

Comparison of Two High-resolution Gridded Precipitation Data Sets at the Upstream of Maroun Dam in Iran

ALI GORJIZADE^{1*}, ALIMOHAMMAD AKHOOND-ALI², ALI SHAHBAZI³, ALI MORIDI⁴

1. Ph.D. Candidate, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran and Visiting Student in Shahid Beheshti University of Tehran, Tehran, Iran
 2. Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
 3. Assistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
 4. Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
- (Received: Nov. 20, 2018- Revised: Dec. 22, 2018- Accepted: Dec. 25, 2018)

ABSTRACT

Satellite-based precipitation estimations are important and necessary because they are used to compensate the limited rain measurements in areas where there is no continuous monitoring of rainfall due to the dispersion of rain gauge networks. Satellite-based precipitation estimation systems can provide information in areas where rainfall data are not available. Therefore, the accuracy of this type of data is very important. In this study, rainfall data of two long-term satellite data sets (FARSI-CDR and PERSIANN-CCS) at the upstream of Maroun Dam (Dehno, Ghale-Raeesi, Idenak, Margoon stations) during 2003-2014 were used and evaluated on daily, monthly, seasonally and annually basis. The results show that the annual precipitation of each dataset is underestimated in all stations, but the PERSIANN-CCS model compare to the PERSIANN-CDR has better estimations for annual observations. For estimation of seasonal precipitation, the results indicate that the PERSIANN-CCS model is better than the other one for rainfall estimation and rainfall detection. For estimation of monthly and daily precipitation, the results indicate that PERSIANN-CDR data are more appropriate than the other data set. Also, regarding to POD (probability of detection) and FAR (False alarm rate) estimated data, It was found that according to POD index, PERSIANN-CCS precipitation daily data and according to FAR, daily precipitation data of PERSIANN-CDR model have better performance in detecting rainy and non-rainy days.

Keywords: Rainfall estimation, Gridded dataset, Evaluation indicators, Idenak region

مقایسه دو مجموعه داده بارش شبکه‌بندی شده با وضوح بالا در بالادست سد مارون در ایران

علی گرچی زاده^{۱*}، علی محمد آخوندعلی^۲، علی شهبازی^۳، علی مریدی^۴

۱. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید

چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. استاد، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳. استادیار، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴. استادیار دانشکده عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۰/۰۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۰۴)

چکیده

برآورد ماهواره‌ای بارش مهم و ضروری است چرا که برای جبران اندازه‌گیری‌های محدود بارش باران در مناطقی که نظارت مستمر و پیوسته بارش‌ها با توجه به پراکندگی شبکه‌های باران‌سنجی وجود ندارد، کاربرد دارند. سیستم‌های برآورد بارش ماهواره‌ای می‌توانند اطلاعات را در مناطقی که اطلاعات باران‌سنجی در دسترس نیست ارائه دهند. لذا بررسی دقت این نوع داده‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه از داده‌های باران دو مجموعه داده بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR در بالا دست سد مارون (ایستگاه‌های باران‌سنجی دهنو، قلعه-ریسی، ایدنک، مارگون) در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ استفاده گردید و ارزیابی در مقیاس‌های روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بارش سالانه در هر دو مجموعه داده در تمامی ایستگاه‌ها کم‌برآورد می‌شوند ولی مدل PERSIANN-CCS نسبت به PERSIANN-CDR تناسب نزدیک‌تری با داده‌های مشاهده‌ای دارد. در برآورد بارش فصلی، نتایج نشان دهنده مناسب‌تر بودن مدل PERSIANN-CCS در تخمین بارش و تشخیص وقایع بارش نسبت به مدل دیگر می‌باشد. در برآورد بارش ماهانه و روزانه نتایج نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن داده‌های PERSIANN-CDR نسبت به مجموعه داده دیگر می‌باشد. همچنین با توجه به مقادیر POD (احتمال آشکارسازی) و FAR (شاخص هشدار اشتباه) برآورد شده مشخص گردید که از لحاظ شاخص POD، داده‌های روزانه بارش مدل PERSIANN-CCS و طبق شاخص FAR داده‌های بارش روزانه مدل PERSIANN-CDR عملکرد بهتری در آشکارسازی روزهای بارانی و غیر بارانی دارند.

واژه‌های کلیدی: تخمین بارندگی، داده‌های شبکه‌بندی شده، شاخص‌های ارزیابی، منطقه ایدنک

مقدمه

(Bitew & Gebremichael, 2011). این وضعیت با محدود شدن تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی به دلیل مشکلات مالی و یا عدم تعمیر و نگهداری مناسب، تشدید شده است (Adjei *et al.*, 2012). به عنوان یک نقطه ضعف، توزیع نسبتاً پراکنده باران‌سنج‌ها اغلب باعث ضعف تعیین الگوهای باران می‌شود (Javanmard *et al.*, 2010)؛ با این حال ارائه اطلاعات مکانی باران با وضوح بالا از مشاهدات حاصل از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای کار دشواری می‌باشد (Jia *et al.*, 2011). مشاهدات حاصل از ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران می‌تواند به‌طور کلی دقیق‌ترین اندازه‌گیری‌ها در مکان‌های اندازه‌گیری را نشان دهد؛ اما توزیع مکانی نسبتاً ضعیف باران‌سنج‌ها باعث ضعف الگوهای بارش می‌شود (Javanmard *et al.*, 2010). به‌طور کلی، باران‌سنج‌های زمینی دارای مشکلاتی همچون کمبود زیاد داده، اثرات باد،

باران به‌عنوان یک بخش مهم از چرخه هیدرولوژی و یک پارامتر کلیدی محیط‌زیست، آب و هواشناسی محسوب می‌شود (Li & Shao, 2010)؛ و برای بیشتر دستگاه‌های هیدرولوژیکی به‌عنوان ورودی اولیه شناخته می‌شود (Duan *et al.*, 2016). روش سنتی اندازه‌گیری میزان باران، اندازه‌گیری به‌صورت نقطه‌ای بوده که به‌شدت متکی بر مطالعات میدانی می‌باشد و پس‌از آن به یک سطح یا منطقه تعمیم داده می‌شود؛ یک شبکه متراکم باران‌سنجی در کشورهای در حال توسعه به‌طور کلی در دسترس نیست و یا اغلب شامل داده اشتباه یا شکاف‌های بزرگ می‌باشند

* نویسنده مسئول: A-Gorjizade@phdstu.scu.ac.ir

ماهوراهای CMORPH، PERSIANN و روش‌های درون‌یابی در مقیاس ساعتی و روزانه در حوضه آبریز شاپور پرداختند. نتایج نشان داد اگرچه مدل CMORPH^۶ در مقیاس ساعتی همبستگی بیشتری را با داده‌های مشاهداتی دارد، اما در آشکارسازی تعداد روزهای بارانی، مدل PERSIANN نتایج بهتری را ارائه کرده است. (Hosseini moghari *et al.*, 2017). ارزیابی دقت اطلاعات چهار پایگاه بارش شبکه‌بندی شده جهانی در حوضه دریاچه ارومیه پرداختند؛ بر اساس نتایج حاصله داده‌های CRU و GPCC^۷ دارای عملکرد مناسب در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. (Behboodiyani *et al.*, 2016). به ارزیابی و مقایسه محصول بارش ماهواره PERSIANN-CCS و مشاهدات باران‌سنجی، در شبکه باران‌سنجی استان‌های تهران- البرز پرداختند نتایج بیانگر این است که داده‌های حاصل از ماهواره پس از کالیبراسیون با دقت قابل قبولی به مقادیر مشاهداتی نزدیک شده‌اند و می‌توانند مبنایی برای تکمیل اطلاعات و تصمیم‌گیری‌های آبی قرار گیرند. در خارج از ایران نیز (Tan and Santo, 2018) به مقایسه مقادیر بارش ماهواره‌ای در GPM IMERG^۸، 3B42^۹ و PERSIANN-CDR در مالزی پرداختند. همچنین در تحقیقی دیگر (Zhong *et al.*, 2018) در پژوهشی به پایش خشک‌سالی محصولات بارندگی ماهواره‌ای در سراسر چین با استفاده از داده‌های PERSIANN-CDR، CHIRPS و TRMM^{۱۰} پرداختند. (Gao *et al.*, 2018) به مقایسه دو مجموعه داده شبکه‌بندی شده ماهانه با وضوح بالا در سین کیانگ چین پرداختند؛ نتایج نشان می‌دهد که داده‌های CHIRPS نسبت به PERSIANN-CDR در مقیاس ماهانه و سالانه دارای دقت بیشتر می‌باشند. همچنین (Katiraie- Boroujerdy *et al.*, 2017) نیز به بررسی همبستگی بارندگی مدل‌های PERSIANN-CDR و TRMM-3B42V7 در مقیاس زمانی ماهانه و روزانه پرداختند. توزیع مکانی نامناسب باران‌سنج‌ها و عدم دسترسی بودن سری زمانی کامل و بی‌نقص بارش یکی از چالش‌های مهم در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. این موضوع سبب شده است تا تلاش‌های بسیاری در توسعه و ایجاد داده‌های شبکه‌ای بارش با توزیع زمانی مکانی و زمانی مناسب بارش با بهره‌گیری از روش‌های نوین مانند استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و یا مدل‌سازی صورت گیرد. لذا در این تحقیق تلاش می‌شود که عملکرد کلی داده دو

تعداد کم ایستگاه‌ها و غیره هستند (Maggioni *et al.*, 2016) بنابراین ارائه اطلاعات مکانی باران با وضوح بالا از مشاهدات حاصل از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای کار دشواری می‌باشد (Jia *et al.*, 2011). همچنین، اندازه‌گیری‌های باران از طریق رادار مبتنی بر زمین تحت تأثیر ضعف سیگنال، پراکندگی سطح برگشت و عدم قطعیت رابطه‌ی بازتابنده-بارندگی می‌باشد (Einfalt *et al.*, 2004). در دهه‌های اخیر داده‌های سنجش از دور به‌عنوان یک رویکرد اصلی اندازه‌گیری بارندگی شناخته شده است (Tan *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2017) این داده‌ها راه جدیدی در شناسایی تنوع مکانی و زمانی بارش با دقت بالا ارائه می‌دهند (Xie & Xiong, 2011). در مقایسه با اندازه‌گیری‌های زمینی مانند باران‌سنج‌ها و رادارها، داده‌های شبکه‌بندی بارش قادر به پوشش سیستم بارش در مقیاس شبه جهانی، صرف‌نظر از مناطق کوهستانی و اقیانوسی، بوده و قابل‌دسترسی هستند. بنابراین، بارش‌های شبکه‌بندی شده به‌طور گسترده در بسیاری از برنامه‌های کاربردی محیطی مانند تجزیه و تحلیل ویژگی‌های بارش، مدل‌سازی هیدرولوژیکی (Tan & Duan, 2017) و نظارت بر خشک‌سالی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Tao *et al.*, 2016). تعداد زیادی از برآوردهای سنجش از دور و داده‌های بارش شبکه‌بندی شده با تفکیک‌های مکانی و زمانی بالا به‌صورت رایگان در دسترس هستند و می‌توانند جهت تکمیل داده‌های باران‌سنجی و یا حتی جایگزین این نوع اندازه‌گیری‌ها شوند (Fujihara *et al.*, 2014; Thiemi *et al.*, 2013) PERSIANN-CDR^۲ و PERSIANN-CCS^۳ دو نوع از این اندازه‌گیری‌ها می‌باشند که داده‌های ماهواره‌ای-باران‌سنجی محسوب می‌شوند. مشابه اهداف این مقاله در سال‌های اخیر تحقیقاتی در مورد ارزیابی دقت این دو مجموعه داده صورت پذیرفته است که از جمله جدیدترین آن‌ها می‌توان به تحقیق (eghtedari *et al.*, 2018) در آن به مقایسه بارش بهاری حاصل از چهار محصول شبکه‌بندی شده و شبیه‌سازی شده توسط RegCM و ارزیابی آن‌ها با مشاهدات در دشت قزوین نام برد که در آن از مدل‌های بارش شبکه‌بندی شده PERSIANN-CCS^۴، CFSR^۵، CHIRPS و AgMERRA برای انجام این تحقیق بهره گرفتند. (Ghahraman *et al.*, 2018) به مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و اطلاعات بارش

6. CPC MORPHing technique

7. Global Precipitation Climatology Centre

8. Multi-satellitE Retrievals for GPM

9. TRMM Multisatellite Precipitation Analysis

10. Tropical Rainfall Measuring Mission

1. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks

2. Climate Data Record

3. Cloud Classification System

4. Climate Forecast System Reanalysis

5. Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data

نمونه از این پایگاه‌های داده شامل PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه در منطقه بالادست سد مارون با اندازه‌گیری باران‌سنج‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد تا علاوه بر مشخص شدن دقت این نوع داده‌ها بتوان در بهبود عملکرد نسخه‌های آینده داده‌های بارش شبکه‌بندی در محدوده مورد مطالعه مفید قرار گیرد. همچنین در این مطالعه توزیع مکانی شاخص‌های طبقه‌بندی FAR و POD برای مشخص شدن توزیع مکانی دقت آشکارسازی صحیح روزهای دارای وقوع بارش و مکان‌های دارای هشدار اشتباه نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

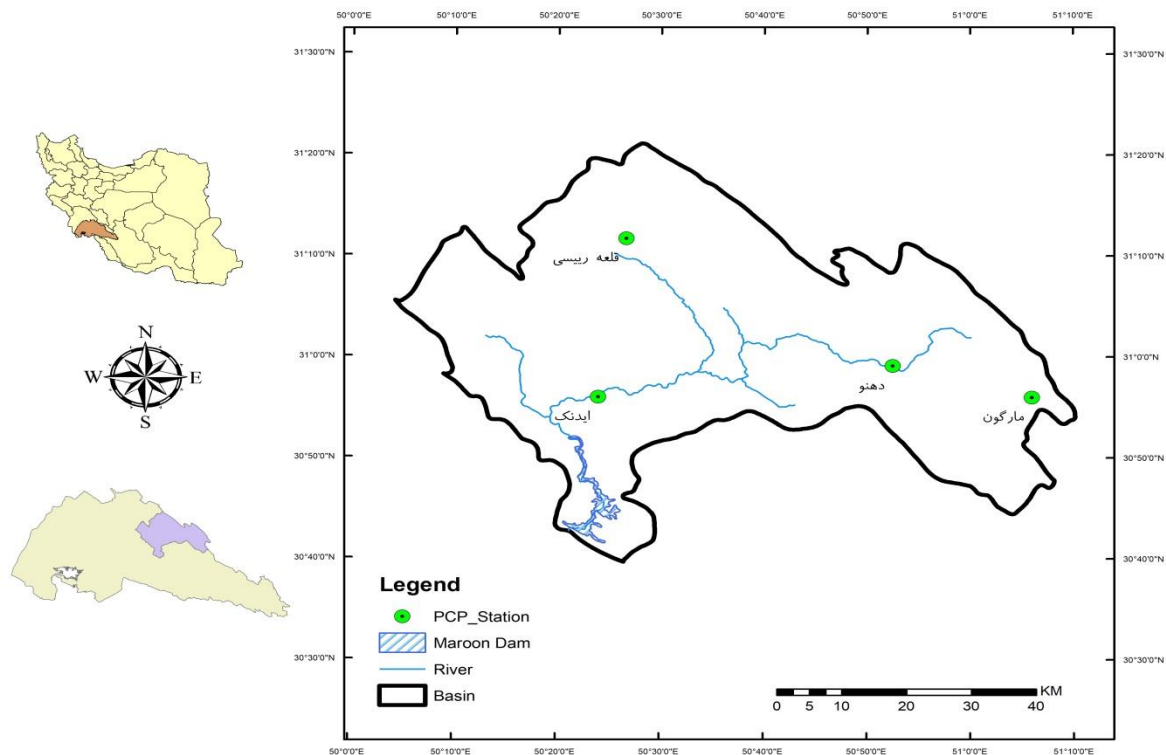
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

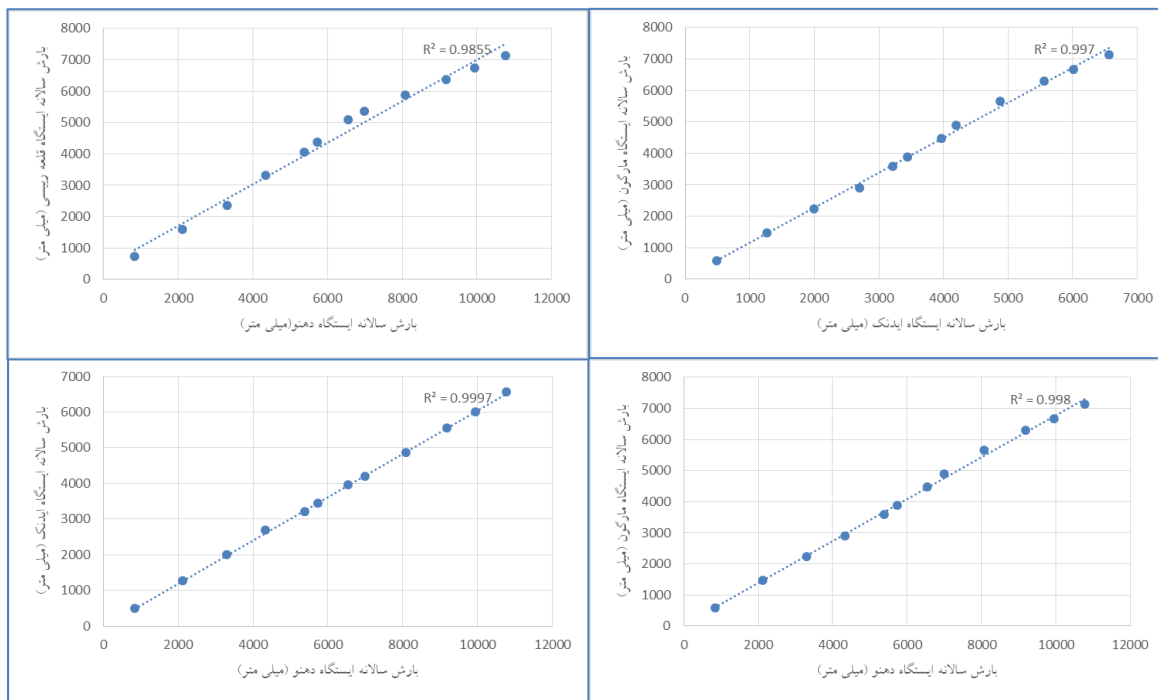
حوضه آبخیز سد مارون یکی از زیر حوضه‌های رودخانه مارون-جراحی بوده که در جنوب غربی ایران در استان کهگیلویه و بویر احمد قرار گرفته است. مساحت این محدوده حدود ۳۸۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد و در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۳۹ دقیقه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی

نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع
	طول	عرض	
ایدنک	۵۰/۴۰۰	۳۰/۹۳۳	۵۸۵
قلعه ریسی	۵۰/۴۴۴	۳۱/۱۹۵	۱۳۰۰
دهنو	۵۰/۸۷۵	۳۰/۹۸۵	۱۳۸۳
مارگون	۵۱/۱۰۰	۳۰/۹۳۳	۲۲۲۰



شکل ۱- محدوده مطالعاتی



شکل ۲- منحنی جرم بارش سالانه در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی

در جدول ۲ نام سری های داده مورد استفاده در این تحقیق، پوشش مکانی هر مجموعه داده، طول و عرض هر پیکسل و دسته بندی این نوع داده ها آمده است.

داده‌های شبکه‌بندی بارش

برای ارزیابی در این مطالعه، دو سری داده PERSIANN-CCR برای ارزیابی در این مطالعه، دو سری داده PERSIANN-CCR و PERSIANN-CCS (P-CCR) در نظر گرفته شد؛ در این بخش مروری کلی درباره هر سری داده ارائه خواهد شد.

جدول ۲- مشخصات مدل‌های شبکه‌بندی بارش مورد استفاده

نام مجموعه داده	پوشش مکانی	وضوح مکانی	دسته‌بندی	طول دوره زمانی
P-CCR	۶۰°S - ۶۰°N	۰/۲۵° × ۰/۲۵°	ماهواره‌ای - باران‌سنجی	ژانویه ۲۰۰۳ تاکنون
P-CCS	جهانی	۰/۰۴° × ۰/۰۴°	ماهواره مبنا	ژانویه ۱۹۸۳ تا دسامبر ۲۰۱۷

استفاده از IR ماهواره‌ای، تصاویر ابر را با استفاده از یک روش منطقه‌ای از هم جدا کنید. گام دوم این است که از ویژگی‌های تکه‌های جدا شده از قبیل آمار، هندسه و بافت در آستانه‌های مختلف دمای روشنایی ابر استخراج شود. گام بعدی دسته‌بندی تکه‌های ابر به خوشه‌های جداگانه با استفاده از یک نقشه ساخته شده است. مرحله نهایی این است که با استفاده از روش تطابق احتمالات و انحراف معیار منحنی، رابطه بین دمای روشنایی تکه‌های ابر و میزان بارندگی برای هر خوشه به دست آید (Mahrooghy et al., 2012). در این مطالعه از داده‌های بارش روزانه PERSIANN-CCS با تفکیک مکانی ۰/۰۴ درجه استفاده شده است.

مجموعه داده PERSIANN-CCR

مجموعه داده PERSIANN-CCR به صورت مشترک توسط

مجموعه داده PERSIANN-CCS

داده‌های ماهواره مبنا PERSIANN یک الگوریتم تخمین بارندگی با استفاده از سنسور از راه دور با به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. الگوریتم پایه مدل بر مبنای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. ورودی‌های پایه‌ی این مدل، دمای بالای ابر حاصل از تصاویر طیف مادون قرمز ابر توسط ماهواره‌های زمین مدار شامل GoEs8 و GoEs9 می‌باشد (Hong et al., 2004). داده‌های PERSIANN-CCS نسل ارتقا یافته داده‌های ماهواره مبنا PERSIANN می‌باشد. الگوریتم تولید داده‌های ماهواره مبنا PERSIANN-CCS قادر به طبقه‌بندی ابرها بر اساس ارتفاع، محدوده‌ی جغرافیایی و تنوع بافت (جنس) ابر می‌باشد. روش PERSIANN-CCS شامل چهار مرحله اصلی برای برآورد بارش است. اولین گام این است که با

نسخه ۲،۲، کالیبراسیون شده است. در این مطالعه از داده‌های بارش روزانه PERSIANN-CDR با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه استفاده شده است.

شاخص‌های ارزیابی

شاخص‌های مختلف ارزیابی و طبقه‌بندی برای مقایسه و ارزیابی مجموعه‌های ماهواره‌ای و به‌منظور مشخص شدن دقت این داده‌ها در محدوده مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول زیر شاخص‌های ارزیابی بکار رفته در این مطالعه آمده است.

دانشگاه کالیفرنیا و NOAA تهیه شده و اطلاعات را از سال ۱۹۸۳ تاکنون ارائه می‌دهد (Ashouri et al., 2015). این الگوریتم، از الگوریتم PERSIANN با استفاده از داده‌های ماهواره Gridded Satellite (GridSat-BI) به عنوان داده‌های ماهواره‌ای اصلی تهیه شده است. سپس، برای ایجاد پارامترهای رگرسیون غیرخطی مدل شبکه عصبی، از داده‌های رادار محلی مراکز ملی پیش‌بینی محیط زیست (NCEP) استفاده شد. برای بهبود قابلیت اطمینان PERSIANN-CDR، با استفاده از پروژه ماهانه Global Precipitation Climatology Project (GPCP)

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده و روابط محاسباتی آن‌ها

مقدار بهینه	معادله	شاخص آماری
۱	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$	ضریب همبستگی
۰	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - G_i)^2}{n}}$	ریشه میانگین مربعات خطا
۰	$RB = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - G_i)}{\sum_{i=1}^n (G_i)}$	خطای نسبی
۱	$POD = \frac{H}{H + M}$	احتمال آشکارسازی (POD)
۰	$FAR = \frac{F}{H + F}$	نرخ هشدار اشتباه (FAR)
۱	$CSI = \frac{H}{H + M + F}$	شاخص آستانه موفقیت (CSI)

داده‌های PERSIANN-CDR تفاوت کمتری به داده‌های بارش سالانه مشاهداتی دارند و بیشترین این اختلاف مربوط به ایستگاه دهنو و کمترین این اختلاف مربوط به ایستگاه ایدنک می‌باشد.

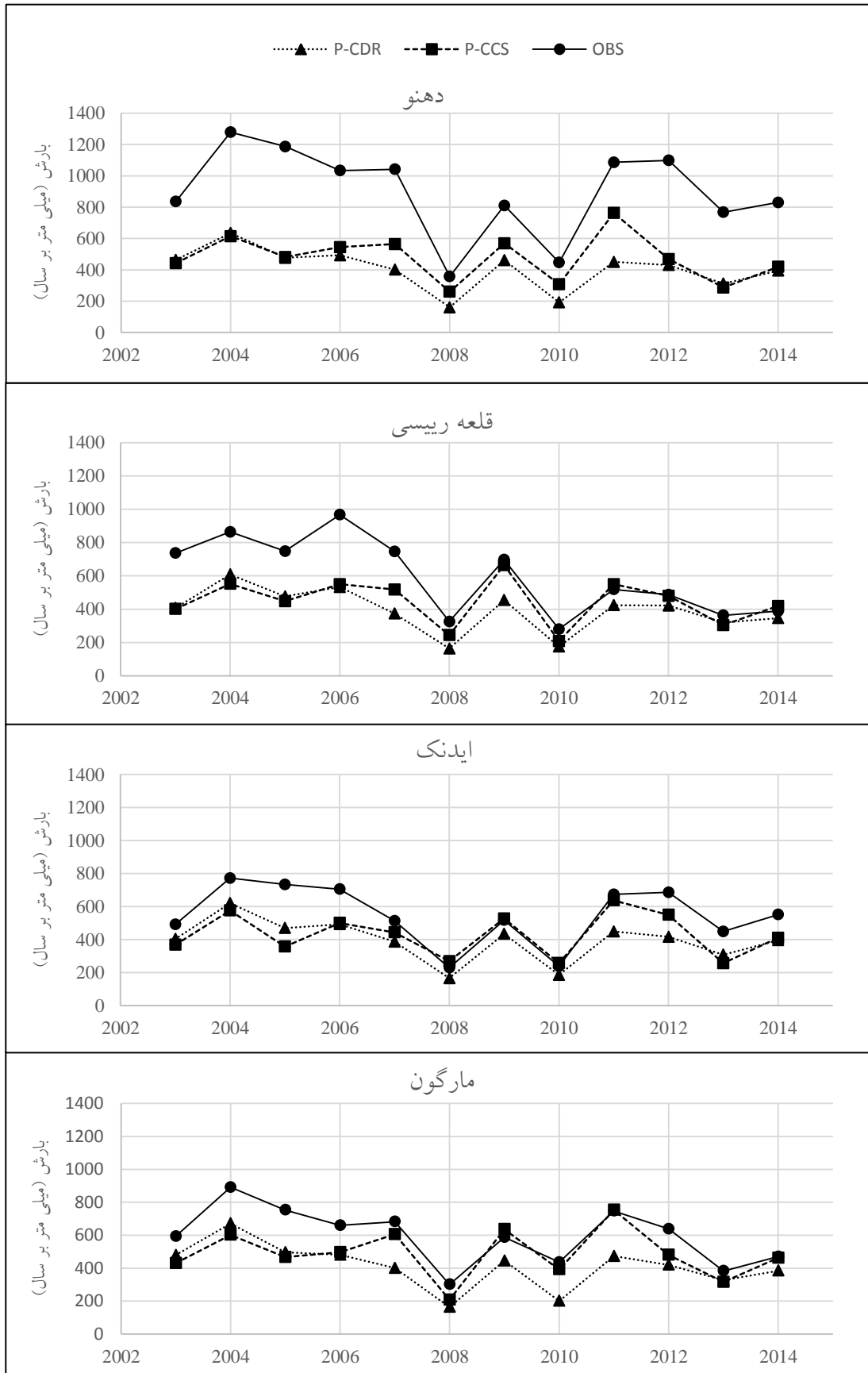
شکل ۴ نشان‌دهنده شاخص‌های ارزیابی بارش سالانه در ایستگاه‌های باران‌سنجی می‌باشد. بر اساس مقادیر RMSE همان‌گونه که مشخص است در تمامی ایستگاه‌ها میزان بارش سالانه مدل PERSIANN-CCS توافق بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد. همچنین بر اساس مقادیر RMSE بهترین عملکرد مدل‌ها در بارش سالانه در ایستگاه مارگون در مدل PERSIANN-CCS و بدترین عملکرد مدل در ایستگاه دهنو در مدل PERSIANN-CDR می‌باشد. بر اساس مقادیر RB نمایش داده شده در شکل ۴ مشخص است که هر دو مدل PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR بیش برآورد عمل

P_i مقدار پیش‌بینی شده و G_i مقدار مشاهده شده است و H تعداد دفعاتی است که باران مشاهده شده به درستی تشخیص داده شده است، M تعداد مشاهداتی است که باران مشاهده شده تشخیص داده نشده است، F تعداد دفعاتی است که بارش رخ نداده است ولی مدل وقوع بارش را نشان داده است.

بحث و نتایج

ارزیابی سالانه

مقایسه میزان بارش سالانه داده‌های شبکه‌بندی شده و مشاهداتی در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تمامی ایستگاه‌ها داده‌های شبکه‌بندی شده میزان بارش سالانه را کم برآورد تخمین می‌زنند و همچنین مشاهده می‌شود که در تمامی ایستگاه‌ها در اکثر سال‌ها داده‌های بارش سالانه PERSIANN-CCS نسبت به



شکل ۳- میزان بارش سالانه داده‌های مشاهداتی و مدل‌های شبکه‌بندی شده



شکل ۴- شاخص‌های ارزیابی بارش سالانه

همبستگی و RMSD برای داده‌های مشاهداتی و کلیه مدل‌های ماهواره‌ای تخمین بارش تهیه شده است. این نمودار نتیجه سه شاخص STDEV، CC و RMSD را نشان می‌دهد. هر مجموعه داده شامل یک داده واقعی است که توسط یک نقطه جداگانه در نمودار تیلور نشان داده می‌شود؛ بدیهی است که نقطه‌ای که به نقطه‌ی واقعی نزدیک‌تر است از نظر شاخص‌هایی که بر روی این نمودار است، بهتر عمل می‌کند؛ بنابراین در تمامی ایستگاه در مقیاس ماهانه مدل PERSIANN-CDR دارای RMSD کمتر می‌باشند بنابراین این مدل دارای دقت بیشتر می‌باشد؛ همچنین از لحاظ همبستگی نیز در تمامی ایستگاه‌ها مدل PERSIANN-CDR دارای همبستگی بیشتری نسبت به مدل PERSIANN-CCS می‌باشد.

ارزیابی روزانه

جدول ۴ مقادیر شاخص‌های ارزیابی بارش روزانه مدل‌های بارش در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر RMSE موجود در جدول مشخص می‌گردد هر مدلی که دارای میزان RMSE کمتر باشد دارای دقت بیشتری است. لذا

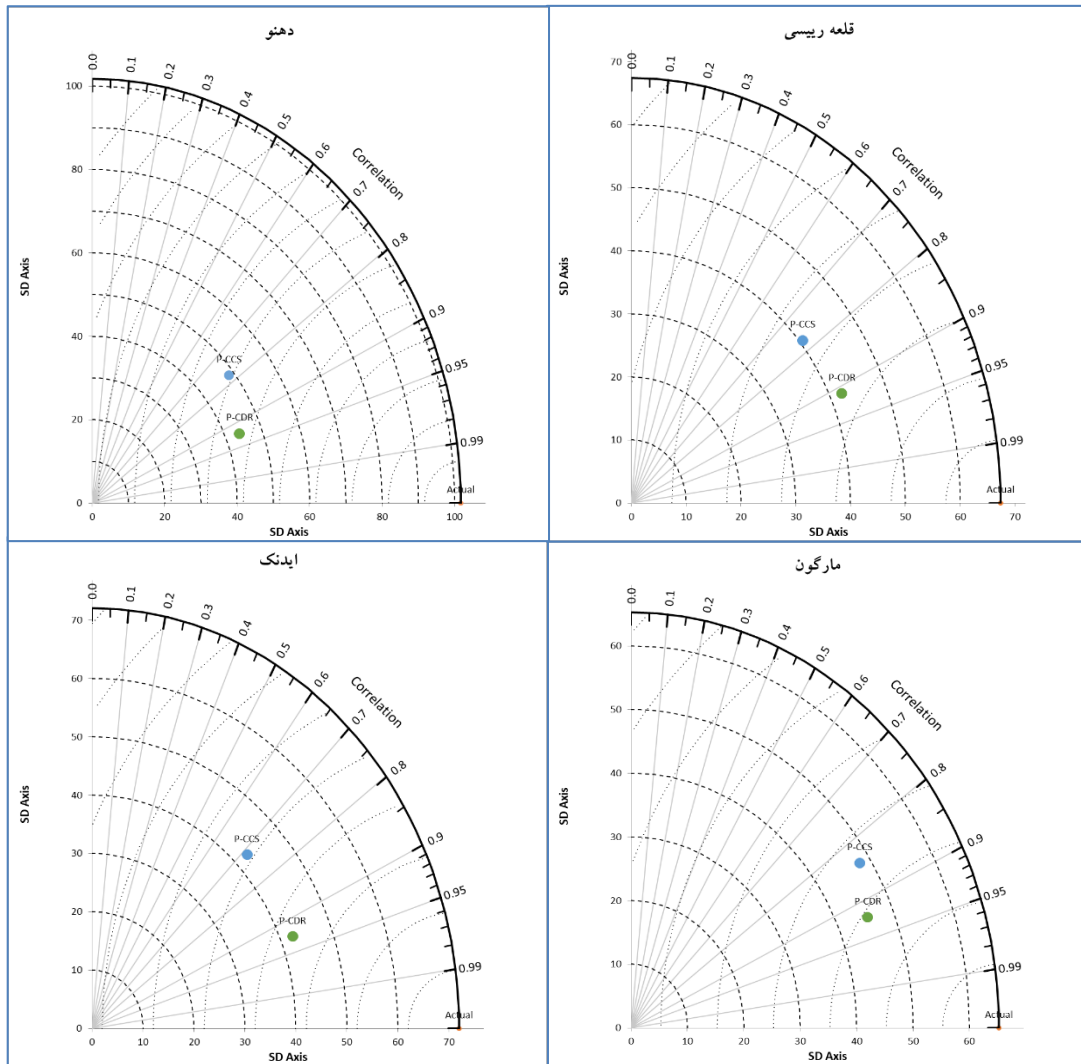
نموده به گونه‌ای که بیشترین برآورد مربوط به ایستگاه دهنو و کمترین آن مربوط به ایستگاه مارگون می‌باشد که به ترتیب ۵۴ و ۱۸ درصد میزان بارش سالانه را بیشتر از بارش مشاهداتی تخمین نموده‌اند. این نتایج با نتایج حاصل از پارامتر RMSE نیز همخوانی دارد. با توجه به نمودار CC موجود در شکل ۴ نیز نتیجه می‌شود که هر دو مدل PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR با مقادیر مشاهداتی همبستگی مستقیم داشته و مدل PERSIANN-CDR دارای همبستگی بیشتری نسبت به مدل PERSIANN-CCS با داده‌های مشاهداتی دارد و بیشترین همبستگی خطی مربوط به ایستگاه ایدنک در مدل PERSIANN-CDR و کمترین این همبستگی مربوط به مدل PERSIANN-CCS در ایستگاه قلعه ریسی به ترتیب با مقادیر ۰/۹۳ و ۰/۷۲ می‌باشد.

ارزیابی ماهانه

شکل ۵ نشان‌دهنده دیاگرام تیلور برای ارزیابی بارش ماهانه در تمامی ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی می‌باشد. دیاگرام تیلور (Taylor, 2001) با استفاده از مقادیر انحراف معیار، ضریب

بارندگی می‌باشد. مقدار بهینه آن صفر است. با توجه به مقادیر این شاخص، بهترین مدل در تمامی ایستگاه‌ها مدل PERSIANN-CCR می‌باشد. CSI تابعی از مقادیر POD و FAR است که ترکیبی از اخطارهای اشتباه برآورد و رویدادهای از دست رفته و احتمال شناخت درست روزهای بارانی و غیر بارانی را بیان می‌کند و مقدار بهینه آن یک است. با توجه به شاخص CSI نتیجه می‌شود که از لحاظ شاخص‌های طبقه‌بندی در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایدنک مدل PERSIANN-CCS توانایی بیشتری نسبت به مدل PERSIANN-CCR دارد. همان‌گونه که ذکر گردید شاخص POD (یا احتمال آشکارسازی) بیانگر تعداد وقایعی است که بارش اتفاق افتاده و مدل آن را درست نشان داده به نسبت کل وقایع بارش است و هرچه مقدار آن به ۱ نزدیک‌تر باشد این شاخص دقیق‌تر است؛ شکل ۶ توزیع مکانی POD را با استفاده از روش IDW در محدوده مطالعاتی نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است در تمامی نقاط مدل PERSIANN-CCS توانسته آشکارسازی روزهای بارانی را بهتر از مدل PERSIANN-CCR انجام دهد. همچنین با توجه به توزیع مکانی مدل PERSIANN-CCR مشخص می‌شود بیشترین میزان POD در جنوب غرب محدوده مطالعاتی قرار دارد در صورتی که در مدل PERSIANN-CCS بیشترین میزان این شاخص علاوه بر جنوب غرب محدوده، در شرق محدوده قرار دارد. لازم به ذکر است که کمترین میزان POD در مدل مورد مطالعه در قسمت شمالی حوضه قرار می‌گیرد. با توجه به شکل ۷ که نشان‌دهنده توضیح مکانی شاخص FAR با استفاده از روش IDW می‌باشد و با توجه به اینکه این شاخص بیانگر نسبت تعداد وقایعی است که مدل وقوع بارش را نشان داده در حالی که در واقع بارانی باریده نشده است و با توجه به این موضوع که هرچه مقدار این نسبت به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر این موضوع است که اشتباه مدل در روزهای غیر بارانی کمتر است، مشاهده می‌شود که در تمامی نقاط محدوده مورد نظر از لحاظ شاخص FAR مدل PERSIANN-CCR بهتر از مدل PERSIANN-CCS عمل می‌نماید. بهترین مکان‌هایی که در آن میزان اشتباه مدل کمتر است در قسمت شمالی حوضه می‌باشد و بعد از آن بهترین ناحیه در نیمه غربی حوضه قرار دارد.

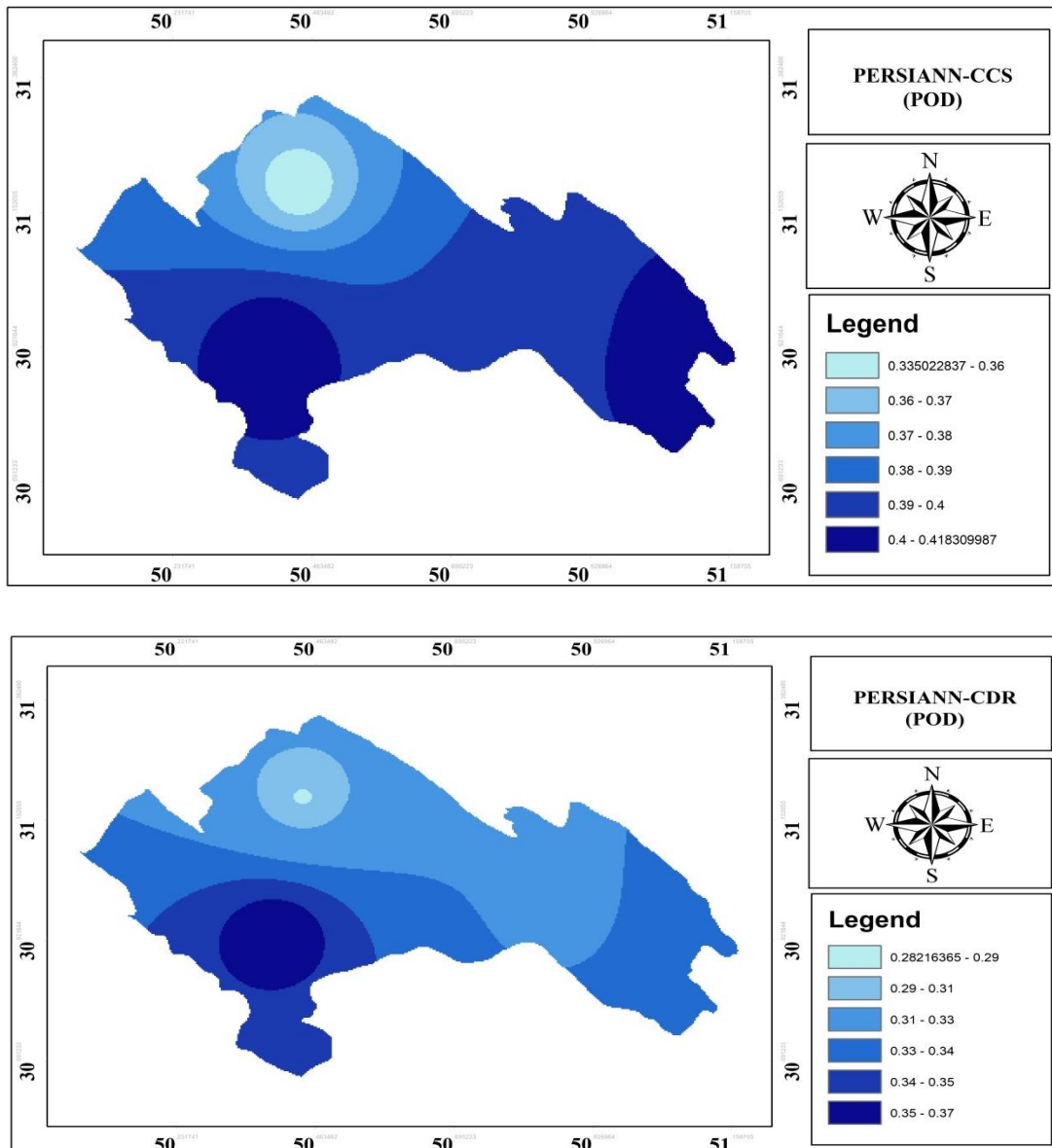
مشخص است که در تمامی ایستگاه‌ها مدل PERSIANN-CCR دقت بیشتری نسبت به مدل PERSIANN-CCS دارا می‌باشد. همچنین دقیق‌ترین مدل عبارت است از مدل PERSIANN-CCR در ایستگاه مارگون و بعد از آن نیز مدل PERSIANN-CCR در ایستگاه قلعه ریسی و بدترین تخمین مدل توسط مدل PERSIANN-CCS در ایستگاه دهنو صورت پذیرفته است. با توجه به مقادیر RB مشخص می‌گردد که هر دو مدل در تمامی ایستگاه‌ها بیش برآورد عمل نموده به گونه‌ای که بیشترین بیش‌برآوردی مربوط به مدل PERSIANN-CCR در ایستگاه دهنو به میزان ۵۴ درصد بیشتر و کمترین این مقدار مربوط به ایستگاه قلعه ریسی در مدل PERSIANN-CCS به میزان ۱۵ درصد می‌باشد. بر اساس مقادیر ضریب همبستگی نیز مشاهده می‌شود بیشترین ضریب همبستگی خطی در تخمین بارش روزانه در تمامی ایستگاه‌ها توسط مدل‌های PERSIANN-CCR انجام گرفته و بیشترین ضریب همبستگی به میزان ۰/۶۳۶ در ایستگاه مارگون و کمترین ضریب همبستگی مربوط به مدل PERSIANN-CCS در ایستگاه قلعه ریسی به مقدار ۰/۳۶۴ می‌باشد. با توجه به کمترین مقدار RMSD و بیشترین مقدار CC که در مدل PERSIANN-CCR قرار گرفته‌اند و به منظور جایگزینی داده‌های ماهواره‌ای در مناطق مختلف و همچنین تکمیل سری داده‌های باران‌سنجی می‌توان از این مدل بهره جست. با توجه به مقادیر POD موجود در جدول ۴ که بیانگر نسبت تعداد بارش برآوردی صحیح توسط مدل به کل بارش‌های ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی می‌باشد و مقدار بهینه آن یک است مشخص است که در تمامی ایستگاه‌ها مدل PERSIANN-CCS توانایی بیشتری نسبت به PERSIANN-CCR دارد و این احتمالاً به دلیل وضوح مکانی بالاتر این مجموعه داده می‌باشد که با جزییات بیشتری میزان بارش را در سلول‌های مختلف بررسی می‌نماید. همچنین بهترین مدل آشکارسازی روزهای بارانی در ایستگاه ایدنک به میزان ۰/۴۱۹ می‌باشد. به عبارت دیگر حدود ۴۲ درصد از مواقعی که بارش رخ داده است توسط مدل PERSIANN-CCS در ایستگاه ایدنک درست تشخیص داده شده است. شاخص FAR بیانگر نسبت تعداد بارش ثبت شده زمینی نادرست به کل بارش‌های ثبت شده می‌باشد و همچنین نشان‌دهنده قسمتی از نقاط بارانی برآورد شده توسط مدل است که در ایستگاه زمینی فاقد



شکل ۵- دیاگرام تیلور ارزیابی بارش ماهانه مدل‌های بارش

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های ارزیابی بارش روزانه مدل‌های بارش در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی

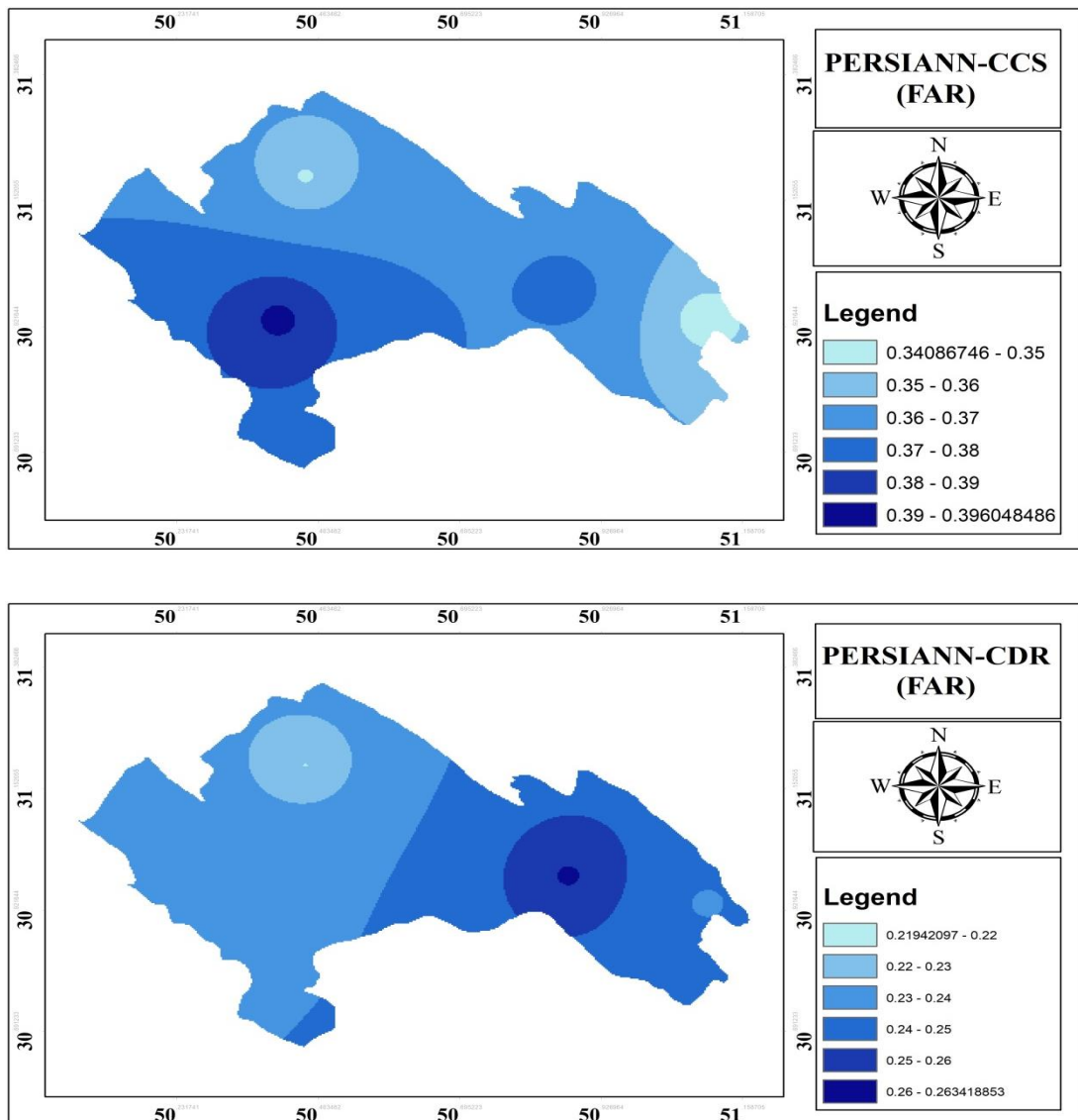
CSI	FAR	POD	CC	RMSE	RB	Datasets Name	
۰/۳۲۱	۰/۳۷۶	۰/۳۹۸	۰/۴۳۷	۹/۹۸۰	۰/۴۸۹	P-CCS	دهنو
۰/۲۹۰	۰/۲۶۴	۰/۳۲۳	۰/۵۶۶	۹/۳۵۰	۰/۵۴۸	P-CDR	
۰/۲۸۴	۰/۳۴۷	۰/۳۳۵	۰/۳۶۴	۷/۰۱۰	۰/۱۵۰	P-CCS	قلعه ریسی
۰/۲۶۱	۰/۲۱۹	۰/۲۸۲	۰/۵۶۵	۵/۸۶۹	۰/۳۳۹	P-CDR	
۰/۳۲۸	۰/۳۹۶	۰/۴۱۹	۰/۳۸۶	۷/۳۶۵	۰/۲۱۵	P-CCS	ایدنک
۰/۳۳۳	۰/۲۳۸	۰/۳۷۱	۰/۶۱۵	۶/۰۴۲	۰/۲۷۹	P-CDR	
۰/۳۳۹	۰/۳۴۰	۰/۴۱۱	۰/۴۵۴	۶/۰۶۶	۰/۱۸۱	P-CCS	مارگون
۰/۳۰۶	۰/۲۳۸	۰/۳۳۸	۰/۶۳۶	۴/۸۴۶	۰/۳۰۸	P-CDR	



شکل ۶- توزیع مکانی میزان POD در مجموعه داده های PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR

CC بیشترین میزان همبستگی توسط مدل PERSIANN-CDR در فصل زمستان در ایستگاه مارگون مشاهده می‌شود. همچنین بر اساس مقادیر POD مشخص می‌گردد در تمامی ایستگاه‌ها و کلیه فصول مدل PERSIANN-CCS نسبت به مدل PERSIANN-CDR توانایی بالاتری برای تشخیص میزان بارندگی دارا می‌باشد و بهترین مدل تشخیص‌گر بارش در ایستگاه ایدنک در فصل زمستان توسط مدل PERSIANN-CCS بوده و بدترین تخمین مربوط به مدل PERSIANN-CDR در ایستگاه قلعه ریسی در فصل تابستان می‌باشد؛ بر اساس نرخ هشدار اشتباه که بیانگر حالتی است که بارندگی رخ نداده اما مدل واقعه بارندگی را تخمین نموده است، کم-اشتباه‌ترین مدل مربوط به PERSIANN-CDR در فصل بهار در ایستگاه مارگون می‌باشد.

جدول ۵ مقادیر شاخص‌های ارزیابی بارش روزانه به تفکیک چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر RB موجود در جدول مشاهده می‌شود که در تمامی فصل‌ها، میزان بارش برآورد شده توسط مدل PERSIANN-CDR کم‌برآورد عمل نموده و بارش برآوردی توسط مدل PERSIANN-CCS در فصل بهار بیش‌برآورد و در فصول پاییز و زمستان کم‌برآورد عمل می‌نماید. بر اساس مقادیر RMSE مشخص است که بهترین عملکرد مدل‌ها در فصل تابستان است که میزان بارش در این فصل کم است و مدل‌های شبکه‌بندی شده نیز میزان بارش را به درستی پیش‌بینی کرده و میزان خطا کمتر برآورد شده است و مدل PERSIANN-CCS دقت بیشتری نسبت به مدل PERSIANN-CDR دارا می‌باشد. همچنین بر مبنای مقادیر



شکل ۷- توزیع مکانی میزان FAR در مجموعه داده های PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR

نتیجه گیری

(POD, FAR) با استفاده از روش IDW ترسیم گردید. نتایج نشان دهنده این است که در مقیاس سالانه هر دو مدل بارش شبکه بندی شده در تمامی ایستگاه ها کم تر برآورد عمل می نمایند و نتایج نشان دهنده مناسب تر بودن داده های PERSIANN-CCS نسبت به داده های PERSIANN-CDR در مقیاس سالانه می باشد. بر خلاف مقیاس سالانه در مقیاس ماهانه داده های PERSIANN-CDR در تمامی ایستگاه توافق بیشتری با داده های شاهد دارند. همانند مقیاس ماهانه در مقیاس روزانه نیز داده های PERSIANN-CDR دارای خطای کمتری در برآورد بارش روزانه نسبت به مشاهدات باران سنج ها می باشند. با توجه به مقادیر POD و FAR مشاهده شده و توزیع مکانی آنها، مقادیر بهینه این دو پارامتر به ترتیب در مدل های PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR موجود می باشد لذا

این مطالعه به ارزیابی و مقایسه داده های بارش سالانه، ماهانه و روزانه خروجی داده های ماهواره ای-مشاهداتی PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR در دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۳ با داده های مشاهداتی در منطقه بالا دست سد مارون در ۴ ایستگاه هواشناسی دهنو، قلعه ریسی، ایدنک و مارگون پرداخته است. جدول ۶ مقایسه برخی تحقیقات صورت گرفته در مورد داده های شبکه بندی بارش با تحقیق حاضر را نشان می دهد. به منظور ارزیابی بارش سالانه، شاخص های ارزیابی RMSE، CC و RB محاسبه گردید. برای ارزیابی مجموعه داده ها در مقیاس ماهانه، دیاگرام تیلور داده های ماهانه در ۴ ایستگاه ذکر شده ترسیم گردید. به منظور ارزیابی بارش روزانه علاوه بر شاخص های ارزیابی، توزیع مکانی شاخص های طبقه بندی

مدل PERSIANN-CCR مشخص کرد. در بررسی بارش روزانه به تفکیک فصول، نتایج نشان دهنده مناسب‌تر بودن مدل PERSIANN-CCS در تخمین بارش و تشخیص وقایع بارش می‌باشد

می‌توان نتیجه گرفت استفاده ترکیبی از این مدل‌ها به منظور آشکارسازی روزهای بارانی و غیر بارانی می‌تواند نتایج بهتری را ارائه نماید به گونه‌ای که روزهای بارانی را با استفاده از مدل PERSIANN-CCS مشخص نمود و روزهای غیر بارانی را با

جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی بارش روزانه به تفکیک چهار فصل

فصل	مجموعه داده	RB	RMSE	CC	POD	FAR	CSI	
بهار	P-CCR	-۰/۸۳۶	۷/۵۹۳	۰/۱۰۵	۰/۲۲۲	۰/۱۳۷۵	۰/۲۱۵	
	P-CCS	۰/۳۸۵۲	۵/۵۹۰	۰/۳۲۸	۰/۲۶۰	۰/۲۱۲۵	۰/۲۴۳	
	تابستان	P-CCR	-۱/۵۳	۳/۱۳۸	۰/۰۱۱	۰/۰۵۹	۰/۵۰۰	۰/۰۵۵
		P-CCS	-۰/۱۷۶	۰/۹۸۱	۰/۱۵۷	۰/۴۰۰	۰/۵۰۰	۰/۲۸۵
	پاییز	P-CCR	-۰/۸۸۵	۱۶/۶۵۰	۰/۲۵	۰/۳۴۶	۰/۳۲۰	۰/۲۹۷
		P-CCS	-۰/۶۶۲	۱۴/۲۹۷	۰/۳۵۴	۰/۴۳۰	۰/۴۳۶	۰/۳۲۰
زمستان	P-CCR	-۰/۵۹۶	۱۳/۳۷۳	۰/۵۰۵	۰/۳۹۵	۰/۲۵۵	۰/۳۴۸	
	P-CCS	-۰/۵۴۱	۱۳/۴۲۵	۰/۴۸۴	۰/۴۷۴	۰/۳۸۰	۰/۳۶۷	
بهار	P-CCR	-۰/۷۷۳	۶/۹۴۵	۰/۱۰۶۳	۰/۱۸۱۵	۰/۲۰۰	۰/۱۷۳	
	P-CCS	۰/۶۵۱۶	۴/۴۸۲	۰/۳۰۲	۰/۱۷۷	۰/۳۷۶	۰/۱۶۰	
	P-CCR	-۱/۴۸۳	۳/۳۸۳	۰/۰۰۰۵	۰	۱	۰	
	P-CCS	۰/۰۲۴	۱/۹۲۴	۰/۰۱۷	۰/۰۶۲۵	۰/۶۶۰	۰/۰۵۵	
	پاییز	P-CCR	-۰/۸۵۸	۱۳/۴۲۵	۰/۲۶۵	۰/۳۳۶	۰/۱۸۶	۰/۳۱۲
		P-CCS	-۰/۴۶۳	۱۱/۰۴۰	۰/۲۴۷	۰/۴۴۶	۰/۲۸۳۵	۰/۳۸۰
زمستان	P-CCR	-۰/۳۸۷	۸/۸۳۰	۰/۴۷۶	۰/۳۲۸	۰/۲۳۰	۰/۳۰۰	
	P-CCS	-۰/۳۸۰	۸/۸۶۰	۰/۴۵۵	۰/۳۸۸	۰/۳۶۸	۰/۳۱۶	
بهار	P-CCR	-۰/۶۷۲	۶/۴۵۶	۰/۱۰۵	۰/۲۴۶	۰/۱۷۵۸	۰/۲۳۴	
	P-CCS	۱/۷۲۳	۳/۷۰۰	۰/۴۰۷	۰/۲۵۰	۰/۳۱۸	۰/۲۲۳	
	P-CCR	-۵/۳۱۸	۳/۰۲۱	۰/۰۴۵	۰/۰۳۳۸	۰/۵۰۰	۰/۰۳۲	
	P-CCS	۲/۰۶۶	۰/۳۱۳	۰/۰۳۸۵	۰/۱۲۵	۰/۷۵۰	۰/۰۹۱	
	پاییز	P-CCR	-۰/۸۶۱	۱۴/۱۰۸	۰/۲۹۴	۰/۴۱۶	۰/۲۵۴۳	۰/۳۶۴
		P-CCS	-۰/۵۶۲	۱۲/۲۰۴	۰/۲۸۵	۰/۴۹۰	۰/۳۸۰	۰/۳۷۶
زمستان	P-CCR	-۰/۳۱۷	۸/۶۶۸	۰/۵۰۰	۰/۴۵۰	۰/۲۴۰	۰/۳۹۴	
	P-CCS	-۰/۲۹۳	۹/۰۲۲	۰/۴۴۱۶	۰/۵۰۶	۰/۴۲۰	۰/۳۷۰	
بهار	P-CCR	-۰/۸۲۶	۷/۰۰۰	۰/۱۳۳۶	۰/۲۴۹۱	۰/۱۳۸	۰/۲۴	
	P-CCS	۰/۴۰۲	۴/۵۱۰	۰/۳۶۸	۰/۲۷۵	۰/۲۰۰	۰/۲۵۶	
	P-CCR	-۰/۵۴۷	۳/۱۴۰	۰/۰۱۴	۰/۰۵۴۵	۰/۶۲۵	۰/۰۵۰	
	P-CCS	-۱/۶۵۰	۱/۱۰۸۲	۰/۰۴۲	۰/۱۰۰	۰/۸۷۵	۰/۰۵۹	
	پاییز	P-CCR	-۰/۸۱۷	۱۲/۷۳۵	۰/۰۸۵	۰/۳۶۷	۰/۲۳۴	۰/۳۳۰
		P-CCS	-۰/۴۷۵	۹/۵۳۰	۰/۰۹۴	۰/۴۵۶	۰/۳۶۷	۰/۳۶۰
زمستان	P-CCR	-۰/۳۴۲	۷/۳۵۰	۰/۵۷۴	۰/۳۹۲	۰/۲۵۷	۰/۳۴۵	
	P-CCS	-۰/۲۶۶	۷/۹۷۰	۰/۵۰۰	۰/۴۸۷	۰/۳۴۸	۰/۳۸۶	

جدول ۶- مقایسه برخی تحقیقات صورت گرفته در مورد داده‌های شبکه‌بندی بارش با تحقیق حاضر

محقق یا محققین	محدوده مطالعه‌ای	بازه زمانی	CC	RMSE (mm/day)	POD
تحقیق حاضر	بالادست سد مارون	۱ ژانویه ۲۰۰۳ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۴	۰/۳۸۶-۰/۶۳۶	۵/۸۶۹-۹/۹۸	-۰/۴۱۹ ۰/۲۸۲
عبداللهی و همکاران (۲۰۱۷)	حوضه گرگان رود	سالهای آبی ۸۲-۸۳ تا ۸۴-۸۵	۰/۱۴-۰/۳۷	۳/۴۹-۹/۱۷	۰/۲۹-۰/۵۷
دزفولی و همکاران (۲۰۱۶)	حوضه گرگان رود	سالهای آبی ۸۲-۸۳ تا ۸۴-۸۵	-۰/۳۹۷ ۰/۱۰۶	۳/۹۶۱-۸/۷۳۲	۰/۲۴۹-۰/۵۹
لشکری و همکاران (۲۰۱۶)	دشت مشهد	سال های ۱۹۸۰-۲۰۱۰	۰/۲۵-۰/۴۵	۲/۵۶-۵/۶۴	---
Tan and santo (2018)	Malaysia	12 March 2014 to 29 February 2016	0.5-0.6	12.94-14.93	0.86-0.89
Yuan et al., (2017)	Chindwin River Basin, Myanmar	April to January 2016	0.22-0.32	9.1-24.7	0.12-0.21
Sharifi et al., (2016)	Iran	March 2014 to February 2015	0.4-0.52	6.38-19.41	0.46-0.7

REFERENCES

- Abdollahi, B., Hosseini moghari, M., & Ebrahimi, K. (2017). Evaluation of CMORPH and TRMM 3B42RT V7 satellite data in order to estimate rainfall in the Gorganroud Basin. *Iran Watershed Engineering and Sciences*, 36, 55–68. (In Farsi)
- Adjei, K. A., Ren, L., & Appiah-adjei, E. K. (2012). Validation of TRMM Data in the Black Volta Basin of Ghana, (May), 647–654. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000487](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000487).
- Ashouri, H., Hsu, K. L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knapp, K. R., Cecil, L. D., et al. (2015). FARSICDR: 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>
- Bitew, M. M., & Gebremichael, M. (2011). Assessment of satellite rainfall products for streamflow simulation in medium watersheds of the Ethiopian highlands. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(4), 1147–1155. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1147-2011>
- Dezfuli, D., Hosseini moghari, M., & Ebrahimi, K. (2016). Comparison of TRMM-3B42 V7 and FARSICDR satellite data with observations of ground stations (Case study: Gorganroud Basin). *Journal of Soil and Water Sciences*, 76, 85–98. (In Farsi)
- Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, G., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.213>
- Eghtedari, M., Iran Nejad, P., Vazife doost, M., Bazrafshan, J., & Ghahraman, N. (2018). Comparison of spring rainfall from four products networked and simulated by RegCM and their evaluation with observations in Qazvin Plain. *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 32–44. Retrieved from http://www.iwrr.ir/article_61893.html (In Farsi)
- Einfalt, T., Arnbjerg-Nielsen, K., Golz, C., Jensen, N.-E., Quirnbach, M., Vaes, G., & Vieux, B. (2004). Towards a roadmap for use of radar rainfall data in urban drainage. *Journal of Hydrology*, 299(3–4), 186–202. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.004>
- Fujihara, Y., Yamamoto, Y., Tsujimoto, Y., & Sakagami, J.-I. (2014). Discharge Simulation in a Data-Scarce Basin Using Reanalysis and Global Precipitation Data: A Case Study of the White Volta Basin. *Journal of Water Resource and Protection*, 06(6), 1316–1325. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2014.614121>
- Gao, F., Zhang, Y., Chen, Q., Wang, P., Yang, H., Yao, Y., & Cai, W. (2018). Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. *Atmospheric Research*, 212, 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.016>
- Hong, Y., Hsu, K.-L., Sorooshian, S., & Gao, X. (2004). Precipitation Estimation from Remotely Sensed Imagery Using an Artificial Neural Network Cloud Classification System. *Journal of Applied Meteorology*, 43(12), 1834–1853. <https://doi.org/10.1175/JAM2173.1>
- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M. I., Bodaghjamali, J., & Kawamoto, H. (2010). Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM-3B42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25, 119–125. <https://doi.org/10.5194/adgeo-25-119-2010>
- Jia, S., Zhu, W., Lu, A., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.009>
- Katiraie-Boroujerdy, P. S., Akbari Asanjan, A., Hsu, K. lin, & Sorooshian, S. (2017). Intercomparison of FARSICDR and TRMM-3B42V7 precipitation estimates at monthly and daily time scales. *Atmospheric Research*. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.04.005>
- Lashkari, A., Banayan, M., Koochaki, A., & Alizade, A. (2016). Investigation of the feasibility of using the AgMERRA database for the production of incomplete and missing data in synoptic station data (Case study: Mashhad Plain). *Water and Soil Journal*, 1749–1758. (In Farsi)
- Li, M., & Shao, Q. (2010). An improved statistical approach to merge satellite rainfall estimates and raingauge data. *Journal of Hydrology*, 385(1–4), 51–64. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.023>
- Maggioni, V., Meyers, P. C., & Robinson, M. D. (2016). A Review of Merged High-Resolution Satellite Precipitation Product Accuracy during the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Era. *Journal of Hydrometeorology*, 17(4), 1101–1117. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0190.1>
- Mahrooghy, M., Anantharaj, V. G., Younan, N. H., Aanstoos, J., & Hsu, K.-L. (2012). On an Enhanced FARSICDR Algorithm for Precipitation Estimation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 29(7), 922–932. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00146.1>
- Sharifi, E., Steinacker, R., & Saghafian, B. (2016). Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. *Remote Sensing*, 8(2), 135. <https://doi.org/10.3390/rs8020135>
- Tan, M. L., & Duan, Z. (2017). Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Remote Sensing*, 9(7), 720. <https://doi.org/10.3390/rs9070720>
- Tan, M. L., & Santo, H. (2018). Comparison of GPM

- IMERG, TMPA 3B42 and FARSİ-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric Research*, 202, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.006>
- Tan, M. L., Ibrahim, A. L., Duan, Z., Cracknell, A. P., & Chaplot, V. (2015). Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sensing*, 7(2), 1504–1528. <https://doi.org/10.3390/rs70201504>
- Tao, H., Fischer, T., Zeng, Y., & Fraedrich, K. (2016). Evaluation of TRMM 3B43 precipitation data for drought monitoring in Jiangsu Province, China. *Water (Switzerland)*, 8(6), 221. <https://doi.org/10.3390/w8060221>
- Thiemig, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M., & De Roo, A. (2013). Hydrological evaluation of satellite-based rainfall estimates over the Volta and Baro-Akobo Basin. *Journal of Hydrology*, 499, 324–338. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.012>
- Xie, P., & Xiong, A. Y. (2011). A conceptual model for constructing high-resolution gauge-satellite merged precipitation analyses. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116(21). <https://doi.org/10.1029/2011JD016118>
- Xu, R., Tian, F., Yang, L., Hu, H., Lu, H., & Hou, A. (2017). Ground validation of GPM IMERG and trmm 3B42V7 rainfall products over Southern Tibetan plateau based on a high-density rain gauge network. *Journal of Geophysical Research*, 122(2), 910–924. <https://doi.org/10.1002/2016JD025418>
- Yuan, F., Zhang, L., Wah Win, K. W., Ren, L., Zhao, C., Zhu, Y., et al. (2017). Assessment of GPM and TRMM multi-satellite precipitation products in streamflow simulations in a data sparse mountainous watershed in Myanmar. *Remote Sensing*, 9(3), 302. <https://doi.org/10.3390/rs9030302>
- Zhong, R., Chen, X., Lai, C., Wang, Z., Lian, Y., Yu, H., & Wu, X. (2018). Drought monitoring utility of satellite-based precipitation products across mainland China. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2018.10.072>