموماً خاک اشباع می‌باشد که در چنین شرایطی تغییرات رطوبتی خاک چندان مشخص نبوده، بنابراین الگوریتم مذکور که بر پایه تخمین مقدار بارش از تصاویر سنجش از دور رطوبت سطحی خاک است با خطا در تخمین بارش ایستگاه‌های این اقلیم همراه خواهد بود.

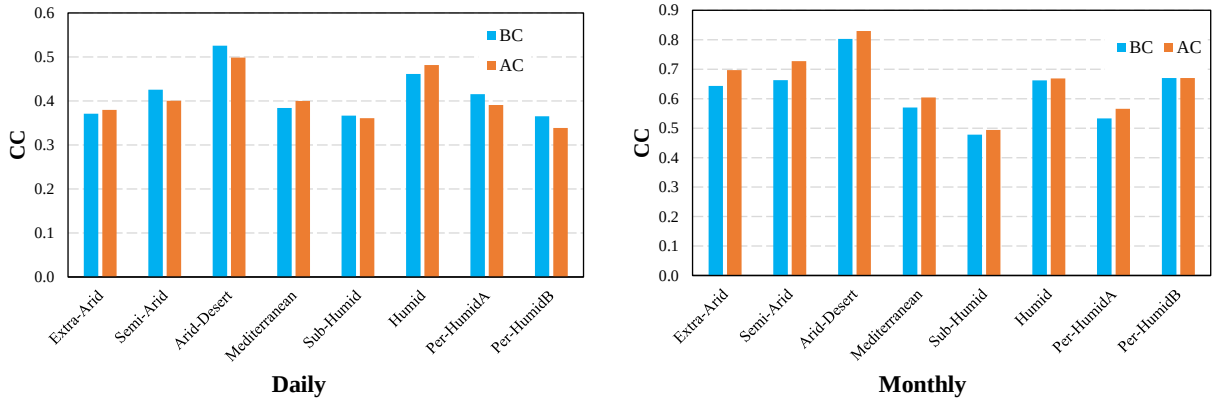



**شکل ۹- مقدار شاخص BIAS منبع بارش در اقلیم‌های مختلف**

میزان تغییرات شاخص FAR پس از تصحیح اریبی داده‌های بارش در هر دو گام زمانی برای هر یک از اقلیم‌ها محاسبه گردید که نتایج آن در شکل (۱۰) نشان داده شده است. با توجه به نتایج مشخص است کاربرد روش نگاشت چندک از تاثیر بالایی بر مقدار شاخص FAR برخوردار است. همانگونه که در شکل (۱۰) نیز مشاهده می‌شود میزان بهبود این شاخص در اقلیم‌های مختلف در مقیاس روزانه از ۱۷/۸ تا ۳۵/۱ و در مقیاس ماهانه از ۳۰/۶ تا ۵۹/۰ درصد متغیر می‌باشد. با توجه به نتایج مشخص است که بیشترین میزان بهبود عملکرد منبع بارشی در کاهش هشدار اشتباه در گام زمانی روزانه در اقلیم‌های نیمه‌خشک تا مدیترانه‌ای و مرطوب رخ داده است. در گام زمانی ماهانه نیز بیشترین بهبود مقدار شاخص FAR به ترتیب در اقلیم‌های خیلی مرطوب نوع A، مرطوب، نیمه‌خشک و خشک رخ داده است. بطورکلی مشاهده می‌شود که کاربرد روش نگاشت چندک و انجام تصحیح اریبی داده‌ها از تاثیر بالایی بر بهبود عملکرد منبع بارشی در کاهش نرخ هشدار اشتباه تمام اقلیم‌ها برخوردار بوده است، بنابراین توصیه می‌گردد تا پیش از استفاده از این منبع بارشی بمنظور کاهش هشدارهای غلط بارشی حتما فرآیند اصلاح اریبی بر روی داده‌ها اعمال شود. بررسی تغییرات مقدار ضریب همبستگی نشان داد که در مقیاس روزانه تنها در اقلیم‌های خیلی‌خشک، مدیترانه‌ای و مرطوب با افزایش همبستگی بین مقادیر بارش SM2RAIN-ASCAT و مقادیر مشاهده‌ای شده است درحالیکه در گام زمانی ماهانه در تمام اقلیم‌ها به غیر از خیلی مرطوب B با افزایش شاخص همبستگی همراه بوده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان افزایش ضریب همبستگی خیلی‌خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای و خیلی مرطوب نوع A بوده که به ترتیب معادل ۸/۳، ۹/۸، ۵/۸ و ۶/۱ درصد می‌باشد.




**شکل ۱۰- تغییرات مقدار شاخص FAR پس از پردازش داده‌ها در اقلیم‌های مختلف**




شکل ۱۱- تاثیر فرآیند تصحیح اریبی بر مقدار شاخص CC در اقلیم‌های مختلف

## نتیجه‌گیری

بارش از جمله مولفه‌های مهم هواشناسی می‌باشد که آگاهی از مقدار دقیق آن از اهمیت بالایی در مطالعات اقلیمی، هیدرولوژیکی، خشکسالی، سیل و کشاورزی برخوردار است. با توجه به اهمیت تخمین صحیح بارش امروزه الگوریتم‌ها و روش‌های نوینی برای تخمین این مهم ارائه شده است. از جمله این الگوریتم‌ها بازیابی مقدار بارش براساس رویکرد هیدرولوژی معکوس بر اساس مقادیر جریان رودخانه یا رطوبت خاک می‌باشد. منبع بارش SM2RAIN-ASCAT یکی از این تلاش‌های نوین برای تخمین مقدار بارش براساس مقدار رطوبت سطحی خاک و حل معکوس معادله بیلان آب-خاک است. در پژوهش حاضر تلاش شده است تا به ارزیابی منبع بارش مبتنی بر رطوبت خاک SM2RAIN-ASCAT در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه در سطح کشور ایران و در اقلیم‌های مختلف پرداخته شود. از سوی دیگر با توجه به لزوم اعمال تصحیح اریبی بر داده‌های حاصل از تکنیک‌های سنجش از دور بمنظور کاهش خطاهای سیتماتیک موجود در آن‌ها، بررسی میزان بهبود عملکرد منبع بارشی مذکور پس از کاربرد روش تصحیح نگاشت چندک از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد. نتایج ارزیابی منبع بارشی در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه نشان داد که بیشترین همبستگی بین مقادیر بارش منبع SM2RAIN-ASCAT با داده‌های زمینی در گام زمانی ماهانه می‌باشد، بطوریکه متوسط مقدار ضریب همبستگی در گام زمانی روزانه و ماهانه به ترتیب معادل ۰/۴۳ و ۰/۶۶ است. همچنین مقدار شاخص POD در این دو گام زمانی به ترتیب معادل ۰/۶۸ و ۰/۹۸ است که حاکی از عملکرد ضعیف منبع بارشی در گزارش روزهای بارانی در مقیاس روزانه می‌باشد. بررسی عملکرد منبع بارشی در اقلیم‌های مختلف نشان داد که با افزایش رطوبت حوضه به سمت اقلیم خیلی مرطوب میزان خطا در برآورد بارش افزایش یافته است. با توجه به نتایج مشخص شد که منبع SM2RAIN-ASCAT بعلت عدم لحاظ نمودن برخی از مولفه‌های بیلان، از خطای بالایی در تخمین بارش روزانه برخوردار است که این مساله لزوم اصلاح مقادیر بارش این منبع را در این گام زمانی بیش از پیش ضروری می‌نماید. یافته‌های پژوهش در رابطه با ارزیابی کاربرد روش نگاشت چندک بمنظور تصحیح اریبی داده‌های بارش نشان داد که استفاده از این روش ناپارامتری منجر به بهبود بالای عملکرد منبع مورد بررسی در تخمین نمودار توزیع تجمعی و انطباق نمودار منبع SM2RAIN-ASCAT با نمودار مشاهداتی در اکثر ایستگاه‌ها شده است. با توجه به نتایج مشخص شد که با کاربرد این روش اصلاحی، مقدار عملکرد منبع در گزارش اشتباه روزهای بارانی به شدت بهبود یافته است و تعداد روزهای کمتری به اشتباه دارای بارندگی گزارش شده‌اند. بطوریکه مقادیر شاخص FAR در مقیاس روزانه و اقلیم‌های مختلف با بهبودی معادل ۱۷/۸ تا ۳۵/۱ درصد و درگام زمانی ماهانه با بهبودی در حدود ۳۰/۶ تا ۵۹/۰ درصد روبرو بوده است. در همین راستا برخی از مطالعات انجام شده حاکی از بهبود عملکرد منابع در تخمین صحیح مقدار بارش، انطباق تابع توزیع تجمعی بارش پس تصحیح اریبی مقادیر بارش با استفاده از روش نگاشت چندک دارد، که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد (Amini *et al.*, 2020; Katiraie-Boroujerdy *et al.*, 2020). همچنین در پژوهشی Javanmard Ghassab *et al.* (2018) عنوان نمودند که کاربرد روش نگاشت چندک از تاثیر مثبتی بر کاهش خطای حجم و الگوی بارش مدل‌های عددی پیش‌بینی بارش در حوضه کارون برخوردار بوده است که با نتایج تحقیق حاضر که نشان‌دهنده بهبود منبع بارشی SM2RAIN-ASCAT در مقادیر بالای بارش ایستگاه‌ها است، در یک راستا می‌باشد. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان چنین عنوان نمود که منبع بارشی مبتنی بر رطوبت خاک SM2RAIN-ASCAT از جمله منابع بارشی با عملکرد مناسب در تخمین سری زمانی بارش به ویژه در مقیاس زمانی ماهانه

می‌باشد که البته با افزودن برخی دیگر از مولفه‌های بیلان و اصلاح الگوریتم بازیابی بارش SM2RAIN و همچنین انجام تصحیح اریبی می‌توان بر کارایی این منبع ارزشمند افزود.

**"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد "**

## REFERENCES


Abdollahi, B., Hosseini-Moghari, S. M. and Ebrahimi, K. (2017). Assessment of Satellite Precipitation Data from TRMM 3B42RT V7 and CMORPH in Order to Estimate Precipitation in Gorganrood Basin-Iran. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 11(36), 55–69. (In Farsi)

Amini, S., Azizian, A. and Daneshkar Arasteh, P. (2020). Improving the Performance of Global Rainfall Forecasting Systems in Different Climate Areas of Iran Using Quantile Mapping Method. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(9), 2275–2291. (In Farsi)

Aminyavari, S., Saghafian, B. and Delavar, M. (2018). Evaluation of TIGGE ensemble forecasts of precipitation in distinct climate regions in Iran. *Advances in Atmospheric Sciences*, 35(4), 457–468.

Ashouri, H., Hsu, K. L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knapp, K. R., Cecil, L. D., et al. (2015). PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1), 69–83. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00068.1

Azizian, A. and Amini, S. (2020). The Effect of Climate and Topographic Conditions on the Performance of PERSIANN Family Products over Iran. *Iran-Water Resources Research*, 16(1), 86–101. (In Farsi).

Borga, M. (2002). Accuracy of radar rainfall estimates for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 267(1), 26–39.

Brocca, L, Ciabatta, L., Massari, C., Moramarco, T., Hahn, S., Hasenauer, S., et al. (2014). Soil as a natural rain gauge: estimating global rainfall from satellite soil moisture data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(9), 5128–5141.

Brocca, Luca, Filippucci, P., Hahn, S., Ciabatta, L., Massari, C., Camici, S., et al. (2019). SM2RAIN-ASCAT (2007-2018): Global daily satellite rainfall data from ASCAT soil moisture observations. *Earth System Science Data*, *11*(4), 1583–1601. https://doi.org/10.5194/essd-11-1583-2019

Gebremicael, T. G., Mohamed, Y. A., Zaag, P. van der, Gebremedhin, A., Gebremeskel, G., Yazew, E. and Kifle, M. (2019). Evaluation of multiple satellite rainfall products over the rugged topography of the Tekeze-Atbara basin in Ethiopia. *International Journal of Remote Sensing*, 40(11), 4326–4345. https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1562585

Gupta, R., Bhattarai, R. and Mishra, A. (2019). Development of Climate Data Bias Corrector (CDBC) Tool and Its Application over the Agro-Ecological Zones of India. *Water*, 11(1102).

Hamill, T. M., Engle, E., Myrick, D., Peroutka, M., Finan, C., and Scheuerer, M. (2017). The U.S. national blend of models for statistical post processing of probability of precipitation and deterministic precipitation amount. *Monthly Weather Review*, 145(9), 3441–3463.

Hyndman, R. J. and Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679–688.

Javanmard Ghasab, M., Delavar, M., and Morid, S. (2018). Medium-Term Forecast Evaluation of TIGGE Numerical Weather Prediction Models for Karun Basin. *Iran-Water Resources Research*, 14(3), 1–14. (In Farsi).

Katiraie-Boroujerdy, P. S., Rahnamay Naeini, M., Akbari Asanjan, A., Chavoshian, A., Hsu, K., Sorooshian, S. (2020). Bias Correction of Satellite-Based Precipitation Estimations Using Quantile Mapping Approach in Different Climate Regions of Iran. Remote Sensing, 12 (13).

Kirchner, J. W. (2009). Catchments as simple dynamical systems: catchment characterization, rainfall-runoff modeling, and doing hydrology backward. *Water Resources Research*, 45(2).

Kucera, P. A., Ebert, E. E., Turk, F. J., Levizzani, V., D., K., Tapiador, F. J., et al. (2013). Precipitation from space: Advancing earth system science. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(3), 365–375.

Maggioni, V. and Massari, C. (2018). On the performance of satellite precipitation products in riverine flood modeling: A review. *Journal of Hydrology*, 558, 214–224.

Mohsan, M., Acierto, R. A., Kawasaki, A. and Zin, W. W. (2018). Preliminary assessment of GPM satellite rainfall over Myanmar. *Journal of Disaster Research*, 13(1), 22–30. https://doi.org/10.20965/jdr.2018.p0022

Owusu, C., Adjei, K. A., and Odai, S. N. (2019). Evaluation of Satellite Rainfall Estimates in the Pra Basin of Ghana. *Environmental Processes*, 6(1), 175–190. https://doi.org/10.1007/s40710-018-0344-1

Panofsky, H. A., and Brier, G. W. (1965). *Some Applications Of Statistics to Meteorology*. Earth and Mineral Sciences Continuing Education, College of Earth and Mineral Sciences.

Pearson, K. (1896). Mathematical Contributions to the Theory of Evolution.–On a Form of Spurious Correlation Which May Arise When Indices Are Used in the Measurement of Organs. *Proceedings of the Royal Society of London*, 60, 489–498.

Rahimi, J., Ebrahimpour, M., and Khalili, A. (2013). Spatial changes of extended De Martonne climatic

zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 112(3–4), 409–418.

Shabanpour, F., Bazrafshan, J. and Araghinejad, S. (2020). Evaluation of the Effect of Bias Correction Methods on the Skill of Seasonal Precipitation Forecasts of CFSv2 Climate Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*.

Stampoulis, D. and Anagnostou, E. (2012). Evaluation of global satellite rainfall products over Continental Europe. *Journal of Hydrometeorology*, 13(2), 588–603. https://doi.org/10.1175/JHM-D-11-086.1

Stanski, H. R., Wilson, L. J. and Burrows, W. R. (1989). *Survey of Common Verification Methods in Meteorology* (2nd ed.). World Meteorological Organization.

Taromi, M., Azizian, A. and Brocca, L. (2020). Estimation of Precipitation Using Satellite-based Surface Soil Moisture (SSM) in Semi-Arid and Humid Regions of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(6), 1427-1440. (In Farsi).

Themeßl, M. J., Gobiet, A. and Heinrich, G. (2012). Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal. *Climate Change*, 112, 449–468.