

ارزیابی و مقایسه بارش ماهانه محصولات PERSIANN-،PERSIANN-CDR،ERA-Interim و CRU و CCS در استان خوزستان

رضا کوچکی^{۱*}، علی شهبازی^۲ و خیرالله خادمی^۳

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.

(۲) دکترای منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران.

(۳) استادیار دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.

* نویسنده مسئول: r.koochaki69@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۱۸

چکیده

کمبود و توزیع نامناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی یکی از چالش‌های پژوهش‌گران علوم هیدرولوژی و آب و هوا شناسی است. در این پژوهش قابلیت به‌کارگیری چهار محصول بارش شبکه‌بندی شده PERSIANN-CDR، PERSIANN-CCS، ERA-Interim و CRU به‌عنوان مکمل یا جایگزین داده‌های زمینی در مقیاس ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفت. این ارزیابی از طریق مقایسه با داده‌های مشاهداتی و روش‌های آماری صورت پذیرفت. به‌منظور بررسی توانایی برآورد بارش این چهار محصول از آماره‌های ضریب همبستگی پیرسون (CORR)، اریبی (BIAS)، قدر مطلق خطا (MAE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و ضریب کارایی مدل (EF) استفاده شد. این نمایه‌های آماری به‌صورت پهنه‌ای و در قالب نقشه برای سطح استان استخراج شد. مشاهده شد PERSIANN-CCS در سطح استان در تخمین بارش ناموفق بود و از قابلیت اطمینان ضعیفی برخوردار می‌باشد در حالی که محصولات ERA-Interim، PERSIANN-CDR و CRU همخوانی مناسبی با داده‌های مشاهداتی دارند و روند بارش ماهانه با خطای کمی برآورد می‌کنند. در برخی نقاط استان بارش PERSIANN-CDR از قابلیت اطمینان بسیار بالایی برخوردار بود اما در مجموع کمترین دامن خطا و بیشترین قابلیت اعتماد از بین ۳ محصول ماهواره‌ای یادشده برای بارش ERA-Interim به دست آمد و در صورت نقصان و نبود منابع داده‌ای زمینی می‌تواند به‌عنوان یک منبع داده‌ای جایگزین و کمکی بکار گرفته شود.

کلمات کلیدی: بارش شبکه‌بندی شده، برآورد بارش، روش‌های آماری، ایستگاه باران‌سنجی، خوزستان.

مقدمه

بارش نقشی کلیدی در چرخه هیدرولوژیکی ایفا می‌کند و از ضروری‌ترین ورودی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی و مطالعات آب و هواشناسی است (Sorooshian et al., 2000, Fu et al., 2016). اندازه‌گیری دقیق این مؤلفه با تفکیک مکانی و زمانی بالا در مطالعات مربوط به مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت است (Su et al., 2008). روش‌های سنتی اندازه‌گیری بارش مبتنی بر اندازه‌گیری نقطه‌ای بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی به دلیل مشکلاتی از جمله ناهمگنی پراکندگی نامناسب ایستگاه‌ها، عدم پیوستگی داده‌ها در بازه زمانی موردنظر (که برای مطالعات کاربردی ضروری است) و تأثیرپذیری از فاکتورهای محیطی مختلف، این اطلاعات را در اختیار پژوهشگران قرار نمی‌دهد (Katiraie-Boroujerdy et al., 2013). از طرف دیگر این ایستگاه‌ها به صورت نقطه‌ای بارش را اندازه‌گیری می‌کنند در حالی که بارش پدیده‌ای جوی است و ورودی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی داده‌ها در سطح می‌باشند. برآورد بارندگی در مناطق فاقد آمار و یا مناطق دارای ایستگاه‌های باران‌سنجی محدود و با پراکنش نامنظم، از موارد ضروری در تحقیقات هیدروکلیماتولوژی و منابع آب است. این مسئله در کشور ما که فاقد شبکه منظم و مترکم ثبت بارش به‌ویژه در مناطق مرتفع می‌باشد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند در روش‌های رایج با اندازه‌گیری بارش در ایستگاه‌های زمینی مقادیر بارش برای نقاط بین ایستگاهی با یکی از روش‌های درون‌یابی زمین‌آمار تخمین زده می‌شود. چنانچه ایستگاه‌ها از نظر فاصله و ارتفاع باهم اختلاف زیادی داشته باشند این روش‌ها نیز برآورد درستی از بارش را در پی نخواهند داشت و برآورد بارش برای یک منطقه با استفاده از تعداد محدودی باران‌سنج خطای زیادی به دنبال دارد. استفاده از داده‌های راداری و روش‌های عددی نیز مشکلات مربوط به خود (هزینه زیاد و دشواری نگهداری داده‌ها، مشکلات کالیبراسیون، بازتاب امواج غیرواقعی) را دارند که در عمل برای کشورهای در حال توسعه نمی‌تواند یک گزینه کاربردی جهت برآورد بارش باشد (Katiraie-Boroujerdy et al., 2013, Moazzami et al., 2016). میری و همکاران (۱۳۹۵) در مقابل ماهواره‌های سنجنش از دور داده‌های بارش رادر سطح وسیع به صورت یاخته‌های منظم به‌طور پیوسته تولید کرده و در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهند. در سال‌های اخیر مدل‌های برآورد بارش ماهواره‌ای به سرعت توسعه پیدا کرده‌اند و به‌عنوان منبع داده‌ای جدید بارش برای مطالعات مختلف در زمینه پیش‌بینی سیل و خشک‌سالی، مدل‌سازی جریان‌های سطحی و زیرزمینی و برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب مورد توجه متخصصان قرار گرفته است (Su et al., 2008, Liu et al., 2015). در حال حاضر پایگاه‌های زیادی بارش برآوردی از ماهواره‌ها و ابزارهای سنجنش از دوری را به صورت بر خط برای استفاده محققان علوم هیدرولوژی و آب و هواشناسی فراهم کرده‌اند. با وجود اینکه مدل‌های ماهواره‌ای برآورد بارش برتری‌هایی چون پوشش سطوح با وضوح زمانی و مکانی بالا، پوشش پهناور آبی وسیع و مناطق صعب‌العبور را دارا می‌باشند؛ اما این منابع داده‌ای همواره با عدم قطعیت‌هایی مواجه می‌باشند. این عدم قطعیت‌ها از

منابع مختلف سرچشمه می‌گیرد، از جمله خطاهای اندازه‌گیری، محدودیت حسگرها و خطاهای که در طول برآورد بارش از الگوریتم‌های خاص ممکن است به وجود آید (Moazzami et al., 2016)، لذا این داده‌ها باید با داده‌های مشاهداتی تطبیق داده شوند تا از صحت و مورد اعتماد بودن نتایج اطمینان حاصل کنیم (Karaseva et al., 2012, Yang and Luo., 2014). پژوهش‌های زیادی جهت ارزیابی داده‌های بارش ماهواره‌ای در مناطق مختلف انجام گرفته است (Hu et al., 2014).

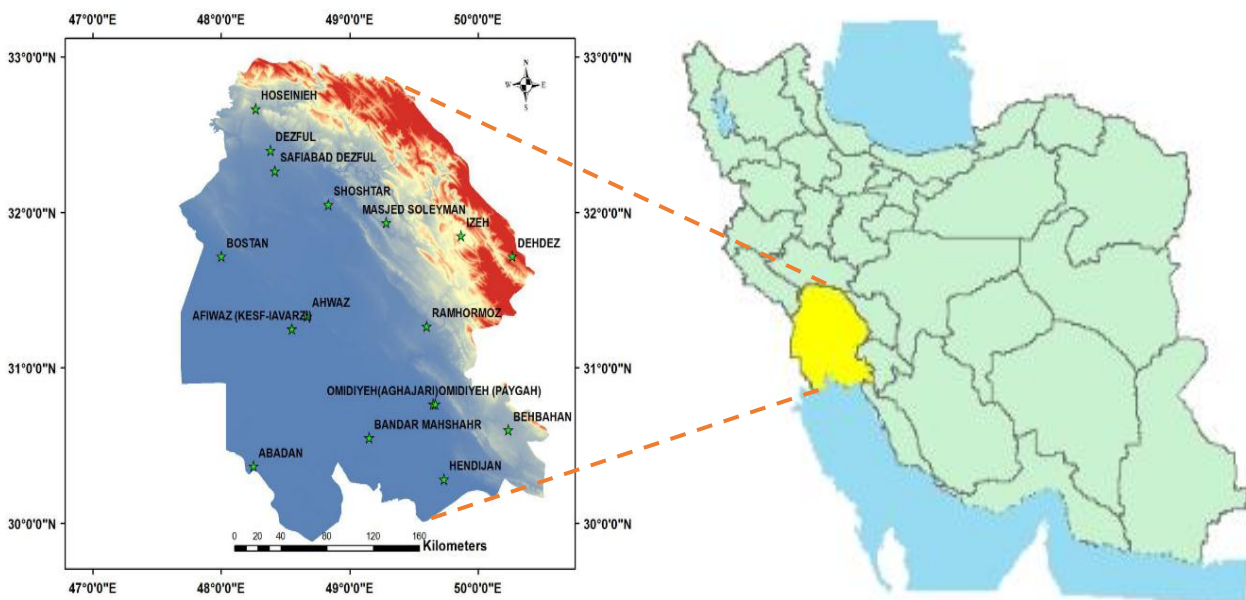
Katiraie-Boroujerdy (۲۰۱۲) داده‌های ماهواره‌ای بارش ماهانه حاصل از الگوریتم PERSIANN و داده‌های زمینی را با تفکیک‌پذیری یکسان بین سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۳ مقایسه نمود. مقایسه نقشه میانگین بارش سالانه این دو شبکه روی ایران نشان داد که PERSIANN الگوی تغییرات مکانی بارش سالانه را به خوبی می‌شناسد ولی مقدار آن را در اغلب نقاط ایران کم برآورد و در بعضی مناطق خشک کویری بیشتر برآورد می‌کند. ضریب همبستگی و پراکنش بارش ماهانه PERSIANN و باران‌سنجی برای همه سلول‌های شبکه، نشان‌دهنده کم برآورد شدن بارش ماهانه این محصول ماهواره‌ای است. مقایسه بارش دو مجموعه واکاوی شده (MERRA و CFSR) و یک الگوریتم ماهواره‌ای (TRMM3B42) و یک محصول ترکیبی (TRMM3B42، داده‌های مشاهداتی) برای فصول خشک و بارانی در طول سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۹۹ در سه حوضه اصلی بولیوی توسط Blacutt و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد. آن‌ها استفاده از داده‌های مشبک بارش را در برنامه‌ریزی‌های آینده مفید و قابل استفاده دانستند. دزفولی و همکاران (۱۳۹۵) در حوضه گرگان رود داده‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN و TRMM را با داده‌های زمینی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد اگرچه PERSIANN و TRMM در مقیاس روزانه دقت کافی ندارند، ولی در مقیاس‌های ماهانه و فصلی با قیاس نتایج مطالعات مشابه، از دقت مناسبی برخوردارند. بیشترین همبستگی بین اطلاعات این دو پایگاه و داده‌های مشاهداتی در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه برای TRMM در ایستگاه‌های سد گرگان و بهلکه داشلی به ترتیب برابر ۰/۳۹۷ و ۰/۴۰۴ مشاهده شده‌چنین، نتایج نشان می‌دهد اگرچه TRMM همبستگی بیشتری را با داده‌های مشاهداتی دارد، اما PERSIANN در آشکارسازی تعداد روزهای بارانی نتایج بهتری را ارائه کرده است. عزیزی و همکاران (۱۳۹۵) داده‌های آفرودیت، GPCC و داده‌های بارش‌دانشگاه‌دیپلور (UDeI) را بر اساس داده‌های بارش‌ایستگاه‌های ارزیابی‌کردند. ترسیم میانگین بلندمدت بارش سالانه ایران بر اساس داده‌های مزبور، دقت بیشتر داده‌های آفرودیت و GPCC را نسبت به داده‌های UDeI نشان داد. آن‌ها نشان دادند داده‌های آفرودیت برای مناطق شمال، شمال‌غرب، دامنه‌های جنوبی البرز و نواحی داخلی کشور مناسب‌تر است و داده‌های GPCC در مناطق غرب، جنوب، جنوب شرق و شمال شرق کشور به نتایج بهتری منتهی می‌شود Conti و همکاران (۲۰۱۴) شش محصول شبکه‌بندی بارش شامل ۴ محصول ماهواره‌ای و ۲ محصول شبکه‌بندی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی را در جزیره سیسیل در دریای مدیترانه مورد آزمون قرار دادند. نتایج نشانگر نشان داد محصولات ماهواره‌ای ضمن نشان دادن

ویژگی‌های مکانی و زمانی بارش با خطاهایی همراه است و در صورت بازیابی و اصلاح می‌توانند کارایی مناسبی داشته باشند. Chen و Li (۲۰۱۶) داده‌های ماهانه IMERG و TRMM3B43 را با استفاده از روش‌های آماری در چین مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مبین آن بود که IMERG الگوهای مکانی بارش را در سرتاسر چین به خوبی تشخیص می‌دهد و در مقیاس ماهانه و فصلی نسبت به TRMM3B43 عملکرد بهتری دارد. همچنین در عرض‌های میانی و پایین تخمین مناسب‌تری نسبت به TRMM3B43 دارد.

هدف از پژوهش پیش رو بررسی اعتبار سه محصول شبکه‌بندی شده بارش برای استان خوزستان در کشور ایران است. بررسی اعتبار از طریق مقایسه با داده‌های باران‌سنجی سطح استان صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها منطقه مطالعاتی

استان خوزستان با مساحتی بالغ بر ۶۶ هزار کیلومتر مربع، وسیع‌ترین استان در جنوب غربی ایران است که در ناحیه بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول شرقی ۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه واقع شده است. در شکل ۱ می‌توان پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی در سطح استان را مشاهده نمود



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی استان

منابع اطلاعاتی

بارش مورد استفاده در این پژوهش الگوریتم‌های ماهواره‌ای PERSIANN-CDR و PERSIANN-CCS، بارش شبکه‌بندی شده ERA-Interim، بارش پایگاه CRU و داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی است. داده‌های بارش PERSIANN-CDR و PERSIANN-CCS از پایگاه اینترنتی هیدرومترولوژی و سنجش‌ازدور دانشگاه کالیفرنیا و داده‌های بارش ERA-Interim از پایگاه مرکز پیش‌بینی میان‌مدت آب و هوایی اروپا (ECMWF) گردآوری شدند. بارش پایگاه CRU نیز از وبسایت مرکز پژوهش‌های آب و هوایی وابسته به دانشگاه آنجلینای غربی دریافت شد. همچنین داده‌های بارش ایستگاهی از سازمان آب و برق خوزستان اخذ گردید.

بارش الگوریتم ماهواره‌ای PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR

این الگوریتم‌ها استفاده از اطلاعات سنجش‌ازدور و بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی و آموزش در مرکز آب و هواشناسی و سنجش‌ازدور کالیفرنیا برای تخمین بارندگی توسعه‌یافته شد. بارش PERSIANN با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و راداری و همچنین استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی بارش را به صورت پیکسل به پیکسل تخمین می‌زند. رویکرد این محصول استفاده از تصاویر فرسرخ و تخمین بارش در سلول‌هایی منظم به ابعاد ۰,۲۵ درجه مکانی برای طول و عرض جغرافیایی بین ۶۰ درجه شمالی تا ۶۰ درجه جنوبی است. محصول PERSIANN-CDR با هدف ارائه سری زمانی بلندمدت بارش برای مطالعات آب و هوایی و هیدرولوژیکی تولید شده است. PERSIANN-CCS نیز یک طبقه‌بندی بر اساس شرایط توپوگرافیک بوده که از لحاظ تفکیک‌پذیری مکانی نسبت به PERSIANN بهبود یافته و از سال ۲۰۰۳ تاکنون تصاویری با دقت تفکیک‌پذیری ۰,۰۴ درجه تولید می‌کند.

بارش ERA-Interim

این محصول بازکاوی شده توسط مرکز پیش‌بینی میان‌مدت آب و هوایی اروپا (ECMWF) ارائه شده است و پارامترهای اقلیمی را از سال ۱۹۷۹ تاکنون به صورت شبکه‌بندی با تفکیک‌پذیری‌های متفاوت در اختیار کاربران و محققین قرار می‌دهد. داده‌های این مرکز با بهره‌گیری از دورسنجی و داده‌های مشاهداتی برآورد می‌شود. در این پژوهش بارش با دقت ۰,۱۲۵ درجه مورد استفاده قرار گرفت که جهت یکسان‌سازی به ۰,۲۵ درجه درون‌یابی گردید.

بارش پایگاه CRU

واحد پژوهش‌های آب و هوایی (CRU) از نهادهای پیشرو و معتبر ارائه مجموعه داده‌های اقلیمی موردنیاز در پژوهش‌های آب و هواشناسی، سیستم‌های نظارتی منابع آب و مدل‌های نرم‌افزاری آب و هوایی می‌باشد. در این پژوهش از سری داده‌های بارندگی CRU TS3.21 این پایگاه که داده‌های اقلیمی موردنیاز محققان را به صورت شبکه‌بندی شده و با تفکیک‌پذیری مکانی ۰٫۵*۰٫۵ درجه در اختیار همگان قرار می‌دهد استفاده شده است. این مجموعه داده‌ها از بازکاویو درون‌یابی اطلاعات ۴۰۰۰ ایستگاه مشاهداتی استخراج می‌شود.

سری زمانی داده‌های مشاهداتی

داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی جهت ارزیابی و اندازه‌گیری دقت داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفت. این داده‌ها عمدتاً توسط ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو ثبت و گردآوری شده است و به عنوان تنها مرجع موجود جهت ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای بکار گرفته می‌شود. از میان باران‌سنج‌های سطح استان تعداد باران‌سنج که دارای حداقل ۱۵ سال داده مشاهداتی بودند انتخاب و از سری داده‌های بارش روزانه سری ماهانه بارش به دست آمد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

Station	Geographical coordinates	
	Longitude	Latitude
Ahvaz	48.667	31.333
Abadan	48.25	30.367
Omidiyeh	49.65	30.767
Mahshahr	49.15	30.55
Bostan	48	31.717
Dezful	48.383	32.4
Hendiyan	49.733	30.283
Izeh	49.867	31.85
Masjed soleyman	49.283	31.933
Ramhormoz	49.6	31.267
Safi abad	48.417	32.267
Shushtar	48.833	32.05
Behbahan	50.233	30.6

روش انجام پژوهش

در این پژوهش دو نوع داده مورد استفاده قرار گرفت.

۱- داده‌های شبکه‌بندی بارش شامل محصول بازکوی شده ERA-Interim، الگوریتم‌های ماهواره‌ای PERSIANN-PERSIANN-CDR، CCS و داده‌های پایگاه مرکز پژوهش‌های آب و هوایی (CRU)

۲- داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های باران‌سنجی استان

دوره آماری مدنظر یک دوره ۱۵ ساله بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ است. با توجه به موجود بودن اطلاعات بارش PERSIANN-CCS از سال ۲۰۰۳ موجود است برای این محصول مقایسه از سال ۲۰۰۳ صورت گرفته است.

با توجه به اینکه محصولات بارش پایگاه‌های مختلف تفکیک‌پذیری متفاوتی داشتند در نرم‌افزار MATLAB با استفاده از الگوریتم درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایگی، همسان‌سازی داده‌ها به تفکیک‌پذیری ۰٫۲۵ درجه با مینا قرار دادن تفکیک‌پذیری الگوریتم PERSIANN-CDR صورت گرفت.

برای مقایسه با داده‌های مشاهداتی، بارش نزدیک‌ترین مرکز سلول به ایستگاه در نظر گرفته شد و در نهایت با استفاده از روش‌های مین‌آماریدرون‌یابی، توزیع مکانی آماره‌ها در قالب نقشه تهیه شد.

مقایسه آماری

جهت ارزیابی و سنجش دقت بارش‌ماهوره‌ای از معیارهای رایج که بر مبنای روابط آماری دقت را ارزیابی می‌کنند استفاده شد. معیارهای مورد استفاده ضریب همبستگی پیرسون (CORR)، اریبی (BIAS)، قدر مطلق خطا (MAE) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) و ضریب اعتماد یا کارایی مدل (EF) می‌باشند همبستگی تطابق مقادیر برآوردی در برابر مشاهداتشان می‌دهد. اریبی تمایل مدل ماهواره‌ای در تخمین بارش نسبت به میانگین را مشخص می‌کند علامت مثبت یا منفی آن نیز نشان‌دهنده تمایل مدل در بیش برآوردی یا کم برآوردی بارش است. از RMSE معمولاً برای مشاهده تفاوت بین بارش واقعی و بارش برآوردی استفاده می‌شود اما از آنجاکه این آماره از دامنه تغییرات داده‌ها تأثیر می‌پذیرد و ایستگاه‌های مختلف دامنه تغییرات متفاوتی دارند نمی‌تواند به‌تنهایی بیانگر دقت مدل ماهواره‌ای باشد بنابراین آماره دیگری نیز به نام RMSE نرمال شده یا NRMSE به کار گرفته می‌شود. NRMSE برای سنجش RMSE در ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر از تقسیم RMSE بر میانگین بارش مشاهداتی همان ایستگاه بکار می‌رود. قابلیت اطمینان یا ضریب کارایی مدل (EF) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی داده‌های

ماهواره‌ای به شمار می‌آید. این آماره مقادیر بین یک تا منفی بی‌نهایت را می‌پذیرد. هرچقدر مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد تطابق بیشتری میان داده‌های ماهواره‌ای و مشاهداتی وجود دارد. در معادلات ۱ تا ۶ روند محاسبه این آماره‌ها آورده شده است.

$$CORR = \frac{\sum_{k=1}^N (G_k - \bar{G})(S_k - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (G_k - \bar{G})^2} \times \sqrt{\sum_{k=1}^N (S_k - \bar{S})^2}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (S_k - G_k) \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |S_k - G_k| \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (S_k - G_k)^2} \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (S_k - G_k)^2}}{\bar{G}} \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N (S_k - G_k)^2}{\sum_{k=1}^N (G_k - \bar{G})^2} \quad \text{رابطه ۶:}$$

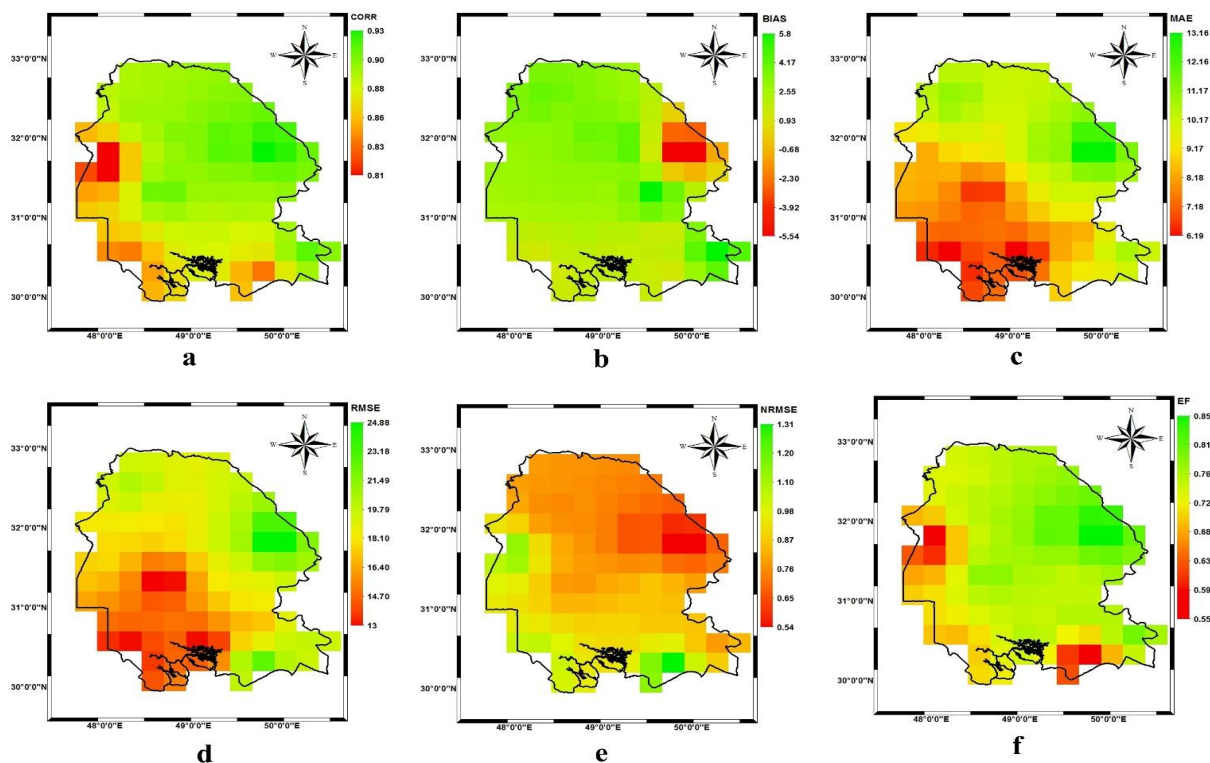
در روابط بالا S_k بارش تخمینی ماهواره، G_k بارش مشاهداتی ایستگاه و همچنین \bar{G} و \bar{S} مقادیر میانگین بارش ماهواره‌ای و مشاهداتی می‌باشند.

بحث و نتایج

پیش‌تر ذکر شد هدف از پژوهش پیش رو ارزیابی داده‌های مختلف بارش شبکه‌بندی شده ماهواره‌ای از طریق مقایسه با بارش مشاهداتی در ایستگاه‌های استان بوده است.

ارزیابی بارش ماهواره‌های ERA-Interim

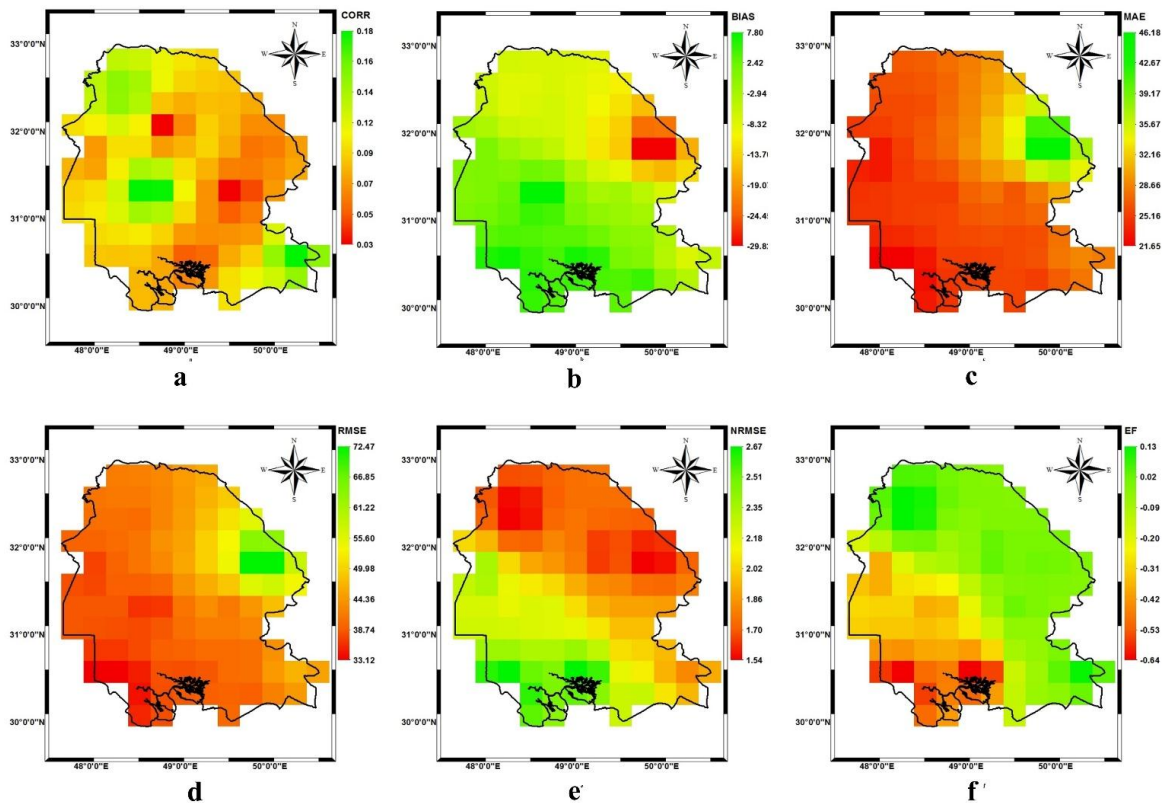
بررسی ضریب همبستگی پیرسون در تمام ایستگاه‌های استان نشان‌دهنده همبستگی خوب داده‌های بارش ERA-Interim با داده‌های مشاهداتی بود. ضریب همبستگی برای بیشتر نقاط استان ۰,۸ یا بیشتر بود. در ۸ سلول متناظر یا نزدیک به ایستگاه بارندگی این ضریب ۰,۹ یا بیشتر بود. مقدار RMSE در ایستگاه‌ها نیز نسبتاً مناسب بوده البته لازم به ذکر است چون این معیار متأثر از دامنه بارش منطقه است و هر منطقه دامنه متفاوتی از بارش را داراست، به تنهایی برای مقایسه دقت بارش‌رآوردی در مناطق مختلف کافی نیست. برای داده‌های ERA-Interim با توجه به اینکه معیار NRMSE در بیشتر ایستگاه‌ها ۱ و یا کمتر از ۱ است می‌توان گفت مدل از اعتبار خوبی برخوردار است. همچنین مقدار کم اریبی (BIAS) و MAE در تمام ایستگاه‌ها نشان‌دهنده خطای کم مدل در برآورد بارش است. با توجه به اعداد حاصل از اریبی می‌توان گفت به جز ایده این محصول با خطای بسیار کمی بارش را بیشتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند. آماره اعتمادپذیری مدل (EF) نشان‌دهنده کارایی مناسب بارش ERA-Interim در تمام گستره استان می‌باشد برای غرب استان مقدار این ضریب به بالای ۰,۷۵ می‌رشد که بیانگر کارایی عالی محصول در مدل کردن بارش است. (شکل ۲)



شکل ۲: توزیع مکانی نمایه‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون (CORR)، اریبی (BIAS)، قدر مطلق خطا (MAE)، مجموع میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجموع مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و ضریب کارایی مدل (EF) بین داده‌های ERA-Interim و داده‌های مشاهداتی

ارزیابی بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CCS

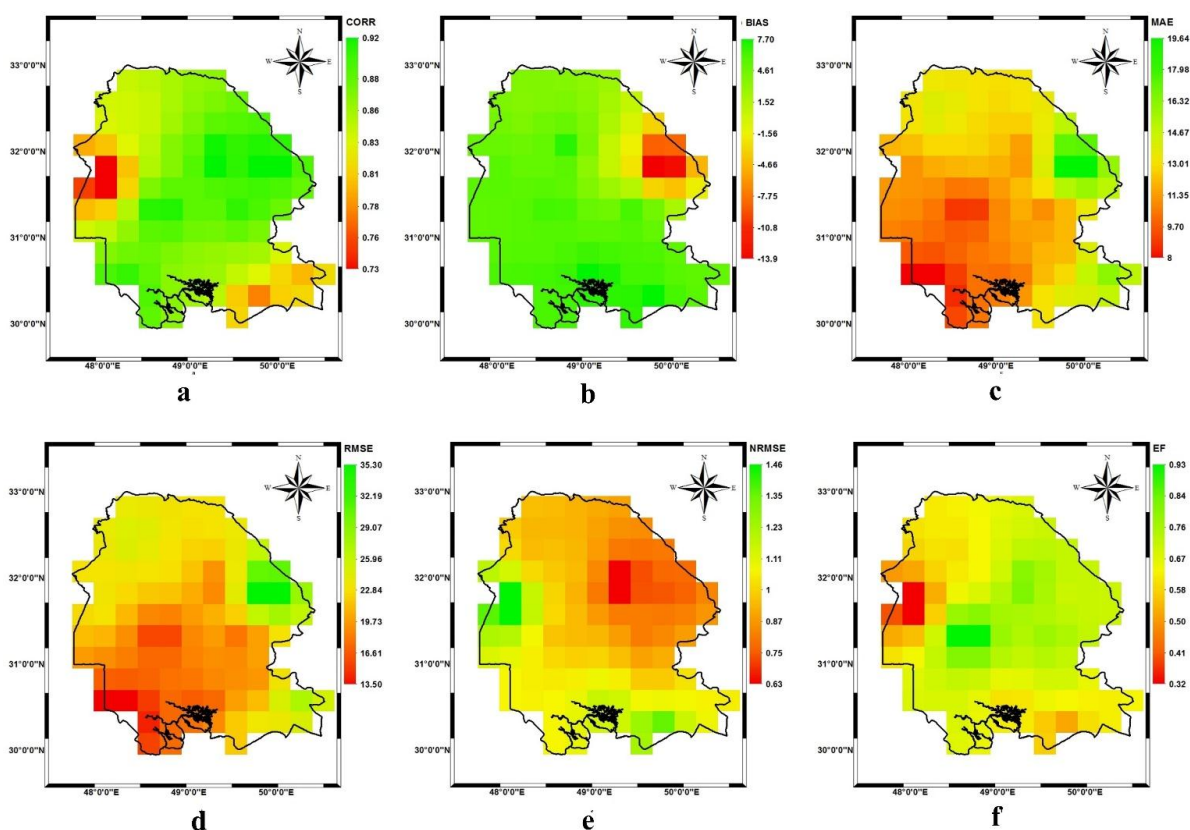
مقایسه برآوردهای بارش PERSIANN-CCS در مقابل داده‌های ایستگاهی نشان‌دهنده اختلاف قابل توجه این محصول ماهواره‌ای با داده‌های واقعی بارش بود و می‌توان گفت این محصول توانایی نشان دادن افت‌وخیزهای بارش در مقیاس ماهانه را ندارد، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین همبستگی بین بارش ماهواره‌ای و بارش ایستگاهی در سلول متناظر برای ایستگاه‌های اهواز و بهبهان به ترتیب ۰٫۲ و ۰٫۱۸ بود که نشان‌دهنده ضعف مدل در برآورد بارش است. اعداد به‌دست‌آمده برای دو آماره RMSE و NRMSE نیز مؤید خطای زیاد و برآورد ضعیف مدل ماهواره‌ای PERSIANN-CCS است. در نهایت با توجه به آماره ضریب اعتمادپذیری (EF) می‌توان دریافت که داده‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CCS در سطح استان خوزستان از قابلیت اعتماد بسیار پایینی برخوردار است. (شکل ۳).



شکل ۳: توزیع مکانی نمایه‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون (CORR)، اریبی (BIAS)، قدر مطلق خطا (MAE)، مجموع میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجموع مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و ضریب کارایی مدل (EF) بین داده‌های PERSIANN-CCS و داده‌های مشاهداتی

ارزیابی بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CDR

در شکل ۴ توزیع مکانی آماره‌هایی که دقت برآورد بارش محصول PERSIANN-CDR را اندازه‌گیری کرده‌اند در گستره استان خوزستان قابل مشاهده است. در بررسی همبستگی بین داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها و بارش ماهواره‌ای این آماره بالای ۰,۸ و در برخی ایستگاه‌ها بیش از ۰,۹ به دست آمد که دقت این محصول ماهواره‌ای را تأیید می‌کند. در دو ایستگاه بستان و هندیجان به‌عنوان کمترین همبستگی به ترتیب اعداد ۰,۷ و ۰,۷۷ حاصل شد که اعداد قابل قبولی می‌باشند.



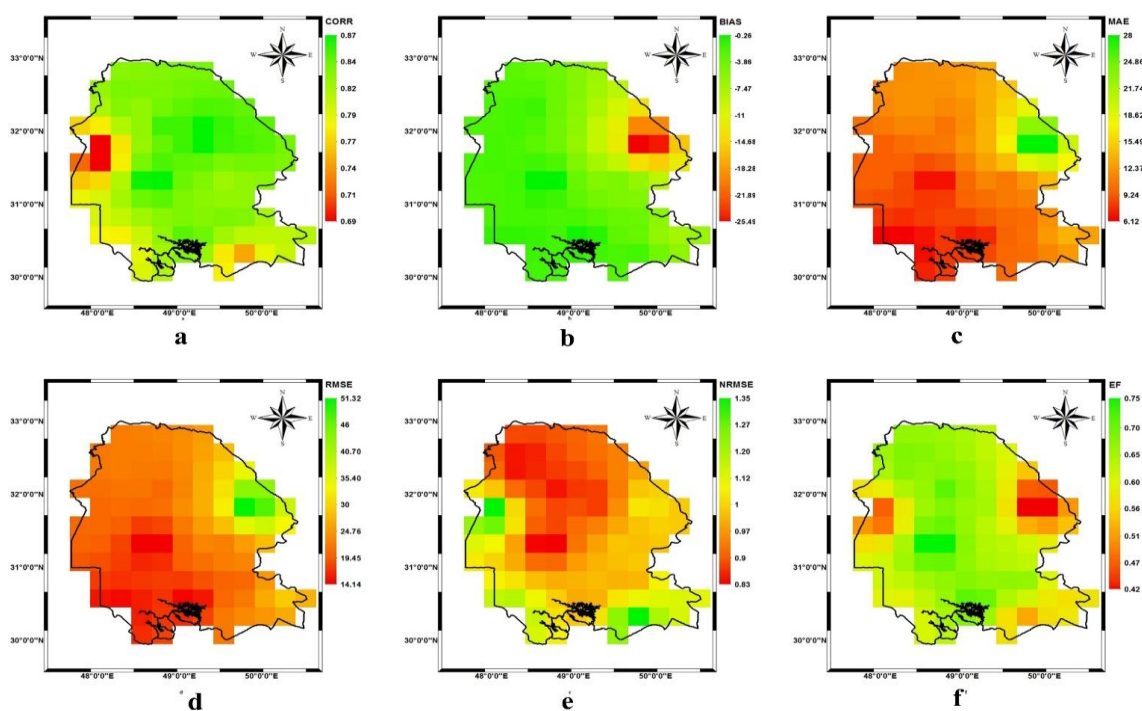
شکل ۴: نمایه‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون (CORR)، اریبی (BIAS)، قدر مطلق خطا (MAE)، مجموع میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجموع مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و ضریب کارایی مدل (EF) بین داده‌های CRU و داده‌های مشاهداتی

بررسی اریبی نیز نشان داد PERSIANN-CDR با خطایی بین ۲,۹ تا ۷,۹۴، بارش ماهانه را بیشتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند. مقدار اریبی برای منطقه ایذه منفی و نشانگر برآورد کمتر بارش در این منطقه می‌باشد و به نظر می‌رسد این الگوریتم ماهواره‌ای بارش مناطق کوهستانی و مرتفع را کمتر از بارش واقعی برآورد می‌کند.

آماره NRMSE در بیشتر ایستگاه‌ها کمتر از ۱ بود که نشان‌دهنده اعتبار نسبتاً خوب داده‌های PERSIANN-CDR است. بیشترین خطای برآورد بر مبنای NRMSE برای بستان و هندیجان در غرب و جنوب استان بین ۱,۳۸ تا ۱,۵۴ به دست آمد. نتایج حاصل از آماره EF نشان می‌دهد بیشترین قابلیت اطمینان داده‌های بارش PERSIANN-CDR در مناطق مرکز و شمال شرقی استان (بیش از ۰,۹) می‌باشد. در غرب و برخی مناطق جنوبی استان قابلیت اطمینان به دست آمده پایین بود.

ارزیابی بارش پایگاه CRU

ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های شاهد و داده‌های پایگاه CRU در بیشتر مناطق استان بین ۰,۸ تا ۰,۸۷ بود، که نشان می‌دهد این پایگاه روند بارش‌ها را با تقریب مناسبی به تصویر می‌کشد. نقشه‌های به دست آمده از ارزیابی بیانگر برآورد کمتر از مقدار واقعی می‌باشد و این کم برآوردی در شرق و شمال شرق استان نمایان‌تر است (شکل ۵).



شکل ۵: نمایه‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون (CORR)، ارزیابی (BIAS)، قدر مطلق خطا (MAE)، مجموع میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجموع مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و ضریب کارایی مدل (EF) بین داده‌های CRU و داده‌های مشاهده‌ای

هرچه به سمت غرب استان پیش می‌رویم از اختلاف بین بارش مشاهده‌ای و بارش برآوردی کمتر می‌شود. نقشه‌های به دست آمده از آماره‌های NRMSE به جز غرب، جنوب و جنوب غربی انحراف بارش برآوردی از مقدار واقعی در محدوده قابل قبول و کمتر از ۱ است. با توجه به نتایج ارزیابی ضریب کارایی می‌توان دریافت، بارش CRU در سطح استان در محدوده قابل قبول قرار دارد اما در مرکز، شمال و شمال غرب استان بهترین عملکرد و قابلیت اطمینان را داراست.

نتیجه گیری

در این پژوهش چهارمنبع داده‌ای شبکه‌بندی شده بارش (ERA-Interim, PERSIANN-CDR, PERSIANN-CCS) و CRU) از لحاظ قابلیت اعتبار طی یک دوره ۱۵ ساله در منطقه خوزستان مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارزیابی عملکرد با استفاده از شاخص‌های آماری نشان داد داده‌های بارش ERA-Interim در مقیاس ماهانه در تخمین بارش استان خوزستان بسیار نزدیک به بارش مشاهداتی عمل می‌کند و می‌توانند در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی و آب و هوایی به‌تنهایی و یا مکمل داده‌های مشاهداتی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین دو محصول ماهواره‌ای PERSIANN-CDR و بارش پایگاه CRU با کمی خطا از هماهنگی مناسبی با مقادیر بارش مشاهداتی دارند با این تفاوت که الگوریتم ماهواره‌ای PERSIANN-CDR تمایل بیشتری به بیش برآوردی بارش دارد به‌طور مشابه بارش برآوردی را برای غرب استان کمتر و برای سایر ایستگاه‌ها بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. بین داده‌های PERSIANN-CCS و داده‌های مشاهداتی اختلاف زیادی مشاهده شد و به نظر می‌رسد این داده‌های این الگوریتم ماهواره‌ای در منطقه خوزستان قابل اعتماد نیست و نیاز به بازبینی و اصلاح دارند. می‌توان نتیجه گرفت داده‌های ماهواره‌ای و شبکه‌بندی شده بارش پتانسیل خوبی جهت به‌کارگیری در هیدرولوژی و علوم آب و هوایی دارند.

منابع

- دزفولی د، حسینی موغاری س.م، و ابراهیمی ک. (۱۳۹۵). مقایسه اطلاعات بارش ماهواره‌ای PERSIANN و TRMM-3B42 با ۷۷ مشاهدات ایستگاه‌های زمینی (مطالعه موردی: حوضه گرگان‌رود). مجله علوم آب و خاک؛ ۲۰ (۷۶): ۸۵-۹۸.
- میری، م، رضیئی، ط، و رحیمی، مجتبی. (۱۳۹۵). ارزیابی و مقایسه آماری داده‌های بارش TRMM و GPCP با داده‌های مشاهده‌ای در ایران. فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۳)

Azizi, G., Safarrad, T., Mohammadi, H., & Sabokbar, H. F. (2016). Evaluation and Comparison of Reanalysis Precipitation Data in Iran. *Physical Geography*, 48(1), 5.

Blacutt, L. A., Herdies, D. L., de Goncalves, L. G. G., Vila, D. A., & Andrade, M. (2015). Precipitation comparison for the CFSR, MERRA, TRMM3B42 and combined scheme datasets in Bolivia. *Atmospheric Research*, 163, 117-131.

Chen, F., & Li, X. (2016). Evaluation of IMERG and TRMM 3B43 monthly precipitation products over mainland China. *Remote Sensing*, 8(6), 472.

Conti, F. L., Hsu, K. L., Noto, L. V., & Sorooshian, S. (2014). Evaluation and comparison of satellite precipitation estimates with reference to a local area in the Mediterranean Sea. *Atmospheric* .

- Fu, Y., Xia, J., Yuan, W., Xu, B., Wu, X., Chen, Y., & Zhang, H. (2016).** Assessment of multiple precipitation products over major river basins of China. *Theoretical and applied climatology*, 123(1-2), 11-22.
- Hu, Q., Yang, D., Li, Z., Mishra, A. K., Wang, Y., & Yang, H. (2014).** Multi-scale evaluation of six high-resolution satellite monthly rainfall estimates over a humid region in China with dense rain gauges. *International journal of remote sensing*, 35(4), 1272-1294.
- Karaseva, M. O., Prakash, S., & Gairola, R. M. (2012).** Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(1-2), 147-157.
- Katiraie-Boroujerdy, P. S., Nasrollahi, N., Hsu, K. L., & Sorooshian, S. (2013).** Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of arid environments*, 97, 205-219.
- Liu, J., Zhu, A. X., & Duan, Z. (2012).** Evaluation of TRMM 3B42 precipitation product using rain gauge data in meichuan watershed, Poyang Lake Basin, China. *Journal of Resources and Ecology*, 3(4), 359-366.
- Liu, J., Duan, Z., Jiang, J., & Zhu, A. (2015).** Evaluation of three satellite precipitation products TRMM 3B42, CMORPH, and PERSIANN over a subtropical watershed in China. *Advances in Meteorology*, 2015.
- Miao, C. Ashouri, H. Hsu, K.L. Sorooshian, S. and Duan, Q. (2015).** Evaluation of the PERSIANN-CDR daily rainfall estimates in capturing the behavior of extreme precipitation events over China. *Journal of Hydrometeorology*, 16(3), pp.1387-1396.
- Miri, M. (2016).** Evaluation and statistically comparison of TRMM and GPCC datasets with observed precipitation in Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 42(3), 657-672.
- Moazami, S., Golian, S., Kavianpour, M. R., & Hong, Y. (2013).** Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. *International journal of remote sensing*, 34(22), 8156-8171.
- Moazami, S., Golian, S., Hong, Y., Sheng, C., & Kavianpour, M. R. (2016).** Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 61(2), 420-440.
- Sorooshian, S. Hsu, K.L. Gao, X. Gupta, H.V. Imam, B. and Braithwaite, D. (2000).** Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(9), pp.2035-2046.
- Su, F., Hong, Y., & Lettenmaier, D. P. (2008).** Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 9(4), 622-640.
- Yang, Y., & Luo, Y. (2014).** Evaluating the performance of remote sensing precipitation products CMORPH, PERSIANN, and TMPA, in the arid region of northwest China. *Theoretical and applied climatology*, 118(3), 429-445.