ارزیابی داده‌های باز تحلیل و ماهواره‌ای بارش در حوضه آبریز ارس

پریسا مقدم‌نیا[۱]، محمد اکبریان[۲*]، سوگند زرین‌ساز[۳]

چکیده

بارش یکی از مهم‌ترین عناصر برای زندگی بشر در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است. جهت تحلیل پدیده‌های گوناگون هیدرولوژیکی و تغییرات اقلیمی، بدست آوردن اطلاعات دقیق بارش امری ضروری است. داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل در مقایسه با داده‌های زمینی می‌تواند کمیت بهتری نسبت به توزیع بارش در کره زمین ارائه دهند. چرا که در تعداد قابل ملاحظه‌ای از مناطق کشور شبکه متراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی وجود ندارد. این تحقیق نشان دهنده این است که تا چه مقدار اطلاعات بدست آمده از داده باز تحلیل CFSR، ماهواره‌های GPM و TRMM با داده‌های زمینی هم‌خوانی دارند. جهت انجام این کار باید بارش از تاریخ سوم آوریل تا سوم جولای سال ۲۰۱۴ حوضه آبریز ارس در نظر گرفته شود. همچنین روش به کار گرفته شده در این تحقیق، معیارهای آماری (BIAS و RMSE) و معیارهای احتمالاتی (CSI، FAR و POD) مقایسه شده است. نتایج پس از بررسی در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت بیانگر این است که داده‌ی GPM به صورت کلی بر سایر داده‌های رسیدگی شده اولویت دارد.

کلمات کلیدی: حوضه آبریز ارس، ماهواره GPM، ماهواره TRMM، ایستگاه زمینی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۶/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۸/۲۵

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی آل طه، تهران، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی آل طه، تهران، ایران.

ایمیل: m.akbarian@aletaha.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، پردیس فنی و مهندسی عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

Evaluation of reanalysis and satellite data of precipitation in Aras watershed

P. Moghaddam Nia[۱], M. Akbarian[۲]*, S. Zarrin Saz[۳]

Abstract

One of the most important elements for human life is rainfall in arid and semi-arid countries like Iran. In order to analyze various hydrological phenomena and climate changes, it is essential to obtain accurate information on precipitation. Compared to ground data, satellite data and reanalysis can provide a better quantity of rainfall distribution on the planet, especially in areas where there is a lack of rain gauge stations, because in the number of Considerably, there is no dense network of rain gauge stations in the regions of the country. In order to show to what extent the information obtained from CFSR reanalysis data and GPM and TRMM satellites are consistent with the ground data, the rainfall from April ۳rd to July ۳rd ۲۰۱٤ in Aras watershed should be considered. be taken. In this research, validation statistical criteria (BIAS and RMSE) and probabilistic criteria (CSI, FAR, and POD) have been compared. The results after the examination in different spatial and temporal scales indicate that the GPM data generally has priority over other processed data, this data can be discussed and reviewed in the upcoming projects.

Keywords: Aras Basin, GPM Sattelite, TRMM Sattelite, Ground datase.

Received: December ۲, ۲۰۲۳
Accepted: November ۱٦, ۲۰۲۳

۱- MSc., Civil Engineering Department, Ale-Taha Institute of Higher Education, Tehran, Iran.

۲- Assistant Professor, Civil Engineering Department, Ale-Taha Institute of Higher Education, Tehran, Iran. Email: m.akbarian@aletaha.ac.ir

۳- MSc. Candidate, Abbaspur Technical and Engineering Campus, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

*- نویسنده مسئول
* Corresponding Author

مقدمه

یکی از مباحث و زمینه‌های تحقیقاتی مورد مطالعه رفتـار بارش در سطح جهـانی اسـت. بارش از مهم‌ترین عوامل در مطالعات هواشناسی محسوب می‌شود. ایران در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده است و متوسط بارش سالانه آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر است. از این رو اندازه‌گیری دقیق میزان بارش برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و همچنین در بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها و فعالیت‌ها حائز اهمیت است. طی مطالعه‌ای که برای ارزیابی دقت داده‌های بارندگی GPCC و ۳B٤٥ TRMMدر برآورد بارش واقعی انجام شد، از داده‌های ماهانه بارش ۴۶ ایستگاه همدیدی استفاده گردید. نتایج نشان داد که مجموع برآورد بارش ۳B٤٥ TRMM نسبت به GPM از دقت بالاتری در اکثر ایستگاه‌ها برخوردار است (میری و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهشی دیگر که برای چهار منطقه اقلیمی ایران با ارزیابی و مقایسه داده‌های روزانه TRMMو GPM انجام شد،

محققین متوجه شدند که داده‌های سنجنده GPM عملکرد بهتری نسبت به TRMM و Era-interim دارد، در حالی که مقدار بارش در مقیاس روزانه هر سه پایگاه کم‌تر از مقدار واقعی برآورد شده است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۶). عبدالهی و همکاران نیز در طی ۵ سال داده‌های ۶ ایستگاه مشاهداتی با داده‌های بارش ماهواره‌ای CMORPH و TRMM را مقایسه کردند. نتایج حاکی از آن است که داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه و فصلی از دقت بالاتری نسبت به مقیاس روزانه برخوردار است (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۶). در شبه جزیره مالزی به جهت آنالیز توزیع مکانی بارندگی روزانه، تغییرات روزانه، توزیع کلاس‌های متفاوت شدت بارندگی و سهم آن‌ها در بارندگی کل فصل‌های مختلف، از داده‌های بارندگی ماهواره TRMM با قدرت تفکیک سه ساعته استفاده شده است. همچنین برای اعتبار سنجی داده‌های بارندگی TRMM از داده‌های بارندگی ایستگاه زمینی استفاده گردید. نتایج بیانگر این است که داده‌های TRMM در فصل‌های مختلف سال جهت مطالعه تغییرات روزانه و توزیع مکانی کلاس‌های متفاوت شدت، مناسب است (Variloden و همکاران، ۲۰۱۰). اسلام و همکاران در نپال داده‌های TRMM را در مقیاس روزانه با استفاده از داده‌ای ۱۵ ایستگاه زمینی کالیبره کردند. نتایج در مقیاس روزانه بیانگر این بود که TRMM با وجود اینکه در بیشتر روزها مقدار باران را کمتر برآورد می‌کند اما روش مشابهی با داده‌های زمینی دارد (Islamو همکاران، ۲۰۱۰). در عربستان سعودی نیز طی دوره ۱۲ ساله از آمار ۲۹ ایستگاه بارندگی به منظور واسنجی داده‌های بارش ماهواره TRMM استفاده گردید. نتایج نشان داد که در فصل مرطوب نتایج داده‌های ماهواره TRMM و داده‌های واقعی نزدیک به هم هستند و ضریب همبستگی بین داده‌های واسنجی شده TRMM و واقعی حدود۰/۹۹

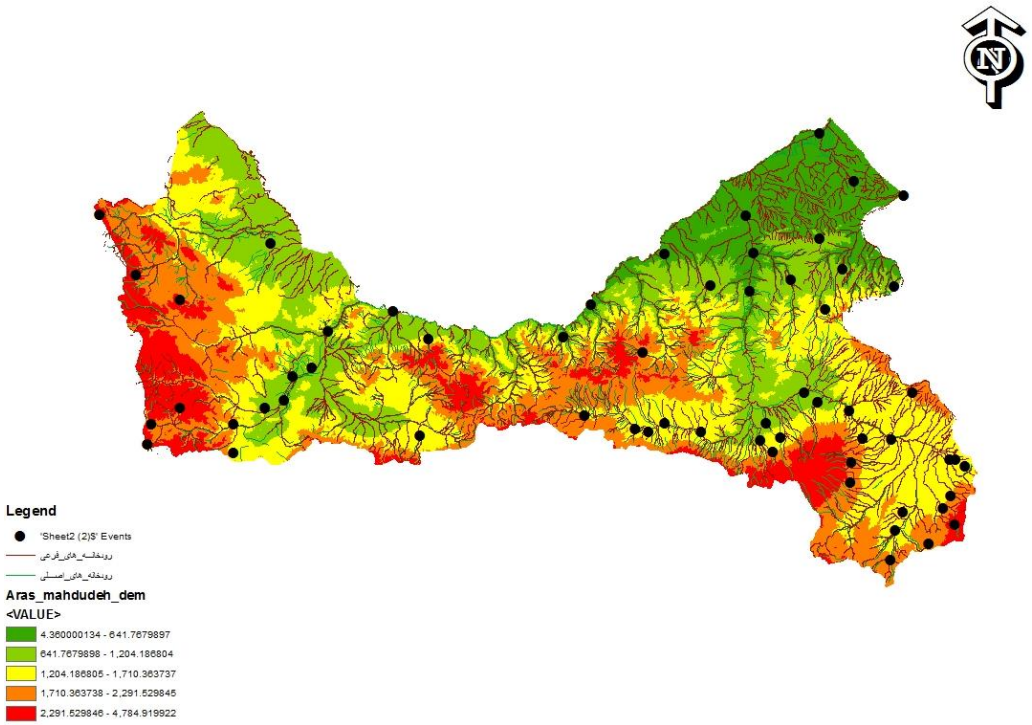
است (Almarzouni، ۲۰۱۱). از سویی دیگر در حوزه رودخانه سونگ جیانگ جهت ارزیابی داده‌های ماهواره TRMM و کاربرد آن‌ها از داده‌های سه ساعته TRMM در این حوضه استفاده شده است. نتایج بیان‌کننده این بود که داده‌های سه ساعته TRMM با داده‌های مشاهداتی در مقیاس حوزه آبخیز از تطابق خوبی برخوردار است اما در مقیاس نقطه‌ای خطای بیشتری دارد (Chen و همکاران، ۲۰۱۱). نتایجی از ارزیابی بارندگی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (ماهواره TRMM ۳B٤۲-PERSIANN) و روش درون‌یابی در دریاچه ویکتوریا بدست آمده است. این نتایج نشان دهنده این است که در میانگین تفاوت‌های ماهواره‌ها، ماهواره TRMM ۳B٤۳ برآورد بارش بیشتری از ماهواره PERSIANN دارد اما همبستگی آن‌ها با تغییرات درون سالی بهتره بوده است (Kizza، ۲۰۱۲). طی ارزیابی‌هایی که جهت دقت داده‌های بارش GPM و TRMM در مقیاس‌های زمانی فصلی، ماه و روز در سنگاپور انجام شد، ثابت گردید که مجموع بارش برآوردی سنجنده GPM نسبت به TRMM از دقت بیشتری بهره‌مند است (TAN، ۲۰۱۷). در جنوب غربی ایران نیز کیانی و همکاران طی بررسی‌هایی به توانایی ماهواره TRMM با محصول ۳B۴۲ در تشخیص الگوهای مکانی و زمانی بارش طی دوره ۱۸ ساله پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که این محصول از نظر معیارهای خطای مکانی در این منطقه پست عملکرد بهتری نسبت به مناطق مرتفع داشته است (Kiani و همکاران، ۲۰۲۰). نتیجه این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در بین داده‌های فوق TRMM برتری بیشتری دارد. اما از سال ۲۰۱۴ که ماهواره GPM ساخته شد همان طور که مشخص شده است این ماهواره از ارجحیت بیشتری نسبت به سایر ماهواره‌ها برخوردار است. پیش از این هیچ‌گونه برآورد داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل بارش در خصوص حوضه آبریز ارس انجام نشده بود و این پروژه آغازگر آماده‌سازی این اطلاعات است. در این کار جنبه مشارکتی علمی این مطالعه، پرداختن به این مبحث است تا بتوان به اهداف و آرمان کلی پروژه دست پیدا کرد و همچنین پاسخگوی سوالات و فرضیات مطرح شده باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز ارس است که در سه استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل واقع شده است. این حوضه یک حوضه فرعی به شمار می‌رود و زیرمجموعه حوضه آبریز دریای خزر است. مساحت این حوضه، ۲۹۵۳۴ کیلومتر مربع است. ارس که رود اصلی آن است از کوه هزار برکه در جنوب ارزوم ترکیه سرچشمه می‌گیرد و بخشی از مرز ترکیه و ارمنستان را تشکیل می‌دهد. همچنین این رود در شمال شرقی روستای دیم‌قشلاق وارد مرز ایران شده و در آنجا با ارمنستان و آذربایجان امتداد می‌یابد تا اینکه در شرق پارس‌آباد وارد جمهوری آذربایجان شود (شکل۱). در این مطالعه از ۶۱ ایستگاه باران‌سنجی سازمان مدیریت منابع آب استفاده شده است (شکل ۲). این داده‌ها از ۱۴ فروردین سال ۱۳۹۳ به مدت ۹۲ روز جهت ارزیابی در مقیاس روزانه و ماهانه به عنوان

داده‌های شاهد برای سنجش دقت بارش‌های ماهواره‌ای استفاده شده است.

شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز ارس در کشور ایران

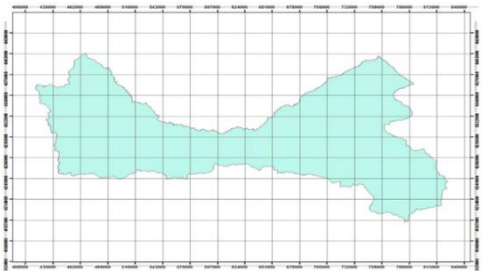


شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه

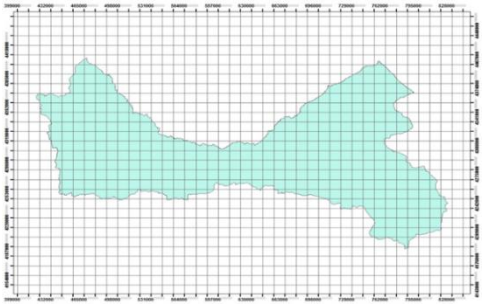
آنگاه از داده‌های بارش ماهواره‌ایGPM, TRMM و داده های باز تحلیل CFSR استفاده شده است. ماهواره GPM که محصول نهایی آن IMERG است، با هدف مشاهده میزان برف و باران در سرتاسر کره زمین به فضا پرتاب شد. این ماهواره باعث بهبود پیش‌بینی حوادثی که مخاطرات و سوانح طبیعی را به دنبال دارد شده است. از طرف دیگر ۳B٤۲ محصول نهایی ماهواره TRMM است. هدف ماهوارهTRMM پایش و مطالعه بارش مناطق گرمسیری و چگونگی تاثیر این بارش بر آب و هوای کره زمین است. کارهای مهم این ماهواره شامل نظارت بر میزان بارندگی‌های استوایی به لحاظ کمی و درک بهتر چرخه هیدرولوژیکی است. از دیگر کارهای مهم این ماهواره می‌توان به ارزیابی و توسعه مدل عددی، تکثیر و پیش‌بینی آن و بررسی تنوع روزانه بارش گرمسیری اشاره کرد. از طرف دیگر داده باز تحلیل CFSR می‌تواند اطلاعات مختلفی مانند دما، بارش، فشار، سرعت باد و غیره را مهیا کند. استفاده از این ماهوراه در تحلیل‌های اقلیمی به سادگی امکان پذیر است. چرا که این داده‌های بازتحلیل در نقطه شبکه‌ای منظم و بدون داده‌های گمشده است. جهت ارزیابی ایستگاهی روزانه و ماهانه، داده‌های روزانه و ماهانه ماهواره‌های GPM، TRM و CFSR بر اساس موقعیت مکانی و زمانی بکار گرفته شده است. همچنین برای پردازش آن‌ها از نرم افزار PANOPLY استفاده شده است. سپس داده‌های ایستگاه‌های زمینی از سازمان مدیریت منابع آب دریافت شده و به پردازش هرکدام به صورت جداگانه پرداخته شده است. آنگاه آن‌ها به صورت ستونی در مقابل هم در فایل اکسل قرار گرفته و در حالت سطری باهم مقایسه شدند. در نهایت به اعتبارسنجی و واسنجی آن‌ها پرداخته شده است. به منظور ارزیابی روزانه و ماهانه حوضه‌ای در ابتدا داده‌های روزانه و ماهانه ماهواره‌های GPM و TRMM و داده‌های بازتحلیل CFSR به صورت Giovanni از سایت ناسا دانلود شد. سپس داده‌های خام زمینی را جداگانه توسط روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW) در نرم افزار GIS به حالت رستری درون‌یابی و با داده‌های ماهواره‌ای مورد پردازش قرار گرفت. در آخر، اعتبارسنجی و صحت‌سنجی روی آن‌ها انجام شد. برای ایجاد داده‌های شبکه‌بندی شده از روی داده‌های زمینی، بایستی داده‌های ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی با استفاده از روش درون‌یابی به شیوه شبکه‌بندی شده تبدیل شود تا ارزیابی و عملکرد آن‌ها به درستی انجام شود. محققین بررسی‌هایی در زمینه ارزیابی کارایی روش‌های مختلف درون‌یابی جهت ساخت نقشه رستری (شبکه‌بندی) بارش انجام دادند.

نتایج و بحث

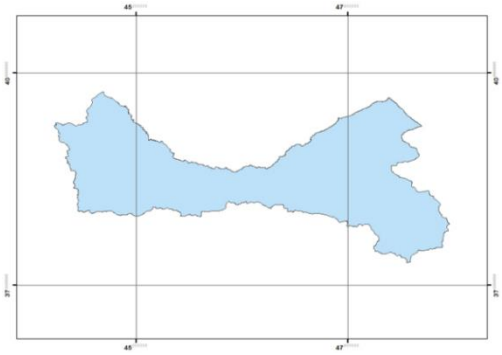
نتایج نشان داده است که روش‌های مبتنی بر ارتفاع یا عامل دیگر نمی‌تواند تضمین کننده برتری آن روش نسبت به روش‌هایی مانند IDW باشد. روش مذکور با وجود نبود ارتفاع از قابلیت کاربرد خوبی برخوردار است. در روش IDW از عامل معکوس مجذور فاصله به‌عنوان عامل وزنی در درون‌یابی داده‌های هواشناسی در ماهواره‌های GPM، TRMM و CFSR استفاده شده است (شکل‌های ۳ الی ۵). در هرسلول، فاصله به شکل فاصله بین مرکز سلول و مکان ایستگاه‌های هواشناسی جهت تعیین داده‌های هواشناسی در نظر گرفته شده است.



شکل۳- نقشه شبکه‌بندی شده داده ماهواره‌ای TRMM



شکل ۴-نقشه شبکه‌بندی شده داده ماهواره‌ای GPM



شکل ۵- نقشه شبکه‌بندی شده داده بازتحلیل CFSR

جهت اعتبارسنجی و بررسی ارتباط میان مقادیر مشاهده‌ای و ماهواره‌ای از پارامترهای آماری BIAS (خطای میانگین یا انحراف نسبی)، MAE (خطای مطلق میانگین) و RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) استفاده شده و میزان خطا پیش‌بینی می شود. که در اینجا A مقدار داده مشاهداتی، B مقدار داده ماهواره‌ای و n تعداد داده‌های بارش است. محاسبه شاخص‌های آماری صحت سنجی برای ارزیابی توانایی‌های تشخیص وقوع بارش توسط

محصولات ماهواره‌ای به کار می‌رود. جدول ۱ در پیش‌آمد احتمالی از نوع وقایع بله و خیر، وجود یا عدم وجود بارش استفاده می‌شود.

$$MAE = \frac{\sum_{a=1}^{n}|A - B|}{n} \quad (۱)$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{a=1}^{n}(A-B)^{2}}}{n} \quad (۲)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{a=1}^{n}(A - B)}{n} \quad (۳)$$

جدول ۱-بررسی وقوع یا رخ ندادن بارش

ایستگاه‌های زمینی / داده‌های جهانی	بله	خیر	کلیات
بله	Hits(a)	Misses(c)	a+c
خیر	False Alarms(b)	Correct Negative(d)	b+d
کلیات	a+b	c+d	a+b+c+d

در اینجا Hits نشان دهنده تعداد وقایع بارشی است که هر دو ایستگاه زمینی و ماهواره برای بارش مقدار ثبت کرده است، False Alarm بیانگر تعداد حالت‌هایی است که ماهواره خبر از وقوع بارش داده اما بارشی وجود نداشته و Misses برعکس حالت قبل است که تعداد وقایعی را بیان می‌کند که بارندگی رخ داده ولی توسط ماهواره تخمین نزده شده است. با استفاده از جدول یک رابطه‌های ۴، ۵ و ۶ تعریف می‌شود.

$$POD = \frac{Hits}{Hits + Misses} \quad (۴)$$

$$FAR = \frac{Falses}{Falses + Hits} \quad (۵)$$

$$CSI = \frac{Hits}{Hits + Falses + Misses} \quad (۶)$$

در این قسمت شاخص POD نشان دهنده این است چه کسری از رخدادهای مشاهداتی توسط ایستگاه بله به خوبی توسط ماهواره تشخیص داده شده است. FAR کسری از رخدادها را نشان می‌دهد که در واقعیت بارندگی رخ نداده اما ماهواره به اشتباه بارندگی را تشخیص داده است. در آخر شاخص CSI است که کسری از کل رخدادهای بارندگی را نشان می‌دهد که توسط ماهواره درست تشخیص داده شده است. مقادیر شاخص‌های بالا بین صفر و یک است که بهترین حالت برای FAR صفر و برای دو شاخص دیگر یک است.

اطلاع از مقدار دقیق بارندگی در مدیریت منابع آب جایگاه مهمی دارد. با این همه، اهمیت روش‌های مناسب برآورد بارش به دلیل نداشتن گسترش مکانی شبکه باران‌سنجی و تاخیر در دسترسی‌ها باعث شده تا این موضوع بیش از قبل مشخص شود. در این تحقیق به بارش مشاهداتی از ۱۴ فروردین سال ۹۳ تا ۱۲تیر سال ۹۳ پرداخته شده است. همچنین بارش ماهواره‌ای IMERG از ماهواره GPM، ۳B٤۲ از ماهواره TRMM و داده باز تحلیل NCEP CFSR ارزیابی شده است. هدف از این

پژوهش برآورد کیفیت داده‌های جهانی ماهواره‌ای و بازتحلیل شده در حوضه آبریز ارس در مقیاس‌های مکانی، زمانی، روزانه، ماهانه، ایستگاهی و حوضه‌ای بوده است. نتایج بیانگر این است که ماهواره GPM عملکرد بهتری نسبت به سایر ماهواره‌ها و داده‌های بازتحلیل دارد. همچنین در آینده می‌توان برای برنامه‌های کاربردی، مدل‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی از آن استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در نتایج نشان داده شده که کمینه اختلاف داده‌های بارش زمینی و همچنین پیش‌بینی محصول IMERG از ماهواره GPM انحراف نسبی، خطای مطلق میانگین، ریشه میانگین مربعات خطا است. برحسب این مقادیر نتایج سازگار است. محصول IMERG با در نظر گرفتن سنسورهای جدید و دقیقی که روی ماهواره GPM نصب شده و اندازه پیکسل‌های کوچکتر (۰/۱درجه) و همین‌طور فرکانس بالای آن برای مشاهده بارش در سراسر کره زمین، دقت بیشتری را نشان داده است. از مطالعات صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که محصولات بارش ماهواره‌ای در هر نوع تنوع اقلیمی، تحقیقی جداگانه لازم دارد چرا که در شرایط آب و هوایی و ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی مختلف، دقت‌های متفاوتی دارند. سابق بر این هیچ نوع ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل بارش در حوضه آبریز ارس انجام نشده و این پروژه آغازگر فراهم کردن این اطلاعات است. در این تحقیق سعی شده به اهداف کلی پروژه دست پیدا کرد. همچنین بتوان پاسخگوی سوالات و فرضیات مطرح شده باشد. با توجه بر اینکه محصول IMERG عملکرد بهتری نسبت به سایر محصولات ماهواره‌ای دارد، پیشنهاد می‌شود تا در آینده برای پروژه‌های کاربردی، پیش‌بینی‌های بلندمدت، مطالعات هواشناسی و غیره از آن استفاده کرد.

مراجع

میری مرتضی؛ رضییی طیب و رحیمی مجتبی. ۱۳۹۵. «ارزیابی و مقایسه آماری داده های بارش TRMM و GPCC با داده های مشاهده ای در ایران.» مجله فیزیک زمین و فضا

Alibakhshi Seydeh Maryam؛ Hossini Alireza Farid؛ Davari Kamran؛ Alizadeh Amin, Munyka Henry. ۲۰۱۹. «Assessment of Ground Station, GPM Satellite and MERRA Precipitation Products in Kashafrud Basin.» Journal of Watershed Management Research ۹(۱۸):۱۱۱-۱۲۲.

Almazroui Mansour.۲۰۱۱.«Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during ۱۹۹۸–۲۰۰۹.» Atmospheric Research ۹۹(۳-٤):٤۰۰-٤۱٤.

Chen Cheng؛ Yu Zhongbo؛ Li Li, Yang Chuanguo. ۲۰۱۱. «Adaptability evaluation of TRMM satellite rainfall and its application

estimates of TRMM ۳B٤۲ over Iran. »Advances in Geosciences ۲۵

Karaseva Marina O؛ Prakash Satya, Gairola Rm. ۲۰۱۲. «Validation of high-resolution TRMM-۳B٤۳ precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan.»Theoretical and Applied Climatology ۱۰۸(۱-۲):۱٤۷-۱۵۷.

Kizza Michael؛ Westerberg Ida؛ Rodhe Allan, Ntale Henry K. ۲۰۱۲. «Estimating areal rainfall over Lake Victoria and its basin using ground-based and satellite data.»Journal of hydrology ٤٦٤(٤۰۱-٤۱۱)

Kummerow Christian؛ Barnes William؛ Kozu Toshiaki؛ Shiue James, Simpson Joanne.۱۹۹۸.«The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package.»Journal of atmospheric and oceanic technology ۱۵(۳):۸۰۹-۸۱۷.

Li Xiang-Hu؛ Zhang Qi, Xu Chong-Yu.۲۰۱۲.«Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin.»Journal of hydrology ٤۲٦(۲۸-۳۸)

Madadi Gh.؛ Hamzeh S., Noroozi A. A. ۲۰۱۵. «Evaluation of rainfall on a daily, monthly and annual basis using satellite imagery (case study: west boundary basin of iran).» Journal of RS and Gis for natural resources (Journal of applied RS and GIS techniques in natural resource science) ٦(۲)

Nijssen Bart, Lettenmaier Dennis P.۲۰۰٤.«Effect of precipitation sampling error on simulated hydrological fluxes and states: Anticipating the Global Precipitation Measurement satellites.» Journal of Geophysical Research: Atmospheres ۱۰۹ (D۲):

Tan Mou Leong, Duan Zheng.۲۰۱۷. «Assessment of GPM and TRMM in the Dongjiang River Basin.» Procedia Environmental Sciences ۱۰ (۳۹٦-٤۰۲.

Collischonn Bruno؛ Collischonn Walter, Tucci Carlos Eduardo Morelli. ۲۰۰۸. «Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates.» Journal of hydrology ۳٦۰(۱-٤):۲۰۷-۲۱٦.

Dile Yihun Taddele, Srinivasan Raghavan. ۲۰۱٤. «Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data-scarce watersheds: an application in the Blue Nile River Basin.» JAWRA Journal of the American Water Resources Association ۵۰(۵): ۱۲۲٦-۱۲٤۱.

Erfanian Mahdi؛ Vafaei Nasrin, Rezaianzadeh Mehdi. ۲۰۱٤.«A New Method for Drought Risk Assessment by Integrating the TRMM Monthly Rainfall Data and the Terra/MODIS NDVI Data in Fars Province, Iran.»

Fuka Dr؛ Macallister Ca؛ Degaetano At, Easton Zm. ۲۰۱۳. «Using the Climate Forecast System Reanalysis dataset to improve weather input data for watershed models. Hydrol.» Proc.

Huffman George J؛ Bolvin David T؛ Braithwaite Dan؛ Hsu Kuolin؛ Joyce Robert؛ Xie Pingping, Yoo Soo-Hyun. ۲۰۱۵. «NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). »Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version ٤(۲٦)

Islam Md؛ Das Someshwar, Uyeda Hiroshi. ۲۰۱۰. «Calibration of TRMM derived rainfall over Nepal during ۱۹۹۸-۲۰۰۷.» The Open Atmospheric Science Journal ٤(۱)

Javanmard S؛ Yatagai A؛ Nodzu Mi؛ Bodaghjamali J, Kawamoto H.۲۰۱۰.«Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall

precipitation products over Singapore.» Remote Sensing ۹(۷):۷۲۰

Tang Guoqiang؛ Ma Yingzhao؛ Long Di؛ Zhong Lingzhi و Hong Yang.۲۰۱٦.«Evaluation of GPM Day-۱ IMERG and TMPA Version-۷ legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales.»Journal of hydrology ٥۳۳(۱٥۲-۱٦۷)

Tang Guoqiang؛ Zeng Ziyue؛ Long Di؛ Guo Xiaolin؛ Yong Bin؛ Zhang Weihua, Hong Yang.۲۰۱٦. «Statistical and hydrological comparisons between TRMM and GPM level-۳ products over a midlatitude basin: Is day-۱ IMERG a good successor for TMPA ۳B٤۲V۷? »Journal of Hydrometeorology ۱۷(۱):۱۲۱-۱۳۷.

Varikoden Hamza؛ Samah Aa, Babu Ca.۲۰۱۰.«Spatial and temporal characteristics of rain intensity in the peninsular Malaysia using TRMM rain rate.»Journal of hydrology ۳۸۷(۳-٤):۳۱۲-۳۱۹.