

مقایسه تطبیقی بارش بدست آمده از ماهواره‌های GPM, TRMM و

رادار داپلر با داده‌های ایستگاه‌های زمینی

(مطالعه موردی بارش فراگیر ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۵ در غرب ایران)

هاشم رستم زاده^۱، علی اکبر رسولی^۲، مجید وظیفه دوست^۳، ناصر ملکی^۴

۱- استادیار گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۲- استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

۴- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی ماهواره ای دانشگاه تبریز

چکیده:

این تحقیق تلاش می‌کند که نشان دهد تا چه حد داده‌های بدست آمده از ماهواره‌های GPM و TRMM و رادار هواشناسی داپلر در غرب ایران با داده‌های ثبت شده ایستگاه‌های زمینی همخوانی دارد. برای این کار بارش شدید ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۵ به عنوان رخداد فراگیر غرب کشور (استان‌های ایلام، کرمانشاه، همدان و کردستان) در نظر گرفته شد. بدین منظور ضمن جمع‌آوری داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور و سایت Giovanni و سایت ناسا، پایگاه اطلاعاتی داده‌های بارش مربوط به ماهواره‌های GPM و TRMM در نرم افزار MATLAB ایجاد شد. در ادامه پایگاه داده مربوط به داده‌های رادار داپلر و داده‌های زمینی مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه به آن اضافه گردید. روش مورد استفاده در این تحقیق استفاده از ضریب تعیین و همبستگی مربوط به این چهار متغیر می‌باشد. پس از بررسی‌های لازم، ضرایب تعیین نشان از معنی‌دار بودن روابط بین داده‌های بارش ثبت شده در ۱۰ ایستگاه منتخب منطقه و ماهواره‌های GPM، TRMM و رادار داپلر دارد بر همین اساس ضریب تعیین بین داده ماهواره‌های GPM، TRMM و رادار داپلر به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۷۳ و ایستگاه‌های زمینی منتخب با ماهواره‌های GPM و TRMM به ترتیب ۰/۵۹ و ۰/۵۸ بوده است. بررسی‌ها نشان از اختلاف بسیار اندک بین داده‌های ماهواره‌های GPM و TRMM دارد.

کلمات کلیدی: رادار داپلر، غرب ایران، ماهواره GPM، ماهواره TRMM، ایستگاه هواشناسی.

۱- مقدمه

بارش به عنوان مهم‌ترین پدیده جوی تلقی می‌شود زیرا فرآیند بارش با سامانه‌های سینوپتیک جوی، تبادلات انرژی بین سطح زمین و هوا و اقیانوس‌ها مرتبط می‌باشد رسولی (۱۳۹۰) گاهی وقوع این پدیده موجب بروز خساراتی می‌شود به عنوان نمونه می‌توان بارش آبان ماه ۱۳۹۴ در مناطق غرب کشور به ویژه استان‌های ایلام، کردستان، کرمانشاه و بخش‌هایی از استان همدان را نام برد. بارشی که بر اساس آمار سازمان هواشناسی کشور طی ۳۶ ساعت ۳۲۶ میلی‌متر در ایستگاه هواشناسی ایلام ثبت گردید که باعث بروز سیل و کشته شدن ۴ نفر و مصدومیت ۲ نفر گردید و بیش از ۲۰ هزار واحد مسکونی، تجاری و آموزشی - یکهزار دستگاه خودرو و بخشی از تأسیسات زیربنایی و راه‌های اصلی و فرعی خساراتی وارد گردید. امروزه برای پیش‌بینی پدیده بارش از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. روش سنتی یا تحلیل همدیدی از ابتدایی-ترین روش‌های پیش‌بینی است بعد از آن با بسط و گسترش مدل‌های جوی روش‌های عددی پیش‌بینی بارش به میان آمدند که بخاطر کلی بودن و وسعت مکانی گاه‌گاه خطاهایی در برآورد آنها مشاهده می‌گردد. برای افزایش دقت پیش‌بینی رادارهای هواشناسی مورد استفاده قرار گرفت که این رادارها برای محاسبه آب قابل بارش ابر بکارگیری شدند. رسولی و همکاران (۱۳۸۶)

رادارها از مهم‌ترین مظاهر فناوری ثبت مشاهدات بارندگی به شمار می‌روند که از مهم‌ترین ویژگی آنها می‌توان به بالا بودن تفکیک زمانی ۵ تا ۱۰ دقیقه و مکانی ۱ کیلومتر و ثبت دقیق و به هنگام مقادیر بارش اشاره کرد. لویزانی (۲۰۰۷) در عین حال محدودیت پوشش مکانی به‌ویژه در مناطق کوهستانی عدم حضور آنتن‌های راداری در پهنه‌های اقیانوسی، گران قیمت بودن تکنولوژی، نیاز به کالیبراسیون دائمی و ظهور ناهنجاری‌های جوی در نتایج نهایی و تنظیم روابط بین شدت انرژی بازگشتی رادار با مقادیر بارش محاسبه شده می‌تواند از محدودیت‌های رادار به شمار رود. رسولی (۱۳۹۰)

اما امروزه به دلیل عدم پوشش کامل مناطق توسط رادارها و نیز ضعف مدل‌های عددی در برآورد بارش راه حل استفاده

از تصاویر ماهواره پیشنهاد گردیده است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای امکان برآورد حجم آب قابل بارش با کمک باندهای جذبی بخار آب و باندهای حرارتی در هر زمان و مکان و در هر مقیاسی ممکن است. پژوهشگران با تعیین مناطق با آسمان صاف و بدون پوشش ابر روی تصاویر ماهواره‌ای، کل آب قابل بارش را برآورد می‌کنند بدین طریق قادر به پیش‌بینی وضعیت تانسیل بارش هستند و در مراحل بعدی با در نظر گرفتن فازهای مختلف ابر و یک سری اطلاعات کمی مانند مکان، زمان، سال و غیره قادر به پیش‌بینی نوع و مقدار بارش می‌باشند. پوری‌اقر کردی (۱۳۸۸).

مزیت بررسی بارندگی با استفاده از روش‌های سنجش از دور، شناخت بهتر پدیده بارش و پارامترهای مؤثر در آن در یک گستره مکانی وسیع است. به این سبب امروزه محققان به تلاش و تحقیق در زمینه برآورد بارش با استفاده از تصاویر ماهواره پرداخته‌اند. این تحقیق به منظور ارزیابی داده‌های بارندگی ماهواره TRMM^۱ و ماهواره GPM^۲ و داده‌های رادار کرمانشاه و مقایسه داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های منطقه در بارش سنگین آبانماه ۱۳۹۴ غرب کشور و بررسی صحت برآورد بارش مورد نظر از داده‌های ماهواره انجام می‌گیرد.

ماهواره TRMM

محصول مشترک کشورهای ژاپن و آمریکا است که در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین و با زاویه ۳۵ درجه نسبت به استوا در حال پایش ویژگی‌های جوی است. این ماهواره در ۲۷ نوامبر ۱۹۹۷ با هدف پایش و مطالعه بارش مناطق گرمسیری و چگونگی تأثیر این بارش بر آب و هوای کره زمین با استفاده از ابزار تصویربرداری میکرو موج TMI، رادار بارش PR و اسکنر مادون قرمز و مرئی VISIR به فضا پرتاب شد. ماهواره TRMM دارای مدار دایره‌ای با ارتفاع کم (۳۵۰ کیلومتر و ۴۰۲/۵ کیلومتر قبل و بعد از تغییر ارتفاع در آگوست ۲۰۰۱) و دوره چرخش ۹۱/۵ دقیقه (تقریباً ۱۵ بار در روز) می‌باشد هافمن (۲۰۰۷). هر چند در مناطق حاره و نیم حاره از زمان پرتاب این ماهواره نقشه-

1-Tropical Rainfall Measuring Mission

2-Global Precipitation Measurement

های باران به صورت سه ساعته و روزانه با استفاده از داده-های این ماهواره قابل دستیابی است. اما تصاویر خروجی حاصل از این ماهواره به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین ۲۵ کیلومتر از قابلیت کاربرد بالایی در حوضه‌های کوچک و شبکه‌های آبیاری و زهکشی برخوردار نیست. از دیگر ابزارهای این ماهواره می‌توان به تصویر بردار رعد و برق LTS و یک اندازه‌گیر تشعشع CERES اشاره نمود که به عنوان ابزارهای ثانویه وظیفه ثبت سایر خصوصیات جوی را به عهده دارند. وانگ (۲۰۰۱)

ماهواره GPM

به منظور افزایش دقت اندازه‌گیری‌های بارش این ماهواره همانند ماهواره TRMM محصول مشترک ژاپن و آمریکا است که در ۲۷ فوریه ۲۰۱۴ به فضا پرتاب شد. این ماهواره که در ارتفاع ۴۰۷ کیلومتری زمین قرار دارد هر ۲ تا ۳ ساعت می‌تواند بارش کل کره زمین را مشاهده نماید. این ماهواره به منظور مشاهده میزان برف و باران در کل جهان به فضا پرتاب شد که با به کارگیری یک ماهواره اصلی و مرکزی که یک سیستم رادیومتر و رادار پیشرفته را حمل می‌کند به اندازه‌گیری باران از فضا می‌پردازد و به عنوان یک مرجع استاندارد برای تلفیق اندازه‌گیری‌های بارش از مجموعه‌ای از ماهواره‌های تحقیقاتی و عملیاتی عمل می‌کند. با دقت در مأموریت ماهواره GPM فهم بشریت از چرخه آب و انرژی زمین بیشتر می‌شود و باعث بهبود پیش‌بینی حوادث حدی که مخاطرات و سوانح طبیعی را به دنبال دارند می‌شود. ماهواره GPM رادار بارندگی دو فرکانسه (KA-KU) فضایی DPR و یک تصویر بردار ماکروویو چند کاناله GMI را حمل می‌کند. DPR اندازه-گیری‌های سه بعدی بارش در مقیاس‌های ۱۲۵ و ۲۴۵ کیلومتری را فراهم می‌کند دارای یک رادار بارندگی باند KA در فرکانس ۳۵/۵ گیگا هرتز و یک رادار بارندگی باند KU در ۱۳/۶ گیگا هرتز است که نسبت به رادار بارندگی TRMM به باران و برف سبک حساسیت بیشتر نشان می‌دهد. علاوه اندازه‌گیری‌های همزمان بوسیله همپوشانی باندهای KA و KU مس تواند اطلاعات جدیدی درباره توزیع اندازه‌قطرات در شدت‌های ستون بارش را فراهم کند. همچنین با اندازه‌گیری‌های میکرو فیزیکی DPR می‌تواند

اطلاعات مشاهده شده از ابرها و هوا ویزها را تکمیل کند. انتظار می‌رود که GPM فهم و دید بیشتری درباره چگونگی تأثیر احتمالی فعالیت‌های انسان بر فرآیندهای بارندگی ایجاد نماید. GMI یک رادیومتر ماکروویو چندکاناله است که پوشش ۸۸۵ کیلومتری با ۱۳ کانال از فرکانس ۱۰ تا ۱۸۳ گیگا هرتز دارد. این ماهواره علاوه بر دقت در اندازه‌گیری بارش‌های جهانی به بهبود پیش‌بینی هوا و بارندگی از طریق شبیه سازی اطلاعات لحظه‌ای کمک می‌کند. شریفی و همکاران (۲۰۱۶)

رادار هواشناسی داپلر: رادار هواشناسی یکی از سیستم‌های فعال سنجش از دور است که امکان تخمین کوتاه مدت بارندگی شامل میزان بارندگی، شدت و نوع آن در مدت زمان مشخص را فراهم می‌آورد که این اطلاعات به هنگام در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه شبکه آبیاری و زهکشی بسیار کاربردی است. رادارهای هواشناسی با ارسال امواج الکترومغناطیس و دریافت، تجزیه و تحلیل بازتاب آن می‌توانند اطلاعاتی در مورد آب مایع درون ابر، خصوصیات فیزیکی ابرها و کریستال‌های یخی را در اختیار ما قرار دهند از مزیت‌های این سیستم پیوستگی زمانی و مکانی اندازه-گیری‌های آن است که به عنوان داده‌های تکمیلی در تخمین دقیق‌تر مکان و زمان وقوع پدیده‌های جوی به حساب می‌آید. به دست آوردن میزان بارش از داده‌های راداری مستلزم بدست آوردن شدت بارش از این داده هاست. اما رادار بایستی برای بدست آوردن شدت صحیح بارش برای منطقه تحت پوشش کالیبره شود. یعنی فرمول آن با منطقه، تطابق داده شود تا شدت صحیح بارش را برای منطقه بدست دهد. استفاده از علم سنجش از دور برای برآورد میزان بارش دارای سابقه طولانی به منظور آشنایی با این سابقه طولانی میتوان به کار لویزانی (۲۰۰۰) اشاره نمود. سروشیان (۲۰۰۰) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل تخمین بارش پرشین را ارائه نمودند. آنها در تحقیق خود از تصاویر مادون قرمز ماهواره GOES و داده-های بارش تجمعی روزانه ماهواره TRMM استفاده کردند. ضریب همبستگی بین بارش برآورد شده توسط مدل و داده‌های رادار هواشناسی مرکز ملی داده‌های اقلیمی آمریکا حدود ۰/۷ بود.

های بارش زمینی و ماهواره در بیشتر استان فارس برای همه مقیاس های زمانی وجود دارد. بطوریکه تعداد آن برای همه ایستگاه های همدیدی (به جز اقلیم) و باران سنجی (به جز ۶ ایستگاه) در مقیاس سالانه به ترتیب بین ۰/۸ تا ۰/۹۵ و ۰/۶۴ تا ۰/۹۳ و برای مقیاس ماهانه به ترتیب بین ۰/۶۴ تا ۰/۹۶ و ۰/۵ تا ۰/۹ بود.

رسولی و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی تطبیقی بارشی ایستگاه های حوضه دریاچه ارومیه و مقادیر برآورد شده ماهواره TRMM این حوضه پرداختند و به ضریب همبستگی ۰/۶۹ رسیدند که نشان دهنده انطباق نسبی داده های بارش TRMM با مقادیر زمینی است.

رسولی (۱۳۸۴) جهت مشخص نمودن الگوهای توزیع زمانی بارش های رعد و برقی شهر تبریز از آمارهای ایستگاه های زمینی و داده های TRMM استفاده نموده و به این نتیجه رسید که توزیع مکانی این نوع بارشها از عوامل فیزیوگرافیک متأثر می شوند.

رسولی و حاجی میررحیمی (۱۳۸۶) برای برآورد مقدار بارش در شمال غرب کشور از سیستم های رادار زمینی استفاده نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که همبستگی داده های رادار با داده های بارشی ایستگاه های سینوپتیک در شعاع ۲۰۰ کیلومتری برابر ۰/۸ و در شعاع ۱۵۰ کیلومتری برابر ۰/۹۵ است و با افزایش فاصله از سیستم مرکزی رادار از دقت داده ها کاسته می شود.

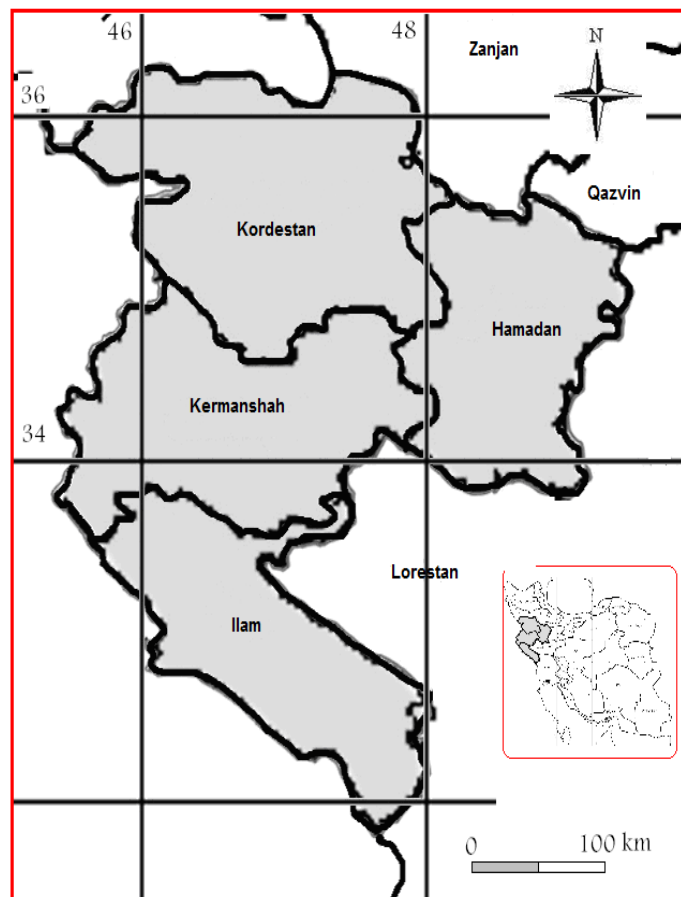
پورباقری و همکاران (۱۳۸۶) برای استخراج آب قابل بارش در ایستگاه مهرآباد، از باندهای مادون قرمز نزدیک تصاویر سنجنده MODIS^۱ و برای اعتبارسنجی آب قابل بارش حاصل از تصاویر ماهواره ای، از داده های رادیو سوند استفاده نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که باندهای ۱۸ و ۱۹ MODIS برای استخراج آب قابل بارش ابر در شرایط جوی ایستگاه مهرآباد مناسب می باشند.

هافمن (۲۰۰۶) مدل TMPA را برای تخمین بارش دادند که از طریق ترکیب بارش برآورد شده از طریق ماهواره های مختلف و نیز بارش ثبت شده توسط ایستگاه های زمینی، داده های قابل قبولی تولید می کند.

فیداس (۲۰۰۸) برای تخمین بارش در مدیترانه از الگوریتم CST استفاده کردند این الگوریتم مبتنی بر داده های مادون قرمز است که با استفاده از داده های بارش ماهواره TRMM کالیبره شده است. مقایسه بین داده های بدست آمده از این روش و داده های زمینی نشان داد که ضریب همبستگی در فصل تابستان، بهار و پاییز به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۷۶ و ۰/۷۳ بوده ولی در فصل زمستان ضریب عدد پایینی را نشان می دهد.

هیل (۲۰۱۰) با استفاده از سنجش از دور چند طیفی به تشخیص و تخمین بارندگی در حوضه رود نیل در اتیوپی پرداختند و بدین منظور از داده های TRMM و تصاویر ماهواره متئوست استفاده نمودند. آنها همچنین از مدل نمایی برای تخمین بارش از باند مادون قرمز حرارتی استفاده نموده و داده های بدست آمده از این مدل را با مشاهدات بدست آمده از ایستگاه های هواشناسی مقایسه کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که برای تشخیص نرخ بارش بالاتر از ۱ میلی متر در ساعت، شاخص دمای درخشندگی ۱۰/۸ میکرون بهتر از سایر شاخص ها عمل می کند.

در ایران نیز مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است. جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰) به منظور ارزیابی بارش برآورد شده توسط ماهواره TRMM به مقایسه این داده ها با داده های بارش شبکه بندی شده زمینی در ایران در طول دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۹۸ پرداختند. آنها دو رژیم بارشی را بر روی دریای خزر و رشته کوه زاگرس تشخیص دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مقادیر بارش توسط TRMM، در کل کشور، ناحیه خزری و مناطق کوهستانی زاگرس به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۳۹ و ۰/۱۵ میلی متر در روز کمتر از تعداد واقعی برآورد شده و ضریب همبستگی آنها نیز در این مناطق به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۵۷ و ۰/۷۵ می باشد. شیروانی و فخاری زاده (۱۳۹۳) به مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش استان فارس و برآورد ماهواره TRMM پرداختند و به این نتیجه رسیدند همبستگی معنی داری در سطح ۵ درصد بین داده-



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران

خشک ایران پرداختند. آنان برای ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای از معیارهای خطا و شاخص‌های عملکرد POD^۱، CSI^۲، FAR، TSS^۳ استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که ماهواره TRMM مقادیر بارش ماهانه را در ۸۰ درصد از ایستگاه‌های سینوپتیک بیش تر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد می‌کند.

وسعت منطقه مورد مطالعه ۸۹۵۰۵ کیلومتر مربع می‌باشد که در حدود ۵/۵ درصد از مساحت کل ایران است. این منطقه در غرب ایران و در محدوده طول ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار گرفته است. از شمال غرب با استان آذربایجان غربی، از جنوب به استان

عسکری و همکاران (۱۳۸۷) به منظور تخمین بارش در ایران، داده‌های ماهواره TRMM را با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک کشور مقایسه، اعتبارسنجی و کالیبره کردند آنها از داده‌های سه ساعته بارشی در ماه آذر سال ۱۳۸۶ استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که عمده بارش‌های آذر ماه کشور در نواحی مرکز به سمت شمال غرب رخ می‌دهد و ضریب همبستگی ۰/۷ را بین مقادیر ماهواره و بارش زمینی بدست آوردند.

غضنفری و همکاران (۱۳۹۰) به مقایسه مدل PERSIANN با روش‌های درون یابی برای تخمین بارندگی در خراسان شمالی پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که همبستگی خروجی‌های PERSIANN با داده‌های بارندگی واقعی ۰/۸۰۵ است.

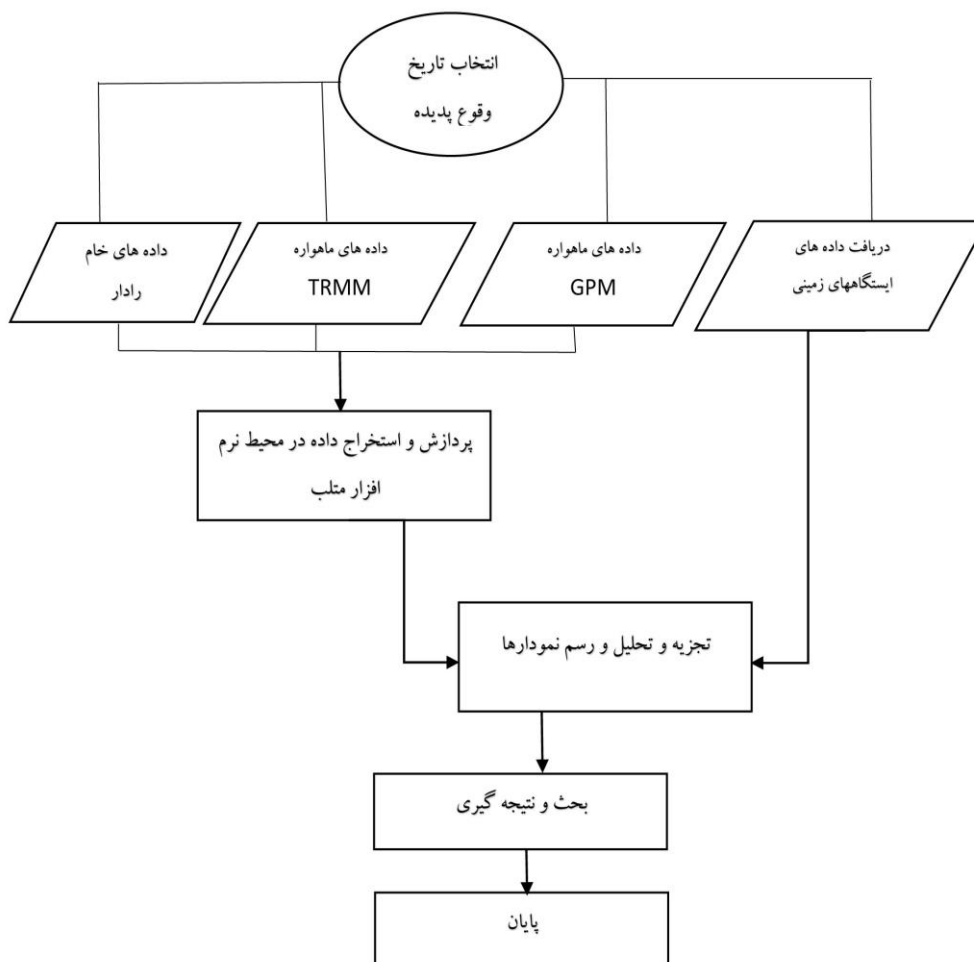
عرفانیان و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی و کالیبراسیون داده‌های بارش ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه

1-Probability of detection
2_Critical Success Index
3-True Skill Statistic
4- False Alarm Ratio

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا تاریخ وقوع پدیده مشخص و سپس مراحل مختلف بر اساس شکل ۲ انجام شد.

خوزستان و از شرق به استان‌های لرستان و مرکزی و از غرب به کشور عراق محدود می‌گردد. منطقه مورد مطالعه در دامنه‌های غربی زاگرس واقع شده است. این منطقه در شکل ۱ مشخص شده است.



شکل ۲- مراحل انجام تحقیق

۳- داده ها

مجموعه داده های مورد استفاده این پژوهش عبارتند از :

۳-۱- اطلاعات رادار هواشناسی داپلر:

رادار کرمانشاه که یکی از سه رادار هواشناسی غرب ایران است جمع آوری شده است. جدول زیر ویژگی‌های اصلی این رادار را ارائه می‌دهد. نوع داده مورد استفاده برای مطالعه SRI است که به شدت بارش سطحی در dB (میزان بارش در میلی متر / ساعت در سیستم لگاریتمی dB) اشاره دارد.

سازمان هواشناسی ایران در حال ایجاد یک ماتریس رادارهای هواشناسی داپلر در سراسر ایران است که بیشترین تمرکز این رادارها در استان‌های غرب، شمال و جنوب ایران است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق با استفاده از

جدول ۱- خصوصیات رادار هواشناسی داپلر (منبع: اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه)

Property	Describe
SYSTEM	METEOR 1500C
Operating Frequency Range	5600 - 5650 MHz (C-Band)
Pulse Modes	Up to 4
Default Pulse Modes	Short (SPM)
Pulse Width	0.4 – 3.3 μ s, selectable
Default Pulse Width [PW]	0.67 μ s (SPM)
Range Resolution @ default PW	100 m
Pulse Repetition Frequency [PRF]	250 - 1300 Hz, selectable
Maximum PRF @ default PW	1300 Hz
Unambiguous Range @ max PRF	115 km
Unambiguous Range with 2nd Trip Recovery Option	230 km
Typical Operational Range	200 km
Sensitivity - Rain rate @ unambiguous range	0.05 mm/h
Clutter Suppression Capability	> 50 Db
Scan time (imaging)	15 minutes (5 min Reflectivity Scan , 6 min Velocity Scan , 4 min Volume Scan)

۳-۲- اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه

استان کرمانشاه، ایلام، کردستان و همدان استفاده شد.

مشخصات

در این پژوهش از ده ایستگاه هواشناسی واقع در چهار

ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

مختصات						ارتفاع (متر)	نام ایستگاه
عرض جغرافیایی اعشار (Decimal (Degree	طول جغرافیایی اعشار (Decimal (Degree	طول جغرافیایی درجه	دقیقه	طول جغرافیایی درجه	دقیقه		
۳۳/۸۰۰	۴۶/۵۸۳	۳۳	۴۸	۴۶	۳۵	۱۰۳۰	سرابله
۳۲/۶۸۳	۴۷/۲۶۷	۳۲	۴۱	۴۷	۱۶	۲۳۲	دهلران
۳۳/۶۳۳	۴۶/۴۳۳	۳۳	۳۸	۴۶	۲۶	۱۳۳۷	ایلام
۳۴/۱۱۷	۴۶/۴۶۷	۳۴	۰۷	۴۶	۲۸	۱۳۴۹	اسلام‌آباد غرب
۳۴/۳۵۰	۴۷/۱۵۰	۳۴	۲۱	۴۷	۰۹	۱۳۱۹	کرمانشاه
۳۴/۵۰۰	۴۷/۹۸۳	۳۴	۳۰	۴۷	۵۹	۱۴۶۸	کنگاور
۳۴/۸۶۷	۴۸/۵۳۳	۳۴	۵۲	۴۸	۳۲	۱۷۴۱	همدان
۳۵/۳۳۳	۴۷/۰۰۰	۳۵	۲۰	۴۷	۰۰	۱۳۷۳	سنندج
۳۳/۷۶۷	۴۶/۳۵۰	۳۳	۴۶	۴۶	۲۱	۱۳۰۳	ایوان‌غرب
۳۶/۲۵۰	۴۶/۲۵۰	۳۶	۱۵	۴۶	۱۵	۱۵۲۳	سقز

اطلاعات این ماهواره بصورت روزانه و هر سه ساعت در دسترس می‌باشد. که از طریق سایت GIOVANNI اطلاعات مربوط به روزهای فعالیت موج استخراج شد. این اطلاعات نیز در محیط نرم افزار متلب پردازش شده و نمودارها و اشکال مختلف استخراج گردید.

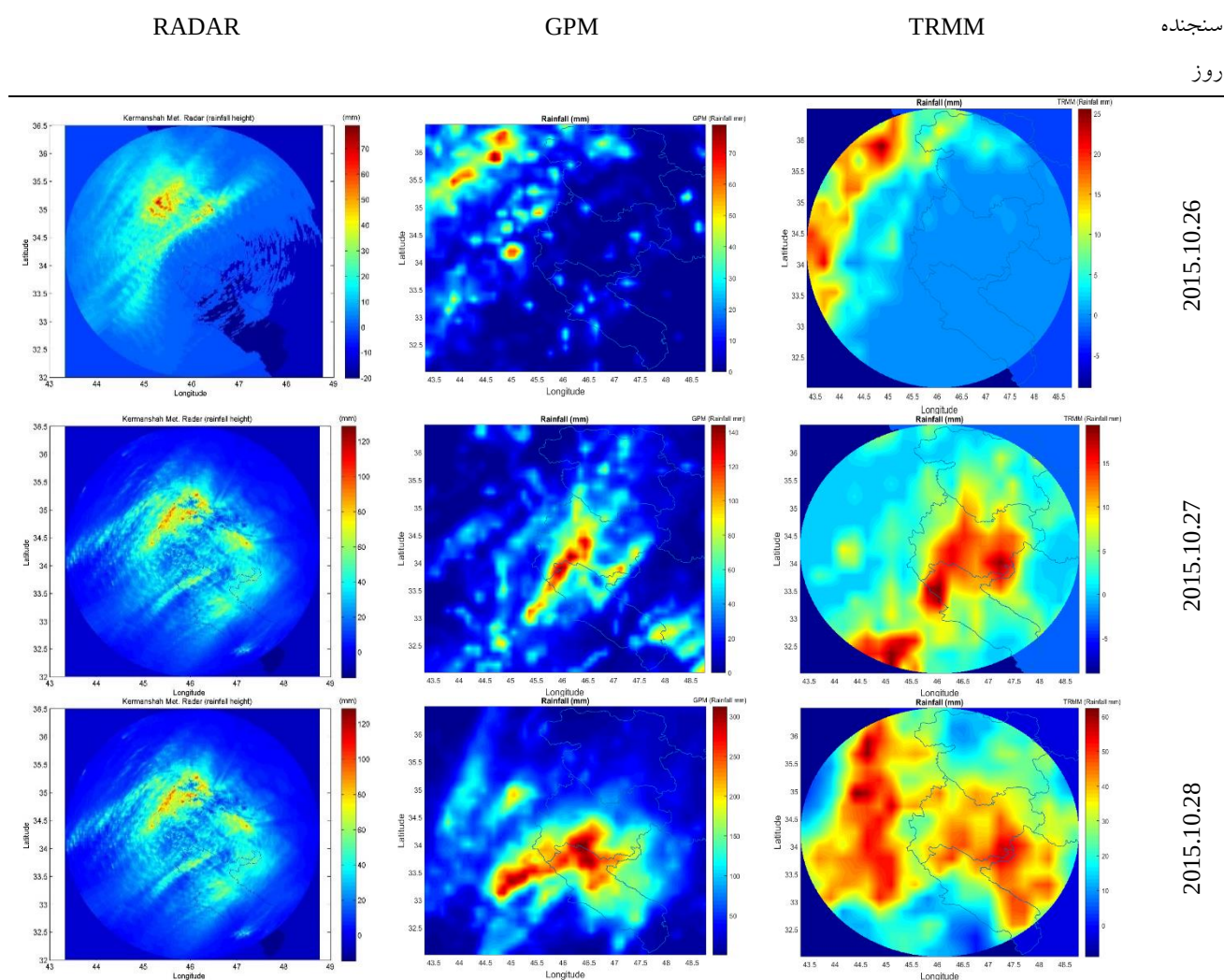
۴- نتایج

پس از بررسی های بعمل آمده و استخراج داده ها تصاویر و نمودارهای مربوطه طبق شکل‌های ۳ و ۴ تهیه گردید.

۳-۳- اطلاعات ماهواره GPM:

اطلاعات این ماهواره به صورت روزانه و هر ساعت دو نوبت در دسترس می‌باشد. که از طریق ناسا اطلاعات مربوط به روزهای فعالیت موج استخراج گردید. این اطلاعات در محیط نرم افزار متلب پردازش شده و نمودارها و اشکال مختلف استخراج گردید.

۳-۴- اطلاعات ماهواره TRMM



شکل ۳- تصاویر روزانه حاصل از ماهواره‌های GPM و TRMM و رادار داپلر

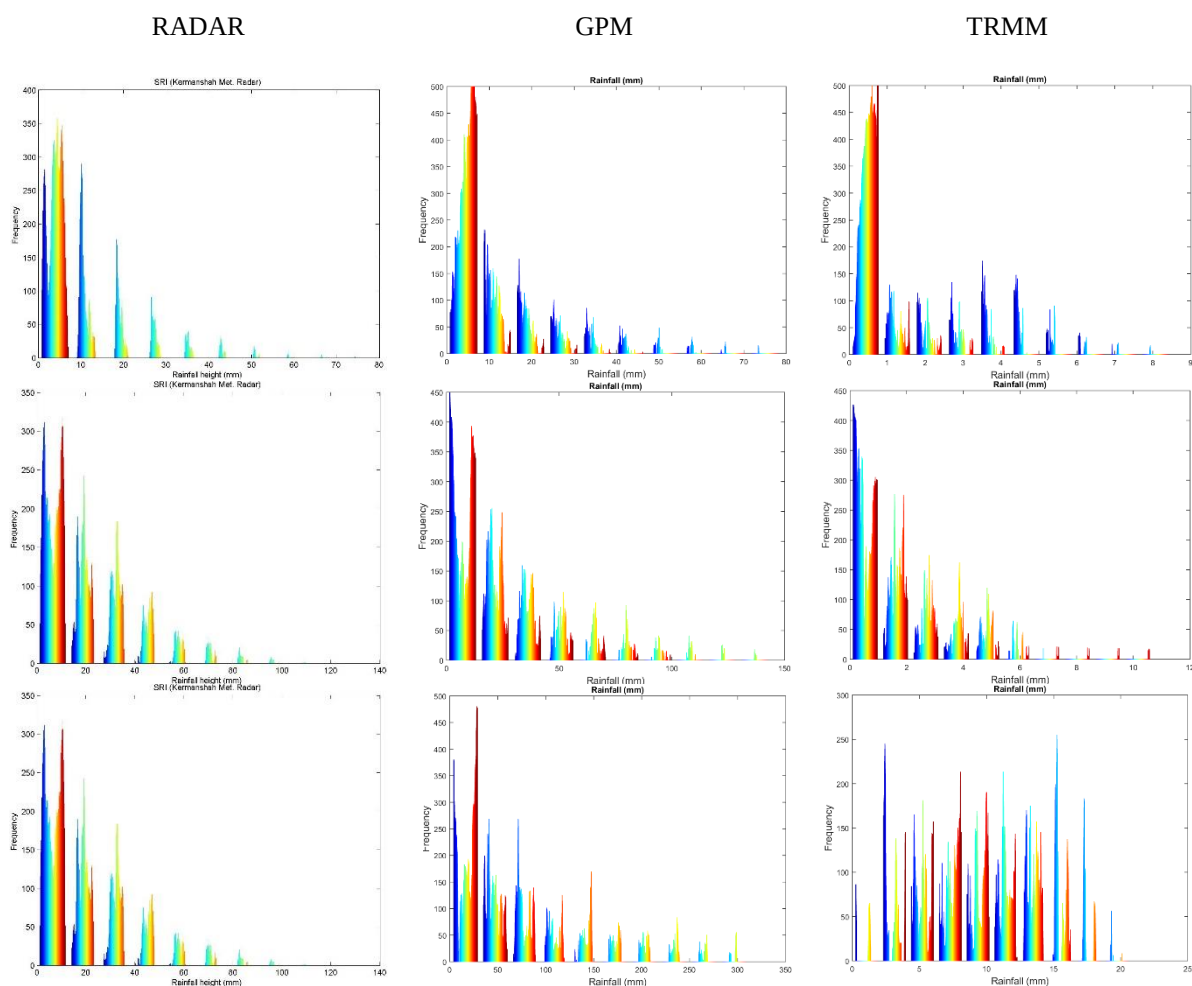
سنجنده

روز

2015.10.26

2015.10.27

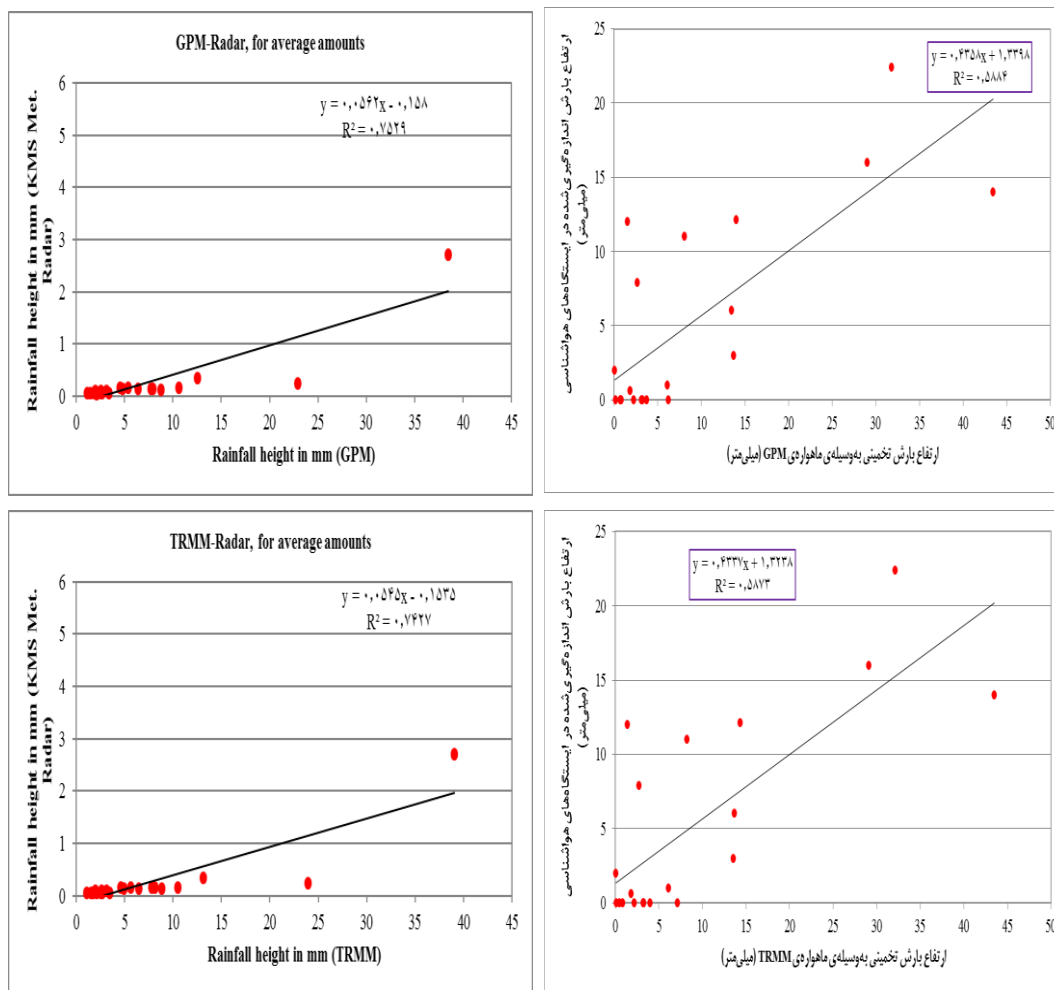
2015.10.28



شکل ۴- نمودارهای روزانه حاصل از ماهواره‌های GPM و TRMM و رادار داپلر

شکل‌های فوق و منحنی خطی (linear) برازش داده شده بین زوج‌داده‌های ماهواره و داده‌های بدست آمده از رادار داپلر کرمانشاه و ایستگاه‌های هواشناسی را نشان می‌دهد.

مقایسه‌ی داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های رادار و بارش اندازه‌گیری شده از ایستگاه‌های هواشناسی



شکل ۵- ضریب تعیین (R^2) محاسباتی بین متوسط ارتفاع بارش اندازه‌گیری شده از ایستگاه‌های زمینی، رادار هواشناسی کرمانشاه و ماهواره‌های GPM و TRMM

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارش رادار هواشناسی کرمانشاه و ماهواره‌ی GPM در بازه‌های مختلف زاویه‌ای حول آنتن این رادار (X^{**} بیان‌گر معناداری در سطح آماری ۱٪ و X^* بیان‌گر معناداری در سطح آماری ۵٪ است)

ردیف	درجه	۳۶۰-۳۱۵	۳۱۵-۲۷۰	۲۷۰-۲۲۵	۲۲۵-۱۸۰	۱۸۰-۱۳۵	۱۳۵-۹۰	۹۰-۴۵	۴۵-۰
۱***		۰/۵۶۲*	۰/۵۴۲	۰/۸۱۳**	۰/۴۷۹	۰/۴۲۱	۰/۵۰۸	۰/۱۹۷	۰/۵۸۸**
۲		۰/۸۰۲**	۰/۶۴۰**	۰/۵۴۵*	۰/۰۱۰	۰/۶۶۸**	۰/۷۱۳**	۰/۰۲۷	۰/۶۴۷*
۳		۰/۴۷۸	۰/۴۸۱	-۰/۱۹۵	۰/۱۸۰	۰/۴۹۰	۰/۰۰۷	۰/۵۲۳*	۰/۶۱۰*
۴		۰/۲۲۹	۰/۱۵۶	-۰/۱۲۲	۰/۶۳۹*	۰/۶۶۵**	۰/۳۴۵	۰/۴۰۸	-۰/۰۷۳
۵		۰/۶۵۷**	۰/۶۲۴*	۰/۸۸۸**	۰/۵۷۰*	۰/۵۲۱*	۰/۶۰۳*	۰/۷۹۱**	۰/۸۱۶**
۶		۰/۱۰۷	-۰/۱۸۹	-۰/۵۰۰	-۰/۱۰۵	-۰/۶۱۷*	-۰/۲۸۵	۰/۰۴۵	-۰/۱۷۹
۷		۰/۰۴۱	۰/۱۱۵	۰/۱۸۹	-۰/۳۱۱	-۰/۱۱۲	۰/۴۴۷	۰/۶۹۹**	-۰/۲۵۳

جدول ۴: ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارش رادار هواشناسی کرمانشاه و ماهواره‌ی TRMM در بازه‌های مختلف زاویه‌ای حول آنتن این رادار (X^{**} بیان‌گر معناداری در سطح آماری ۱٪ و X^* بیان‌گر معناداری در سطح آماری ۵٪ است)

ردیف	درجه							
	۴۵-۰	۹۰-۴۵	۱۳۵-۹۰	۱۸۰-۱۳۵	۲۲۵-۱۸۰	۲۷۰-۲۲۵	۳۱۵-۲۷۰	۳۶۰-۳۱۵
۱***	۰/۵۷۶***	۰/۱۲۸	۰/۴۹۴	۰/۴۰۷	۰/۴۵۸	۰/۸۲۱**	۰/۵۱۸	۰/۵۵۴*
۲	۰/۶۱۷*	۰/۰۱۵	۰/۶۹۵***	۰/۶۷۳***	۰/۰۰۷	۰/۵۳۴*	۰/۶۴۷***	۰/۸۱۱**
۳	۰/۵۹۳*	۰/۵۸۳*	۰/۰۱۵	۰/۴۸۱	۰/۱۵۳	-۰/۱۷۳	۰/۴۷۲	۰/۴۷۱
۴	-۰/۰۹۱	۰/۴۲۴	۰/۳۱۶	۰/۶۶۷***	۰/۶۴۳*	-۰/۱۰۱	۰/۱۴۳	۰/۲۱۸
۵	۰/۷۵۶***	۰/۶۵۲***	۰/۵۷۴*	۰/۵۱۲*	۰/۵۶۱*	۰/۸۷۳***	۰/۶۳۲*	۰/۶۴۵***
۶	-۰/۱۴۵	۰/۰۲۴	-۰/۲۶۵	-۰/۶۲۶*	-۰/۱۲۵	-۰/۴۹۲	-۰/۱۹۱	۰/۱۱۵
۷	-۰/۲۶۲	۰/۶۵۴***	۰/۴۰۶	-۰/۱۱۴	-۰/۳۲۶	۰/۱۹۵	۰/۱۲۲	۰/۰۵۴

همبستگی بسیار مناسبی بین داده‌های رادار- ماهواره با ایستگاه‌های زمینی وجود دارد. ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارش متوسط و حداکثری رادار هواشناسی کرمانشاه با داده‌های متناظر آن در ماهواره‌های GPM و TRMM به ترتیب برابر $۰/۸۱۳^{**}$ و $۰/۸۸۸^{**}$ برای GPM $۰/۸۲۱^{**}$ و $۰/۸۷۳^{**}$ برای TRMM بوده و در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار هستند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های بارش رادار هواشناسی کرمانشاه هم در تشخیص ارتفاع بارش و هم موقعیت مکانی وقوع بارش همبستگی مناسبی با داده‌های بارش ماهواره‌ی دارند. همچنین طی این تحقیق مشخص شد که رادار هواشناسی کرمانشاه بین زوایای ۲۲۵ تا ۳۶۰ درجه حول آنتن خود، یعنی در موقعیتی که استان‌های ایلام و کرمانشاه در آن واقع هستند، و نیز بین زوایای ۹۰ تا ۱۳۵ درجه، یعنی غرب استان کردستان ایران و قسمت‌هایی از کشور عراق بهترین عملکرد را دارد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

بارش به عنوان عنصر ورودی اغلب مدل‌های اقلیمی، جوی و هیدرولوژیکی به حساب می‌آید. در صورت نیاز به مطالعه در مقیاس‌های ماکرو دسترسی به یک بانک اطلاعاتی وسیع و همگن ضروری است. که به این منظور داده‌های ماهواره- ای می‌توانند به عنوان منبع نسبتاً مطلوبی مورد استفاده قرار

گیرند. در پژوهش حاضر دقت داده‌های بارش ماهواره GPM، TRMM و نیز رادار داپلر کرمانشاه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. ضرایب تعیین در سطح معنی داری ۵ درصد نشان از معنی‌دار بودن معادلات بین داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه‌های منطقه، ماهواره و رادار دارد به طوریکه ضریب تعیین بین داده‌های ماهواره GPM و رادار داپلر و رادار با ماهواره TRMM و نیز ایستگاه‌های منطقه با ماهواره‌های GPM و TRMM به ترتیب $۰/۷۵$ ، $۰/۷۳$ ، $۰/۵۹$ و $۰/۵۸$ بدست آمده است. این همبستگی‌های بالا نشان‌دهنده آن است که داده‌های بارش ماهواره‌ای بوسیله یک رگرسیون خطی بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر ماهواره‌ای قابل تصحیح و استفاده در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی می‌باشد. بطور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که داده‌های بارش ماهواره‌ای پس از اعمال ضریب و تصحیحات ساده از دقت خوبی برخوردار بوده و در زمینه‌ها مختلف قابل استفاده هستند.

منابع

1. Akbari Yingeh Ghaleh M, Sanaeinejad S.H, Farid Hosseini A.R, Akbari M, (2017) Temporal-spatial study of precipitation using TRMM satellite data (Case study of Khorasan Razavi province), Journal of Climatological Research No. 29, Pp. 18-1. in Persian

- estimates of TRMM 3B42 over Iran", *Advances in Geosciences*, 25: 119-125.
12. Kermanshah Meteorological Department (2011), a guide to Doppler radar products - Information and Communication Technology Department. in Persian
13. Khosravi M, Bostani M, Aziz Oghli M.A, Goodarzifar M (2013): Comparison of precipitation zones of Sistan and Baluchestan province using satellite data and ground stations, *Journal of Climatological Research*, No. 13, pp. 110 - 97. in Persian
14. Levzzani, V., Amorati, R., Meneguzzo, F., (2002), "Multi-sensor precipitation measurements, integration calibration and forecasting (MUSIC): a review of satellite based estimation methods", [on line]: www.isac.cnr.it.
15. Marchi, D. C., (2006), "Probabilistic estimation of precipitation combining geostationary and TRMM Satellite Data", PhD Thesis", Georgia Institute of Technology.
16. Motkan A., Shakiba A., Ashourloo, Badaq Jamali J, Mohammadian and, (2009) Capability of combined infrared and microwave data for remote sensing and rainfall estimation and flood monitoring (Case study: Golestan province), *Remote Sensing and GIS Iran*, No. 2, pp. 44-31. in Persian
17. Pourbagheri S., Mobasheri M., Farajzadeh M. (2010): Feasibility study of using radiosound data and MODIS satellite images in estimating total rainfall (study area: Tehran region), *Proceedings of the conference Tehran Geomatics*, Country Mapping Organization. in Persian
18. Rasooli A.A (2005): Modeling of Thunderstorms in Tabriz from the Perspective of Flood Risk - International Conference on Earth Hazards, Natural Disasters and Strategies to Deal With Them, University of Tabriz September 2005. in Persian
19. Rasooli A.A (2011): Introduction to Meteorology and Satellite Climatology, Tabriz University Press, First Edition. in Persian
20. Rasooli A.A, Haji Mir Rahimi S.M (2007): Application of Ground Radar Systems in Estimating Precipitation (Case Study of Northwest Iran) *Asayesh Quarterly*, No. 3, pp. 69-57. in Persian
21. Rasouli A.A, Erfanian M., Sari Sarraf B, Javan Kh. (2016): A Comparative
2. Almazroui, M., (2011), "Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998-200", *Atmospheric Research*, 99: 400-414.
3. Askari Q, Pourbagheri SM, Mobaraki Z (1999) Validation of precipitation data obtained from TRMM satellite with the help of automatic meteorological stations in December 1986 - *Proceedings of the Tehran Geomatics Conference - Mapping Organization*. in Persian
4. Azari H., Motkan A., Shakiba A., Pourali H. (2009): Simulation and flood warning by combining hydrological models in GIS and estimating rainfall through remote sensing, *Geological Quarterly*-No. 3, pp. 51-39. in Persian
5. Boroujerdi Katirai P.S (2013) Comparison of monthly satellite and terrestrial precipitation data in high resolution networks on Iran, *Iranian Journal of Geophysics*, No. 4, pp. 160-149. in Persian
6. Erfanian M, Kazempour S, Heidari H (2013): Evaluation and calibration of TRMM satellite rain in arid and semi-arid regions of Iran, *Geography (Regional Planning)* No. 3, pp. 95-82. in Persian
7. Feidas, H., Kokolatos, G., Negri, A., Manyin M., Chrysoulakis, N., Kmarianakis, y., (2009), "A validation of an infrared-based satellite algorithm to estimate accumulated rainfall over the Mediterranean basin, *Theoretical and Applied Climatology*, 95: 91- 109.
8. Ghazanfari Moghaddam M.S., Alizadeh A, Mousavi Baigi S.M, Farid Hosseini A.R., Banayan Aval .m (2011) Comparison of PERSIANN model with interpolation methods for application in estimating daily rainfall, *Journal of Water and Soil*, No. 1, pp. 215-207. in Persian
9. Haile, A.T., Rientjes, T., Gieske, A., Gebremichael, M., (2010), "Multispectral remote sensing for rainfall detection and estimation at the source of the Blue Nile River", *Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12: 76-82.
10. Huffman, G.J., Adler, R.F., Bolvin, D.T., Gu, G., Nelkin, E.J., Bowman, K.P., Hong, Y., Stocker, E.F., Wolff, D.B., (2007), "The TRMM Multisatellite precipitation analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales", *J. Hydrometeorol*, 8: 38-55.
11. Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M.I., BodaghJamali, J., Kawamoto, H., (2010), "Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall

23. Shirvani A, Fakharizadeh Shirazi A (2014), Comparison of observable precipitation values and TRMM satellite estimates in Fars province, Journal of Agricultural Meteorology, Volume 2, Number 2, Fall and Winter 1993, pp. 15-1. in Persian
24. Sorooshian, S., Hsu, X., Gao, H.V., Gupta, B., Imam, Braithwaite, D., (2000), Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall, Bulletin of American Meteorology Society, 81: 2035-2046.
- Assessment of Estimated Rainfall Rates of TRMM and Recorded Precipitation of Ground Stations in Urmia Lake Basin - Geographical Space Quarterly, Year 16, Issue 52 , Summer 2016, pp. 217-195. in Persian
22. Sharifi, E.; Steinacker, R.; Saghafian, B. (2016) "Assessment of GPM-IMERG and Other Precipitation Products against Gauge Data under Different Topographic and Climatic Conditions in Iran: Preliminary Results". Remote Sensing , 8, 135