

## ارزیابی دقت ماهواره TRMM در برآورد مقادیر بارش و رواناب حوضه رودخانه شاپور استان فارس

محمد رضا زنگنه اینالو<sup>۱\*</sup>، بیژن قهرمان<sup>۲</sup>، علی رضا فریدحسینی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۲۶

### چکیده

مدل‌های بارش - رواناب از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی می‌باشند. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TRMM در برآورد مقادیر بارش ایستگاهی و رواناب در حوضه آبریز رودخانه شاپور در استان فارس می‌باشد. بدین منظور از اطلاعات رخدادهای بارش ساعتی، روزانه و ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه طی سال‌های ۹۵-۱۳۹۰ استفاده و به مقایسه نتایج آن‌ها با مقادیر داده‌های ماهواره‌ای TRMM و مقادیر اصلاح شده پرداخته شد. در ادامه با واسنجی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، به ارزیابی استفاده از مقادیر بارش ایستگاهی و مقادیر برآوردی ماهواره‌ای در برآورد رواناب حوضه پرداخته شد. مطابق نتایج بدست آمده نتایج برآورد بارش از مدل‌های TRMM و TRMM اصلاح شده در رخدادهای بارش ساعتی و روزانه نسبت به مقیاس ماهانه دقت کم‌تری دارند و نتایج برآورد بارش از مدل TRMM اصلاح شده در مدل ماهانه دارای ضریب تبیین بیش از ۰/۸۶ در ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی بارش - رواناب از مدل واسنجی شده نیز نشان داد بهترین نتیجه رواناب تخمینی از داده‌های بارش ایستگاهی حاصل گردید که مقدار RMSE آن حدود ۱۱/۹۴ مترمکعب بر ثانیه بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی رواناب، ماهواره TRMM، مدل HEC-HMS، واسنجی

### مقدمه ۱ ۴۲۲

بدون ایستگاه می‌باشد اما کاربرد این روش‌ها همراه با برخی کاستی‌ها همراه می‌باشد. در طول زمان، با درهم آمیختن دانش و فناوری سنجش از دور با پدیده‌های هواشناسی، مدل‌های پیشرفته‌ای برای برآورد ویژگی‌های بارش توسعه یافتند که دارای توانایی‌های بالای آشکارسازی مکانی و زمانی هستند. ماهواره TRMM<sup>۵</sup> محصول مشترک همکاری سازمان‌های آمریکا و ژاپن می‌باشد که با هدف به دست آوردن و مطالعه سری کامل داده‌های بارندگی چندین ساله از منطقه حاره، شناخت چگونگی کنش متقابل بین دریا، هوا و ایجاد تغییرات در بارندگی و اقلیم، گسترش مدل‌های، بررسی پروژه‌های باران‌های حاره‌ای و تاثیر آن‌ها بر جریان‌های جهانی به واسطه‌ی پیش‌بینی بارندگی و تغییرات زمانی در دوره‌های مختلف، آزمون، ارزیابی، برآورد و ارتقا تکنیک اندازه‌گیری بارش در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ در یک مدار تقریباً دایره‌ای در ارتفاع ۸۵۰ کیلومتری با یک زاویه میل ۳۵ درجه نسبت به مدار استوا با دوره گردش زمانی ۹۱/۵ دقیقه به فضا پرتاب شده است. این ماهواره اطلاعات ارزشمندی از وضعیت دما و بارش برای عرض‌های جغرافیایی ۵۰ درجه شمالی تا

دست‌یابی به رابطه دقیق بین بارش و رواناب در مدل‌سازی، نیازمند استفاده از داده‌های مناسب بارش و رواناب در حوضه‌های آب-ریز می‌باشد که کمبود آن‌ها از مشکلات رایج در بسیاری از کشورهای در حال توسعه می‌باشد. با پیشرفت فناوری، دست‌یابی به داده‌های زمان واقعی با استفاده از محصولات ماهواره‌ای آسان‌تر می‌شود و این نشان‌دهنده راه‌حلی بالقوه برای حوضه‌های فاقد ایستگاه باران‌سنجی می‌باشد. بارش نیروی محرک اصلی در چرخه آب است و اطلاعات دقیق با جزییات مکانی کافی از این متغیر دارای اهمیت زیادی در ارزیابی هیدرولوژی در مقیاس حوضه هستند (Nijssen and Lettenmaier., 2004). گرچه بهره‌گیری از روش‌های مختلف درون‌یابی از راهکارهای پذیرفته شده برای برآورد بارش در مناطق

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*- نویسنده مسئول: (Email: bijangh@um.ac.ir)

سیلاب پرداختند. براساس نتایج آن‌ها بین تخمین ماهواره و مشاهدات زمینی همبستگی به مقدار ۰/۵۳ درصد وجود دارد. آن‌ها هم‌چنین گزارش کردند که سیلاب در اکثر زیر حوضه‌های جنوب‌شرقی منطقه رخ می‌دهد که حداکثر حجم آن هم‌زمان با بارندگی‌های شدید است. عسکری و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی اقدام به اعتبارسنجی اطلاعات تولید شده از ماهواره TRMM و مقایسه با داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک کشور طی آذرماه سال ۱۳۸۶ نمودند. نتایج آن‌ها بیانگر انطباق بالای هیستوگرام فراوانی مقادیر بارش ماهواره‌ای مینا با مقادیر زمینی مینا بوده و مقدار ضریب همبستگی آن‌ها را در حدود ۷۰ درصد گزارش کرد. گودرزی‌فر و عزیزاقلی (۱۳۹۰) ناحیه‌بندی بارشی استان سیستان و بلوچستان را با استفاده از داده‌های سنجنده TRMM به روش تحلیل خوشه‌ای در یک دوره ۱۲ ساله انجام دادند. براساس نتایج بدست آمده استان به سه ناحیه بارشی شمالی، مرکزی و جنوبی تقسیم‌بندی گردید و ویژگی‌های بارشی هر ناحیه در فصل‌های مختلف استخراج گردید. شیروانی و فخاری‌زاده شیرازی (۱۳۹۳) داده‌های روزانه بارش ۱۲ ایستگاه همدیدی و ۳۷ ایستگاه باران‌سنجی را برای ارزیابی محصول نسخه ۷ ماهواره TRMM در استان فارس طی دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۸ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین داده‌های با زمینی و ماهواره‌ای در بیش‌تر مناطق استان فارس برای همه مقیاس‌های زمانی وجود دارد. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به ارزیابی داده‌های بارش الگوریتم‌های 3B42 و 3B43 در ماهواره TRMM برای ناحیه‌های مختلف اقلیمی ایران در گستره‌ی ۸۷ ایستگاه سینوپتیکی طی دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۹۸ پرداختند. براساس نتایج آن‌ها ماهواره TRMM در حدود ۶۸ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی دارای نتایج بیش برآورد بارش بوده است. نتایج واسنجی داده‌های ماهواره‌ای TRMM نشان داد در بیش‌تر نواحی اقلیمی و ایستگاه‌ها دارای مقادیر مشابه یا نزدیک به مقادیر مشاهده‌ای می‌باشند به جز در ناحیه اقلیمی مرطوب شمال ایران که خطای داده‌های ماهواره‌ای کاهش چندانی را نشان نداد. عبدالمهی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به ارزیابی دقت داده‌های بارش ماهواره‌های CMORPH و TRMM 3B42RT در حوضه گرگان‌رود پرداختند. مطابق نتایج بدست آمده داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه و فصلی از دقت بالاتری نسبت به مقیاس روزانه برخوردار هستند و مدل CMORPH و TRMM 3B42RT مقدار بارش را کم‌تر از مقدار مشاهداتی تخمین می‌زنند.

با توجه به اهمیت اطلاعات بارش در مطالعات پایه‌ی منابع آب و عدم وجود شبکه باران‌سنجی مترکم در اکثر مناطق کشور، رویکرد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد بارش و برآورد رواناب در مناطق مختلف می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. در پژوهش حاضر با انتخاب رویدادهای مختلف بارش در مقیاس‌های زمانی ساعتی، روزانه

۵۰ درجه جنوبی در کل زمین با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه به‌صورت سه ساعتی ارایه می‌دهد ( Huffman et al., 2010; Huffman and Bolvin., 2007).

به دلیل اهمیت محصولات بارش ماهواره‌ی در نقاط مختلف جهان پژوهش‌های گسترده‌ای در خصوص دقت داده‌های آن‌ها و نیز استفاده از داده‌های مدل‌های ماهواره‌ای بارش در مدل‌های هیدرولوژیکی به‌منظور تخمین رواناب انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود. چوکنگامونگ و چپو در پژوهشی داده‌های روزانه بارش کشور تایلند را با مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی GPCC و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای محصول TRMM مقایسه کردند. مطابق یافته‌های آن‌ها داده‌های برآوردی TRMM 3B43 با پایگاه ملی دارای تطابق زیادی است اما هم‌خوانی بین داده‌های پایگاه GPCC با پایگاه ملی بیش‌تر می‌باشد (Chokngamwong and Chiu., 2008). چن و همکاران به ارزیابی بارش برآورد شده توسط شبکه رادارهای زمینی و داده‌های بارش ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه‌های زمینی در تایوان پرداختند. آن‌ها از داده‌های ماهواره‌ای 3B42RT، PERSIANN-CSS، 3B42V6 و CMORPH استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تمام داده‌های ماهواره‌ای، مقدار بارش را کم‌تر از داده‌های ایستگاه‌های زمینی برآورد می‌کنند. داده‌های رادار با ضریب همبستگی ۰/۸۱، بالاترین ضریب همبستگی را با داده‌های زمینی نشان می‌دهد و در بین داده‌های ماهواره‌ای CMORPH با وجود برآورد کم‌تر بارش، با ضریب ۰/۷۰ بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی را دارد (Chen et al., 2013). ترامبلی و همکاران محصولات بارش ماهواره‌های مختلف را برای مدل‌سازی هیدرولوژی حوضه آبریز مخزین در مراکش بررسی کردند. آن‌ها محصولات بارش ماهواره‌های مورد بررسی را با اطلاعات ۱۰ ایستگاه باران‌سنجی و ۴ روش درون‌یابی مقایسه نمودند. بر پایه‌ی نتایج بدست آمده محصول TRMM-3B42 v7 بهترین عملکرد را نسبت به دیگر محصولات دیگر ماهواره‌ها نشان داد (Trambeley et al., 2016). نجم‌الدین و همکاران در پژوهشی داده‌های ماهواره‌ای بارش TMPA-3B42 و 3B42RT را برای ۴ ایستگاه باران‌سنجی در حوضه زاب شمال‌شرق عراق در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ به‌منظور مدل‌سازی بارش - رواناب بررسی کردند. براساس نتایج بدست آمده بهترین تخمین رواناب از محصولات بارش مربوط به الگوریتم 3B42 و ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به الگوریتم 3B42RT بود و نشان دادند در صورت تصحیح داده‌های ماهواره‌ای می‌توان از آن‌ها به‌منظور مدل‌سازی بارش - رواناب استفاده کرد (Najmaadin et al., 2017). متکان و همکاران (۱۳۸۸) قابلیت الگوریتم ترکیبی همسان‌سازی احتمال داده‌های Meteosat و TRMM در تخمین بارندگی شدید مورخ دهم اوت سال ۲۰۰۵ میلادی که منجر به وقوع سیل گردیده بود را مورد بررسی قرار دادند و با کمک مدل هیدرولوژیکی به پیش

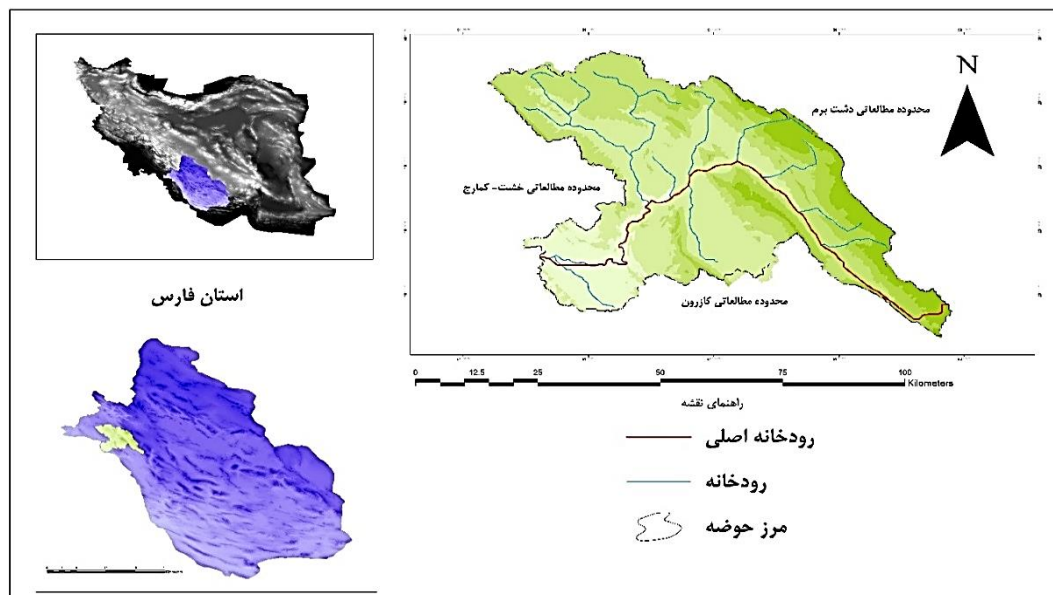
پریشان (ارتفاعات مابین دریاچه‌های پریشان و ارژن) و شمال شرق شهرستان کازرون استان فارس سرچشمه می‌گیرد و در ابتدا بنام رودخانه سفید در جهت شمال غربی جریان یافته و چندین شاخه فصلی و سیلابی از جمله رودخانه‌های حنا، بل حیات، تنگه شیب و رنجان به آن متصل شده و به سمت جنوب غربی تغییر مسیر می‌دهد. ایستگاه آب‌سنجی چیتی در پایاب منطقه مورد مطالعه قرار دارد و در واقع آخرین نقطه آن و به‌منزله خروجی حوضه در نظر گرفته شد. رودخانه شاپور تا محل ایستگاه آب‌سنجی چیتی محدوده‌ای به وسعت ۲۴۹۶/۱ کیلومتر مربع را زهکشی می‌نماید. متوسط شیب کل حوضه آبخیز تا ایستگاه آب‌سنجی چیتی برابر با ۱۸/۳ درصد می‌باشد. بیش‌ترین ارتفاع این زیرحوضه ۳۰۰۰ متر و در زیرحوضه رودخانه رنجان می‌باشد. شیب رودخانه از سراب تا محل ایستگاه آب‌سنجی چیتی برابر ۰/۹ درصد و طول آن ۱۱۸ کیلومتر است.

و ماهانه، دقت داده‌های بارش ماهواره‌های TRMM و مقادیر اصلاح شده آن در برآورد مقادیر بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه آبریز رودخانه شاپور براساس معیارهای مختلف آماری ارزیابی گردید و در ادامه با تهیه مدل واسنجی شده بارش رواناب حوضه به ارزیابی استفاده از مقادیر داده‌های ماهواره‌ای بارش در برآورد رواناب ایستگاه هیدرومتری چیتی در پایاب حوضه پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

حوضه آبریز شاپور با وسعت ۲۴۹۶/۱ کیلومتر مربع بین طول شرقی ۵۲ درجه و سه دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۱ دقیقه و عرض شمالی ۲۹ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و یک دقیقه واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و محدوده‌های مطالعاتی آن آورده شده است. رودخانه شاپور از کوه‌های شمال دریاچه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به‌همراه محدوده‌های مطالعاتی در استان فارس و ایران

هیدرولوژیکی با استفاده از داده‌های بارش زمینی و بارش ماهواره‌ای استفاده گردید. آمار جمع‌آوری شده در این پژوهش از سازمان هواشناسی و دفتر مطالعات پایه شرکت آب منطقه‌ای فارس اخذ شد. ایستگاه‌های دشت ارژن و پس‌قلات در خارج حوضه و بوشیگان، کازرون و چیتی در داخل حوضه قرار دارند. در این پژوهش داده‌های ساعتی بارش ماهواره‌های TRMM از پایگاه سازمان فضایی آمریکا استخراج گردید و پس از تحلیل فرمت دریافتی داده‌ها در محیط متلب اطلاعات بارش ساعتی استخراج گردید.

در محدوده مورد مطالعه تعداد ۵ ایستگاه باران‌سنجی شامل بوشیگان، پس‌قلات، دشت ارژن، چیتی و کازرون مورد بررسی قرار گرفتند که مشخصات و ویژگی‌های آماری آن‌ها برای داده‌های بارش روزانه در جدول ۱ آورده شدند. ایستگاه‌های مورد بررسی دارای دامنه تغییر ارتفاعی در محدوده‌ی ۴۸۸ متر تا ۲۰۱۳ متر از سطح دریا می‌باشند. ایستگاه باران‌سنجی بوشیگان که دارای آمار باران سنج ثابت می‌باشد به‌عنوان ایستگاه مبنا و شاخص در مقیاس ساعتی به منظور صحت‌سنجی داده‌های ماهواره‌ای در نظر گرفته شد. از آمار دبی روزانه در ایستگاه هیدرومتری چیتی برای واسنجی مدل

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و خصوصیات آماری داده‌های بارش در ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشی‌دگی
بوشیگان	۵۴۹۳۲۹	۳۲۸۸۲۶۹	۷۰۷	۱۹/۶۳	۱۵/۲۷	۱/۲۱	-۰/۹۷
پس‌قلات	۵۵۵۲۴۲	۳۳۱۹۷۵۹	۱۰۵۹	۱۶/۴۰	۱۳/۸۴	۰/۷۸	-۰/۳۹
دشت ارژن	۵۹۵۵۴۸	۳۲۸۱۴۰۹	۲۰۱۳	۲۲/۱۲	۲۴/۹۷	۱/۱۴	-۰/۱۳
چیتی	۵۲۹۷۹۰	۳۲۷۴۰۶۲	۴۸۸	۱۷/۸۰	۱۶/۷۰	۱/۴۰	۲/۴۷
کازرون	۵۶۴۰۵۹	۳۲۷۵۵۴۶	۸۰۷	۱۸/۷۷	۱۹/۱۳	۱/۳۳	۱/۱۷

### داده‌های بارش ماهواره‌ای TRMM

ماهواره TRMM شامل رادار بارش (PR) و حسگر تصویر میکروویو (TMI) می‌باشد که PR فقط وسیله اندازه‌گیری در فضا است که شدت بارش و اندازه قطره را با استفاده از رادار اندازه‌گیری می‌کند و نیز می‌تواند بارش را در ارتفاع‌های مختلف در نتیجه پروفیل بارش عمودی اندازه‌گیری کند. این وسیله دقیق است و اندازه‌گیری‌های آن اغلب صحیح است اما هنوز بعضی مشکلات در اندازه‌گیری بارش کمتر از ۰/۷ میلی‌متر بر ساعت در آن دیده شده است (Marachi., 2006).

نتایج الگوریتم TRMM 3B42RT V7 از ترکیب محصول ماهواره TRMM با سایر منابع تهیه می‌شود. داده‌های این الگوریتم شامل داده‌های ۶ منبع است که عبارتند از: داده‌های سه سنسور اسکن کننده فروسرخ - مریبی (VIRS) تصویربرداری میکروموجی (TMI) و رادار بارش (PR) به همراه شاخص بارش جهانی (GPI) در پژوهش حاضر از این الگوریتم در تخمین بارش سه‌ساعته و روزانه استفاده شد.

هدف الگوریتم 3B43 تولید داده‌های اندازه‌گیری بارندگی حراره‌ای و برآورد میزان بارش در مقیاس ماهانه است. برآوردهای الگوریتم مذکور دارای شبکه ۰/۲۵ درجه هستند و دارای قدرت تفکیک زمانی ماهانه و قدرت تفکیک مکانی ۵۰ درجه‌ی شمال جغرافیایی تا ۵۰ درجه جنوب جغرافیایی را پوشش می‌دهد. داده‌های این الگوریتم شامل داده‌های شش منبع است که عبارتند از: داده‌های سه حسگر اسکن کننده فروسرخ مریبی (VIRS)، تصویربرداری میکروموجی (TMI) و رادار بارش (PR) به همراه منابع شاخص بارش جهانی (GPI)، مرکز اقلیم بارش جهانی (GPCC) و سامانه پایش و ارزیابی اقلیمی (CAMS) است (Kawanishi et al., 2000).

### تصحیح اطلاعات بارش ماهواره‌ای

به منظور بهبود مقادیر بارش ماهواره‌ای ابتدا داده‌های سه‌ساعته TRMM به مقادیر روزانه و آن‌گاه ماهانه تبدیل شدند. سپس میانگین داده باران سنج گرفته شد و در نهایت در هر ایستگاه باران سنج، مقادیر میانگین روزانه TRMM و روزانه ایستگاه زمینی برای هر ماه به دست آمد. با توجه به مقادیر بیش‌برآورد یا کم‌برآورد، یک ضریب تصحیح با توجه به رابطه‌ی ۱ به دست آمد:

$$\text{Correction-factor}_{\text{Gauge-month}} = 1 + \left( 1 - \frac{\text{TRMM}_{\text{daily-mean}}}{\text{Gauge}_{\text{daily-mean}}} \right); \text{Gauge}_{\text{daily-mean}} > 0 \quad (1)$$

رابطه ۱ تنها در زمانی معتبر خواهد بود که بارش روزانه بزرگ‌تر از صفر (برای جلوگیری از نامحدود شدن کسر) باشد. علاوه بر این، مرزهای بالا و پایین ضریب تصحیح به ترتیب ۰/۵ و ۱/۵ تعریف می‌شود. پس از اعمال رابطه ۱، در هر ایستگاه باران سنج یک فاکتور مختلف با توجه به هر ماه به دست می‌آید. مقادیر جدید TRMM در هر شبکه با استفاده از فاکتورهای اصلاحی و ضرب در مقادیر اصلی به دست می‌آیند.

### معیارهای آماری ارزیابی دقت داده‌های ماهواره‌ای

در ابتدا با توجه به شبکه‌بندی اطلاعات بارش ماهواره‌ای، پیکسل مربوط به هر ایستگاه مشخص شد. سپس برای پیکسل‌های موردنظر سری زمانی اطلاعات بارش ماهواره‌ای استخراج گردید و آماره‌های خطا محاسبه شد. داده‌های زمینی و ماهواره‌ای در سه مقیاس زمانی ساعتی، روزانه و ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. ۲۸ رخداد بارش در مقیاس ساعتی، ۴۱ رویداد بارش در مقیاس روزانه (۱۳۹۰-۱۳۹۴) و ۸ سال (۱۳۸۶-۱۳۹۵) در مقیاس ماهانه انتخاب گردید. در این پژوهش برای تعیین میزان انطباق بارش برآورد شده از طریق ماهواره TRMM با مقادیر مشاهده‌ای در ایستگاه‌های باران-سنجی از معیارهای آماری و شاخص‌های مطابقت استفاده شد. معیارهای آماری شامل ضریب همبستگی پیرسون (Rp)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) و مقدار نرمال‌شده‌ی ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (NRMSE) می‌باشند (روابط ۲ تا ۴).

- 1- Precipitation Radar
- 2- TRMM microwave image
- 3- Global Precipitation Index
- 4- Global Precipitation Climatology Center
- 5- Climate Assessment and Monitoring System

**واسنجی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و برآورد رواناب با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای TRMM**

مهم‌ترین ورودی‌های مدل HEC HMS برای منطقه مورد مطالعه شامل مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM) شبکه آبراهه‌ای، نقشه خاک، نقشه کاربری اراضی و داده‌های اقلیمی شامل داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی و داده‌های ماهواره‌ای بارش و رواناب مشاهده‌ای ایستگاه هیدرومتری می‌باشد که پس از ورود آن‌ها و ایجاد مدل اولیه، مدل HEC HMS بر اساس داده‌های جریان آبراهه‌ای ایستگاه چیتی در تاریخ ۸۵/۰۹/۱۶ واسنجی شد و مهم‌ترین پارامترهای مدل مشخص شد. در ادامه از این حدود استفاده شده و مدل مجدداً بر اساس داده‌های بارش حاصل از مدل‌های تخمین بارش، واسنجی و اعتبارسنجی شد. در این پژوهش پس از واسنجی مدل هیدرولوژیکی، داده‌های بارش زمینی و داده‌های ماهواره‌ای بارش که به صورت منطقه‌ای محاسبه شدند با هدف تخمین میزان رواناب و مقایسه جریان مشاهده‌ای و برآوردی حاصل از ایستگاه و محصولات ماهواره‌ای وارد مدل HEC-HMS گردید و براساس معیارهای مختلف آماری در برآورد حجم سیلاب و دبی اوج سیلاب مورد بررسی قرار گرفت. برای تعمیم داده‌های باران‌سنجی به مساحت و سطح یک حوضه از روش هیتوگراف تعریف شده کاربر (روش تعیین سطوح تحت‌تاثیر ایستگاه‌ها مانند چندضلعی‌های تیسسن) در مدل HEC-HMS استفاده شد. این کار با استفاده از ابزار Geostatistical Analysis نرم‌افزار GIS برای محدوده مورد مطالعه تهیه گردید که در شکل ۲ برای ایستگاه‌های واقع در محدوده مورد بررسی آورده شدند.

**نتایج و بحث**

**نتایج ارزیابی دقت تصاویر ماهواره‌ای TRMM بر مبنای شاخص‌های مطابقت**

برای تعیین محدودیت تشخیص بارش از طریق الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای، چهار شاخص FAR، POD، CSI و TSS در هر ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن برای شاخص‌های ذکر شده در جدول ۲ آورده شده است. مطابق نتایج آن مقدار شاخص POD دارای تغییرات بین ۰/۶۶ تا ۰/۷۸ می‌باشد که نشان دهنده‌ی برآورد درست بیش از نیمی روزهای بارانی در هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی بود. شاخص FAR که نشان دهنده‌ی روزهای خشک می‌باشد با متوسط ۰/۵۲ و دامنه‌ی تغییرات بین ۰/۴۸ در ایستگاه پس‌قلات تا ۰/۵۶ در ایستگاه بوشیگان عملکرد نسبی خوبی در برآورد روزهای خشک دارد. براساس نتایج شاخص مطابقت TSS تطابق مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای در تمامی ایستگاه‌ها برابر ۰/۶۷ می‌باشد که نشان دهنده‌ی دقت خوب نقاط شناسایی شده می‌باشد.

$$R_p = \frac{\sum_{i=1}^n (SD_i - \overline{SD})(GD_i - \overline{GD})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (SD_i - \overline{SD})^2) (\sum_{i=1}^n (GD_i - \overline{GD})^2)}} \quad (2)$$

$$R_p = \frac{\sum_{i=1}^n (SD_i - \overline{SD})(GD_i - \overline{GD})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (SD_i - \overline{SD})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (GD_i - \overline{GD})^2}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (SD_i - GD_i)^2}$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{GD_{max} - GD_{min}} \quad (4)$$

در روابط فوق n تعداد کل داده‌ها، SD داده‌های ماهواره‌ای، GD داده‌های ایستگاه باران‌سنجی و مقادیر GD<sub>min</sub> و GD<sub>max</sub> به ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل مقدار داده‌های زمینی GD می‌باشند.

در این پژوهش از شاخص‌های مطابقت شامل احتمال آشکارسازی (POD)<sup>۱</sup>، نسبت هشدار اشتباه (FAR)<sup>۲</sup>، شاخص موفقیت بحرانی (CSI)<sup>۳</sup> و آماره مهارت واقعی (TSS) (Chokngamwong And Chiu, 2008) استفاده که معادلات آن‌ها در رابطه‌های ۵ تا ۸ آورده شده‌اند. شاخص POD نسبت تعداد برآوردهای صحیح داده‌ها به کل بارندگی‌های ثبت شده در ایستگاه‌ها است. مقدار POD معادله یک، بیانگر این است که ماهواره‌ی موردنظر نقاط بارانی را به درستی تخمین زده است. شاخص FAR نسبت پیش‌بینی نادرست به تعداد کل پیش‌بینی‌ها است که مقدار آن بین صفر و یک تغییر می‌کند و مقادیر کم‌تر آن بیانگر دقت بیش‌تر ماهواره می‌باشد. شاخص CSI دقت نسبی ماهواره را تعیین می‌کند. این شاخص هم نسبت پیش‌بینی‌های نادرست و هم نسبت به رویدادهای از دست رفته حساس است. شاخص TSS از مهم‌ترین و متداول‌ترین شاخص‌های مطابقت است. اگر مقدار این شاخص برابر یک باشد، نشان دهنده مطابقت کامل مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهده‌ای است.

$$POD = \frac{H}{H+F} \quad (5)$$

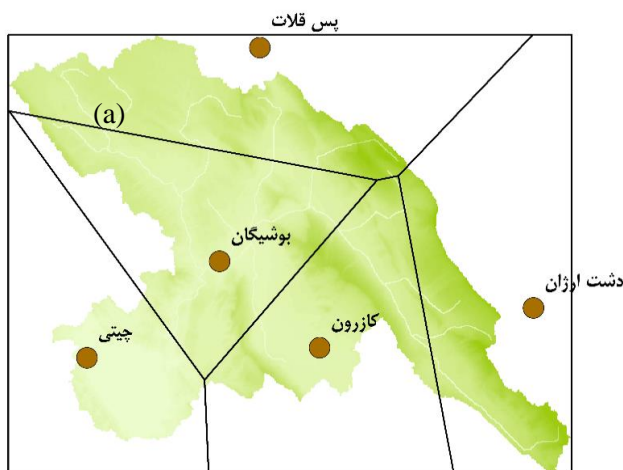
$$FAR = \frac{F}{F+H} \quad (6)$$

$$CSI = \frac{H}{H+M+F} \quad (7)$$

$$TSS = \frac{N*H - F*M}{(N+F)*(M+H)} \quad (8)$$

که در روابط فوق H تعداد پیش‌بینی‌هایی می‌باشد که در هر دو روش مقدار بارندگی ثبت شده است، F تعداد پیش‌بینی‌هایی است که فقط ماهواره مقدار بارندگی را ثبت کرده است. مقدار M تعداد پیش‌بینی‌هایی است که علی‌رغم وقوع بارندگی در ایستگاه زمینی، مقدار آن در ماهواره موردنظر ثبت نشده است (Wilks., 2011).

- 1- Probability of Detection
- 2- False Alarm Ratio
- 3- Critical Success Index
- 4- True Skill Statistic



شکل ۲- تبدیل بارش نقطه‌ای به بارش منطقه‌ای به روش چند ضلعی‌های تیسن در محدوده مورد مطالعه

جدول ۳- نتایج مقایسه داده‌های مشاهداتی و مدل TRMM در

مقیاس ساعتی (سه‌ساعته)		
مقدار P-Value	ضریب همبستگی	رخداد بارش
۰/۰۳۳۴*	۰/۷۷۷	۱۳۹۲/۰۸/۱۲
۰/۴۱۲	۰/۱۵۹	۱۳۹۲/۰۸/۲۸
۰/۰۰۰۰۳*	۰/۹۷۶	۱۳۹۲/۱۰/۱۱
۰/۶۰۱	۰/۲۲۰	۱۳۹۲/۱۰/۱۶
۰/۷۸۰	۰/۱۱۸	۱۳۹۱/۰۹/۰۶
۰/۰۰۳۲۳*	۰/۸۸۸	۱۳۹۱/۰۹/۰۴
۰/۸۴۷	۰/۰۸۲	۱۳۹۱/۰۸/۳۰
۰/۹۳۸	۰/۰۳۳	۱۳۹۱/۰۸/۲۹
۰/۷۱۹	۰/۱۵۲	۱۳۹۴/۰۱/۰۲
۰/۱۰۰	۰/۶۲۱	۱۳۹۱/۱۰/۰۲
۰/۰۰۰*	۱/۰۰	۱۳۹۱/۱۰/۰۱
۰/۵۶۸	۰/۱۲۵	۱۳۹۱/۱۱/۱۰
۰/۴۳۳	۰/۳۲۴	۱۳۹۳/۰۸/۰۹
۰/۸۵۲	۰/۰۷۹	۱۳۹۳/۰۹/۰۲
۰/۵۲۰	۰/۲۶۹	۱۳۹۳/۱۱/۱۱
۰/۳۷۴	۰/۳۶۵	۱۳۹۳/۱۲/۲۹
-	فاقد داده	۱۳۹۴/۰۶/۱۵
۰/۵۱۶	۰/۲۷۱	۱۳۹۴/۰۱/۰۲
۰/۹۳۶	۰/۰۳۴	۱۳۹۳/۰۹/۰۴
۰/۸۷۰	۰/۰۶۶	۱۳۹۳/۰۱/۱۳
-	فاقد داده	۱۳۹۴/۰۶/۱۷
-	فاقد داده	۱۳۹۳/۰۶/۱۳
-	فاقد داده	۱۳۹۲/۱۲/۱۳
۰/۶۹۵	۰/۱۶۶	۱۳۹۴/۰۷/۳۰
-	فاقد داده	۱۳۹۳/۰۹/۰۱
-	فاقد داده	۱۳۹۳/۱۲/۲۸
-	فاقد داده	۱۳۹۴/۰۲/۱۶
-	فاقد داده	۱۳۹۴/۰۶/۱۵
۰/۶۳۵-	۰/۲۷۰	میانگین

\* بیانگر معنی‌داری بین داده‌ها می‌باشد

جدول ۲- مقادیر آماره‌های شاخص‌های مطابقت برای داده‌های

ماهورهای TRMM در ایستگاه‌های مورد بررسی				
ایستگاه	TSS	CSI	FAR	POD
بوشیگان	۰/۶۷	۰/۳۶	۰/۵۶	۰/۶۶
پس قلات	۰/۶۶	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۷۸
دشت ارزن	۰/۶۴	۰/۴۴	۰/۵۰	۰/۷۸
چیتی	۰/۶۷	۰/۳۸	۰/۵۴	۰/۶۸
کازرون	۰/۷۱	۰/۳۸	۰/۵۳	۰/۶۶
میانگین	۰/۶۷	۰/۴۰۲	۰/۵۲۲	۰/۷۱۲

### نتایج ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM در برآورد مقادیر بارش ساعتی

نتایج ارزیابی دقت داده‌های بدست آمده از ماهواره TRMM برای مقیاس زمانی سه‌ساعته بر مبنای ضریب همبستگی پیرسون و سطح معنی‌داری در جدول ۳ آورده شده است. براساس نتایج بدست آمده در مقیاس ساعتی تخمین رخدادهای بارش با استفاده از مدل TRMM نتایج قابل قبولی مشاهده نگردید و از میان ۲۸ رخداد بارش برای سال‌ها آبی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴، تنها چهار رخداد بارش بوقوع پیوسته در تاریخ‌های ۹۲/۱۰/۱۱، ۹۲/۰۸/۱۲، ۹۲/۰۹/۰۴ و ۹۱/۰۹/۰۴ و ۹۱/۱۰/۰۱ را می‌توان مطلوب ارزیابی نمود که به ترتیب دارای ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۷۶، ۰/۷۷۷، ۰/۸۸۸ و حدود یک و رابطه معنی‌دار می‌باشد. در سایر رخدادهای مورد بررسی مقادیر ضریب همبستگی معنی‌داری بدست نیامد در برخی از موارد نیز به ازای رخداد مورد بررسی مقادیر متناظر ماهواره‌ای ثبت نشده است.

مقدار همبستگی برای داده‌های ماهواره‌ای TRMM اصلاح شده نسبت به داده‌های TRMM دارای دقت اندازه‌گیری بیش‌تری می‌باشند به طوری که در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی ضریب همبستگی پیرسون مقادیر بیش‌تری را نشان می‌دهد و مقادیر RMSE مقادیر کم‌تری خطا را نشان می‌دهند. بیش‌ترین مقدار همبستگی مربوط به ایستگاه باران‌سنجی کازرون می‌باشد، به ازای مقادیر TRMM اصلاح شده مقدار ضریب همبستگی برابر ۰/۸۴ بدست آمد و برای سایر ایستگاه‌ها نیز دارای دقت نسبتاً خوبی می‌باشد که مقادیر ضریب همبستگی در محدوده‌ی ۰/۶۸ تا ۰/۷۶ تغییر می‌کند

### نتایج ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM در برآورد مقادیر بارش روزانه

در ادامه نتایج ارزیابی دقت مقادیر برآوردی از ماهواره TRMM و داده‌های اصلاح شده‌ی آن در برآورد مقادیر باران ثبت شده در پنج ایستگاه باران‌سنجی مورد بررسی برای ۴۱ رخدادهای روزانه براساس معیارهای انتخاب شده آماری و ترسیم گرافیکی آورده شده است. نتایج مقایسه داده‌های روزانه ایستگاهی با داده‌های ماهواره‌ای TRMM و TRMM اصلاح شده بر مبنای معیارهای آماری برای ایستگاه‌های پوشیگان، پس‌قالات، دشت ارژن، چیتی و کازرون در جدول ۴ آورده شده است. براساس نتایج جدول مذکور بیش‌ترین

جدول ۴ - نتایج مقایسه داده‌های روزانه ایستگاهی با داده‌های ماهواره‌ای TRMM و TRMM اصلاح شده بر مبنای معیارهای آماری در ایستگاه-

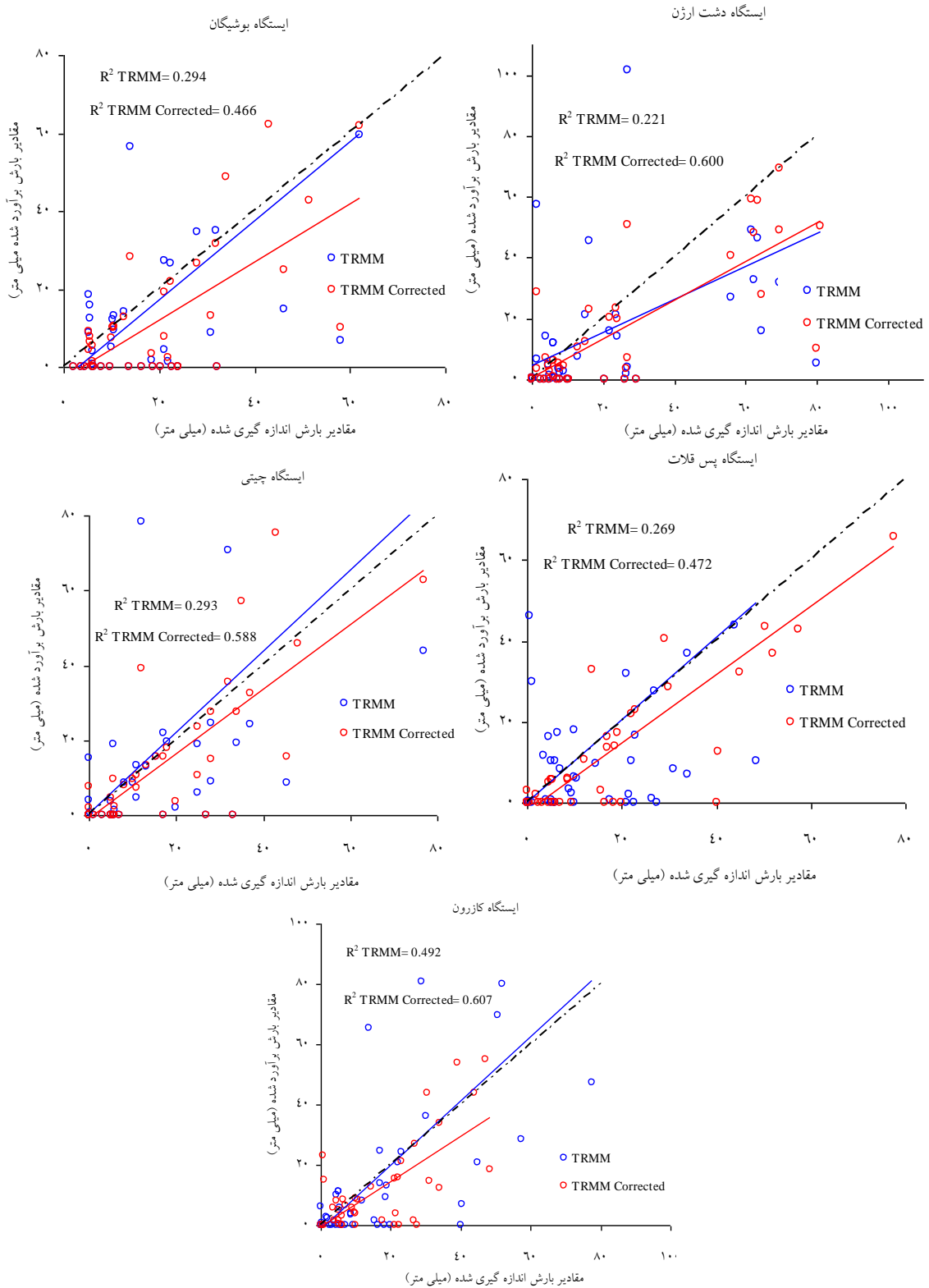
مقایسه داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاهی						
مقایسه داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاهی						
داده‌های ماهواره‌ای	معیارهای ارزیابی	بوشیگان	پس‌قالات	دشت ارژن	چیتی	کازرون
	Rp	۰/۵۴۲	۰/۵۱۹	۰/۴۷۱	۰/۵۴۱	۰/۶۳۴
TRMM	RMSE (mm)	۲۳/۸۸	۲۳/۰۰	۲۸/۱۲	۲۸/۰۹	۲۴/۰۷
	NRMSE (%)	۳۹/۸	۴۷/۹	۳۴/۷	۳۶/۴۰	۳۱/۰۵
	Rp	۰/۶۸۲	۰/۶۸۷	۰/۷۷۴	۰/۷۶۷	۰/۸۳۵
TRMM اصلاح شده	RMSE (mm)	۱۴/۸	۱۲/۲۰	۱۷/۶۲	۱۲/۶۰	۱۱/۹۱
	NRMSE (%)	۲۴/۶	۲۵/۴	۲۱/۷	۱۶/۰۳	۱۵/۳۰

الگوریتم 3B43 برای پنج ایستگاه بوشیگان، پس‌قالات، دشت ارژن، چیتی و کازرون در مقیاس ماهانه در بازه زمانی ۱۰ سال (۱۳۹۵-۱۳۸۵) براساس معیارهای آماری خطا نظیر ضریب همبستگی، RMSE و NRMSE مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج آن برای ماهواره اصلی و داده‌های اصلاحی آن در جدول ۵ آورده شده است. مطابق نتایج جدول مذکور الگوریتم 3B43 عملکرد خوبی را در مقیاس ماهانه نشان داد به طوری که ضریب همبستگی پیرسون برای ایستگاه چیتی در برآورد ماهواره TRMM بالاترین مقدار برابر با ۰/۹۳۱ بدست آمد و کم‌ترین مقدار ضریب همبستگی مربوط به ایستگاه بوشیگان معادل با ۰/۸۷۵ می‌باشد که همبستگی بالایی نشان داد. با اصلاح و بهبود مقادیر تخمین بارش ماهواره TRMM در روش اصلاح شده مقدار ضریب همبستگی در ایستگاه‌های مورد بررسی افزایش و مقادیر خطا کم‌تر شد به طوری که بالاترین ضریب همبستگی معادل با ۰/۹۹۱ متعلق به ایستگاه بوشیگان می‌باشد. در این ایستگاه با اعمال ضریب اصلاح بر روی داده‌ها بیش‌ترین تاثیر مثبت حاصل گردید به طوری که مشاهده شد مقدار ضریب همبستگی از ۰/۸۷۵ به مقدار ۰/۹۹۱ بهبود یافت.

نتایج گرافیکی مقادیر روزانه بارش بدست آمده از ماهواره TRMM و TRMM اصلاح شده برای ۵ ایستگاه مورد بررسی به ازای ۴۱ رخدادهای بارش روزانه روی خط ۱:۱ در شکل ۳ آورده شده است. نتایج گراف‌های رسم شده بیانگر دقت بیش‌تر داده‌های بارش تخمینی از مدل TRMM اصلاح شده نسبت به مدل TRMM می‌باشد به طوری که خط برازش یافته بر داده‌های اصلاح شده نسبت به خط ایده‌آل ۱:۱ نزدیکی و تطابق بیش‌تری دارد و ابر پراکندگی داده‌ها در اطراف آن کم‌تر می‌باشد. نتایج ضریب تبیین به ازای داده‌های ماهواره‌ای TRMM در هر شکل آورده شده‌اند که نتایج آن نشان دهنده‌ی انطباق بیش‌تر داده‌های بارش اصلاح شده TRMM با داده‌های ایستگاه زمینی می‌باشد. بیش‌ترین مقدار ضریب تبیین برای داده‌های ماهواره‌ای TRMM برابر ۰/۴۹۲ بدست آمد که مربوط به ایستگاه کازرون می‌باشد و مقدار متناظر اصلاح شده آن برابر ۰/۶۰۷ بدست آمد.

### نتایج ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM و TRMM اصلاح شده در مقیاس ماهانه

در ادامه نتایج داده‌های ماهواره‌ای TRMM براساس



شکل ۳ - نتایج مقایسه مقادیر بارش روزانه در ۴۱ رخدادهای مورد بررسی با مقادیر برآورد شده از ماهواره TRMM و اصلاح شده روی خط ۱:۱



جدول ۵ - مقایسه داده‌های ماهانه TRMM و اصلاح شده در ایستگاه‌های مورد بررسی

داده‌های ماهواره‌ای	معیارهای ارزیابی	بوشیگان	پس قلات	دشت ارژن	چیتی	کازرون
	Rp	۰/۸۷۵	۰/۸۹۹	۰/۹۰۹	۰/۹۳۱	۰/۸۹۳
TRMM	RMSE (mm)	۳۲/۲۲	۲۵/۷۷	۸۳/۶۸	۲۳/۶۸	۲۴/۰۵
	NRMSE (%)	۱۴/۶۰	۱۲/۷۲	۴۵/۷۵	۱۲/۸۰	۱۳/۳۷
TRMM اصلاح شده	Rp	۰/۹۹۱	۰/۹۸۶	۰/۹۸۵	۰/۹۳	۰/۹۷۳
	RMSE (mm)	۶/۷۷	۱۱/۲۷	۱۲/۵۸	۱۶/۲۴	۱۲/۲۰
	NRMSE (%)	۳/۴۳	۶/۰۹	۵/۹۳	۸/۵۸	۶/۲۷

در ادامه نتایج مقایسه بارش‌های برآوردی از ماهواره‌ی TRMM-3B43 و مقادیر اصلاح شده‌ی آن برای ۵ ایستگاه مورد بررسی روی خط ۱:۱ در شکل ۴ آورده شده‌اند. مطابق نتایج آن داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های ماهواره‌ای در اکثر ماه‌هتطابق مناسب و خوبی با هم دارند. به طوری که دارای ایر پرآکنندگی کم‌تری در اطراف خطوط برازش یافته می‌باشند. به ازای ایستگاه باران‌سنجی بوشیگان مقدار ضریب تبیین برای ماهواره TRMM و TRMM اصلاح شده به ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۹۸ بدست آمد که نشان دهنده دقت نسبتاً بالای داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد. نتایج بیش‌ترین ضریب تبیین مربوط به داده‌های اصلاح شده می‌باشد و در محدوده‌ی ۰/۸۶ در ایستگاه چیتی تا ۰/۹۸ در ایستگاه بوشیگان تغییر می‌کند.

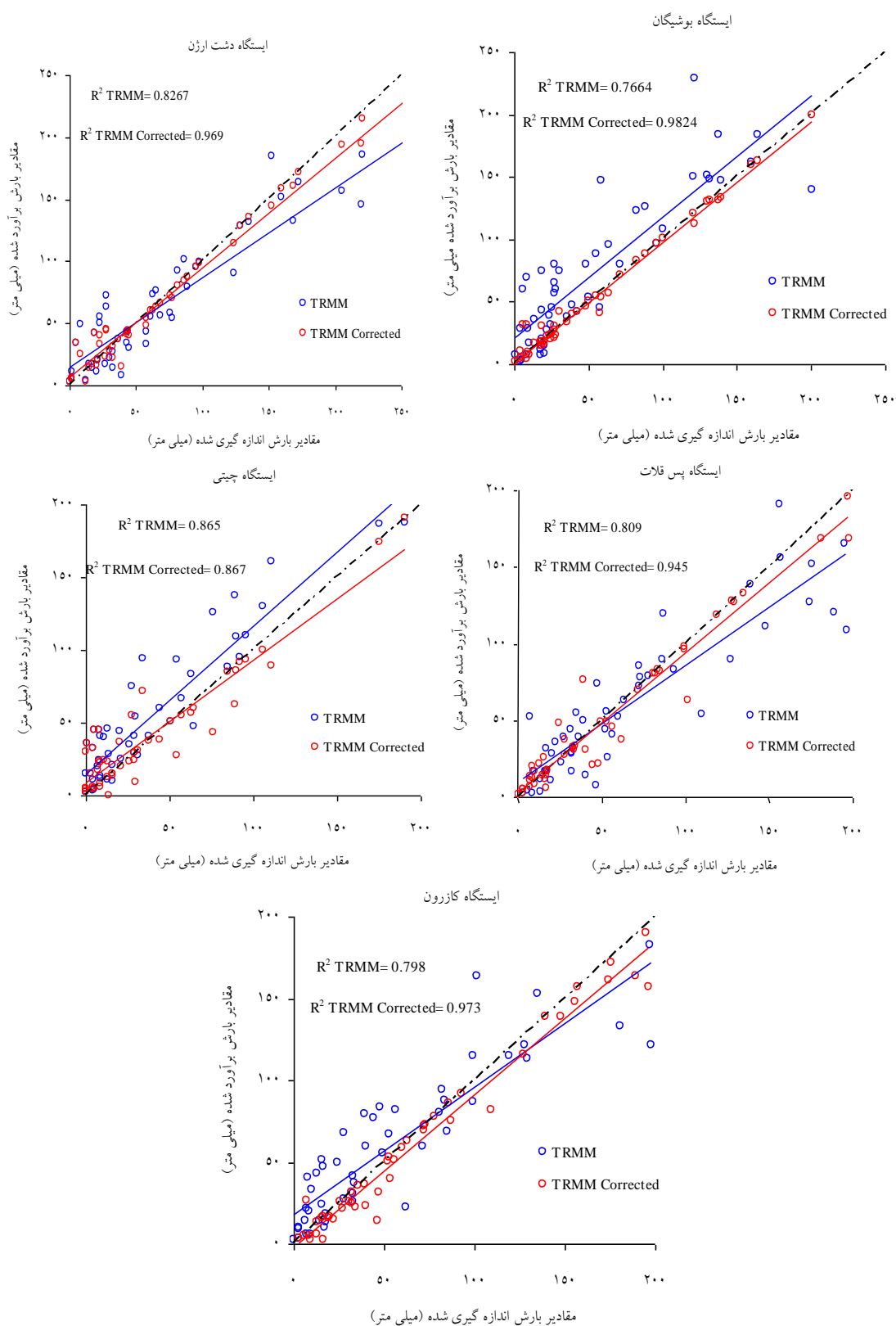
#### نتایج ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM در برآورد رواناب

ابتدا مدل HEC HMS براساس داده‌های جریان آبراهه‌ای ایستگاه چیتی در تاریخ ۸۵/۰۹/۱۶ واسنجی شد که نتایج شبیه‌سازی رواناب متناظر در جدول ۶ آورده شده است. پس از واسنجی مدل در مقیاس ساعتی، داده‌های روزانه درون‌یابی شده از ایستگاه‌ها و داده‌های ماهواره‌ای به عنوان صحت‌سنجی به مدل وارد شدند و در نهایت تخمین رواناب حاصل از این داده‌ها بررسی گردیدند. پس از صحت‌سنجی مدل براساس وقایع بارش روزانه انجام شده در طول یک ماه برای مدل‌سازی رواناب در تاریخ ۱۳۹۲/۱ (بازه زمانی ۳۰ روزه) برای داده‌های بارش ایستگاه باران‌سنجی، مدل TRMM و مدل TRMM اصلاح شده استفاده شد و میزان رواناب تخمینی در مقیاس روزانه مقایسه گردید که نتایج آن در جدول ۶ آورده شده است. هم‌چنین نتایج حاصل از واسنجی مدل به ازای رخداد سیلاب مورخ ۸۵/۰۹/۱۶ در شکل ۵ (الف) آورده شده است که ضمن برآورد دقیق زمان رسیدن به اوج، دارای بیش‌برآوردی می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی بارش - رواناب به ازای رخداد سیلاب مورخ ۱۳۹۲/۱ با استفاده از داده‌های بارش ایستگاهی، داده‌های ماهواره‌ای TRMM و داده‌های ماهواره‌ای TRMM اصلاح شده به ترتیب در شکل‌های ۵ (ب) تا ۵ (د) آورده شده‌اند. در شکل‌های مذکور نمودار هیدروگراف سیل میزان اختلاف در رواناب و دبی اوج سیل موردنظر را نشان می‌دهد. هیدروگراف

حاصل از شبیه‌سازی رواناب با استفاده از داده‌های بارش روزانه در مقایسه با هیدروگراف مشاهداتی دارای نوسانات غیرطبیعی بود. علت این نوسانات رو می‌توان در ماهیت تخمین ماهواره‌ای بارش جست. به عبارت دیگر، با افزایش دقت زمانی رصد ماهواره‌ای بارش نوسان در مقادیر تخمینی داده‌های ماهواره‌ای نسبت به مقادیر ایستگاهی (واقعی) افزایش می‌یابد و در نتیجه رواناب محاسباتی با نوسانات غیرطبیعی همراه خواهد شد. با توجه به مقایسه نتایج رواناب حاصل از بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی و مدل‌های تخمین بارش ماهواره TRMM و ماهواره TRMM اصلاح شده می‌توان بیان کرد که بهترین تطابق تخمین رواناب مربوط به ایستگاه‌های تخمین بارش مشاهده‌ای می‌باشد. با تطبیق و اصلاح داده‌های ماهواره تخمین بارش TRMM با استفاده از داده‌های زمینی، نتایج رواناب حاصل از بارش TRMM اصلاح شده به رواناب ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری نزدیک و میزان RMSE از ۱۶/۶۷ (TRMM) به ۱۳/۶ (TRMM اصلاح شده) کاهش یافت. با توجه به شکل ۵ (ب) نتایج حاصل از مدل و تخمین رواناب داده‌های ماهواره‌ای بارش TRMM به طور واضح بیانگر کم‌برآوردی محسوس مقادیر رواناب در مدل HEC-HMS است به طوری که اکثر مقادیر رواناب برآورد شده در زیر هیدروگراف مشاهداتی قرار می‌گیرند. هم‌چنین با توجه به جدول ۶، درصد اختلاف رسیدن به دبی اوج معادل با ۲۸/۲ درصد و زمان رسیدن به دبی اوج برای داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های بارش ماهواره TRMM در یک روز اتفاق افتاد.

#### نتیجه‌گیری

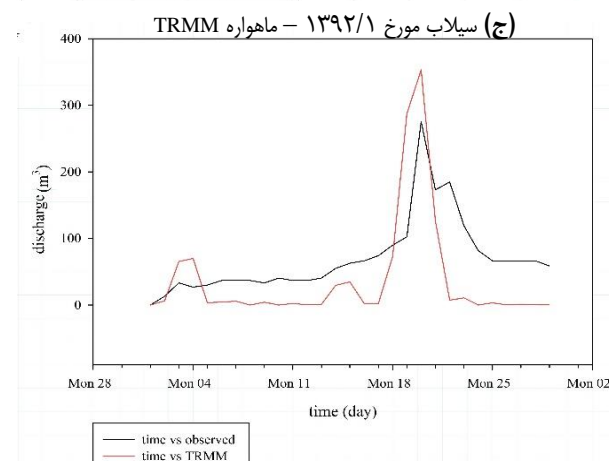
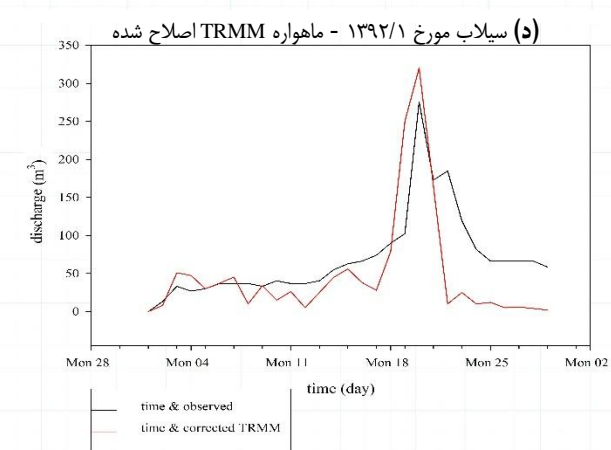
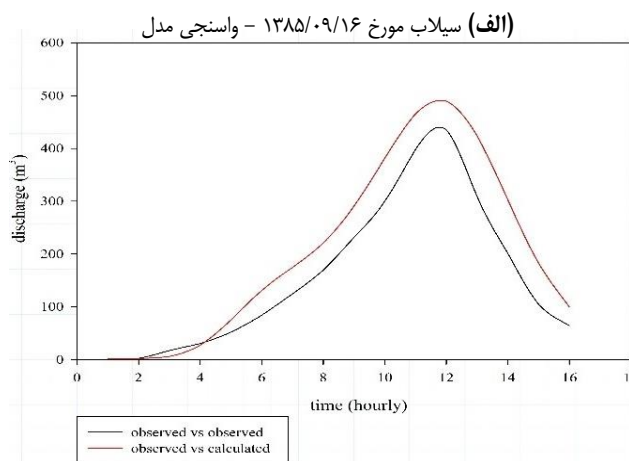
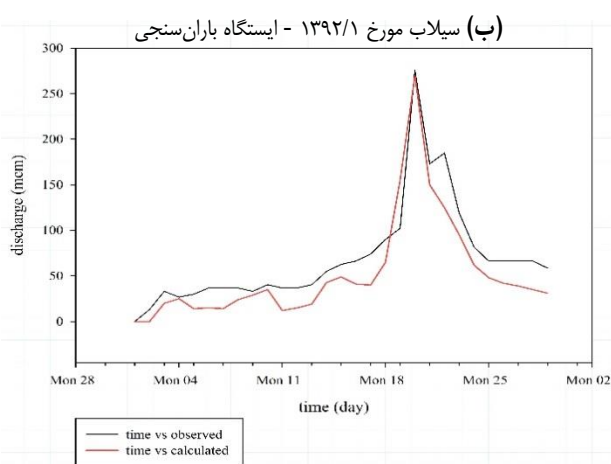
پژوهش حاضر به ارزیابی دقت بارش برآوردی از ماهواره TRMM و مقادیر اصلاح شده‌ی آن در مقایسه با داده‌های بارش ۵ ایستگاه واقع در حوضه رودخانه شاپور برای ۲۸ رخداد بارش در مقیاس ساعتی و ۴۱ رخداد بارش در مقیاس روزانه طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ و رخدادهای ماهانه طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۵ پرداخته شد.



شکل ۴ - نتایج مقایسه مقادیر بارش ماهانه ثبت شده در ایستگاه‌های مورد بررسی با مقادیر برآورد شده از ماهواره TRMM و اصلاح شده روی خط ۱:۱

جدول ۶ - مشخصات سیلاب و نتایج شبیه‌سازی بارش - رواناب

سیلاب	شکل هیدروگراف	دبی اوج سیلاب (m <sup>3</sup> /s)	درصد اختلاف دبی اوج (REOp)	حجم سیلاب (میلیون مترمکعب)	خطای نسبی حجم سیلاب (REv)	زمان رسیدن به دبی اوج	RMSE (m <sup>3</sup> /s)
سیلاب مورخ ۱۳۸۵/۰۹/۱۶ (واسنجی مدل)	مشاهده‌ای	۱۰۹/۶۸	-	۰/۱۱	-	۱۲:۰۰	-
	روش SCS	۱۲۳/۴	۱۲/۵	۰/۱۴	۲۹/۳۱	۱۲:۰۰	۹/۲۴
سیلاب مورخ ۱۳۹۲/۱	مشاهده‌ای	۷۰/۲۵	-	۰/۷	-	۲۹ آبان ۱۳۹۲	-
1392/1 (ارزیابی مدل)	روش SCS (باران‌سنجی)	۶۹/۴۹	۲/۲	۰/۳۹	۴۳/۷۷	۲۹ آبان ۱۳۹۲	۱۱/۹۴
	روش SCS (ماهواره TRMM)	۸۹/۰۴	۲۸/۲	۰/۳۶	۴۵/۵۷	۲۹ آبان ۱۳۹۲	۱۶/۷۷
	روش SCS (ماهواره TRMM اصلاح شده)	۴۸/۸۱	۲۷/۹	۰/۳۱	۴۱/۵۲	۲۹ آبان ۱۳۹۲	۱۳/۶



شکل ۵ - نتایج واسنجی مدل بارش - رواناب به ازای رخداد سیلاب مورخ ۱۳۸۵/۰۹/۱۶ (الف) و شبیه‌سازی بارش - رواناب به ازای رخداد سیلاب مورخ ۱۳۹۲/۱ با استفاده از داده‌های بارش ایستگاهی (ب)، داده‌های ماهواره‌ای TRMM (ج) و داده‌های ماهواره‌ای TRMM اصلاح شده (د)

مشاهده‌ای و دو نوع داده ماهواره‌ای شامل مدل‌های TRMM و TRMM اصلاح شده می‌باشد و متناظر با آن‌ها هیدروگراف سیل به-

علاوه بر این سه نوع داده بارش جهت ورود به مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS واسنجی شده تهیه شد که شامل داده‌های باران‌سنج

عرفانیان، م.، سیما، ک.، حسن، ح. ۱۳۹۲. ارزیابی و کالیبراسیون داده‌های باران ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران. فصل‌نامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای). ۳: ۸۳-۹۵.

عسکری، ق.، پورباقری، س. م. مبارکی، ز. ۱۳۸۷. اعتبارسنجی داده‌های بارش بدست‌آمده از ماهواره TRMM به کمک ایستگاه‌های خودکار هواشناسی، همایش ژئوماتیک و چهارمین همایش یکسان‌سازی نام‌های جغرافیایی. سازمان نقشه‌برداری کشور.

شیروانی، ا.، فخاری‌زاده شیرازی، ا. ۱۳۹۳. مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس، هواشناسی کشاورزی. ۲: ۱-۱۵.

گودرزی فرم، م.، عزیزاقلی، م. ع. ۱۳۹۰. ناحیه‌بندی بارشی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از داده‌های سنجنده TRMM به روش تحلیل خوشه‌ای. مجموعه مقالات دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زدایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران. ۱۵۶۰-۱۵۶۳.

متکان، ع. ا.، شکیبی، ع.، عاشورلو، د.، بذاق جمالی، ج. و محمدیان، و. ۱۳۸۸. قابلیت داده‌های ترکیبی مادون قرمز و ماکروویو غیرفعال سنجنش از دور و تخمین بارندگی و پایش سیلاب (مطالعه موردی: استان گلستان). مجله سنجنش از دور و GIS ایران. ۱: ۲-۳۱-۴۴.

Chokngamwong, R., Chiu, L.S. 2008. Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products, Journal of hydrometeorology. 9.2: 256-266

Chen, S., Hong, Y., Cao, Q., Kirstetter, P.E., Gourley, J.J. 2013. Performance Evaluation of Radar and Satellite Rainfalls for Typhoon Morakot over Taiwan: Are Remote-sensing Products Ready for Gauge Denial Scenario of Extreme Events? Journal of Hydrology. 54.1: 35-57.

Huffman, G.J., Bolvin, D.T., Nelkin, E.J., Wolff, D.B., Adler, R.F., Gu, G., Hong, Y., Bowman, K.P and Stocker, E.F. 2007. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. Journal of hydrometeorology. 8.1: 38-55.

Huffman, G.J., Adler, R.F., Bolvin, D.T., Nelkin, E.J. 2010. The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA). Satellite rainfall applications for surface hydrology, Journal of hydrometeorology. 11.2: 3-22.

Kawanishi, T., Kuroiwa, H., Kojima, M., Oikawa, K., Kozu, T., Kumagai, H., Okamoto, K.I., Okumura, M., Nakatsuka, H., Nishikawa, K. 2000. TRMM precipitation radar. advances in space research. 25.5: 969-972.

دست آمد. مهم‌ترین نتایج بدست آمده از این ارزیابی براساس معیارهای مختلف آماری و شاخص‌های مطابقت به شرح زیر می‌باشد: نمودار سری زمانی بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در مقیاس ساعتی برای ماهواره TRMM الگوریتم 3B42RT مطلوب نبود. نوسانات ساعتی بارش ایستگاهی و ماهواره‌ای مشابه می‌باشد. این نمودارها بیانگر الگوی مشابه بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت که رفتار سری زمانی در مقیاس ساعتی بسیار نزدیک می‌باشند و با افزایش (کاهش) بارش ایستگاهی، بارش ماهواره‌ای افزایش (کاهش) می‌یابد. مدل TRMM از هیچ الگوی خاصی در مقیاس ساعتی (کم‌برآورد یا بیش‌برآورد) پیروی نمی‌کند.

ضریب همبستگی برای ایستگاه چیتی حاصل از تخمین بارش الگوریتم 3B43 بالاترین مقدار معادل با ۰/۹۳۱ بدست آمد. کم‌ترین مقدار ضریب همبستگی برای این الگوریتم مربوط به ایستگاه بوشیگان معادل با ۰/۸۷۵ می‌باشد. الگوریتم 3B43 عملکرد خوبی را در مقیاس ماهانه نشان می‌دهد. با اصلاح و بهبود مقادیر تخمین بارش ماهواره TRMM بالاترین ضریب همبستگی معادل با ۰/۹۹۱ می‌باشد. با اعمال ضریب اصلاح بر روی داده‌های TRMM بیش‌ترین تاثیر مثبت بر روی ایستگاه بوشیگان مشاهده شد که از میزان همبستگی ۰/۸۷۵ به ۰/۹۹۱ بهبود یافت. به طور کلی داده‌های ماهواره‌ای TRMM در مقیاس ماهانه عملکرد خوبی را داشتند. در حالی که برای الگوریتم 3B43 خط برآزش داده شده با خط برآزش ایده‌آل هماهنگی و نزدیکی بیش‌تری دارد که نشان از تخمین مناسب و قابل قبول این الگوریتم می‌باشد.

مدل HEC HMS با استفاده از داده‌های بارش مشاهده‌ای و رواناب ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری واسنجی گردید و رواناب داده‌های بارش ماهواره‌ای در قیاس با داده‌های ایستگاه هیدرومتری مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور واسنجی داده‌های سه‌ساعته داده‌های باران سنج مشاهده‌ای وارد مدل شد و اعتبارسنجی آن با استفاده از داده‌های روزانه مشاهده‌ای انجام گردید که نتایج قابل قبولی مشاهده گردید. بهترین نتیجه از دبی رواناب را می‌توان حاصل از داده‌های بارش ایستگاهی دانسته که مقدار RMSE حدود ۱۱/۹۴ می‌باشد. علاوه بر این نتایج خطا RMSE به ازای رخداد بارش مورد بررسی نشان داد داده‌های بارش ماهواره TRMM اصلاح شده عملکرد بهتری را نسبت به مدل TRMM داشته‌اند.

## منابع

عبداله‌ی، ب.، حسینی موعاری، م.، ابراهیمی، ک. ۱۳۹۶. ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM 3B42RT V7 و CMORPH به‌منظور تخمین بارش در حوضه آبریز گرگان‌رود. نشریه علوم مهندسی و آبخیزداری ایران. ۳۶: ۱۱: ۵۵-۶۹.

- precipitation sampling error on simulated hydrological fluxes and states: anticipating the global precipitation measurement satellites. *Journal of geophysical research: atmospheres*. 109:1-15
- Tramblay, Y., Thiemeig, V., Dezetter, A., Hanich, L. 2016. Evaluation of satellite-based rainfall products for hydrological modelling in morocco. *Hydrological sciences journal*. 61.14: 2509-2519.
- Wilks, D.S. 2011. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 100. Academic press, 704p.
- Marchi, D.C. 2006. Probabilistic estimation of precipitation combining geostationary and TRMM satellite data. PhD, Thesis, georgia institute of technology, 311p.
- Najmaddin, P.M., Whelan, M.J and Balzter, H., 2017. Application of satellite-based precipitation estimates to rainfall-runoff modelling in a data-scarce semi-arid catchment. *Climate*. 5.2:32/MDPI journal. 58: 503-525.
- Nijssen, B and Lettenmaier, D.P. 2004. Effect of

## Evaluation of the Accuracy of TRMM Satellite for Estimating Precipitation and Runoff Values in Shapour River Basin in Fars Province

M.R. zangeneh<sup>1\*</sup> - B. Ghahraman<sup>2</sup> - A. Faridhosseini<sup>3</sup>

Received: Aug.15, 2018

Accepted: Oct.18, 2018

### Abstract

The Rainfall and runoff models are one of the methods for estimating runoff and are suitable tools for studying hydrological processes and assessing water resources. This study aimed to evaluate the accuracy of precipitation and run-off estimation from the TRMM Satellite and its modified in Shapour river basin in Fars province. For this purpose, the hourly, daily and monthly rainfall data of stations which located in the Shapour basin during 2011-2016 were used. In continue, the calibrated HEC-HMS model was used to assess using precipitation gauge data and satellite TRMM imagery as input in this model to estimate run-off. According to the results of the modified TRMM and corrected TRMM models have less accurate precision in the hourly and daily scales as compared to monthly scale. The results of rainfall estimation from the modified TRMM model in the monthly time scales have the explanation coefficient ( $R^2$ ) more than 0.86 at the studied stations. The results of rainfall-runoff simulation of the calibrated model also showed that the best result of the estimated runoff from the station's rainfall data was obtained, with an RMSE equal to 11.94 m<sup>3</sup>/s.

**Keywords:** Calibration, HEC-HMS, Runoff Simulation, TRMM Satellite

---

1-Ph.D. Candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2-Assistant Professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3-Associate Professor, Department of Water Engineering Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(\* - Corresponding Author Email: [bijangh@um.ac.ir](mailto:bijangh@um.ac.ir))