مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵
ص ۹۸۱-۹۶۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۱۶
تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۰۴/۱۹

مقایسه آماری بین محصولات IMERG و TMPA 3B42V7 در سطح سه داده های بارشی GPM و TRMM (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشف رود، استان خراسان رضوی)

❖ **سیده مریم علی بخشی؛** دانشجوی دکترا مهندسی آب، پردیس کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

❖ **دکتر علیرضا فرید حسینی*؛** دانشیار پردیس کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

❖ **دکتر کامران داوری؛** دانشیار پردیس کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

❖ **دکتر امین علیزاده؛** استاد پردیس کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

❖ **دکتر هنری مونیکا گاسچا؛** استاد دانشگاه ITC هلند.

چکیده

داده‌های ماهواره‌ای بارش از چند دهه قبل وارد مطالعات علمی در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی شده‌اند. هدف از این پژوهش، مقایسهٔ کمی محصولات بارش ماهوارهٔ TRMM و ماهوارهٔ GPM در حوضهٔ آبریز کشف‌رود است. مسئله مهم در مورد این داده‌ها دقت و اندازهٔ پیکسل آنها است. ماهواره *GPM* در تاریخ ۲۸ فوریه ۲۰۱۴ به فضا پرتاب شده و تاکنون مطالعه‌ای در ایران انجام نشده و در سایر نقاط جهان به ندرت انجام گرفته است. این تحقیق قصد دارد تا به ارزیابی داده‌های بارش GPM و ماهوارهٔ قبلی همتایش یعنی TRMM در مقایسه با داده‌های ۳۴ ایستگاه باران‌سنجی حوضهٔ مذکور برای اعتبارسنجی دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای بپردازد. برای مقایسه از مقیاس مکانی با دو روش مقایسهٔ حوضه‌ای و ایستگاهی و همچنین مقیاس زمانی روزانه و ماهانه استفاده گردید. برای اعتبارسنجی از معیارهای آماری RMSE، MAE، CC، BIAS، FAR، POD و CSI استفاده شد. نتایج نشان داد که، به طورکلی دادهٔ بارش 3B42V7 متعلق به ماهوارهٔ TRMM دقت بالاتری از دادهٔ IMERG متعلق به ماهوارهٔ GPM در منطقه دارد. داده‌های IMERG تنها در مقایسهٔ زمانی ماهانه و حوضه دقت بالاتری نسبت به دادهٔ *3B42V7* داشت. در ارزیابی مقیاسه‌ای زمانی مقیاس ماهانه دقت بهتری را نشان می‌دهد. میزان *RMSE* برای دادهٔ *TMPA* در مقیاس روزانه در سطح ایستگاه و حوضه به ترتیب برابر ۱/۸۸ و ۱/۵۵ و در مقیاس ماهانه برابر ۲/۸۷و ۲/۷۷ است. همچنین میزان RMSE برای دادهٔ IMERG در سطح ایستگاه و حوضه در دورهٔ روزانه برابر ۲/۴۳ و ۲/۳ و در دورهٔ ماهانه برابر ۳/۶۴ و ۲/۵۶ است.

واژگان کلیدی: بارش، حوضهٔ کشف رود، دادهٔ IMERG، دادهٔ3B42V7، ماهوارهٔ GPM ماهوارهٔ TRMM

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۹۸۵۱۳۸۸۰۵۷۱۶+
Email: Farid-h@um

۱. مقدمه

بارندگی بخش حیاتی چرخهٔ آب است که زمین، اقیانوس و اتمسفر را به هم ارتباط می‌دهد. برآورد دقیق مقادیر بارش برای طیف گسترده‌ای از کاربردها و زمینه‌ها از هیدرولوژی تا مطالعات اقلیمی و هواشناسی مهم است. دانستن مکان و زمان وقوع بارش به همراه مقدار آن اهمیت گسترده‌ای در مدل‌سازی هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب حوضه‌های آبریز دارد. از این‌رو اندازه‌گیری و تخمین میزان بارش اهمیت به‌سزایی دارد [۷]. به دلیل صدمات ناشی از کمبود بارش در بخش وسیعی از کشور ایران و همچنین تلفات ناشی از وقوع سیلاب، برآورد دقیق مقدار بارش از نیازهای حیاتی کشور به شمار می‌رود. بارش یکی از مهمترین عوامل موثر در تعادل آب و انرژی در جهان است[۴،۲۵]. محققان به سختی می توانند شبیه سازی درستی از چرخه آب، بدون ورودی بارش دقیق داشته باشند[۴۲]. علاوه براین، ورودی بارش تأثیرات زیادی برعملکرد طیف وسیعی از هیدرولیک، آب و هوا، و مدل‌های جوی دارد [۳۴،۳۵]. اندازه‌گیری دقیق بارش یا تخمین آن در مدیریت منابع آب، پیش بینی آب و هوا، کنترل خطر و... حیاتی است [۱۴]. با این حال، به دست آوردن دقیق بارش همواره دانشمندان را دچار چالش می‌کند. به طور کلی، سه راه برای اندازه گیری بارش وجود دارد که عبارتند از: ایستگاه باران‌سنجی، رادار هواشناسی و سنجنده‌های ماهواره‌ای که در میان آن‌ها ایستگاهای باران‌سنجی دقیق‌ترین و پرکاربردترین راه به دست آوردن بارش هستند [۲۶]. ایستگاهای باران‌سنجی روش متداول در فراهم آوردن مشاهدات مستقیم از سطح بارش در حوضه می‌باشد. با این حال، شبکه‌های باران‌سنجی به صورت پراکنده در اکثر قاره‌های جهان توزیع شده و تعداد بسیار کمی در اقیانوس‌ها قرار گرفته‌اند [۳۰،۲۵،۱۹]. سامانه‌های زمانی و مکانی گوناگون نه تنها برای اقلیم شناسان، بلکه برای کشاورزان، آب‌شناسان، مدیران و صنعت‌گران دارای اهمیت بسیاری است. با ظهور ماهواره‌های هواشناسی و به‌کارگیری آن‌ها از دهه ۱۹۷۰ به این سو، دانشمندان روش‌هایی را بنیان نهادند تا به کمک آن‌ها از روی مشاهدات تابش‌سنجی (رادیومتریک) ماهواره‌ها بارش را برآورد کنند. در پهنه‌هایی از سیاره که تراکم ایستگاه‌های سنجش بارش کم است، چنین داده‌هایی را می‌توان درحکم جایگزین داده‌های ایستگاهی به‌کار برد. امروزه نیز شمار رو به رشدی از فرآورده‌های بارشی کم و بیش به‌هنگام روی وبگاه در دسترس است، که راستی آزمایی فرآورده‌های آن‌ها دراندازه‌گیری بارش ضروری است [۳۲]. رادار هواشناسی، بارش را با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالاتری پایش می‌کند، اما اغلب دست‌خوش کیفیت کم داده در برخی مناطق است، که غالباً به دلیل انسداد سیگنال، میرایی (تضعیف) توسط باران و تغییرپذیری عمودی بازتاب می‌باشد [۲،۳۷]. در حال حاضر، تنها راه عملی برای رسیدن به یک برآورد جامع از بارش در سطح جهانی استفاده از ماهواره‌های مشاهداتی زمین می‌باشد [۴۱،۱۲،۱۳]. محصولات بارش جهانی ماهوارهٔ مبنا هم اینک بر پایه مایکروویو(ریزموج) غیر فعال [1](PMW) مادون قرمز کالیبره شده [2](IR) و مشاهدات ترکبی مایکروویو غیرفعال و مادن قرمز است. سنجنده‌های مادون‌قرمز در ماهواره‌های زمین ثابت مدار زمین [3](GEO) می‌توانند بارندگی را با قدرت تفکیک زمانی بالا تخمین بزنند، اما دقت تخمین‌های مادن قرمز از بارندگی معمولاً به دلیل ارتباط غیرمستقیم بین سیگنالهای مادون‌قرمز و بارندگی خیلی خوب نیست. سنجنده‌های مایکروویو غیر فعال در تخمین بارش کاربرد بیشتری دارند زیرا خصوصیات تابشی آنها (مایکروویو) با اجزای بارش به‌طور مستقیم‌تر ارتباط دارد. اگرچه سنجنده‌های مایکروویو غیرفعال در حال حاضر فقط بر روی ماهواره‌های با مدار چرخش پایین [4](LEO) قرار دارند که قدرت تفکیک زمانی آن‌ها را پایین می‌آورد. بنابراین ترکیب این دو برای افزایش دقت، پوشش و قدرت تفکیک محصولات بارش جهانی شناخته شده و استفاده

[1] Passive microwave
[2] Infrared
[3] Geostationary Earth orbit
[4] Low-Earth-orbiting

می‌شود [۱۲]. از زمان آغاز فعالیت ماهواره (TRMM)[1]، [۱۶] در اواخر سال ۱۹۹۷ توسعه سریع از مجموعه داده‌های بارش بر اساس PMW، مادون قرمز کالیبره شده و مشاهدات PMW به‌علاوه IR، مقدار بسیار زیادی از اطلاعات را تقریباً به‌صورت شبه جهانی در برنامه‌های کاربردی و تحقیقاتی فراهم کرده است [۱۲]. تا به امروز، تعدادی از محصولات بارش ماهواره‌ای با قدرت تفکیک‌های مختلف زمانی و مکانی، منتشر شده است؛ سنجنده‌های مایکروویو غیر فعال در تخمین بارش کاربرد بیشتری دارند زیرا خصوصیات تابشی آنها (مایکروویو) با اجزای بارش به‌طور مستقیم‌تر ارتباط دارد. اگرچه سنجنده‌های مایکروویو غیرفعال در حال حاضر فقط بر روی ماهواره‌های با مدار چرخش پایین (LEO) قرار دارند که قدرت تفکیک زمانی آن‌ها را پایین می‌آورد. بنابراین ترکیب این دو برای افزایش دقت، پوشش و قدرت تفکیک محصولات بارش جهانی شناخته شده و استفاده می‌شود [۱۲]. از زمان آغاز فعالیت ماهواره (TRMM)، [۱۶] در اواخر سال ۱۹۹۷ توسعه سریع از مجموعه داده‌های بارش بر اساس PMW، مادون قرمز کالیبره شده و مشاهدات PMW به‌علاوه IR، مقدار بسیار زیادی از اطلاعات را تقریباً به‌صورت شبه جهانی در برنامه‌های کاربردی و تحقیقاتی فراهم کرده است [۱۲]. تا به امروز، تعدادی از محصولات بارش ماهواره‌ای با قدرت تفکیک‌های مختلف زمانی و مکانی، منتشر شده است؛ مانند محصول بارشی ماهواره TRMM با نام (TMPA)[2] [۱۲]، مرکز پیش‌بینی هوا (CPC)[3] روش شکل‌گیری CMORPH[4] [۲۲]، برآورد بارش از اطلاعات سنجش از دور با استفاده از نظریهٔ شبکهٔ عصبی PERSIANN[5] [۳۶]، سیستم طبقه‌بندی رایانش ابری CCS-PERSIANN[6] [۱۰]، تکنیک آزمایشگاه تحقیقات نیروی دریایی NRL-Blend[8] (NRL)[7] [۱۰]. نقشه برداری جهانی ماهواره ای از بارش GSMap[9] [۴۰]. پژوهش‌ها و برنامه های کاربردی از محصولات TMPA مانند پیش بینی آب و هوایی ، پیش بینی بلایای طبیعی، و برنامه ریزی و مدیریت منابع آب .دستاوردهای علمی بزرگ در منافع اجتماعی و اقتصادی، تولید کرده‌اند [۴۳،۲۰،۱۴،۱۲]. با وجود دستاورد بزرگ در دوران TRMM، داده TRMM داری برخی از محدودیت‌های طبیعی همراه با پوشش فضایی و زمانی و عدم اطمینان در برآورد بارش کم و برف در طول و عرض جغرافیایی بالاتر می‌باشد [۱۷]. یافته‌های پژوهشگران [۱] بیانگر وجود انطباق و همبستگی بین داده‌های ماهواره TRMM و ایستگاه زمینی در استان فارس می باشد. بنابراین از آمار بارندگی ماهوارهٔ مذکور با انطباق بیش از ۸۳ درصد می‌توان به‌جای آمار ایستگاه‌های همدید زمینی در محدودهٔ استان فارس بهره‌برداری نمود. در زاگرس مرکزی پایگاه 3B42V7، TRMM، دارای کم برآوردی بارش است به گونه ای که این اختلاف بین ۵ تا ۲۱ میلی‌متر در سال است .در بخش‌هایی از رشته کوه‌های زاگرس و البرز بیش برآوردی بارش در این پایگاه دیده شد. مقدار این بیش برآوردی بین ۹ تا ۲۵ میلی‌متر در سال بود. در دیگر نقاط کشور مقدار این اختلاف بین ۵- تا ۹ میلی‌متر بود. روی هم رفته به نظر می‌رسد این پایگاه ماهواره‌ای در برآورد بارش‌هایی که از نوع کوهستانی است دارای کاستی است و روی برخی از ناهمواریهای کشور دارای بیش برآوردی بارش و در برخی دیگر دارای کم برآوردی بارش است [۳۰]. از محصولات TMPA در این مطالعه از داده پس از زمان واقعی 3B42، نسخه هفت (3B42V7)، که به‌طور گسترده‌ای در مطالعه و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفته، استفاده شده است [۳۹،۲۲،۲۴،۲۸،۸،۵]. تغییرات در میرایی TRMM، در ماهوارهٔ سنجش جهانی بارندگی (GPM)[10] که آن هدف

[1] Tropical Rainfall Measuring Mission
[6] TRMM Multisatellite Precipitation Analysis
[3] Climate Prediction Center
[4] Morphing technique
[5] Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks
[6] PERSIANN Cloud Classification System

[7] Naval Research Laboratory
[8] Developed blended-satellite precipitation technique
[9] Global Satellite Mapping of Precipitation
[10] Global Precipitation Measurement

دیده‌بانی پیوسته برف و بارندگی زمین در رزولوشن فضایی ۰/۱ &۰/۱ با رزولیشن زمانی نیم ساعتی به‌نام ماموریت‌های روش‌مند زمین است که با در اختیار داشتن مجموعه‌ای از ماهواره‌ها به منظور تأمین پوشش کلی سطح زمین فعالیت می‌کند [۱۴،۱۳]. کارایی IMERG در قیاس با داده‌های مرجع و در بسیاری از موارد بهتر از محصولات استاندارد TMPA می‌باشد. چشم‌انداز امیدوار کننده از ابزار هیدرولوژیکی و همچنین پیوستگی هیدرولوژیکی مطلوب از میرایی محصول دوران TRMM به محصول IMERG در دوران GPM، حتی با در دسترس بودن داده‌های محدود از تاریخ انتشار و در عرض متوسط حوضه نشان می‌دهد. با توجه به مطالب بیان شده، این مقاله سعی دارد داده‌های بارش ماهواره TRMM و GPM را در محدودهٔ حوضه آبریز کشف‌رود استان خراسان رضوی، با داده‌های ایستگاه‌های شاهد زمینی ارزیابی و مقایسه کند[۲۷]. تطابق داده های ماهانهٔ ماهوارهٔ TRMM با ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات بیشتر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. داده‌های ماهانه ماهوارهٔ TRMMتوانایی پایش خشکسالی استان خراسان رضوی را دارا می‌باشد [۵، ۶]. استفاده از دادهٔ خام TRMM خطای زیادی داشته و می‌بایست برای استفاده از مقادیر کمی آن‌ها، کالیبراسیون صورت گیرد [۲۹]. اعتبارسنجی داده‌های بارندگی سری داده‌های 3B43 ماهواره TRMM، بیانگر تطابق بالای داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های بارندگی اندازه‌گیری شده در ایستگاه زمینی است[۳]. داده‌های کالیبره شده TRMM به طور قابل ملاحظه‌ای مشابه یا نزدیک به مقادیر مشاهده‌ای در بیشتر ایستگاه‌های انتخابی بودند و TRMM در زون مرطوب ساحلی بیشترین خطا و در زون بیابانی کمترین خطا را نشان داد[۲۷].

۱.۱. معرفی GPM

سنجش جهانی بارندگی که به اختصار GPM نامیده می‌شود، نام پروژه‌ای مشترک بین آژانس کاوش‌های هوافضای ژاپن [1](JAXA) و ناسا و دیگر آژانس‌های فضایی بین‌المللی است که هدف آن دیده‌بانی پیوسته (هر نیم ساعته) بارندگی زمین است. این پروژه بخشی از برنامهٔ ناسا به نام ماموریت‌های روش‌مند زمین است که با در اختیار داشتن مجموعه‌ای از ماهواره‌ها به منظور تأمین پوشش کلی کره زمین فعالیت می‌کند. این پروژه نقشه‌های بارش جهانی را تهیه می‌کند که به پژوهشگران در زمینهٔ مطالعهٔ اقلیم جهان، پیش‌بینی حوادث و بلایای طبیعی و بهبود کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در زمینهٔ کمک به جامعهٔ بشری یاری می‌رساند. این ماهواره در ۲۸ فوریه ۲۰۱۴ از مرکز فضایی تانیگاشما در ژاپن به فضا پرتاب شد [۱۶]. با توجه به اینکه ماهوارهٔ GPM به تازگی در مدار قرار گرفته است و داده‌های بارش را منتشر کرده است تاکنون داده‌های این ماهواره در سطح ایران ارزیابی نشده است. با توجه به ارزیابی‌های محدود صورت گرفته در سطح دنیا از داده‌های بارش ماهواره GPM و نتایج حاصل از این پژوهش‌ها فرض بر این است که این ماهواره داده‌های بارش دقیق‌تر و قابل اعتمادتری نسبت به ماهوارهٔ قبلی یعنی TRMM فراهم کند. بنابراین، این مقاله سعی دارد صحت این فرض را در منطقهٔ موردمطالعه در بازهٔ زمانی ذکرشده بررسی کند و نتایج آن را ارائه دهد.

۲. روش شناسی تحقیق

۱.۲. معرفی منطقه

حوضهٔ آبریز کشف‌رود در مختصات جغرافیایی بین ″۳۴ ′۲۰ °۵۸ و ″۳۳ ′۰۸ ° ۶۰ طول شرقی و ″۴۰ ′۳۹ °۳۵ تا ″۵۹′۰۳ °۳۶ عرض شمالی قرار دارد. از شمال به ارتفاعات هزار مسجد، از جنوب به ارتفاعات بینالود محدود می‌شود. وسعت مساحت آن ۱۶۷۵۰,۹۵ کیلومتر مربع است که بخش وسیعی از استان خراسان را به خود اختصاص داده است. از این وسعت حدود ۵۰۰۰ کیلومتر دشت و مابقی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. این حوضه

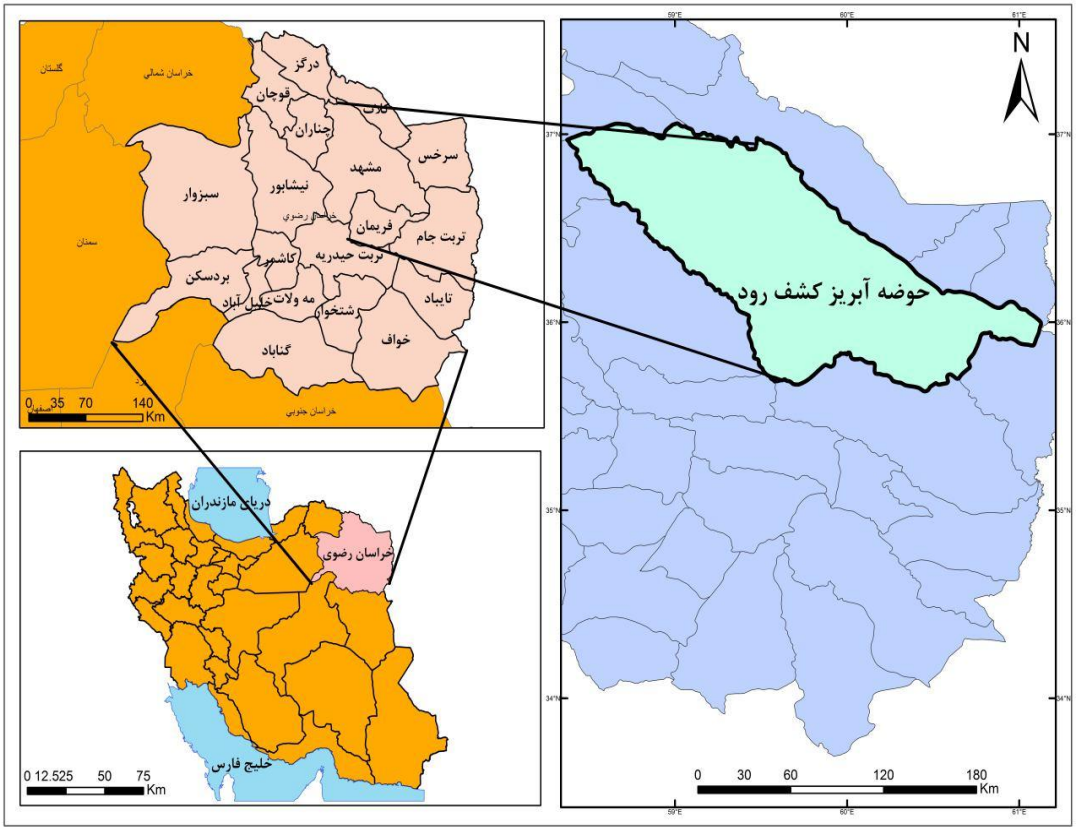
[1] Japan Aerospace eXploration Agency

آبخیز جزء مناطق کم بارش در ایران محسوب می‌گردد. ارتفاع متوسط حوضه ۱۱۹۷ متر از سطح آب‌های آزاد و میانگین بارش ۲۷۵ میلیمتر است. اقلیم منطقه با توجه به پژوهش‌های [۱] نیمه خشک سرد معرفی شده است. بارندگی کم و تبخیر و پتانسیل بالای تعرق از ویژگی‌های این منطقه محسوب می‌شود. شکل‌های (۲،۱) موقعیت حوضهٔ آبریز کشف رود در ایران و همچنین نقشهٔ ارتفاعی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح حوضه را نشان می‌دهد. تعداد ۳۴ ایستگاه باران‌سنجی وزارت نیرو در محدودهٔ حوضه استفاده گردیده است (جدول ۱).

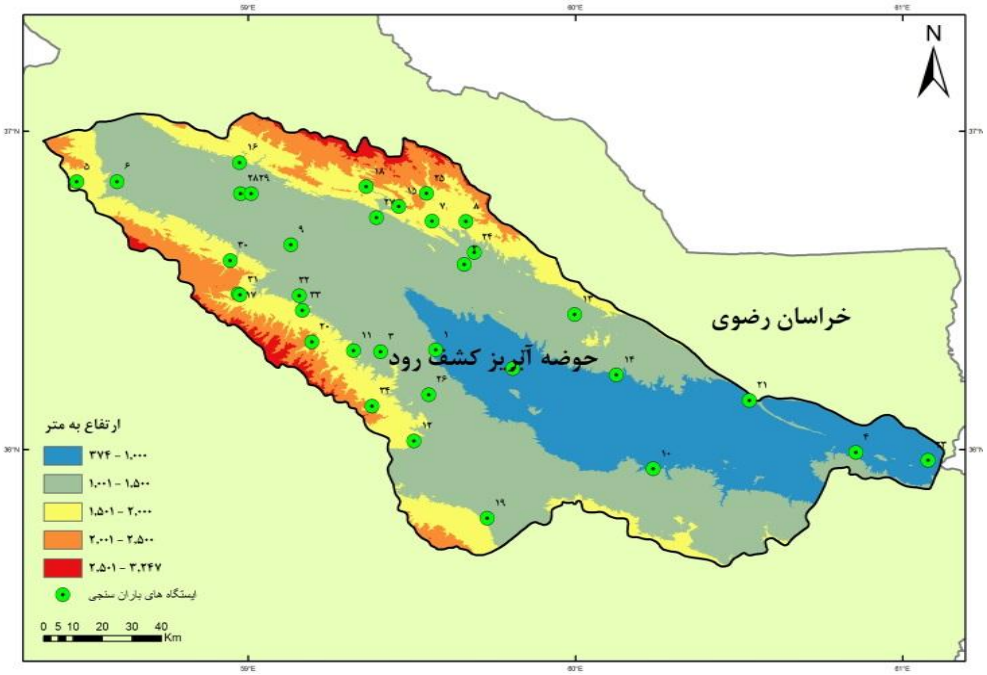
۲.۲. روش تحقیق

در انجام این تحقیق داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های باران سنجی حوضهٔ آبریز کشف رود از آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی تهیه شد. تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه ۳۴ ایستگاه می‌باشد که از تاریخ ۲۱ اسفند ۱۳۹۲ تا ۳۱ شهریور ۱۳۹۳ به مدت ۱۹۵ روز استفاده شده است. این داده‌ها به عنوان داده‌های شاهد برای سنجش دقت بارش‌های ماهواره‌ای استفاده شده‌اند. سپس داده‌های بارش ماهواره‌های TRMM و GPM از پایگاه مرکز خدمات اطلاعات و داده علوم زمین گودارد[1] (ناسا) دریافت گردید. از ماهوارهٔ TRMM دادهٔ 3B42V7 و از ماهوارهٔ GPM دادهٔ IMERG[2] تهیه شد. اندازهٔ پیکسل دادهٔ 3B42V7، ۰/۲۵° × ۰/۲۵° و قدرت تفکیک زمانی آن روزانه است. داد، IMERG دارای اندازهٔ پیکسل ۰/۱° × ۰/۱° و قدرت تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه‌ای است. برای به‌دست آوردن داده‌های روزانهٔ IMERG از برنامه نویسی در محیط Python استفاده گردید (شکل۳ a, b). در ادامه برای ارزیابی جامع داده‌های بارش 3B42V7 و IMERG از سه دسته شاخص‌های آماری استفاده گردید. دستهٔ اول شامل شاخص ضریب همبستگی[3] (CC) است که شدت و نوع رابطه بین دو متغیر بارش مشاهداتی و بارش ماهواره‌ای را نشان می‌دهد. دستهٔ دوم شامل شاخص‌های خطای میانگین (ME)[4]، انحراف نسبی (BIAS)[5] و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)[6] که برای توصیف خطا و انحراف نسبی از تخمین‌های ماهواره‌ای در مقایسه با بارش مشاهداتی استفاده می‌شود. دسته سوم شامل احتمال شناسایی (POD)[7]، نسبت هشدار اشتباه (FAR)۸ و شاخص موفقیت قطعی (CSI)۹ برای توصیف احتمال بارش ماهواره‌ای استفاده می‌شود. POD بخشی از وقایع بارندگی است که ماهواره در میان تمام وقایع بارندگی تشخیص می دهد و FAR نسبت وقایع بارندگی غیرواقعی در بین تمام بارش‌های تشخیص داده شده به وسیلهٔ ماهواره است. CSI تابعی از POD و FAR است که ترکیبی از اخطارهای اشتباه برآورد و رویدادهای از دست رفته است و بنابراین نتیجه متعادل تری است. این شاخص‌ها با توجه به پژوهش‌های مشابه انجام شده در سطح دنیا مانند [۳۹،۴۰] انتخاب شدند (جدول ۲). مقایسه در بعد و مقیاس مکانی در دو سطح حوضه و ایستگاه انجام گرفت. مقایسه در سطح حوضه به معنای مقایسه کلی در سطح محدودهٔ حوضه آبریز کشف رود است. به عبارت دیگر، برای کل حوضه ذکرشده در هر روز یک مقدار بارش از داده‌های زمینی استخراج شد و همچنین از بارش‌های ماهواره‌ای در سطح حوضه نیز میانگین روزانه به‌دست آمد. با توجه به نقطه‌ای بودن ایستگاه‌های زمینی از روش IDW[10] [۳۸] یا وزن‌دهی معکوس فاصله برای درون‌یابی داده‌ها استفاده شد (شکل۳; c).

[1] Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center
[2] Correlation coefficient
[3] Integrated Multisatellite Retrievals for GPM
[4] Mean Error
[5] Relative Bias
[6] Root Mean Squared Error
[7] Probability of Detection
[8] False Alarm Ratio
[9] Critical Success Index
[10] Inverse distance weighting



شکل۱. موقعیت حوضهٔ آبریز کشف رود در ایران و استان خراسان رضوی

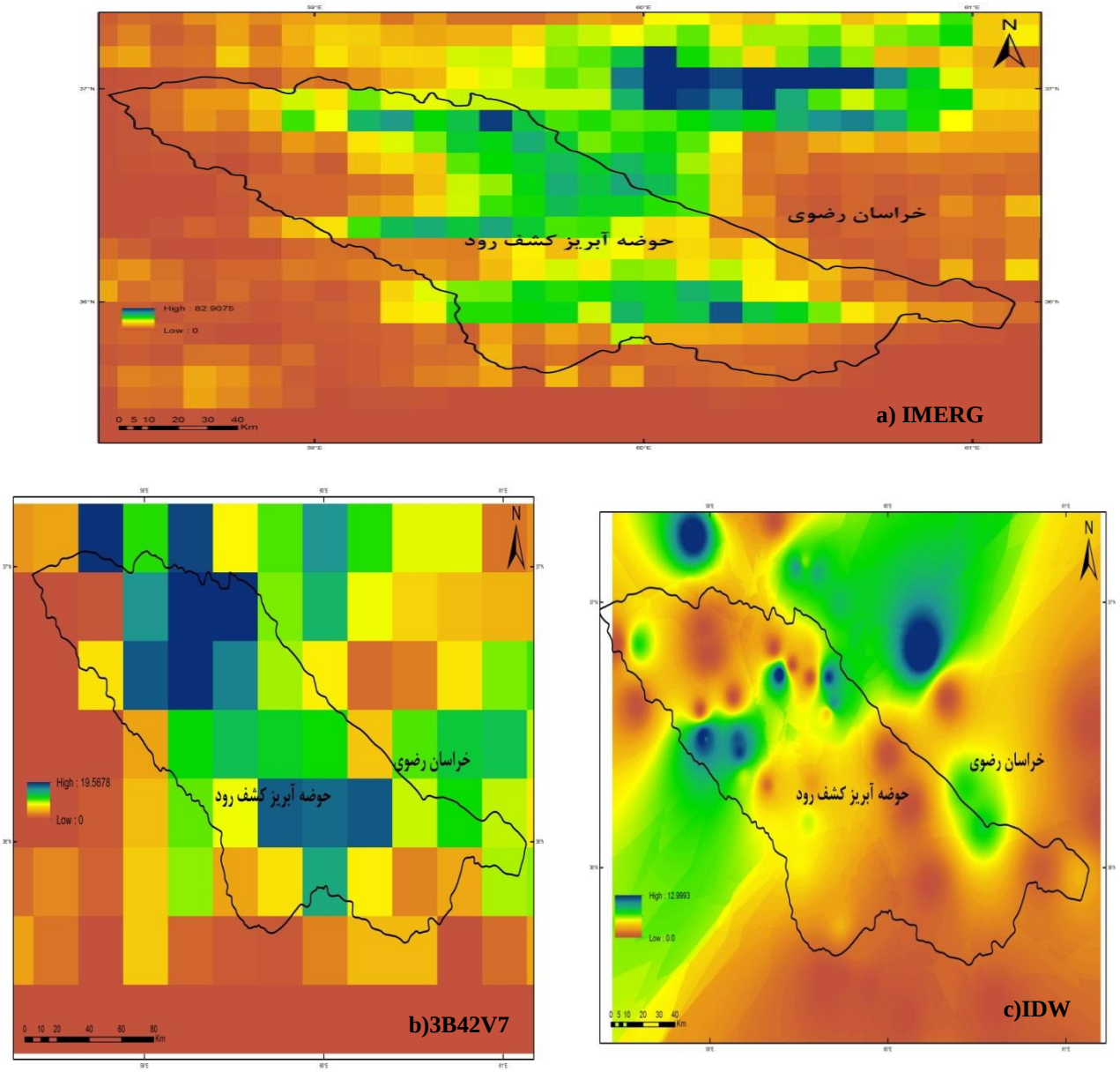


شکل۲. موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و نقشهٔ ارتفاعی حوضهٔ آبریز کشف رود

(شماره‌های داخل شکل، نشان دهندهٔ ردیف ایستگاه‌های باران‌سنجی در جدول ۱ است

جدول۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضهٔ آبریز کشف‌رود

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	طول جغرافیایی (درجه شرقی)
۱	اداره مشهد	۱۰۱۸	۳۶/۳۱	۵۹/۵۷
۲	اندرخ	۱۲۰۷	۳۶/۵۸	۵۹/۶۶
۳	حصار – دهبار	۱۲۵۱	۳۶/۳۰	۵۹/۴۰
۴	آق دربند	۶۰۲	۳۵/۹۹	۶۰/۸۵
۵	چکنه علیا	۱۷۰۴	۳۶/۸۴	۵۸/۴۷
۶	بلغور	۱۹۴۱	۳۶/۸۴	۵۸/۵۹
۷	گوش بالا	۱۵۶۹	۳۶/۷۱	۵۹/۵۶
۸	آل	۱۴۶۴	۳۶/۷۱	۵۹/۶۶
۹	چناران	۱۱۸۶	۳۶/۶۴	۵۹/۱۳
۱۰	خرکت	۱۹۸۲	۳۵/۹۴	۶۰/۲۳
۱۱	زیربند گلستان (جاغرق)	۱۴۳۴	۳۶/۳۱	۵۹/۳۲
۱۲	شریف آباد کشف رود	۱۴۶۷	۳۶/۰۲	۵۹/۵۰
۱۳	هندل آباد	۱۲۰۶	۳۶/۴۲	۵۹/۹۹
۱۴	امامزاده - میامی	۱۰۳۹	۳۶/۲۳	۶۰/۱۲۶
۱۵	آبقد ارداک	۱۵۰۵	۳۶/۷۶	۵۹/۴۶
۱۶	بهمن جان علیا	۱۳۷۱	۳۶/۹۰	۵۸/۹۷
۱۷	آبقدفریزی	۱۳۹۰	۳۶/۴۹	۵۸/۹۶
۱۸	تلغور	۱۵۶۳	۳۶/۸۲	۵۹/۳۶
۱۹	فرهادگردفریمان	۱۵۰۳	۳۷/۷۴	۵۹/۷۳
۲۰	زشک خراسان	۱۸۳۲	۳۶/۳۳	۵۹/۱۹
۱۲	مزدوران	۹۲۷	۳۶/۱۵	۶۰/۵۳
۲۲	اولنگ اسدی	۹۱۲	۳۶/۲۵	۵۹/۸۰
۲۳	پل خاتون کشف رود	۴۱۰	۳۵/۹۶	۶۱/۰۷
۲۴	سد کارده	۱۲۷۹	۳۶/۶۲	۵۹/۶۹
۲۵	مارشک	۱۸۳۰	۳۶/۸۰	۵۹/۵۴
۲۶	سدطرق	۱۲۴۲	۳۶/۱۷	۵۹/۵۵
۲۷	ارداک بند ساروج	۱۳۲۰	۳۶/۷۲	۵۹/۳۹
۲۸	قدیرآباد	۱۱۹۵	۳۶/۸۰	۵۸/۹۷
۲۹	امامزاده رادکان	۱۲۱۴	۳۶/۸۰	۵۹/۰۰
۳۰	دهانه اخلمد	۱۴۶۷	۳۶/۵۹	۵۸/۹۴
۳۱	فریزی	۱۶۳۱	۳۶/۴۸	۵۸/۹۷
۳۲	گلمکان	۱۴۴۰	۳۶/۴۸	۵۹/۱۵۶
۳۳	دولت آباد خرم دره	۱۵۷۵	۳۶/۴۳	۵۹/۱۶۶
۳۴	شغل آباد	۱۳۱۰	۳۶/۱۳	۵۹/۳۷



شکل۳. a تا c) توزیع فضایی بارش روزانه (۸ خرداد ۱۳۹۳)، از IMERG، 3B42V7 و IDW بدست آمده از بارش‌های ایستگاه‌های زمینی

همچنین مقایسهٔ بین ایستگاهی نیز در مقیاس روزانه و ماهانه انجام گرفت. این مقایسه برای بررسی دقت ایستگاه‌های مختلف که در مناطق متنوعی از حوضه پراکنده شده‌اند صورت گرفت. بعد از درون‌یابی، با توجه به رستری شدن داده‌ها هر روز یک میانگین برای حوضه گرفته شد. این مقدار میانگین با مقادیر میانگین روزانه بارش‌های ماهواره‌ای دو ماهواره مورد مقایسه قرار گرفت.

در مقایسه ماهانه در سطح حوضه نیز، ابتدا داده‌های روزانه تجمیع ماهانه شده و سپس مراحل ذکرشده برای داده‌های روزانه برای آن‌ها نیز انجام شد. در روش مقایسه نقطه‌ای، بارش‌های روزانه زمینی و ماهواره‌ای هر ایستگاه استخراج شد. سپس این بارش‌های روزانه با یکدیگر مقایسه شدند. در مقایسهٔ ماهانه نیز بارش‌های استخراج شده روزانه با هم تجمیع شدند و سپس ارزیابی به دقت صورت گرفت.

جدول ۲. معیارهای آماری مورد استفاده در ارزیابی و مقایسه

شاخص آماری	معادله	دامنه تغییرات
ضریب همبستگی (CC)	$CC = \frac{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(S_n - S)(G_n - G)}{\sigma_s \sigma_s}$	۱
خطای میانگین (ME)	$ME = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(fn - rn)$	۰
انحراف نسبی ($BIAS$)	$BIAS = \frac{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(fn - rn)}{\sum_{N=1}^{N} rn} \times 100$	۰
خطای جذر میانگین مربعات ($RMSE$)	$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(fn - rn)^2}$	۰
احتمال شناسایی (POD)	$POD = \frac{n11}{n11 + n01}$	۱
نسبت هشدار اشتباه (FAR)	$FAR = \frac{n10}{n11 + n10}$	۰
شاخص موفقیت قطعی (CSI)	$CSI = \frac{n11}{n11 + n01 + n10}$	۱

N تعداد نمونه‌ها است. Sn تخمین بارش ماهواره‌ای است. Gn بارش مشاهده شده در ایستگاه است. rG انحراف معیار بارش ایستگاه است. rS .
N11 انحراف معیار بارش ماهواره است. بارش مشاهده شده به‌وسیلهٔ ماهواره و ایستگاه به طور همزمان است (یعنی هر دو ثبت کرده‌اند)
N10 بارشی است که ماهواره ثبت کرده اما ایستگاه زمینی ثبت نکرده. N01 متضاد قبلی است. یعنی ایستگاه زمینی ثبت کرده و ماهواره ثبت نکرده است.
N00 بارشی است که نه ماهواره ثبت کرده و نه ایستگاه زمینی

نکته قابل ذکر این است که واحد اندازه‌گیری داده‌ها همگی به میلی‌متر است و در مورد داده های GPM با نام IMERG اقدام به تجمیع بارش‌های ۳۰ دقیقه‌ای به روزانه و روزانه به ماهانه شده است. سیستم IMERG دو بار در زمان نزدیک به زمان واقعی، برای تولید اوایل و اواخر محصولات چند ماهواره اجرا می‌کند. سپس سیستم را یک بار پس از تجزیه و تحلیل اندازه‌گیری ماهانه که دریافت می‌شود و محصولات نهایی ماهواره سنجش تولید می‌شوند که در مطالعهٔ ما مورد استفاده اجرا می‌گردد [۱۸]. در (شکل ۳) نمونه‌ای از داده های بارش هر دو ماهواره به همراه بارش درون‌یابی شده به‌روش IDW از ایستگاه‌های زمینی نشان داده شده است. در این شکل، ظاهراً دادهٔ بارش IMERG از ماهوارهٔ GPM نزدیکی و شباهت بیشتری به داده‌های درون‌یابی شدهٔ زمینی دارد.

بنابراین، واحد داده‌ها میلی‌متر بر روز یا میلی‌متر بر ساعت نیست. در مورد داده‌های زمینی و TRMM نیز با تجمیع داده‌های روزانه به داده‌های ماهانه رسیدیم. در مقایسه نقطه‌ای نیز فقط پیکسل‌هایی که دارای حداقل یک ایستگاه باران‌سنجی بودند در ارزیابی مورد استفاده قرار گرفتند. علت این امر کاهش خطای ناشی از درون‌یابی است. اندازهٔ پیکسل دادهٔ 3B42V7، ۰/۲۵° × ۰/۲۵°و قدرت تفکیک زمانی آن روزانه است. دادهٔ IMERG دارای اندازه پیکسل ۰/۱° × ۰/۱° و قدرت تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه‌ای است. محصولات 3B42V7 به اندازهٔ پیکسل ۰/۱° × ۰/۱° یعنی همان اندازهٔ پیکسل IMERG و درون‌یابی به‌دست آمده از IDW با استفاده از

روش درونیابی دوخطی ریزمقیاس شدند. همانطور که در (شکل ۲) مشاهده می کنیم، هر دو داده IMERG و 3B42V7 توزیع فضایی بارندگی و شدت بارش روزانه را در مقایسه با درون‌یابی بارش ایستگاهی زمینی نشان می‌دهند.

۳. نتایج

برای ارزیابی پیوستگی و تفاوت‌های بین داده‌های ماهواره ای IMERG و 3B42V7، دو محصول در مقیاس‌های مکانی ایستگاه و حوضه و زمانی روزانه و ماهانه با یکدیگر مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفتند. دورهٔ زمانی مورد مقایسه از ۲۱ اسفند ۱۳۹۲ تا ۳۱ شهریور ۱۳۹۳ است. این پژوهش برای اولین بار در ایران به ارزیابی داده‌های بارش ماهوارهٔ *GPM* به همراه محصول بارش ماهوارهٔ TRMM در مقایسه با ایستگاه‌های باران‌سنجی زمینی می‌پردازد. داده‌های ماهواره‌ای بارش می‌توانند در شبیه سازی بارش رواناب و با مدل‌های هشدار سیل استفاده شوند. از دلایل عدم کاربرد وسیع این داده‌ها می توان به ناشناخته بودند و عدم تحقیق و پژوهش مناسب بر روی آن‌ها دانست.

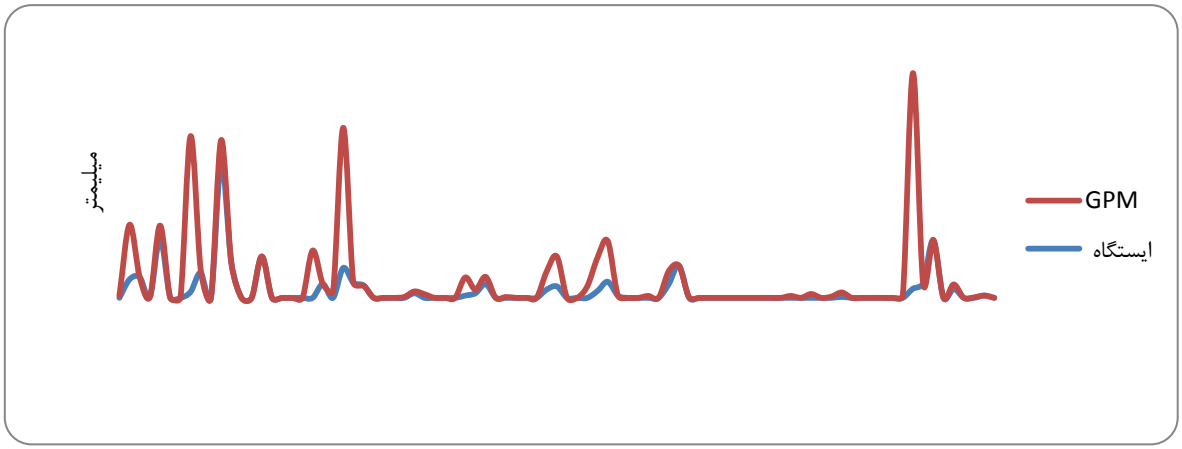
۱.۳. ارزیابی روزانه داده‌های IMERG و 3B42V7 در مقایسه با ایستگاه‌های باران‌سنجی زمینی

در جدول۳ نتایج مقایسهٔ روزانه در سطح حوضه و ایستگاه به تفکیک IMERG و 3B42V7 آمده است. با توجه به نتایج، فقط ضریب همبستگی در مقیاس مکانی ایستگاه برای دادهٔ IMERG بهتر از دادهٔ 3B42V7 به‌دست آمد، در حالی که بقیهٔ شاخص‌ها نشان دهندهٔ دقت بالاتر محصول 3B42V7 در مقایسه با IMERG کمتر می‌باشد. شاخص RMSE در مقیاس مکانی حوضه اختلاف بیشتر و این اختلاف در مقیاس ایستگاه کمتر دیده شد. با توجه به نتایج تحقیق [۳۴] که ذکر کرده مقادیر پایین ME در مناطق با شدت بارش پایین و همچنین ویژگی‌های اقلیمی حوضه مورد مطالعه این پژوهش، مقادیر پایین ME قابل توجیه است. در مقیاس مکانی حوضه و ایستگاه در محصول IMERG شاخص ME به هم نزدیک‌تر است، در حالی که در 3B42V7 اختلاف قابل توجهی دارد، به طوری که در مقیاس مکانی ایستگاهی این معیار منفی به‌دست آمده است. در مورد سایر شاخص‌ها با توجه به این‌که در مقیاس مکانی حوضه مقادیر شاخص‌ها در مورد محصول IMERG بالاتر می‌باشد، نتیجه می‌گیریم که این محصول می‌تواند در مقیاس‌های کلی‌تر و منطقه‌ای مناسب‌تر باشد. این نتیجه با نتایج به‌دست آمده توسط [۳۹،۴۰] منطبق است. در بخش شاخص‌های ارزیابی آماری کیفی شامل POD، FAR و CSI نیز همان نتایج شاخص‌های کمی ذکر شده به‌دست آمده است. در شاخص POD که به معنی احتمال شناسایی یا تشخیص بارش است، دادهٔ 3B42V7 در هر دو مقیاس مکانی حوضه و ایستگاه به عددی بالای ۰/۸۰ دست یافته اما دادهٔ IMERG عدد ۰/۷۹ را نشان می‌دهد. در شکل‌های (۵ و ۴) نیز روند بارش حوضه به ترتیب برای داده IMERG و 3B42V7 در مقایسه با داده مشاهداتی زمینی آمده است. در هر دو شکل اختلافات قابل توجهی بین واقعیت بارش و بارش ثبت شده ماهواره‌ای دیده می‌شود. یکی از بارزترین اختلافات قابل مشاهده در شکل (۴و۵) در روز ۲۹ مرداد ۱۳۹۳ می‌باشد که IMERG میزان ۲۲/۵ میلی‌متر و 3B42V7، ۸/۵ میلی متر ثبت بارش داشته است در حالی که ایستگاه‌های زمینی در حوضه فقط ۳ میلی‌متر بارش ثبت کرده‌اند. این اختلافات دلایل گوناگونی داشته که با توجه به زمان و موقعیت مکانی بارش می‌تواند نتیجه بارش‌های رگباری کوتاه مدت با شدت بالا، بارش‌های پراکنده و عدم قدرت تشخیص این بارش‌ها [۳۹،۴۰] توسط ماهواره باشد.

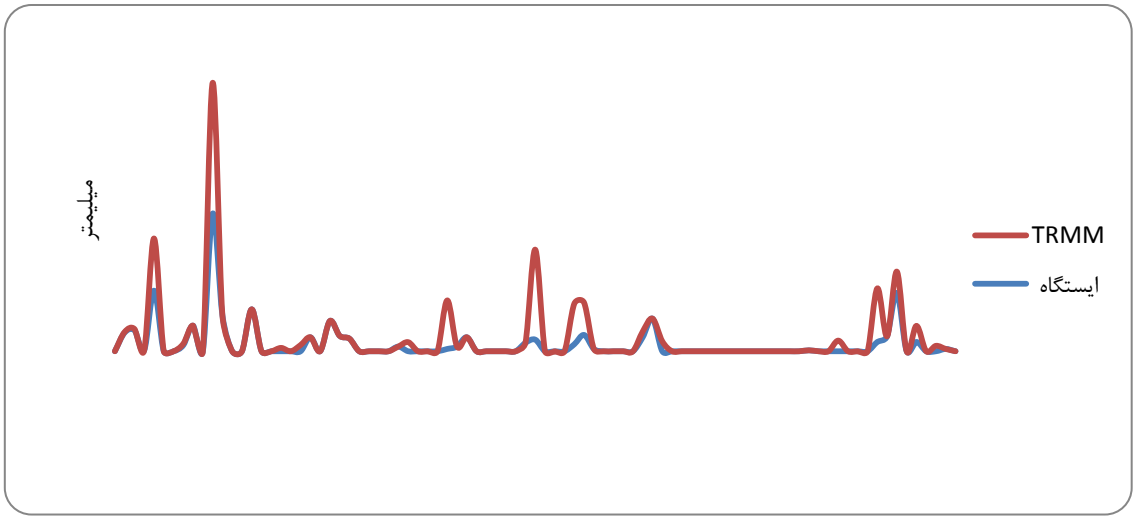
جدول۳. مقایسه در سطح حوضه و ایستگاه، برای داده‌های روزانه IMERG و 3B42V7

اعداد شاخص‌ها بر مبنای میانگین بارش روزانهٔ حوضه

محصولات	مقیاس زمانی	مقیاس مکانی	CC	RMSE (mm)	ME (mm)	BIAS (%)	POD	FAR	CSI
IMERG	روزانه	حوضه	۰/۵۸	۲/۳	۰/۲۶	۱/۳۵	۰/۷۹	۰/۳۳	۰/۵۶
3B42V7			۰/۶۴	۱/۵۵	۰/۰۰۴	۱/۲۶	۰/۸۱	۰/۲۹	۰/۶
IMERG		ایستگاه	۰/۵۷	۲/۴۳	۰/۳۵	۲/۰۵	۰/۷۹	۰/۳۶	۰/۵۴
3B42V7			۰/۴۴	۱/۸۸	-۰/۳۴	-./۱۴	۰/۸۴	۰/۲۶	۰/۶۴



شکل۴. روند بارندگی از روز دوازدهم مارس ۲۱اسفند تا روز ۱۴ خرداد ۱۳۹۳ در حوضه آبریز کشف رود.
مقایسه بین داده زمینی و ماهواره GPM



شکل ۵. روند بارندگی از روز دوازدهم مارس ۲۱اسفند تا روز ۱۴ خرداد ۱۳۹۳ در حوضهٔ آبریز کشف رود.
مقایسه بین داده زمینی و ماهواره TRMM

در جدول ۴ و ۵ نتایج تحلیل روزانه ایستگاهی در سطح حوضه نشان داده شده است. در جدول ۴، ۵ ایستگاه دارای بالاترین دقت و در جدول ۵، نیز ۵ ایستگاه دارای کمترین دقت با معیار شاخص RMSE نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۴ آمده است، هیچ یک از ۵ ایستگاه دارای بالاترین دقت در دو دادهٔ بارشی IMERG و 3B42V7 مشترک نیستند. این درحالی است که در جدول ۵ مشاهده می‌شود که تعداد سه ایستگاه بین دو داده مشترک هستند. با بررسی نتایج ذکرشده در دو جدول ۴ و ۵، مشخص است که ایستگاه‌های برتر در داده 3B42V7 دقت بالاتری از ایستگاه‌های برتر دادهٔ IMERG دارند. با این حال در شاخص‌هایی مانند POD میزان دقت دادهٔ IMERG بیشتر است. در مورد جدول ۵، دوباره می‌توانیم نکته ذکرشده در مورد جدول ۴ را مشاهده کنیم با این تفاوت که در مورد ایستگاه‌های که دارای کمترین دقت، شاخص‌های کیفی مانند POD تفاوت زیادی بین دو داده بارشی ندارند. ایستگاه سد طرق در GPM و ایستگاه هندل آباد در TRMM بهتر از بقیه ایستگاه‌ها بودند. بالاترین دقت ایستگاه‌ها در ماه فروردین می‌باشد به‌دلیل میزان بارندگی بیشتر در این ماه در سایر ماه‌های مطالعاتی بارندگی به میزان کمتر و یا دارای رگبارهای زودگذر است

جدول ۴. پنج ایستگاه که بیشترین دقت در هر یک از داده‌های بارش ماهواره‌ای IMERG و 3B42V7 از تحلیل‌های ایستگاهی

نام ایستگاه	3B42V7							نام ایستگاه	IMERG						
	CC	RMSE	ME	BIAS	POD	FAR	CSI		CC	RMSE	ME	BIAS	POD	FAR	CSI
هندل آباد	۰/۴۳	۲/۱۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۳۳	سد طرق	۰/۵۴	۲/۸	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۵۵	۰/۴۹	۰/۳۶
سد کارده	۰/۶۲	۲/۱۸	-۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۵۳	اولنگ اسدی	۰/۶۶	۲/۸۴	۰/۳	۰/۲۵	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۴
حصار	۰/۶۳	۲/۳۷	-۰/۰۶	-۰/۰۵	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۳۱	آق دربند	۰/۷۲	۳/۰۴	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۷۱	۰/۵	۰/۴۲
گوش بالا	۰/۴۴	۲/۴۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۳۱	فرهادگرد	۰/۵۳	۳/۱۹	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۶۴	۰/۴۲	۰/۴۴
چناران	۰/۲۳	۲/۴۵	۰/۳۰	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۲۷	شریف آباد	۰/۴۶	۳/۵۴	۰/۴	۰/۳۴	۰/۵۹	۰/۷	۰/۲۵

جدول ۵. پنج ایستگاه که کمترین دقت در هر یک از داده‌های بارش ماهواره‌ای IMERG و 3B42V7 از تحلیل‌های ایستگاهی

نام ایستگاه	3B42V7							نام ایستگاه	IMERG						
	CC	RMSE	ME	BIAS	POD	FAR	CSI		CC	RMSE	ME	BIAS	POD	FAR	CSI
تلغور	۰/۱۳	۵/۰۴	۱/۰۸	۰/۸	۰/۷۹	۰/۷۲	۰/۲۶	بهمن جان علیا	۰/۱۷	۶/۶۱	۰/۳۸	۰/۲۴	۰/۵۶	۰/۷۲	۰/۲۳
شغل آباد	۰/۲۸	۴/۹۴	-۰/۵۳	-۰/۲۱	۰/۵۷	۰/۴۵	۰/۳۹	بلغور	۰/۰۴	۵/۹۸	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۵۲	۰/۵۷	۰/۳۱
بلغور	۰/۱۴	۴/۴۶	-۰/۲	-۰/۱۰	۰/۳۵	۰/۵	۰/۲۶	امامزاده - رادکان	۰/۰۶	۵/۸۳	۰/۹۰	۱/۶۰	۰/۶۰	۰/۸۳	۰/۱۵
بهمن علیا	۰/۰۶	۴/۴۴	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۵۰	۰/۷۶	۰/۱۹	قدیر آباد	۰/۲۳	۵/۸۲	۰/۴۵	۰/۳۳	۰/۶۵	۰/۷۲	۰/۲۴
قدیر آباد	۰/۰۷	۴/۳۴	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۴۷	۰/۷۹	۰/۱۷	چکنه علیا	۰/۱۰	۵/۵۵	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۶۷	۰/۷۷	۰/۲۱

۳. ۲. ارزیابی ماهانه داده‌های IMERG و 3B42V7 در مقایسه با ایستگاه‌های باران‌سنجی زمینی

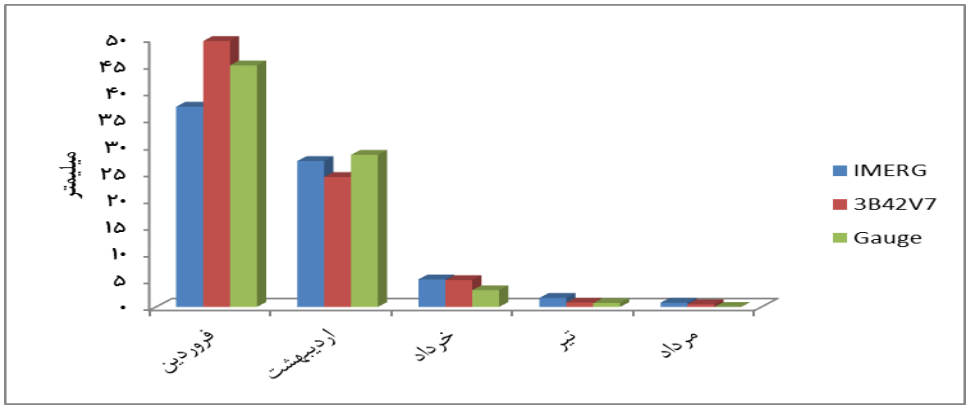
در ارزیابی ماهانه داده‌های IMERG و 3B42V7 در جدول۶، مقیاس حوضه داده IMERG دقت بالاتری دارد اما در مقیاس ایستگاه، داده 3B42V7 عملکرد مناسب‌تری دارد. از طرف دیگر IMERG تخمین کمتر از واقعیت در مقیاس ماهانه دارد (ضرایب ME و BIAS منفی می باشند) در حالی که 3B42V7 تخمین بیش از واقعیت است. همچنین برای دورهٔ روزانه، در مقیاس زمانی ماهانه نیز نتایج به‌دست آمده برای کل حوضه دقت بالاتری دارد که بیانگر تأثیر مکان و شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های محیطی بر دقت داده‌های بارش ماهواره‌های گوناگون می‌باشد. در شکل(۶) نیز روند داده‌ها در طول دوره زمانی مورد بررسی مشخص است که انعکاس دهندهٔ نتایج جدول ۶ است. شکل‌های (۸ و۷) بارندگی ماه آوریل سال ۲۰۱۴ (۱۰ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۳) از ماهواره GPM، محصول IMERG را نشان می‌دهد.

جدول۶. خلاصهٔ نتایج مقایسهٔ در سطح حوضه و ایستگاه، برای داده‌های IMERG و 3B42V7 ماهانه درحوضه آبریز کشف رود

اعداد به‌دست آمده از شاخص‌ها بر مبنای میانگین بارش روزانهٔ حوضه است

محصولات	مقیاس زمانی	مقیاس مکانی	CC	RMSE (mm)	ME (mm)	BIAS (%)
IMERG	ماهانه	حوضه	۰/۹۹۶۱	۲/۵۶	-۰/۴	-۰/۰۵
3B42 TRMM			۰/۹۹۱۷	۲/۷۷	۰/۹۵	۰/۱۳
IMERG		ایستگاه	۰/۹۹	۳/۶۴	-۱/۰۱	-۰/۱۳
3B42 TRMM			۰/۹۸	۲/۸۷	۰/۵۶	۰/۰۷

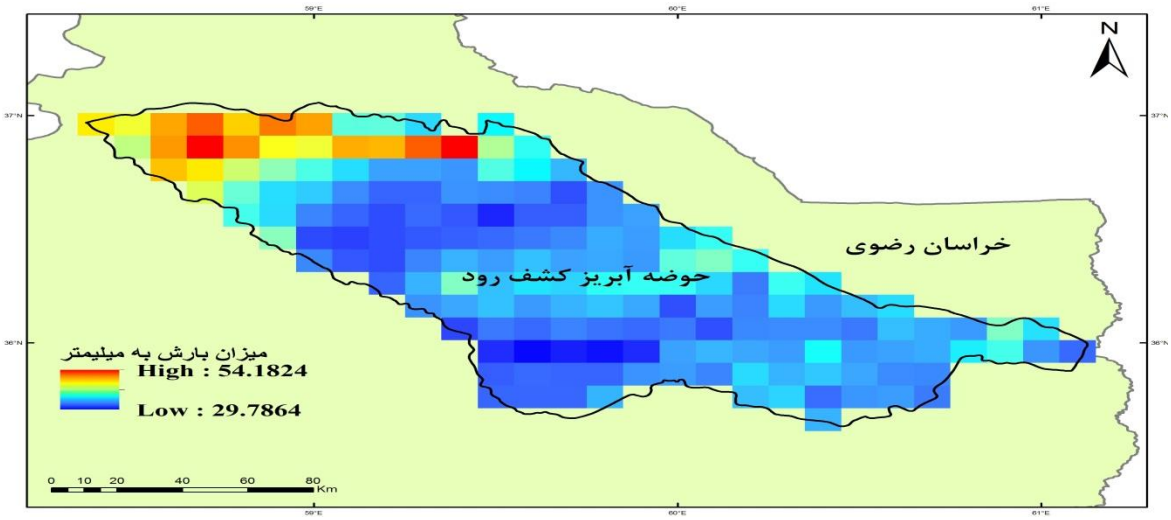
در جدول ۷ نتایج تحلیل ماهانه هر دو دادهٔ بارشی آمده است. با توجه به ثبت بارش صفر در ماه‌های مرداد و شهریور در ایستگاه‌های زمینی، این دو ماه از تحلیل‌های ماهانه حذف شدند. در این جدول کاملاً مشخص است که هرچه از فصل بارش فاصله گرفته و میزان بارش کاهش می‌یابد دقت داده‌ها نیز کمتر می‌شود. با مقایسهٔ دو دادهٔ بارشی، فقط در فروردین و در شاخص همبستگی و در اردیبهشت در شاخص RMSE، IMERG دقت بالاتری دارد.



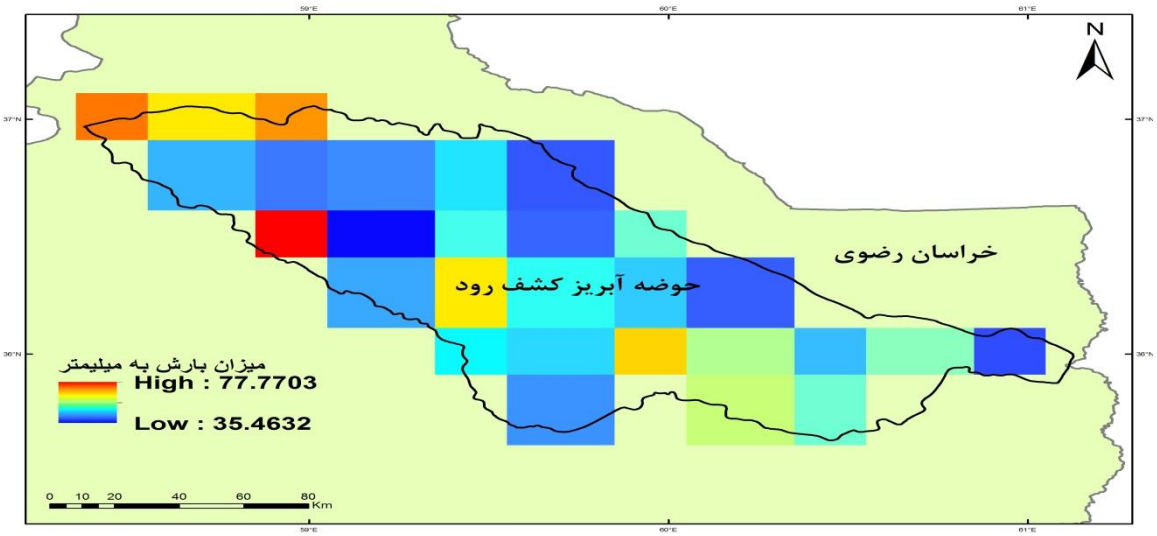
شکل۶. مقایسه مقادیر بارش ماهانه داده‌های IMERG، 3B42V7 و بارش ایستگاهی در سطح حوضه آبریز

جدول ۷. تحلیل ماهانه داده‌های بارش IMERG و 3B42V7

	IMERG				3B42V7			
	CC	BAIS	ME	RMSE	CC	BAIS	ME	RMSE
فروردین	۰/۵۵	-۱۷/۱	-۷/۷	۷/۷	۰/۳۵	۱۰/۰۵	۴/۵۲	۴/۵۲
اردیبهشت	۰/۰۹	۴/۰۸	-۱/۱۵	۱/۱۵	۰/۲۴	۱۴/۵۸	-۴/۱۳	۴/۱۳
خرداد	-۰/۰۲	۶۴/۸۷	۲/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۴	۶۰/۰۵	۱/۸۷	۱/۸۷
تیر	-۰/۰۳	۳۴/۵۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۱۱	۱۱/۶۷	۰/۰۸	۰/۰۸



شکل ۷. بارندگی ماه آوریل سال ۲۰۱۴ (۱۰ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۳) از ماهوارهٔ GPM، محصول IMERG.



شکل ۸. بارندگی ماه آوریل سال ۲۰۱۴ (۱۰ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۳) از ماهوارهٔ TRMM، محصول 3B42V7

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به ارزیابی دادهٔ بارش IMERG از ماهوارهٔ GPM و دادهٔ 3B42V7 از ماهوارهٔ TRMM در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه با استفاده از ۳۴ ایستگاه باران‌سنجی وزارت نیرو در حوضهٔ آبریز کشف رود در یک دورهٔ زمانی ۱۹۵ روزه اقدام شد. مقیاس‌های زمانی متفاوت برای بررسی نقش زمان و تجمیع بارش در دقت و کیفیت داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به محدودهٔ کوچک این حوضه آبریز در مقایسه با اندازه پیکسل داده‌های بارشی و همچنین دورهٔ زمانی کوتاه مقایسه (۱۹۵ روز) که در این مقاله استفاده شد، مطالعات بیشتر در حوضه ها و دوره‌های زمانی گسترده‌تر برای بررسی جامع‌تر این داده‌ها موردنیاز است. همچنین دیگر داده های بارشی مانند CMORPH، GSMap و ... نیز می‌تواند در ارزیابی و مقایسه وارد شوند تا نتیجه کامل‌تر و قابل اعتمادتری گرفته شود.

نتایج اصلی قابل استخراج از این تحقیق به شرح زیر است:

دادهٔ GPM در مقایسه با دادهٔ TRMM در مجموع دقت پایین (در روزانه یا ماهانه نقطه یا.....) دارد. فقط در بخش مقایسهٔ ماهانه در سطح حوضه، دادهٔ GPM دقت بالاتری از خود نشان می‌دهد. این نتیجه به‌دست آمده با نتایج به‌دست آمده از ارزیابی این داده‌ها در چین [۳۹،۳۸] کاملاً متضاد است. علت این امر می‌تواند بیانگر تأثیر مکان و شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های محیطی بر دقت داده‌های بارش ماهواره‌های گوناگون باشد. برای تأیید این نتایج با محقق اصلی و مسئول تیم GPM ناسا نیز ارتباط برقرار شد و ایشان نیز نتیجه را تابع مکان جغرافیایی و قابل پذیرش دانستند. ذکر این نکته ضروری است که تا به حال تنها در چین این دادهٔ بارش با دیگر داده‌های بارش ارزیابی و مقایسه شده، که در مقالات منتشره از این مقایسه‌ها، دادهٔ GPM دقت بیشتری از TRMM به‌دست آورده است. در راهنماها و متون منتشرشده نیز دربارهٔ *GPM* نوشته شده که این ماهواره بیشترین دقت را در میان ماهواره‌های بارش دارد، اما این امر می‌بایست با مطالعات گوناگون و در مکان‌های جغرافیایی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین، با توجه به نتایج این مقاله، نمی‌توان از قبل دربارهٔ دقت بالاتر محصول GPM در مقایسه با دیگر محصولات بارشی نظر داد و برای تمامی حوضه های آبریز این مقایسه و ارزیابی بایستی انجام شود تا بهترین داده ماهواره‌ای بارش آن حوضه مشخص شود.

نتایج به‌دست آمده در بخش شاخص‌های آماری کیفی مانند احتمال تشخیص بارش، نشان می‌دهد که بیش از ۰/۸۰ بارش‌ها در مقیاس روزانه چه در سطح حوضه و چه ایستگاه با دادهٔ 3B42V7 قابل تشخیص است که با پژوهش‌های [۳،۵،۶،۲۳،۲۹] مطابقت دارد اما این رقم برای GPM کمتر از ۰/۸ می‌باشد.

نتایج به دست آمده در مورد تحلیل ایستگاهی روزانه، نشان دهندهٔ دقت‌های بسیار متفاوت در بین ایستگاه‌ها است [۲۹]. در بین دو دادهٔ بارشی نیز در مجموع می‌توان دادهٔ 3B42V7 دارای صحت و دقت بیشتری دانست. برای بررسی علت تفاوت دقت ایستگاه‌های مختلف در هر دو داده، ارتباط نتایج به‌دست آمده با ارتفاع ایستگاه‌ها بررسی و ارزیابی شد، اما همبستگی ضعیفی بین دقت بارش‌ها و ارتفاع ایستگاه‌ها مشاهده شد به طوری که در بعضی از شاخص‌ها هیچ ارتباطی بین ارتفاع و میزان دقت به‌دست آمده مشاهده نشد. همچنین ایستگاه‌های دارای بیشترین دقت در دو داده کاملاً متفاوت هستند، به طوری که در بین ۵ ایستگاه برتر در این دو دادهٔ بارشی، هیچ ایستگاه مشترکی وجود ندارد. اما در مقابل در ۵ ایستگاه دارای کمترین دقت، ۳ ایستگاه بین هر دو داده مشترک هستند. دلیل این مورد می‌تواند به عدم دقت دو داده در موقعیت‌ها و شرایط یکسان مربوط باشد. به عبارت دیگر، احتمالاً ایستگاه‌های مذکور یا موقعیت خاصی دارند و یا اینکه نوع بارش در این ایستگاه‌ها شباهت زیادی به یکدیگر دارد و هر دو داده نیز

در این شرایط نمی‌توانند به درستی میزان بارش را تخمین بزنند. این مورد یکی از مواردی است که در مطالعات آینده بایستی مدنظر قرار گیرد و تحلیل جامعی درباره شرایط ایستگاه در زمان‌های مشخص و دقت‌های بدست آمده از داده‌های ماهواره‌ای بارش صورت گیرد. یکی از موارد قابل ذکر در تحلیل نتایج ایستگاهی روزانه، تخمین کمتر از واقعیت داده 3B42V7 که مورد تأیید در مقاله [۴،۵،۳۱] و بیش از واقعیت داده IMERG است.

در تحلیل‌های ماهانه، نیز در مجموع دادهٔ 3B42V7 میزان دقت بالاتری دارد. نکته مشترک بین دو داده، دقت بالاتر در ماه‌های دارای بارش بیشتر و دقت کمتر در ماه‌های دارای بارش کمتر است که همبستگی مثبت بالایی را بین میزان بارش و ماه آن با دقت اندازه‌گیری بارش توسط دو داده نشان می‌دهد. میزان دقت کمتر در ماه‌های خرداد و تیر که بارش کمتری دارند می‌تواند مؤید عدم امکان تشخیص درست بارش‌های سبک و خفیف توسط این داده‌ها باشد. هر دو داده در ماه‌های خرداد و تیر میزان انحراف نسبی مثبت بالایی را نشان می‌دهند که این مطلب مؤید تشخیص بیش از واقعیت هر دو داده (البته IMERG انحراف نسبی بسیار بیشتری دارد) در ماه‌های خشک سال که بارندگی‌های رگباری و پراکنده وجود دارد، است.

۱- بررسی نتایج در بخش مقیاس مکانی نشان از برتری قابل توجه مقیاس حوضه بر مقیاس ایستگاه دارد که این نتایج در مقاله [۳۹،۳۸] نیز تأکید شده است. بنابراین، هر چه محدودهٔ مکانی مورد مطالعه بزرگتر باشد، با توجه به میانگین گرفتن از بارش روزانه در آن منطقه، انتظار بر این است که دقت بارش نیز بیشتر شود.

با توجه به رژیم بارش در منطقه مورد مطالعه و نمودار بارش روزانه آن مشخص است که بارشهای سنگین در منطقه اتفاق نمی‌افتد و بسیاری از بارش‌ها به خصوص در فصل خشک سال به صورت بارش سبک کمتر از ۵ میلی‌متر هستند. این نوع بارش‌ها می توانند باعث خطای داده‌های ماهواره‌ای بارش باشند. نتایج تحلیل بارندگی و دبی نشان داد بارندگی در فصل پاییز در اکثر ایستگاه‌ها افزایش یافته است. به‌طوری که در ۱۹ ایستگاه روند افزایشی بوده است. از طرف دیگر بارندگی در فصل بهار در ۲۰ ایستگاه- از مجموع ۳۴ ایستگاه روند کاهشی را نشان دهد نکته قابل ذکر این است که روند افزایشی بسیار کم بوده به طوری که می‌توان از آن چشم پوشی کرد.

۲- بنابراین، بررسی ارتباط شدت بارش هر منطقه با بارش‌های ثبت شده ماهواره‌ای در مطالعات بعدی لازم و ضروری است. به طور منطقی پیش‌بینی داده‌های IMERG به‌طور ویژه در حال سبقت گرفتن از محصولات TMPA است، چرا که داده‌های از طول و عرض جغرافیای بالا بوده و با توجه به قابلیت رصدخانه مرکزی GPM برای تشخیص تشعشع و بارش جامد مورد استفاده قرار می‌گیرد که در مقاله [۱۴] نیز تأیید شده است. نتایج بدست آمده حداقل در مقیاس زمانی روزانه، برای هر دو داده بارش ماهواره ای، نشانگر دقت متوسط است. بنابراین، به نظر می رسد محصولات ماهواره ای بارش حداقل در سطح حوضه مورد مطالعه این تحقیق دقت موردنیاز برای استفاده اجرایی و کاربردی در مدلهای هیدرولوژیکی و دیگر مدلها باید بررسی بیشتری صورت گیرد.

References

[1] Ahmadi, M., Narengi fard, M. and Ghonodi, M. (2015). validation TRMM satellite rainfall data based on According to data from ground-based province Fars validation. IGC12. 12th Conference Iranian geographers. Najafabad- Iran. 172-181.

[2] Dinku, T., Anagnostou, EN. and Borga, M. (2002). Improving radarbased estimation of rainfall over complex terrain. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 41, 1163, doi:10.1175/1520-0450(2002)041,1163: IRBEOR.2.0.CO;2.

[3] Erfanian, M., Vafaei, N. and Rezaeianzadeh, M.(2014). A new method for drought risk assessment by integrating the TRMM rainfall data and the Terra/MODIS NDVI data in Fars province, Iran Physical Geography Research Quarterly, 46(1), 93-108.

[4] Futrell, J. and Coauthors. (2005). Water: Challenges at the intersection of human and natural systems NSF/DOE Tech. Rep. PNWD-3597, 50 pp, doi:10.2172/1046481.

[5] Ghafourian, H., Sanaeinejad, S.H. and Davary, K. (2013). Investigation Drought Monitoring Using TRMM Satellite Data (Case Study: Khorasan Razavi Province). Ferdowsi University of Mashhad.

[6] Ghafourian, H., Sanaeinejad, S.H. and Davary, K. (2014). Investigation of Suitable Regions Determination for Drought Monitoring Using TRMM Satellite Data (Case Study: Khorasan Razavi Province) Journal of water and soil, 28(3), 639-648.

[7] Guo, H., Chen, sh., Bao, A., Behrangi, A., Hong, Y., Ndayisaba, F., Hu, Junjun. and Stepanian, PM. (2016). Early Assessment of Integrated Multi-Satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement over China. Journal of Atmospheric Research. 176–177., 121-133. doi: 10.1016/j.atmosres.2016.02.020.

[8] Habib, E., ElSaadani, M. and Haile, AT. (2012) Climatologyfocused evaluation of CMORPH and TMPA satellite rainfall products over the Nile basin. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 51, 2105–2121, doi:10.1175/JAMC-D-11-0252.1.

[9] Heidari, H., Alikhani, B. (2000) climate classification Iran By using multivariate statistical techniques. Journal of Pajouhesh Va Sazandgi. 37,57-74.

[10] Hong, Y., Hsu, KL., Sorooshian, S. and Gao, X. (2004). Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 43, 1834–1853, doi:10.1175/JAM2173.1.

[11] Hong, Y., Adler, RF., Hossain, F., Curtis, S. and Huffman, GJ. (2007). A first approach to global runoff simulation using satellite rainfall estimation. Journal of Water Resour RESOURCES RESEARCH. 43, W08502, doi:10.1029/2006WR005739.

[12] Hong, Y., Ren, LL., Gourley, JJ., Huffman, GJ., Chen, X., Wang, W. and Khan, S. (2012). Assessment of evolving TRMM based multi-satellite real-time precipitation estimation methods and their impacts on hydrologic prediction in a high latitude basin. Journal of Geophys Research. 117, D09108, doi:10.1029/2011JD017069.

[13] Hou, AY., Skofronick-Jackson, G., Kummerow, CD. and Shepherd, JM. (2008). Global precipitation measurement. : Advances in Measurement, Estimation and Prediction. Michaelides, SH. Springer, 131–169.

[14] Hou, AY., Skofronick-Jackson, G., Kummerow, CD., Shepherd, JM. and Coauthors. (2014). The Global Precipitation Measurement Mission. Bull. Amer. Meteor. Soc., 95, 701–722, doi:10.1175/ BAMS-D-13-00164.1.

[15] http://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/main/index.html (1/06/2016).

[16] http://trmm.gsfc.nasa.gov (1/06/2016).

[17] http://pmm.nasa.gov/gpm-news/trmm-spacecraftre- enters-over-tropics (1/06/216).

[18] Huffman, GJ. and Bolvin, DT. (2015). TRMM and Other Data Precipitation Data Set Documentation, NASA Global Change Master Directory Doc., Mesoscale Atmospheric Processes Laboratory, 44 pp. [Available online at http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/3B42_3B43_doc_V7.pdf].

[19] Huffman, G J., Bolvin, DT. and Coauthors. (2001). Global precipitation at one-degree daily resolution frommultisatellite observations. Journal of Hydrometeor. 2, 36–50, doi:10.1175/1525-7541(2001)002,0036:GPAODD.2.0.CO;2.

[20] Huffman, GJ., and Bolvin, DT. and Coauthors. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. Journal of Hydrometeor. 8, 38–55, doi:10.1175/JHM560.1.

[21] Huffman, GJ., Adler, RF., Bolvin, DT and Nelkin, EJ. (2010). The TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA). Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology, F. Hossain and M. Gebremichael, Eds., Springer, 3–22.

[22] Joyce, RJ., Janowiak, JE., Arkin, PA. and Xie, P. (2004). CMORPH: A method that produces global precipitation estimate from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. Journal of Hydrometeor. 5, 487–503, doi:10.1175/1525- 7541(2004)005,0487:CAMTPG.2.0.CO;2.

[23] Kazempour chorsi, S., Haidari, S. and Erfanian, M. (2013) Evaluation and Calibration of TRMM Rainfall Data in Arid and Semi-arid Regions of Iran,Quarterly Journal of Geography (Regional Planning), (3) 3, 85-93.

[24] Kubota, T. and Coauthors. (2007). Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP Project: Production and validation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 45(7), 2259–2275, doi:10.1109/TGRS.2007.895337.

[25] kidd, C. and Huffman, G. (2011). Global precipitation measurement. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 18, 334–353, doi:10.1002/met.284.

[26] Li, Z., Yang, D. and Hong, Y. (2013). Multi-scale evaluation of highresolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River. Journal of Hydrogy. 500, 157–169, doi:10.1016/ j.jhydrol.2013.07.023.

[27] Li, Z., Yang, D, Gao, B., Jiao,Y., Hong, Y. and Xu, T. (2015). Multiscale hydrologic applications of the latest satellite precipitation products in the Yangtze River basin using a distributed hydrologic model. Journal of Hydrometeor. 16, 407–426, doi:10.1175/ JHM-D-14-0105.1.

[28] Long, D., Shen, Y., Sun, A., Hong, Y., Longuevergne, L., Yang, Y., Li, B. and Chen, L. (2014). Drought and flood monitoring for a large karst plateau in southwest China using extended GRACE data. Journal of Remote Sensing of Environment. 155, 145–160, doi:10.1016/j.rse.2014.08.006.

[29] Mahdiha, A., Ghibi, A.H., Kharazmi, S. and Rihani parvari, M. (201۳). Case Study variable contrast TRMM satellite rainfall estimate cumulative daily Tehran radar and rain-gauge stations. 18-20th Fifteenth Conference of Fluid Dynamics (Fluid), Bandar Abbass, IRAN.

[30] Masoodian, SA., Rayatpishe, F., Keykhosravi Kiani, MS. (2015). Introducing the TRMM and Asfezari precipitation database: A comparative study. Iranian Journal of Geophysics. 4(8), 15-31

[31] Mishra, AK. and Coulibaly, P. (2009). Developments in hydrometric network design: A review. Journal of Reviews of Geophysics. 47(2), RG2001, 2-24 doi:10.1029/2007RG000243.

[32] Prakash, SC., Mahesh, R., Gairola, M., Pal, PK. (2010). Estimation of Indian summer monsoon rainfall using Kalpana-1 VHRR data and its validation using rain gauge and GPCP data. Journal of Meteorology and Atmospheric Physics. 110(1-2), 45.

[33] Prakash, S., Mitra, AK., Momin, IM., Pai, DS., Rajagopal, EN. and Basu, S. (2015) .Comparison of TMPA-3B42 versions 6 and 7 precipitation products with gauge-based data over India for the southwest monsoon period. Journal of Hydrometeor. 16, 346–362, doi:10.1175/JHM-D-14-0024.1.

[34] Shen, X., Hong, Y, Zhang, K. and Hao, Z. (2015) Refine a distributed reservoir routing method to improve performance of the CREST model. Journal of Hydrolgy Eng., in press.

[35] Shen, Y. and A. Xiong. (2016). Validation and comparison of a new gauge-based precipitation analysis over mainland China. International Journal of Climatology. 36(1), 252–265. doi:10.1002/joc.4341, in press.

[36] Sorooshian, S., Hsu, KL., Gao, X., Gupta, HV., Imam, B. and Braithwaite, D. (2000). Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. Bull. Amer. Meteor. Soc., 81, 2035–2046, doi:10.1175/1520-0477(2000)081,2035: EOPSSE.2.3.CO;2.

[37] Tian, Y. and Peters-Lidard, CD. (2010) A global map of uncertainties satellite-based precipitation measurements. Journal of Geophysical Ressearch Letters. 37(24), L24407, doi:10.1029/2010GL046008.

[38] Tong, G., Zeng, Z., Long, D., Guo, x., Yong, B., Zhang, W. and Hong, Y. (2016). Statistical and Hydrological Comparisons between TRMM and GPM Level-3 Products over a Midlatitude Basin: Is Day-1 IMERG a Good Successor for TMPA 3B42V7?. Journal of Hydrometeorology. 17(1) , 121-137, doi: 10.1175/JHM-D-15-0059.1.

[39] Tang,G., Ma,Y., Long, D., Zhong,L., Hong, Y. (2016). Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales. Journal of Hydrometeorology. 17(5)., 1407–1423. http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-15-0081.1.

[40] Turk, FJ., and Miller, SD. (2005) Toward improved characterization of remotely sensed precipitation regimes with MODIS/ AMSR-E blended data techniques. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 43, 1059–1069, doi:10.1109/TGRS.2004.841627.

[41] Villarini, G. and Witold, K. (2008). Empirically-based modeling of spatial sampling uncertainties associated with rainfall measurements measurements by rain gauges. Adv. Journal of Water Resources . 31(7), 1015–1023, doi:10.1016/j.advwatres.2008.04.007.

[42] Xue, X., Hong, Y., Limaye, AS. Gourley, JJ., Huffman, GJ., Khan, KI., Dorji, C. and Chen, S. (2013). Statistical and hydrological evaluation of TRMM-based Multi-Satellite Precipitation Analysis over the Wangchu basin of Bhutan: Are the latest satellite precipitation products 3B42V7 ready for use in ungauged basins. Journal of Hydrology. 499, 91–99, doi:10.1016j.jhydrol. 2013.06.042.

[43] Yong, B., Liu, D., Gourley, JJ., Tian, Y., Huffman, GJ., Ren, L., Hong, Y. (2015). Global view of real-time TRMM multisatellite precipitation analysis: implications for its successor global precipitation measurement mission. Journal of Bulletin of the American Meteorological Society. 96(2), 283–296. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00017.1.

[44] Zulkafli, Z., Buytaert, W., Onof, C., Manz, B., Tarnavsky, E., Lavado, W. and Guyot, JL. (2014). A comparative performance analysis of TRMM 3B42 (TMPA) Versions 6 and 7 for hydrological applications over Andean–Amazon River basins. Jounar of Hydrometeory. 15, 581–592, doi:10.1175/ JHM-D-13-094.1.