



## The Effect of Climate and Topographic Conditions on the Performance of PERSIANN Family Products over Iran

A. Azizian<sup>1\*</sup> and S. Amini<sup>2</sup>

### Abstract

One of the complicated variables in hydrological and meteorological processes is precipitation. During the past decades several attempts have been carried out to develop and provide precipitation products with different spatio-temporal resolutions. The PERSIANN family products which includes PERSIANN, PERSIANN-CCs and PERSIANN-CDR is one of the most important attempts to estimate rainfall based on remote sensing techniques and cloud thickness. This research assessed the efficiency and performance of PERSIANN family products at the monthly time scale over Iran using 355 synoptic stations. In addition, evaluating the effect of climate and topographic conditions on the performance of these products are another objectives of this study. Results indicated that PERSIANN-CDR, due to using GPCP dataset for removing bias, highly correlated with observed data, while the average correlation coefficient (CC) over Iran for PERSIANN and PERSIANN-CCs is 0.49 and 0.51, respectively. Moreover, all PERSIANN products tend to underestimate rainfall in north and north-west parts of Iran, while in the south and south-east parts of the country the rate of rainfall overestimation increases significantly. Findings on the effect of topographic conditions demonstrate that in the high elevation (between 600m and 2600m) and low elevation (lower than 600m) regions the correlation between ground-gauge observations and PERSIANN family products is high and low, respectively. The performance of these datasets in the Mediterranean, semi-humid and humid climate regions is better than other climate conditions. Also, in per-humid A, per-humid B and extra arid climate regions the relative bias (RB) in rainfall estimation is very high.

**Keywords:** Rainfall Estimation, Remote-Sensing, Neural Network, PERSIANN Family, Climate.

Received: October 14, 2019

Accepted: January 12, 2020

## تأثیر شرایط اقلیمی و توپوگرافیکی سطح زمین بر عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN در سطح ایران

اصغر عزیزیان<sup>۱\*</sup> و ستاره امینی<sup>۲</sup>

### چکیده

یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌ها در فرآیندهای هیدرولوژیکی و هواشناسی بارش می‌باشد و به همین علت در سالهای اخیر تلاشهای متعددی جهت تهیه و توسعه منابع بارشی مختلف صورت گرفته است. یکی از مهم‌ترین این تلاشها منبع بارشی PERSIANN می‌باشد که شامل سه محصول مختلف به نام‌های PERSIANN، PERSIANN-CCs، PERSIANN-CDR و PERSIANN-CCs است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی محصولات بارشی خانواده PERSIANN در مقیاس ماهانه (در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹) و با استفاده از ۳۵۵ ایستگاه سینوپتیک واقع در سطح کشور ایران به انجام رسیده است. همچنین بررسی عملکرد منابع بارشی مذکور در اقلیم‌ها و شرایط توپوگرافیکی مختلف ایران از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که منبع PERSIANN-CDR به علت استفاده از داده‌های جهانی GPCP جهت حذف اریب از داده‌ها از همبستگی بسیار زیادی با داده‌های مشاهداتی برخوردار می‌باشد و این در حالیست که متوسط شاخص CC در سطح کشور برای دو منبع PERSIANN و PERSIANN-CCs به ترتیب در حدود ۰/۴۹ و ۰/۵۱ است. تمامی منابع مذکور در مناطق شمال و شمال غربی کشور مقدار بارش را کم برآورد می‌نمایند و این در حالیست که با حرکت به سمت جنوب و جنوب شرق کشور، مقدار بیش برآوردی بارش با نرخ بیشتری افزایش می‌یابد. بررسی تأثیر ارتفاع بر عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN نیز نشان داد که در مناطق مرتفع (مناطق با ارتفاع ۶۰۰ تا ۲۶۰۰ متر) و کم ارتفاع (کمتر از ۶۰۰ متر)، بارش ماهواره‌ای و داده‌های زمینی به ترتیب از همبستگی بالا و پائینی برخوردار هستند. از نظر اقلیمی هم نتایج نشان داد که در اقلیم‌های مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب و مرطوب عملکرد منابع بارشی مذکور در تخمین بارش نسبت به اقلیم‌های دیگر به مراتب بهتر می‌باشد. همچنین در اقلیم‌های خیلی مرطوب نوع A و B و خیلی خشک میزان خطا در برآورد بارش بالا بوده و میزان شاخص CC نیز پائین می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** ایران، بارش، پایگاه داده PERSIANN، طبقه‌بندی دوماستن.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۷/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۰/۲۲

1- Assistant Professor, Water engineering Deptment, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: azizian@eng.ikiu.ac.ir

2- M.Sc. in Water Resources Engineering, Water engineering Deptment, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

نتیجه رسیدند که GPCC مناسب‌ترین پایگاه بارشی برای ایران است. (2019) Zanganeh et al. با ارزیابی اطلاعات بارش ساعتی و روزانه دو منبع بارشی PERSIANN و CMORPH در حوضه آبریز شاپور واقع در ایران دریافتند که مدل‌های PERSIANN و CMORPH در مقیاس ساعتی و روزانه دقت کافی ندارند و همبستگی داده‌های مشاهداتی در مقیاس ساعتی با CMORPH بیشتر از PERSIANN است. با این وجود مدل PERSIANN در آشکارسازی تعداد روزهای بارانی (شاخص POD) نتایج بهتری را ارائه کرده است. (2018) Nguyen et al. نیز به بررسی عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN در سطح دنیا پرداختند. نتایج نشان داد که محصول PERSIANN-CDR با دارا بودن مقادیر ضریب همبستگی بالا و RMSE پایین نسبت به دو محصول PERSIANN و PERSIANN-CCS الگو و مقادیر بارش را بهتر ارائه می‌دهد. PERSIANN-CDR با توجه به ثبت تاریخی طولانی مدت اطلاعات، به‌طور ذاتی برای بررسی روند آماری رویدادهای بارش حدی و خشکسالی‌های هواشناسی و همچنین بازسازی جریان‌های تاریخی مشاهده‌ای مناسب است.

(2013) Katiraie-Boroujerdy در پژوهشی که بر روی ایران انجام داد، نشان داد که منبع PERSIANN بارش را در منطقه زاگرس کم و در کرانه دریای خزر به شدت کم برآورد می‌نماید و این در حالی است که برای بخش‌های واقع در منطقه شرق کشور مقدار بارش را بیش برآورد می‌کند. (2017) Aljani et al. نشان دادند که PERSIANN-CDR نسبت به سایر محصولات بارشی ماهواره‌ای (مانند CMORPH, PERSIANN, TRMM, MSWEP) در شناسایی رویدادهای بارشی حدی در سطح ایران از توانایی بالاتری برخوردار است. (2015) Jamli نیز با ارزیابی منبع PERSIANN بر اساس داده‌های APHRODITE در سطح ایران نشان داد که این منبع اگرچه مقادیر بارش را کم برآورد می‌نماید، اما در تشخیص الگوهای بارش سالانه و فصلی مناسب عمل می‌کند. (2019) Shayeghi et al. به بررسی کارایی منابع بارش ماهواره‌ای در تخمین بارش و همچنین شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل توزیعی VIC-3L در حوضه آبریز سفیدرود پرداختند. نتایج نشان داد که در مقیاس روزانه و ماهانه عملکرد منبع ECMWF و APHRODITE در تخمین بارش مناسب می‌باشد و این در حالی است که منبع PERSIANN-CDR تنها در مقیاس ماهانه از عملکردی مشابه با منابع مذکور برخوردار است. همچنین، در شبیه‌سازی رواناب روزانه و ماهانه استفاده از منبع بارشی PERSIANN-CDR منجر به بالاترین مقدار همبستگی بین دبی

بارش به عنوان یکی از مهمترین مؤلفه‌های هواشناسی، از اهمیت و نقش بسیار مهمی در درک چرخه آب، مدل‌سازی هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب برخوردار است (Ghajarnia et al., 2015; Shayeghi et al., 2019). همچنین این مؤلفه به عنوان مهمترین ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی سطح زمین (LSMs) می‌باشد که به واسطه دارا بودن تغییرات زمانی و مکانی قابل توجه، پیچیده‌ترین پدیده در چرخه هیدرولوژیکی بشمار می‌آید. در نتیجه تخمین صحیح این مؤلفه برای رسیدن به نتایج هیدرولوژیکی قابل اعتماد امری ضروری بوده و عدم دقت در برآورد مقدار بارش می‌تواند خطای معنی‌داری در مقدار رواناب شبیه‌سازی ایجاد نماید (Azizian and Ramezani, 2019). اگرچه بارش ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی همچنان یکی از دقیق‌ترین روش‌های اندازه‌گیری بارش است، اما پایین بودن توان تفکیک مکانی و زمانی شبکه ایستگاه‌های زمینی (به خصوص در کشورهای در حال توسعه) منجر به ظهور روش‌های نوین و منابع جدید تخمین بارش با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور شده است (Nguyen et al., 2018). داده‌های بارشی مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور امکان دسترسی به داده‌های بارشی با گام‌های زمانی و مکانی مختلف را در کمترین زمان ممکن و بدون هیچ هزینه‌ای میسر می‌سازند. منابع بارش ماهواره‌ای موجود را از نظر ساختار و فلسفه تخمین بارش می‌توان به سه دسته کلی تقسیم نمود. دسته اول منابعی هستند که از طریق تخمین ضخامت ابر با استفاده از روش‌های سنجش از دور، مقدار بارش ورودی به سطح زمین را برآورد می‌نمایند. دسته دوم نیز منابعی هستند که با استفاده از داده‌های مشاهداتی و روش‌های درون‌یابی اقدام به برآورد متغیرهای اقلیمی مانند بارش می‌کنند. در نهایت منابع موجود در دسته سوم نیز با ترکیب خروجی حاصل از مدل‌های هواشناسی - سطح زمین و داده‌های زمینی، مقدار بارش را تخمین می‌زنند که این داده‌های این منبع به داده‌های باز تحلیل شده معروف هستند. از مهمترین محصولات بارشی ماهواره‌ای که از توان تفکیک مکانی و زمانی مناسبی برخوردار هستند می‌توان به PERSIANN (Hsu et al., 1997; Sorooshian et al., 2000)، CMORPH (Joyce et al., 2004)، TRMM (Huffman et al., 2004)، APHRODITE (Yatagai et al., 2012) و ERA-Interim (Dee et al., 2011) اشاره نمود. تاکنون مطالعات متعددی در بخش‌های مختلف ایران در زمینه ارزیابی منابع بارشی ماهواره‌ای به انجام رسیده است که در ادامه به برخی از آنها پرداخته شده است. (2018) Moghari et al. داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه ۴ محصول ماهواره‌ای CRU, PCC, PERSIANN-CDR و UDEL را در ۸۵ ایستگاه سینوپتیک کشور مورد ارزیابی قرار دادند و به این

CDR و PERSIAN-CCs می‌باشد، در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ استفاده شده است. در جدول ۱ مشخصات مربوط به هر کدام از محصولات مذکور ارائه گردیده است. از سامانه CHRS به نشانی <https://chrsdata.eng.uci.edu> نیز برای دسترسی به هر کدام از محصولات خانواده PERSIAN می‌توان استفاده نمود. توان تفکیک مکانی و زمانی منبع PERSIAN-CCs به ترتیب معادل ۰/۰۴ درجه و ۱ ساعت است و این در حالی است که برای دو منبع دیگر توان تفکیک مکانی و زمانی به ترتیب در حدود ۰/۲۵ درجه و ۱ روز می‌باشد. همچنین برای به چالش کشیدن توانایی هر کدام از داده‌های بارشی مذکور در تخمین بارش ماهانه بخش‌های مختلف ایران از داده‌های بارشی مشاهده شده در ۳۵۵ ایستگاه سینوپتیک کشور استفاده به عمل آمد (<https://data.irimo.ir/>). برای اینکه بهتر بتوان وضعیت آماری ایستگاه‌های سینوپتیک مذکور را ارزیابی نمود، تعداد سالهای آماری موجود در ایستگاه‌ها به سه دسته تقسیم و توزیع مکانی و همچنین نمودار فراوانی آنها ترسیم گردید (شکل ۲).

با توجه به شکل ۲ در حدود ۸۲ درصد از ایستگاه‌های هواشناسی دارای آمار بیش از ۱۰ سال می‌باشند و این در حالی است که تنها ۱۸ درصد از ایستگاه‌های موجود دارای آمار کمتر از ۱۰ سال هستند. همچنین در مناطق کوهستانی، کوه پایه‌های البرز و زاگرس ایستگاه‌های زمینی دارای بیشترین تراکم و در مناطق کویری دارای کمترین پراکندگی هستند.

### ۲-۳- شاخص‌های آماری مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش برای ارزیابی هر کدام از محصولات خانواده PERSIAN از دو مجموع از شاخص‌ها استفاده شده است که شاخص‌های گروه اول شاخص‌های پیوسته آماری متشکل از CC و RMSE هستند و شاخص‌های گروه دوم به شاخص‌های جدولی (Contingency table) معروف هستند که شامل Accuracy، POD، FAR، Bias و CSI می‌باشند (جدول ۲).

در جدول ۲،  $R_{ob}$ : مقادیر بارش مشاهده‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی،  $R_{sat}$ : مقادیر بارش بدست آمده از منبع بارشی ماهواره‌ای،  $n$ : تعداد داده‌ها بارشی در طول بازه زمانی،  $\bar{R}_{obs}$ : میانگین مقادیر بارش مشاهداتی،  $\bar{R}_{sat}$ : میانگین مقادیر بارش بدست آمده از هر کدام از محصولات خانواده PERSIAN می‌باشند. در این بین شاخص‌های گروه اول براساس مقدار بارش برآوردی تعیین می‌شوند، در حالی که شاخص‌های گروه دوم براساس رخداد یا عدم رخداد بارش تعیین می‌شوند (Azizian and Ramezani, 2019).

مشاهداتی و شبیه‌سازی و کمترین خطا در برآورد دبی‌های اوج و حجم رواناب می‌گردد.

همانطور که ملاحظه می‌گردد از میان منابع بارش ماهواره‌ای مختلف، منبع PERSIAN با توجه به توان تفکیک زمانی و مکانی بهتر آن نسبت به منابعی همچون CRU، UDEL، GPCC مورد توجه محققین متعددی به ویژه در سطح کشور می‌باشد. منبع PERSIAN شامل سه محصول بارشی مختلف به نام‌های PERSIAN، PERSIAN-CCs و PERSIAN-CDR می‌باشد که هر کدام از الگوریتم‌های متفاوتی برای تخمین بارش استفاده می‌کنند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی سه منبع فوق که به محصولات خانواده PERSIAN معروف هستند، در مقیاس ماهانه و در سطح کل کشور با استفاده از ۳۵۵ ایستگاه سینوپتیک به انجام رسیده است. همچنین آنچه که تاکنون در سطح کشور بدان پرداخته نشده است، بررسی عملکرد منابع مذکور در اقلیم‌ها و شرایط توپوگرافی مختلف کشور می‌باشد. لذا بررسی اثر اقلیم و شرایط توپوگرافی سطح زمین بر عملکرد هر کدام از محصولات خانواده PERSIAN از دیگر اهداف این پژوهش بشمار می‌آید. در پژوهش حاضر از روش طبقه‌بندی اقلیمی De Martonne اصلاح شده توسط (Rahimi et al., 2013) برای شناسایی اقلیم‌های مختلف ایران و از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متری SRTM استفاده شده است.

### ۲- مواد و روش‌ها

#### ۲-۱- محدوده مورد مطالعه

کشور ایران در جنوب غربی آسیا (خاورمیانه) و در بین مختصات طولی ۴۴/۵-۶۳/۲ درجه و مختصات عرضی ۲۵/۳-۳۹/۵ درجه واقع شده است. مساحت تقریبی کشور ایران در حدود ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع بوده و حدود ارتفاعی آن بین ۲۵ متر زیر سطح دریا در مناطق شمالی و ۵۶۰۰ متر در کوه البرز متغیر است (Rahimi et al., 2013). وضعیت توپوگرافی ایران بسیار متنوع است، بطوریکه شامل دو کوه مرتفع و دو کویر بزرگ است (کویر لوت و مرکزی) و همین مسأله موجب شده است که مناطق مختلف ایران دارای اقلیم‌های متفاوتی باشند. تفاوت توپوگرافی و اقلیمی بخش‌های مختلف ایران موجب تغییر الگو و میزان بارش در سطح آن شده است.

#### ۲-۲- داده‌های مورد استفاده در پژوهش

همانطور که عنوان شد، در این پژوهش از داده‌های بارشی خانواده PERSIAN که شامل ۳ محصول PERSIAN، PERSIAN-CCs و PERSIAN-CDR می‌باشند، استفاده شده است.

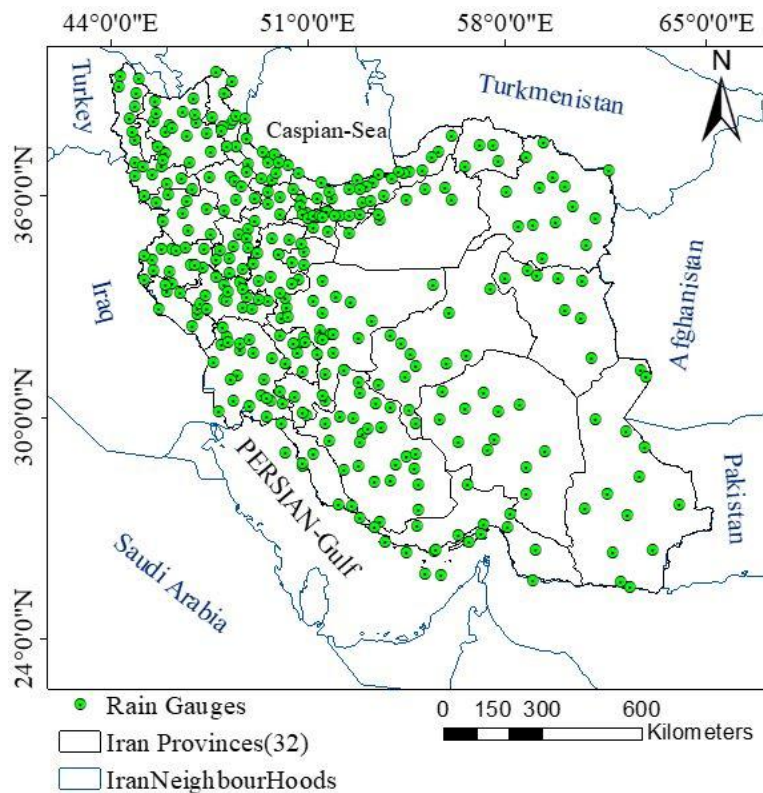


Fig. 1- Geographical location of Iran and spatial distribution of synoptic stations

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایران و نحوه توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک

Table 1- Basic attributes of used precipitation dataset in this study

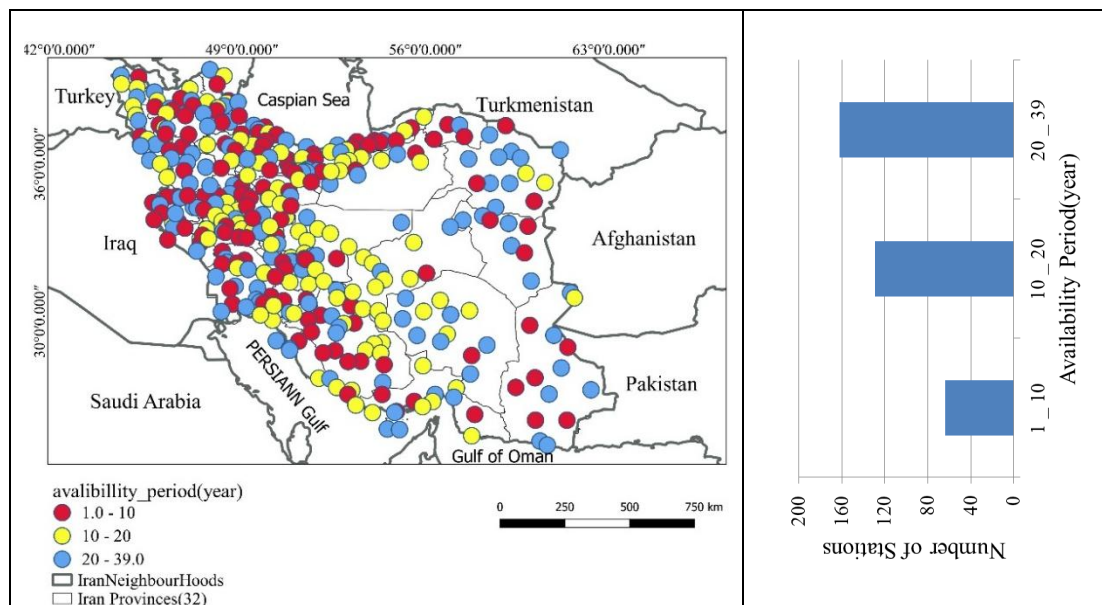
جدول ۱- اطلاعات کلی مجموعه داده‌های بارشی استفاده شده در این پژوهش

| Dataset            | Availability period | Spatial coverage | Temporal resolution | Spatial resolution |
|--------------------|---------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| PERSIANN           | Mar 2000–present    | 60° S–60° N      | 1 day               | 0.25° × 0.25°      |
| PERSIANN-CCS       | Jan 2003–present    | 60° S–60° N      | 1 hr                | 0.04° × 0.04°      |
| PERSIANN-CDR       | Jan 1983–present    | 60° S–60° N      | 1 day               | 0.25° × 0.25°      |
| Gauge Observations | Jan 1979-Jul 2019   | Iran             | 1 Month             | -                  |

Table 2- Used statistical and table indices in the research (Azizian and Ramezani, 2019)

جدول ۲- شاخص‌های آماری و جدولی مورد استفاده در پژوهش (Azizian and Ramezani, 2019)

| No | Measure                  | Equation  |
|----|--------------------------|---|
| 1  | Root Mean Square Error   | $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{ob} - R_{sat})^2}$   |
| 2  | Correlation Coefficient  | $CC = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{ob} - \bar{R}_{obs})(R_{sat} - \bar{R}_{sat})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{ob} - \bar{R}_{obs})^2 \sum_{i=1}^n (R_{sat} - \bar{R}_{sat})^2}}$ |
| 3  | Bias                     | $Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{sat} - R_{ob})}{n}$  |
| 4  | Probability of Detection | $POD = \frac{Hit}{Hit + Miss}$  |
| 5  | False Alarm Ratio        | $FAR = \frac{False\ Alarm}{Hit + False\ Alarm}$   |



**Fig. 2- Spatial distribution and frequency of available years**  
**شکل ۲- توزیع مکانی و فراوانی سالهای آماری موجود ایستگاههای سینوپتیک**

مدیترانه‌ای (Semi-Arid, A2)، شبه‌خشک (Arid, A1.2)، مدیترانه‌ای (Mediterranean, A3)، شبه‌مرطوب (Semi-Humid, A4)، مرطوب (Humid, A5)، خیلی مرطوب نوع A (Per-Humid A)، خیلی مرطوب نوع B (Per-Humid B, A7) تقسیم می‌شوند (شکل ۳). در پژوهش حاضر توانایی هر کدام از محصولات بارشی PERSIANN در اقلیم‌های مذکور مورد ارزیابی قرار گرفته است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- ارزیابی عملکرد محصولات بارشی PERSIANN در تخمین بارش ماهانه

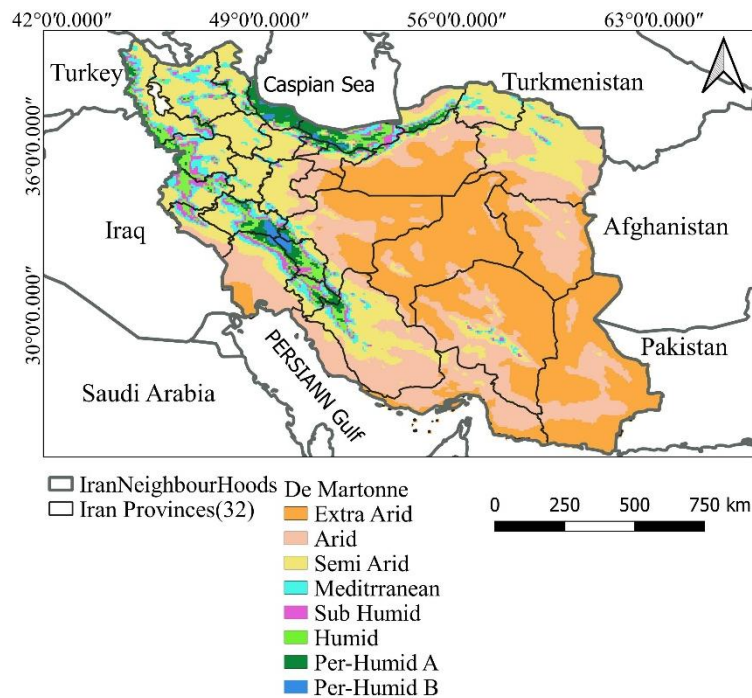
به منظور بررسی دقیق‌تر میزان کارایی سه محصول PERSIANN، PERSIAN-CCs و PERSIAN-CDR، مقادیر شاخص‌های آماری Bias و RMSE در محل تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک نسبت به داده‌های مشاهداتی محاسبه گردید که نتایج آن در شکل‌های ۴ تا ۸ و جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج بدست آمده نشان داد که برای محصول PERSIANN مقدار ضریب CC در کل کشور بین ۰/۴۵- تا ۰/۸ متغیر بوده و مقدار متوسط این شاخص در سطح کشور در حدود ۰/۴۹ است. برای محصول PERSIAN-CCs نیز مقدار حداکثر، حداقل و متوسط شاخص آماری CC در سطح کشور به ترتیب در حدود ۰/۸۱، ۰/۳۶- و ۰/۵۱ می‌باشد.

شاخص POD، نشان‌دهنده نسبت تعداد روزهای بارانی تشخیص داده شده توسط منبع بارشی به تعداد کل رخدادهای بارش مشاهده شده در ایستگاه سینوپتیک است. محدوده عددی این شاخص بین صفر و ۱ است که هر چه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، توانایی منبع بارش ماهواره‌ای در پیش‌بینی وقوع بارندگی، بالا می‌باشد. شاخص FAR نیز برای بررسی عملکرد پایگاه بارشی در تشخیص‌های اشتباه مورد استفاده قرار می‌گیرد. محدوده عددی این شاخص نیز بین صفر و ۱ است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، حاکی از عملکرد مناسب منبع ماهواره‌ای خواهد بود. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد شاخص‌های جدولی به Ebert (1996) مراجعه شود.

#### ۲-۴- طبقه‌بندی اقلیمی ایران به روش De Martonne اصلاح شده

برای اینکه بتوان کارایی محصولات بارشی خانواده PERSIANN را در اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار داد، بایستی از یک روش مناسب برای طبقه‌بندی اقلیمی ایران استفاده نمود. در حال حاضر روشهای اقلیمی مختلفی وجود دارد که هر کدام بر اساس یک معیار مشخص به طبقه‌بندی اقلیمی یک منطقه می‌پردازند. روش De Martonne با توجه به در نظر گرفتن متغیرهایی همچون بارش و دما، یکی از کاربردی‌ترین روشهای طبقه‌بندی اقلیمی می‌باشد که توسط Rahimi et al. (2013) برای کشور ایران اصلاح و تعدیل شده است. در این روش، اقلیم‌های موجود در سطح ایران به هشت دسته کلی که عبارتند از: خیلی خشک (Extra-Arid, A1.1)، خشک



**Fig. 3- Iran climate map by the way of modified De Martonne (Rahimi et al., 2013)**  
 شکل ۳- نقشه اقلیمی ایران به روش دومارتن اصلاح شده (Rahimi et al., 2013)

PERSIANN-CCs عملکرد این محصول در محدوده رشته کوه‌های زاگرس به مراتب بهتر بوده و میزان خطای بین بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای نسبتاً پایین می‌باشد. مقدار شاخص RMSE بین داده‌های مشاهده‌ای و محصول بارشی PERSIAN-CCs در بیشتر بخش‌های کشور بین ۳۰ تا ۹۰ میلیمتر می‌باشد و این مطلب حاکی از آن است که این محصول نسبت به دو محصول PERSIAN-CDR و PERSIANN از خطای زیادی در برآورد مقدار بارش برخوردار می‌باشد. مقدار خطای این محصول در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی کشور نسبت به دیگر مناطق به مراتب کمتر می‌باشد. نکته قابل توجه در مورد هر سه محصول مذکور این است که خطای آنها در برآورد بارش در حوضه آبریز خزر که یک حوضه مرطوب می‌باشد بسیار بالا بوده و لذا استفاده از آنها در چنین محدوده‌هایی نیازمند احتیاط و اصلاح اریب از داده‌ها می‌باشد.

بررسی مقدار شاخص Bias نیز که نشان‌دهنده متوسط اختلاف بین مقادیر بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای است حاکی از آن است که محصول PERSIANN در مناطق شمال و شمال غربی کشور تمایل به کم‌برآوردی دارد و با حرکت به سمت جنوب و جنوب شرق کشور مقدار بیش‌برآوردی آن افزایش می‌یابد. محصول PERSIANN-CCS نیز همانند محصول PERSIANN عمل کرده با این تفاوت که مقدار بیش‌برآوردی آن در مناطق جنوبی کشور افزایش یافته است. بر

محصول PERSIANN-CDR نسبت به دو محصول فوق از همبستگی بسیار بهتری با داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک برخوردار می‌باشد، بطوریکه مقدار متوسط شاخص CC در سطح کشور در حدود ۰/۷۶ می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از آن است که در حدود ۹۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار این شاخص همواره بالاتر از ۰/۶ است و این در حالی است که برای دو محصول PERSIANN و PERSIANN-CCs به ترتیب ۴۹ و ۴۰ درصد از ایستگاه‌ها دارای همبستگی بالای ۰/۶ می‌باشند.

بر اساس شاخص RMSE نیز (که مبین میانگین خطاهای موجود بین داده‌های مشاهده‌ای و منبع بارشی می‌باشد) محصول PERSIANN در مناطق مرکزی، شرقی، جنوب شرقی، شمال شرقی و شمال غربی دارای کمترین مقدار است. مقدار شاخص RMSE برای این مناطق بین ۷/۸ تا ۳۰ میلیمتر متغیر می‌باشد. برای ایستگاه‌های واقع در محدوده رشته کوه‌های زاگرس (شامل بخش‌های غربی و جنوب غربی کشور) و نیز حوضه آبریز خزر مقدار این شاخص همواره بالاتر از ۳۰ میلیمتر بوده و حتی در برخی مناطق مقدار آن بیشتر از ۹۰ میلیمتر نیز می‌باشد. به عبارت دیگر خطای این محصول بارشی در محدوده‌های مذکور بسیار بالا است. برای محصول PERSIANN-CDR مقدار RMSE در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه همواره بین ۶/۴ تا ۳۰ میلیمتر می‌باشد. بر خلاف دو محصول PERSIANN و

عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN برای چند ایستگاه زمینی واقع در بخش‌های مختلف کشور نشان داده شده است.

### ۳-۲- ارزیابی محصولات خانواده PERSIANN با استفاده از شاخص‌های جدولی

در این بخش به ارزیابی محصولات بارشی PERSIANN با استفاده از دو شاخص جدولی به نام‌های POD و FAR پرداخته شده است (شکل ۸).

طبق محاسبات صورت گرفته، مقدار متوسط شاخص FAR در سطح کشور برای سه محصول PERSIANN، PERSIANN-CCs و PERSIANN-CCR به ترتیب در حدود ۰.۱۲، ۰.۱۲/۳ و ۰.۲۱ درصد بوده و برای هر سه محصول با حرکت از سمت شمال به جنوب بر میزان گزارشات اشتباه بارش افزوده می‌شود.

خلاف دو محصول مذکور، محصول بارشی PERSIANN-CCR نتایج بهتری را به دست داده که علت اصلی آن، تعدیل خطاهای این منبع با استفاده از اطلاعات مشاهداتی پایگاه داده‌های بارش GPCP (پروژه اقلیم‌شناسی بارش جهانی) است. هرچند این محصول نیز مقادیر باران را در مناطق ساحلی دریای خزر کم‌برآورد می‌نماید و با حرکت به سمت مناطق جنوبی کشور، مقدار بیش برآوردی آن افزایش می‌یابد. هرچند لازم به ذکر است که با روشهای مختلف حذف اربب (Bias-Correction Methods) می‌توان تا حدود زیادی مقدار شاخص Bias هر کدام از محصولات خانواده PERSIANN را کاهش داد. بررسی مقادیر به دست آمده در این پژوهش با تحقیقات صورت گرفته توسط سایر پژوهشگران همخوانی مناسبی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال (Javanmard et al. 2010) با ارزیابی داده‌های بارشی مبتنی بر ماهواره TRMM و APHRODITE به این نتیجه رسیدند که هر دو پایگاه در منطقه کوهستانی زاگرس و کرانه دریای خزر مقدار بارش را کم برآورد می‌نمایند. در شکل‌های ۶ و ۷ نیز نمونه‌ای از

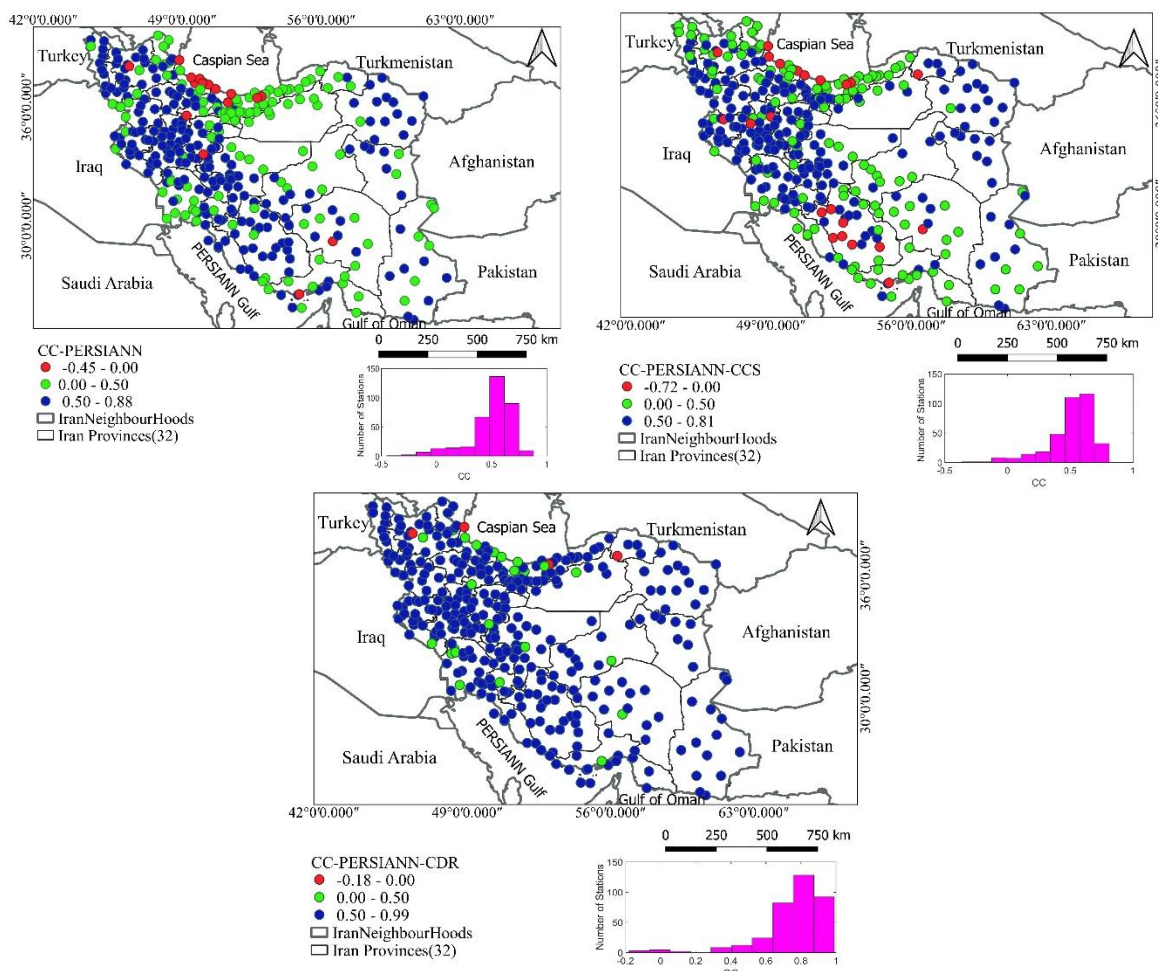
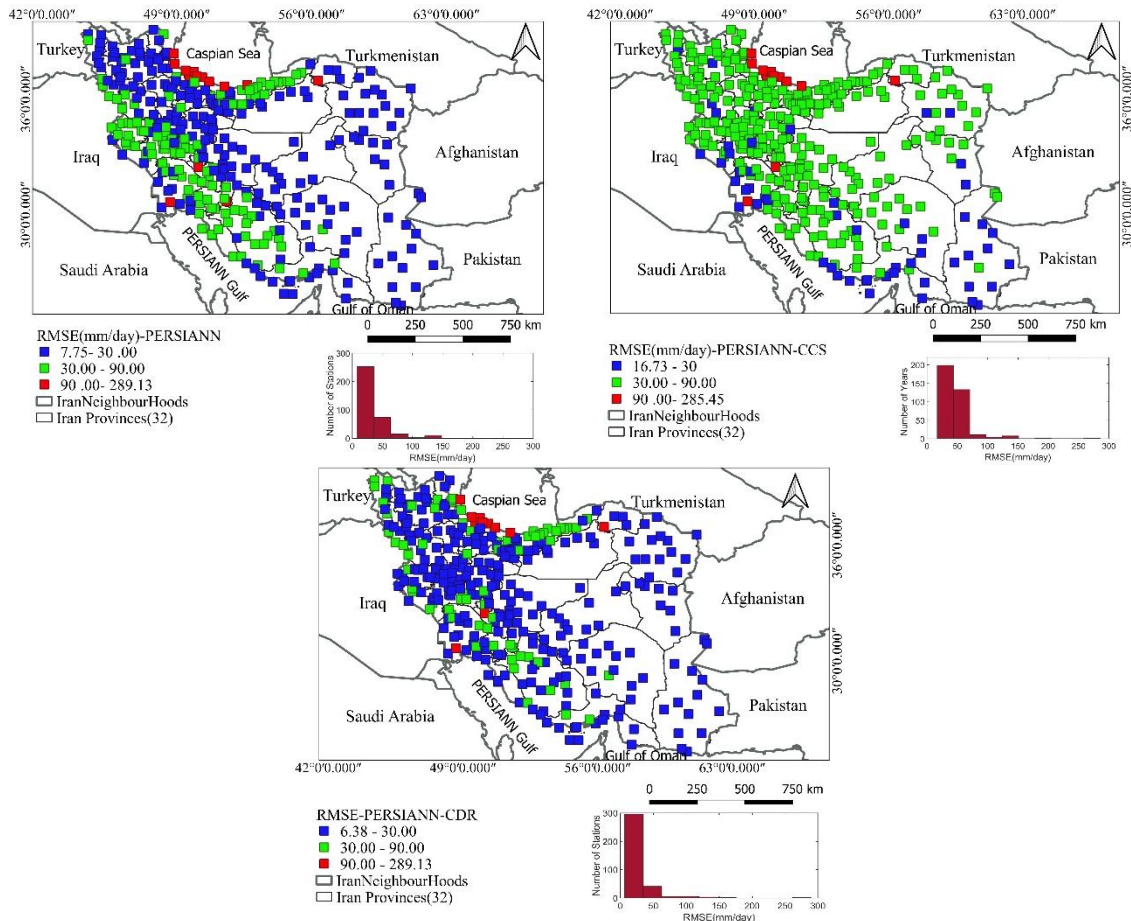


Fig. 4- Spatial distribution of CC over Iran for the PERSIANN family pProducts  
 شکل ۴- توزیع مکانی شاخص آماری CC در سطح کشور برای محصولات بارشی خانواده PERSIANN

**Table 3- Statistical features of PERSIANN family products over Iran**  
**جدول ۳- مشخصات آماری هر کدام از محصولات خانواده PERSIANN در سطح ایران**

| Statistic    | PERSIANN |        |        | PERSIANN-CCS |        |        | PERSIANN-CDR |       |        |
|--------------|----------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------------|-------|--------|
|              | Min      | Mean   | Max    | Min          | Mean   | Max    | Min          | Mean  | Max    |
| CC           | -0.45    | 0.49   | 0.88   | -0.36        | 0.51   | 0.81   | -0.18        | 0.76  | 0.99   |
| RMSE(mm/day) | 7.75     | 33.81  | 289.13 | 16.73        | 45.84  | 289.45 | 6.38         | 27.53 | 289.13 |
| RB (%)       | -84.79   | -25.36 | 207.06 | -55.99       | 106.77 | 955.59 | -81.36       | 31.04 | 365.63 |
| NSE          | -4.58    | -0.09  | 0.60   | -51.01       | -3.74  | 0.64   | -8.62        | 0.04  | 0.87   |



**Fig. 5- Spatial distribution of RMSE for PERSIANN family products over Iran**  
**شکل ۵- توزیع مکانی شاخص آماری RMSE در سطح کشور برای محصولات بارشی خانواده PERSIANN**

مکانی شاخص POD نشان می‌دهد که منبع PERSIANN-CDR به جز چند ایستگاه خاص، همواره بالاتر از ۰/۹ می‌باشد.

همچنین منبع PERSIANN-CCs نسبت به PERSIANN از الگوریتم بهتری جهت تشخیص روزهای بارانی برخوردار می‌باشد که با توجه به توان تفکیک بالای آن (ابعاد سلولی در حدود ۴ کیلومتر) نسبت به دو محصول دیگر، به نظر می‌رسد از کارایی بهتری جهت استفاده در مطالعات شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیلاب به ویژه در حوضه‌های کوچک مقیاس و میانه مقیاس برخوردار باشد.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که در بیش از ۷۸ درصد ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی، میزان شاخص FAR برای محصولات خانواده PERSIANN همواره کمتر از ۰/۲۰ می‌باشد و همین مسأله توانایی بالای این منابع را در تشخیص روزهای بارانی از غیر بارانی نشان می‌دهد. ارزیابی شاخص POD نیز حاکی از آن است که سه منبع PERSIANN، PERSIANN-CCs و PERSIANN-CDR به ترتیب در بیش از ۹۳، ۹۲ و ۹۸ از رخدادهای مورد بررسی، روزهای بارانی را درست پیش‌بینی نموده‌اند. اگرچه عملکرد تمامی محصولات مذکور از نظر این شاخص مناسب ارزیابی می‌شود، اما بررسی توزیع



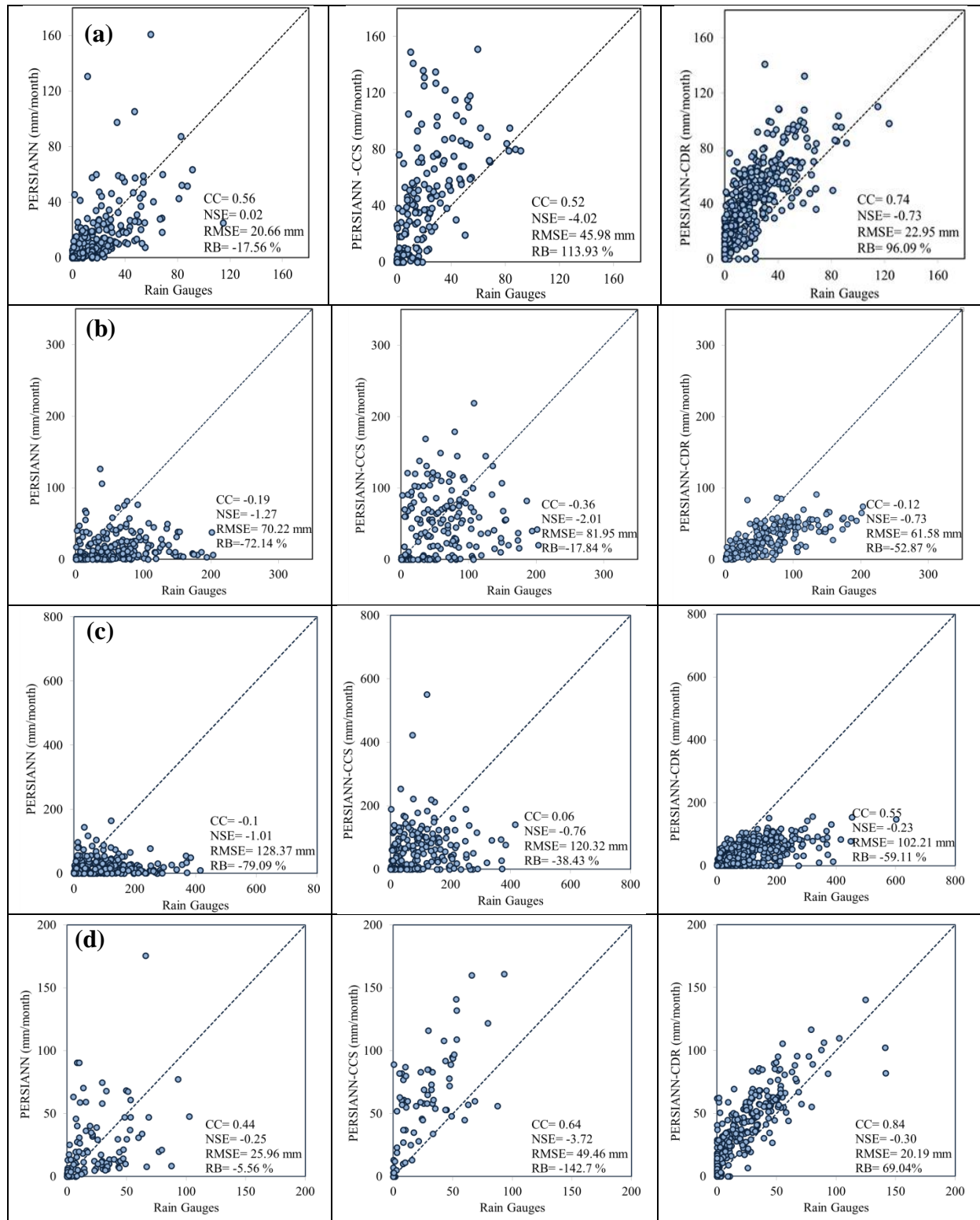


Fig. 6- Performance of the PERSIANN family products in estimating monthly rainfall ( (a) Tabriz, (b) Sari, (c) Rasht, (d) MehrAbad-Tehran synoptic stations.)

شکل ۶- عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN در تخمین بارش ماهانه (ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز (a)، ساری (b)، رشت (c) و مهرآباد-تهران (d))

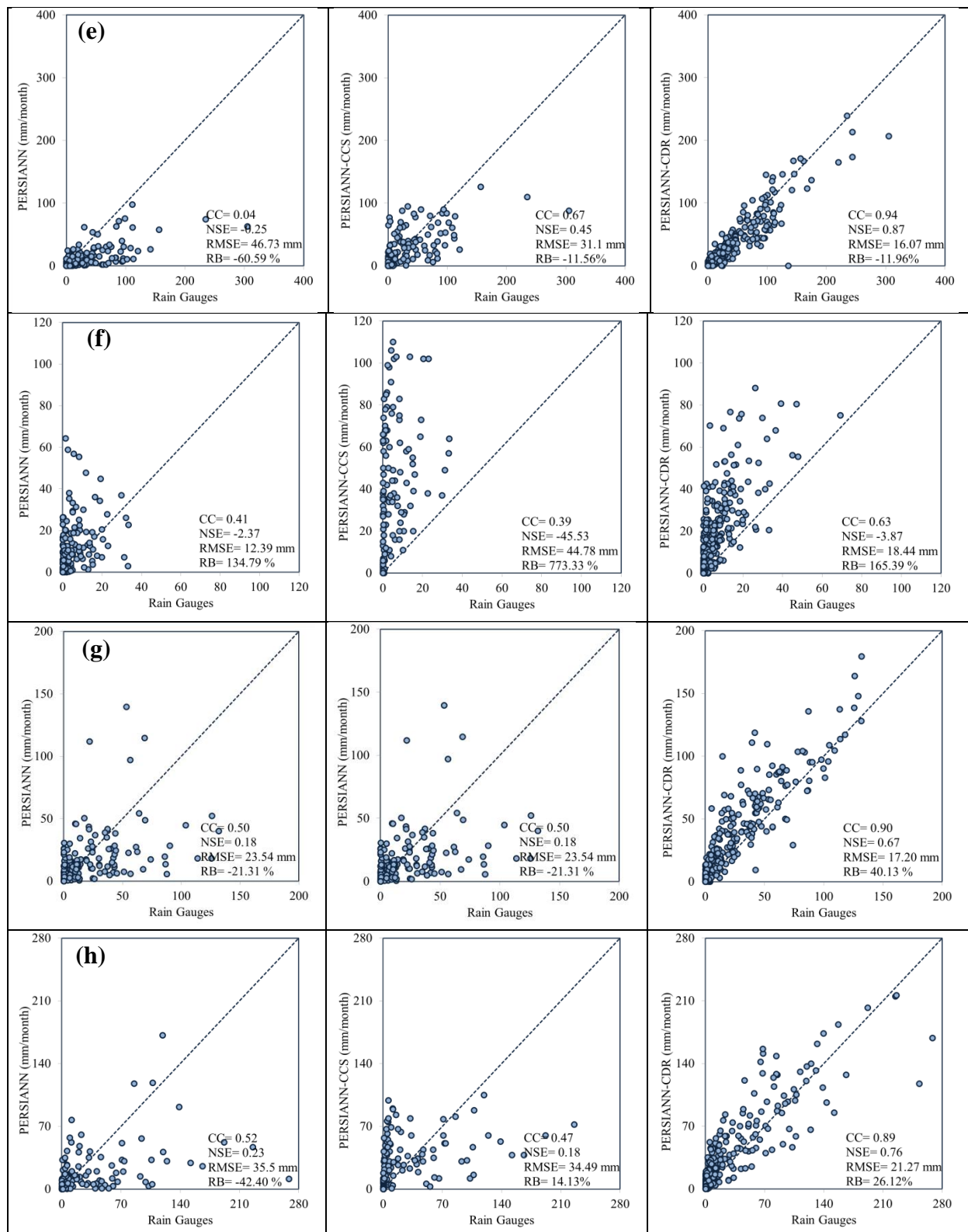


Fig. 7- Performance of the PERSIANN family products in estimating monthly rainfall ((e) Shiraz, (f) Yazd, (g) Ahvaz, (h) Bushehr synoptic stations.)

شکل ۷- عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN در تخمین بارش ماهانه (ایستگاه‌های سینوپتیک شیراز (e)، یزد (f)، اهواز (g) و بوشهر (h))

که استفاده از داده‌های PERSIANN-CDR برای تخمین بارش در مناطق با وضعیت توپوگرافیکی پیچیده و متنوع که فاقد شبکه زمینی مناسب هستند، می‌تواند به عنوان یک راه حل کاربردی مدنظر محققین و مهندسين قرار گیرد.

نتایج بدست آمده در این پژوهش با تحقیقات صورت گرفته در بخش‌های مختلف جهان از تطابق خوبی برخوردار می‌باشد. به عنوان مثال، Mei et al. (2016)، Mayor et al. (2017) و Gadelha et al. (2019) نشان دادند که در مناطق با ارتفاع بالا، همبستگی بین ایستگاه‌های زمینی و منابع بارش ماهواره‌ای دارای بیشترین مقدار می‌باشد.

#### ۳-۴- ارزیابی اثر اقلیم بر عملکرد محصولات PERSIANN

همانطور که عنوان شد، در این پژوهش از روش دومارتن اصلاح شده توسط Rahimi et al. (2013) برای طبقه‌بندی اقلیمی ایران استفاده به عمل آمد و مقدار شاخص CC برای هر کدام از این طبقات محاسبه گردید (شکل ۱۳). نتایج حاکی از آن است که برای تمامی محصولات خانواده PERSIANN، میزان همبستگی بین داده‌های بارش ماهواره‌ای و مشاهداتی در اقلیم‌های مرطوب نسبت به دیگر اقلیم‌ها بالاتر می‌باشد. همچنین در تمامی محصولات بارشی و با حرکت از اقلیم خیلی خشک به مرطوب میزان شاخص CC افزایش می‌یابد. در اقلیم‌های خیلی مرطوب نوع A و B نیز که مقدار بارش‌ها بسیار زیاد می‌باشد، الگوریتم‌های به کار رفته در دو محصول بارشی PERSIANN و PERSIANN-CCs از کارایی لازم برای تخمین بارش برخوردار نمی‌باشند. نمونه بارز این نوع اقلیم‌ها در بخش‌های شمالی کشور (حوضه آبریز خزر)، ارتفاعات استان‌های چهارمحال و بختیاری، لرستان، خوزستان و بخش‌های غربی استان آذربایجان غربی قابل مشاهده می‌باشد. در اقلیم‌های خیلی خشک و مرطوب محصولات خانواده PERSIANN به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار همبستگی با داده‌های زمینی هستند.

لذا با توجه به توضیحات فوق توصیه می‌شود در اقلیم‌های خیلی خشک و خیلی مرطوب از منابع بارشی مبتنی بر سنجش دوری همچون PERSIANN و PERSIANN-CCs استفاده به عمل نیاید. هر چند بر خلاف دو محصول مذکور عملکرد منبع PERSIANN-CDR به علت حذف خطاها توسط داده‌های جهانی GPCP قابل قبول ارزیابی می‌شود.

#### ۳-۳- ارزیابی تأثیر ارتفاع بر عملکرد محصولات خانواده PERSIANN

برای اینکه بهتر بتوان تأثیر ارتفاع را بر عملکرد هر کدام از منابع بارشی مورد ارزیابی قرار داد، نقشه توپوگرافیکی ایران به ۱۰ دسته ارتفاعی مختلف تقسیم گردید و مشخصات آماری برای هر دسته و محصول بارشی محاسبه شد. در شکل ۹ توزیع مکانی مقدار شاخص CC هر کدام از منابع بارشی PERSIANN در ارتفاعات مختلف کشور نشان داده شده است. نمودار جعبه‌ای شاخص CC برای هر کدام از منابع بارشی و در طبقات ارتفاعی مختلف در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ نیز ارائه گردیده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که منبع بارشی PERSIANN در طبقه ارتفاعی اول (رقوم ارتفاعی بین ۲۵- تا ۲۵۰ متر) دارای کمترین میزان همبستگی با ایستگاه‌های زمینی می‌باشند. همچنین، یافته‌های تحقیق حاکی از آن است که تقریباً با افزایش ارتفاع، مقدار همبستگی بین این منبع بارشی و داده‌های زمینی افزایش می‌یابد، به طوری که از ارتفاع ۶۰۰ متر به بالا مقدار متوسط شاخص CC برای طبقات ارتفاعی مختلف همواره بالاتر از ۰/۵۳ می‌باشد. عملکرد منبع بارشی PERSIANN-CCs در ارتفاعات مختلف نیز تا حدود زیادی مشابه با منبع PERSIANN بوده و با کمی اغماض می‌توان آن را برتر از منبع PERSIANN قلمداد کرد. بر خلاف دو منبع مذکور، متوسط شاخص CC برای منبع PERSIANN-CDR و در تمام طبقات ارتفاعی همواره بالاتر از ۰/۷۵ می‌باشد. مقدار این همبستگی حتی در طبقات ارتفاعی بالاتر از ۶۰۰ متر به بالای ۰/۸۰ نیز می‌رسد. نکته مهمی که می‌توان از تأثیر ارتفاع بر عملکرد محصولات خانواده PERSIANN بیان نمود، وجود یک ارتباط قوی بین ارتفاع و میزان همبستگی بین داده‌های بارش ماهواره‌ای و داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

با توجه به توضیحات فوق، می‌توان چنین نتیجه گرفت که ارتفاع عاملی بسیار مهمی در عملکرد منابع بارش ماهواره‌ای است به طوری که در ارتفاعات پایین (به ویژه بخش‌های واقع در نزدیکی دریای خزر و جنوب غربی کشور) منبع بارشی PERSIANN دارای کمترین میزان همبستگی با داده‌های زمینی بوده و خطاهای قابل توجهی را تخمین بارش از خود نشان می‌دهد. علت اصلی این عملکرد ضعیف را می‌توان به اثر جریان‌های همرفتی از سوی دریای خزر و خلیج فارس به سمت خشکی مرتبط نمود که منجر به ایجاد اختلال در عملکرد سامانه‌های بارشی مبتنی بر سنجش از دور می‌شود. همچنین در ارتفاعات بالای ۲۶۰۰ متر به علت کاهش دما و تمایل زیاد به تشکیل برف و یخ، الگوریتم‌های ماهواره‌ای در تخمین ضخامت ابر و ابر قابل بارش توسط آن دچار خطا می‌شوند. یافته‌های این پژوهش مؤید این مطلب است

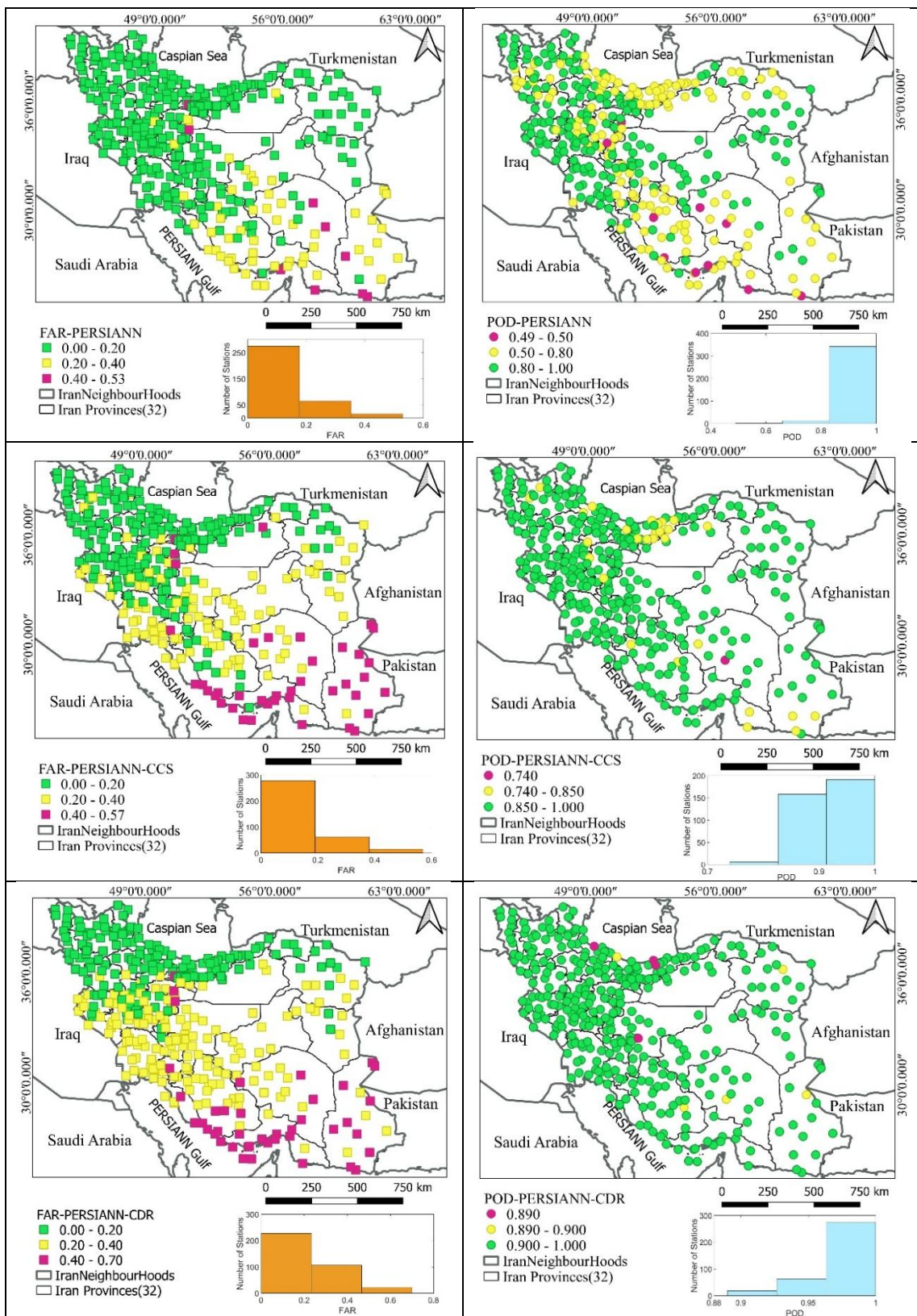
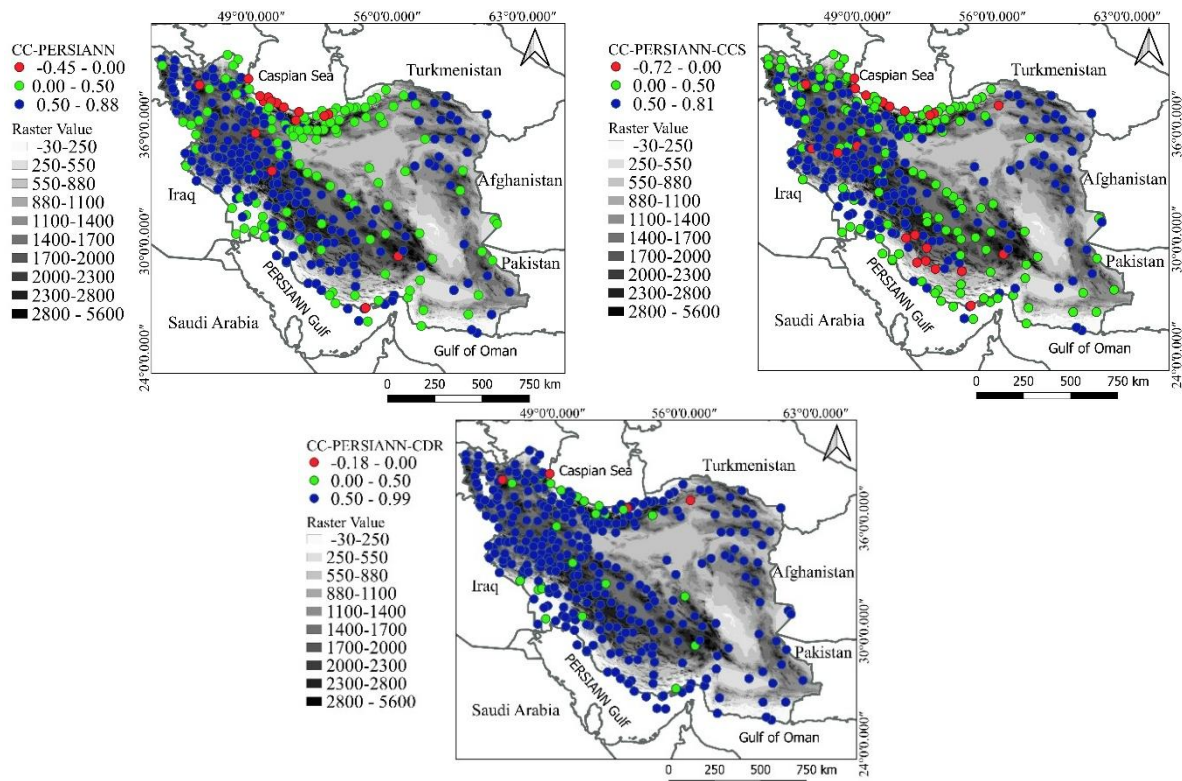
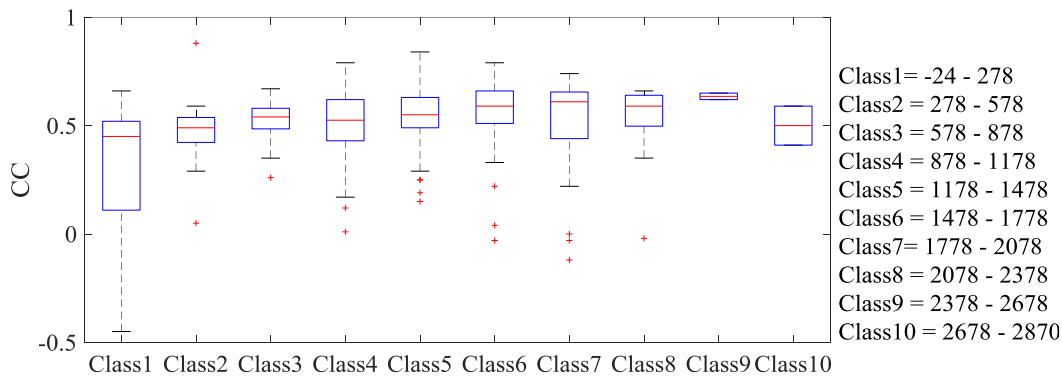


Fig. 8- Spatial distribution of FAR and POD for each PERSIANN family products over Iran

شکل ۸- توزیع مکانی شاخص‌های جدولی FAR و POD برای هر کدام از محصولات بارشی PERSIANN در سطح کشور



**Fig. 9- Spatial distribution of CC for PERSIANN family products in different elevations**  
 شکل ۹- توزیع مکانی شاخص CC هر کدام از محصولات بارشی PERSIANN در ارتفاعات مختلف



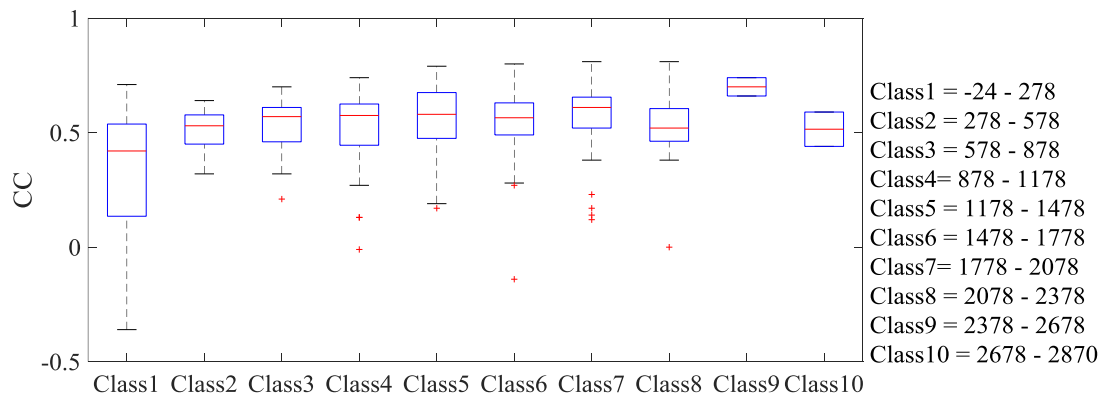
**Fig. 10- Boxplot of CC index for the PERSIANN product**  
 شکل ۱۰- نمودار جعبه‌ای شاخص CC برای محصول PERSIANN

محصولات بارشی خانواده PERSIAN در مقیاس ماهانه (در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹) و در سطح کشور ایران به انجام رسیده است. همچنین بررسی عملکرد منابع بارشی مذکور در اقلیم‌ها و شرایط توپوگرافیکی مختلف ایران از دیگر اهداف این تحقیق به‌شمار می‌آید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که منبع بارشی PERSIANN-CDR با متوسط شاخص CC معادل ۰/۷۶ در سطح کشور، نسبت به دو منبع PERSIANN و PERSIANN-CCs از همبستگی بسیار بالایی با داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک برخوردار می‌باشد.

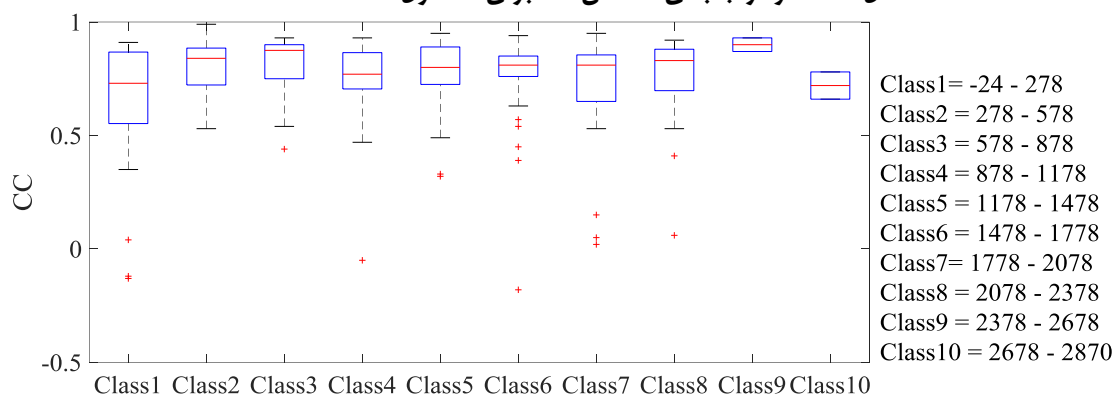
#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

بارش همواره یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی بوده و تخمین صحیح آن همواره از چالش‌های اساسی محققین و مهندسين برای برنامه‌ریزی صحیح منابع آب، پایش وضعیت خشکسالی، پیش‌بینی و مدل‌سازی سیلاب به‌شمار می‌آید.

با توجه به اهمیت این موضوع، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی



**Fig. 11- Boxplot of CC index for the PERSIANN-CCS product**  
 شکل ۱۱- نمودار جعبه‌ای شاخص CC برای محصول PERSIANN-CCS



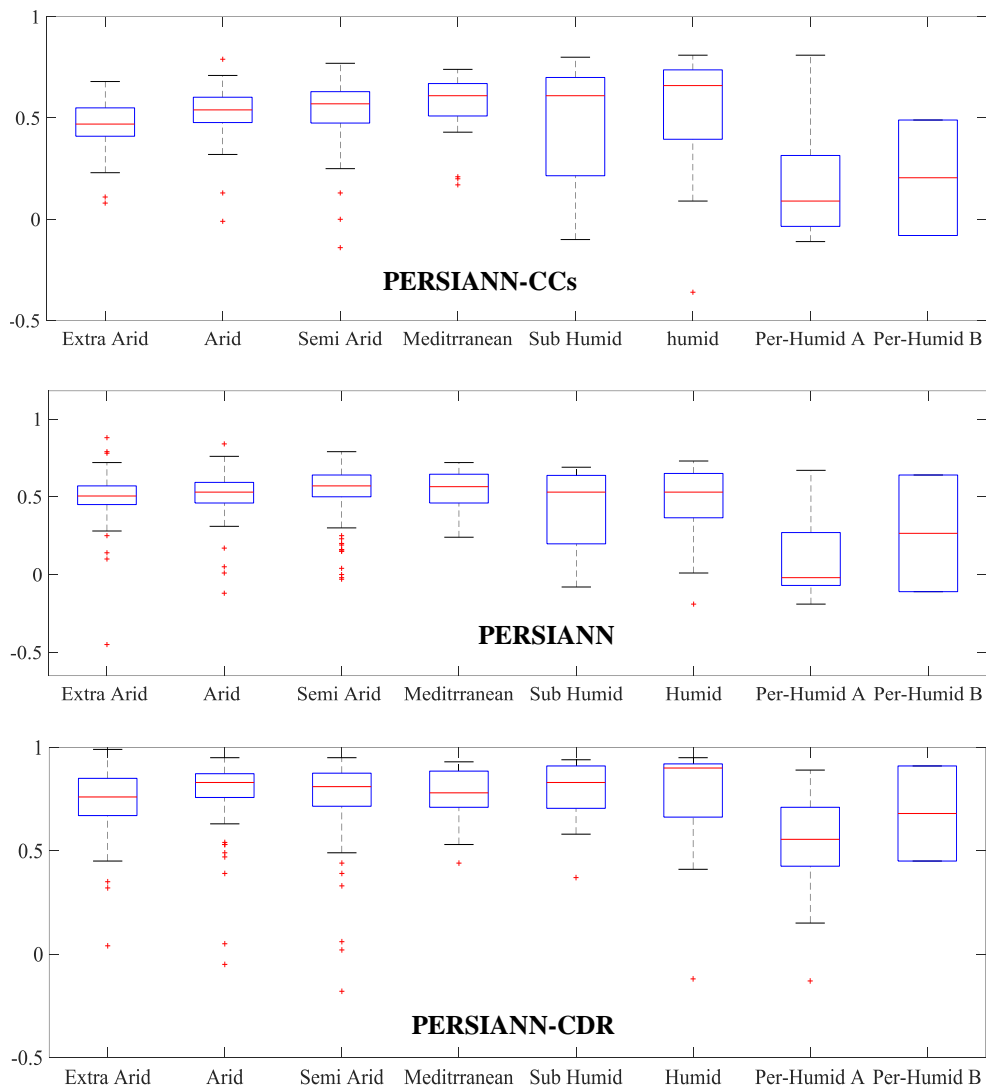
**Fig. 12- Boxplot of CC index for the PERSIANN-CDR product**  
 شکل ۱۲- نمودار جعبه‌ای شاخص CC برای محصول PERSIANN-CDR

بارشی خانواده PERSIANN بالا بوده و میزان شاخص CC نیز پایین می‌باشد.

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین عنوان نمود که محصول PERSIANN-CDR نسبت به دو محصول دیگر از عملکرد مناسبی در سطح کشور ایران برخوردار بوده و می‌تواند در بسیاری از مناطق ایران (به ویژه حوضه‌های فاقد آمار یا دارای آمار کم) به عنوان مکمل ایستگاه‌های زمینی در مقیاس ماهانه مد نظر قرار گیرد.

هرچند لازم به ذکر است که با اعمال روشهای مختلف حذف خطا از داده‌ها می‌توان میزان خطا و عدم قطعیت تمامی محصول PERSIANN را تا حد زیادی کاهش داد و از آنها برای اهدافی همچون مدل‌سازی هیدرولوژیکی، مطالعات بیلان آب و حتی پایش وضعیت خشکسالی استفاده نمود.

مقدار خطای این منبع در برآورد مقدار بارش نسبت به دو منبع دیگر بسیار پایین می‌باشد که علت اصلی آن تعدیل خطاهای این منبع با استفاده از اطلاعات مشاهداتی پایگاه بارشی GPCP است. تمامی محصولات خانواده PERSIANN در مناطق شمال و شمال غربی کشور مقدار بارش را کم برآورد می‌نمایند و این در حالیست که با حرکت به سمت جنوب و جنوب شرق کشور، مقدار بیش برآوردی بارش با نرخ بیشتری افزایش صورت می‌گیرد. بررسی تأثیر ارتفاع بر عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN نیز نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح آزاد دریا میزان همبستگی بین بارش ماهواره‌ای و داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک افزایش می‌یابد. همچنین در ارتفاعات کمتر از ۶۰۰ متر و بالای ۲۶۰۰ متر نیز میزان همبستگی بین بارش بدست آمده از دو محصول PERSIANN و PERSIANN-CCs با داده‌های مشاهداتی نسبتاً ضعیف می‌باشد و این در حالی است که منبع PERSIANN-CDR تقریباً در تمامی طبقات ارتفاعی از عملکرد قابل قبولی برخوردار می‌باشد. از نظر اقلیمی هم نتایج حاکی از آن است که در اقلیم‌های خیلی مرطوب نوع A و B و خیلی خشک میزان خطا در برآورد بارش برای عمده محصولات



**Fig. 13- Boxplot of CC index for each of the PERSIANN products at different climate regions**  
 شکل ۱۳- نمودار جعبه‌ای شاخص CC هر کدام از محصولات بارشی PERSIANN در اقلیم‌های مختلف

hydrological and climate studies. Bulletin of the American Meteorological Society 96:69–83

Azizian A and Etedali HR (2018) Assessing the accuracy of European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). Reanalysis Datasets for Estimation of Daily and Monthly Precipitation 791-777 (In Persian)

Ebert EE, Janowiak JE, and Kidd C (2007) Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. American Meteorological Society 88:47-64

Ghajarnia N, Liaghat A, and Daneshkar Arasteh P (2015) Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin-

۵- مراجع

Adler RF and Negri AJ (1988) A satellite infrared technique to estimate tropical convective and strati form rainfall. Journal of Applied Meteorology and Climatology 27:30–51

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, Hsu K, Sorooshian S, Braithwaite D, Knapp KR, Cecil LD, Nelson BR, and Prat OP (2015) PERSIANNCDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for

- error in IMERG precipitation estimates under different topographic conditions and temporal scales over Mexico. *Remote Sensing* 9
- Mei Y, Nikolopoulos EI, Anagnostou EN, Zoccatelli D, and Borga M (2016) Error analysis of satellite precipitation- driven modeling of flood events in complex alpine terrain. *Remote Sensing* 8
- Nguyen P, Ombadi M, Sorooshian S, Hsu K, AghaKouchak A, Braithwaite D, Ashouri H, and Rose Thorstensen A (2018) The PERSIANN family of global satellite precipitation data: A review and evaluation of products. *Hydrology and Earth System Sciences* 22(11):5801–5816
- 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
- Sorooshian S, Hsu LK, Gao X (2000) Evaluation of PERSIANN System Satellite Based Estimates of Tropical Rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society* 8(2):2035-2045
- Shayeghi A, Azizian A, and Brocca L (2019) The reliability of reanalysis and remotely sensed precipitation products for hydrological simulation over the SRB, Iran. *Hydrological Sciences Journal* 40(20):100-120
- Tang G, Behrangi A, Long D, Li C, and Hong Y (2018) Accounting for spatiotemporal errors of gauges: A critical step to evaluate gridded precipitation products. *Journal of Hydrology* 559:294–306
- Tang G, Ma Y, Long D, Zhong L, and Hong Y (2016) Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales. *Journal of Hydrology* 533:152–167
- Yatagai A, Kamiguchi K, Arakawa O, Hamada A, Yasutomi N, and Kitoh A (2012) APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *Bulletin of American Meteorological Society* 93(9):1401-1415
- Iran. *Atmospheric Research*, Elsevier B.V. 158–159:50–65
- Dee D, Uppala S, Simmons A, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda M, Balsamo G, Bauer P (2011) The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137:553–597
- Hsu KL, Gao X, Sorooshian S, and Gupta HV (1997) Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology* 36:1176–1190
- Hosseini-Moghari SM, Araghinejad S, and Ebrahimi K (2018) Spatio-temporal evaluation of global gridded precipitation datasets across Iran. *Hydrological Sciences Journal*, Taylor & Francis 63(11):1669–1688
- Huffman GJ and Bolvin DT (2013) TRMM and other data precipitation data set documentation. NASA. Greenbelt USA 28
- Jamli JB (2015) Validation of satellite-based PERSIANN rainfall estimates using surface-based APHRODITE data over Iran. *Earth science* 4:150–160
- Javanmard S, Yatagai A, Nodzu M, 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
- Joyce RJ, Janowiak JE, Arkin PA, and Xie P (2004) CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology* 5(2):487-503
- Katiraie-Boroujerdy PS, Nasrollahi N, Hsu K, and Sorooshian S (2013) Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of Arid Environments*, Elsevier Ltd 97(March 2018):205–219
- Mayor YG, Tereshchenko I, Fonseca-Hernández M, Pantoja DA, and Montes JM (2017) Evaluation of