



## مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس

امین شیروانی<sup>۱\*</sup>، الهام فخاری زاده شیرازی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵

### چکیده

متغیر بارش نقشی کلیدی در مطالعات هیدرومتئورولوژی و کشاورزی دارد. به دلیل تغییرپذیری زیاد این کمیت در مکان و زمان، پایش آن در مقیاس‌های کوچک به وسیله ایستگاه‌های زمینی بسیار دشوار بوده و از این رو، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روشی توصیه شده برای دستیابی به داده‌هایی با تفکیک بالا است. قبل از استفاده از این داده‌ها، بایستی دقت زمانی و مکانی آن‌ها ارزیابی شود. در مطالعه حاضر، داده‌های بارش روزانه ۱۲ ایستگاه همدیدی و ۳۷ ایستگاه باران‌سنجی برای ارزیابی محصول نسخه ۷ ماهواره TRMM با مقیاس مکانی  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  در استان فارس طی دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۸ مورد استفاده قرار گرفت. ضریب همبستگی پیرسون، میانگین، میانه، واریانس، دامنه میان‌چارکی، نرمال شده جذر میانگین توان دوم خطا و اختلاف میانگین برای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که به طور کلی، همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در بیشتر مناطق استان برای همه مقیاس‌های زمانی وجود دارد به طوری که مقدار آن برای همه ایستگاه‌های همدیدی (به جز اقلید) و باران‌سنجی (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. کمترین و بیشترین ضریب همبستگی پیرسون به ترتیب در مقیاس روزانه و ماهانه مشاهده شد. مقدار نرمال شده جذر میانگین توان دوم خطا در مقیاس‌های سالانه، ماهانه و روزانه به ترتیب برابر با ۰/۱۲ تا ۰/۹۲، ۰/۲۱ تا ۰/۴ و ۰/۷۹ تا ۱/۹۱ بود که کمترین و بیشترین آن در قسمت‌های غربی و جنوب شرقی استان مشاهده شد. در قسمت‌های شمال غربی استان که مقدار بارش نیز زیاد می‌باشد، مقدار اختلاف میانگین بارش مشاهده شده و برآوردی ماهواره برای تمامی مقیاس‌های زمانی مثبت بود. همچنین، برای مناطق شرقی که میزان بارش کم می‌باشد، مقادیر منفی اختلاف میانگین مشاهده شد. نتایج آزمون t دو نمونه‌ای نشان داد که اختلاف بین میانگین بارش مشاهده شده و ماهواره‌ای برای ماه‌های تر در ۲۹ ایستگاه در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین بر اساس نتایج آزمون F واریانس بارش مشاهده شده و ماهواره‌ای برای ماه‌های تر در ۳۳ ایستگاه در سطح پنج درصد برابر است.

واژه‌های کلیدی: بارش، ماهواره TRMM، فارس

### مقدمه

حدی بارش در طول دوران‌های مختلف بر مسایل اجتماعی و اقتصادی نیز تأثیرگذار بوده است. از این رو، پایش بارش در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت و مقیاس مکانی کوچک نقش مهمی در مدیریت منابع آب دارد. ایستگاه‌های همدیدی (سینوپتیک) و باران‌سنجی موجود به خوبی در مناطق مختلف توزیع نشده‌اند و فاصله آن‌ها بر اساس قوانین خاصی نیست. همچنین بر روی آب‌ها، دریاها و دریاچه‌ها شبکه همدیدی و باران‌سنجی موجود نمی‌باشد به طوری که برای

بارش یک پارامتر بسیار مهم در چرخه هیدرولوژی است که زندگی بدون آن امکان‌پذیر نیست. تغییرات زمانی و مکانی زیاد این پارامتر باعث شده که آن را تبدیل به پارامتر بحث‌برانگیز در مدل‌های جوی- اقلیمی کند. نوسان‌های

<sup>۱</sup> استادیار بخش مهندسی آب و مرکز پژوهش‌های جوی اقیانوسی،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، بخش مهندسی آب، دانشکده

کشاورزی، دانشگاه همدان، ایران

(\* نویسنده مسئول: am\_shirvani@hotmail.com)

سنسورها است. این ماهواره برای مأموریت فضایی مشترک بین سازمان فضایی و هوانوردی ملی آمریکا<sup>۶</sup> و آژانس اکتشافات هوا فضای ژاپن<sup>۷</sup> طراحی شده و هدف آن نظارت و مطالعه بارش است. ماهواره TRMM در ۲۷ نوامبر ۱۹۹۷ در یک مدار تقریباً دایره‌ای در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری با یک زاویه میل ۳۵ درجه نسبت به استوا با دوره گردش زمانی ۹۱/۵ دقیقه به فضا پرتاب شده است (هافمن و بولین، ۲۰۱۲)<sup>۸</sup> که پس از پرتاب این ماهواره چندین نسخه از داده‌ها تولید شده است. کامرو و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۰) به بررسی نسخه‌های مختلف TRMM در طول ۲ سال پس از پرتاب ماهواره پرداختند، آن‌ها نشان دادند که نسخه ۴ این ماهواره به اندازه ۴۰ درصد با مقادیر بارش اندازه‌گیری‌های زمینی در منطقه گرمسیری مغایرت دارد که در نسخه ۵ این خطا کمتر شده و به ۲۴ درصد رسیده است. پژوهش‌های زیادی برای صحت‌سنجی و مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌ای با داده‌های زمینی و رادار صورت پذیرفته است. ماساناگا و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۲) داده‌های بارندگی سنجنده میکروویو TRMM و بارش حاصل از رادار را مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که رادار، داده‌های آب قابل بارش را بیشتر از TRMM در عرض‌های میانی و در فصل زمستان تخمین می‌زند و TRMM میزان حداکثر بارندگی را نسبت به رادار بیشتر تخمین می‌زند. در خصوص تخمین بارش‌های سنگین نتایج متفاوتی به دست آمده است. برای نمونه، هافمن و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۷) نشان دادند که دقت عملکرد این ماهواره در پدیده‌های سنگین مانند بارندگی‌های شدید نسبت به پدیده‌های سبک و کم، بیشتر است. اما چون گاموانگ<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۸) در پژوهشی داده‌های بارش زمینی تایلند را با داده‌های بارش TRMM مقایسه نمود و نتیجه گرفت که داده‌های TRMM در تخمین بارش‌های سنگین فصلی دقت کمتری دارد. اسلام و یودا<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۷) در تحقیقی که در منطقه بنگلادش بر روی داده‌های TRMM برای تعیین

اندازه‌گیری باران در این مناطق که آب موجود است، از ترکیب داده‌های ساحلی و جزیره‌ای استفاده می‌شود. پایش بارش در این مناطق بر دقت اندازه‌گیری بر روی این منابع عظیم چرخه هیدرولوژی تأثیرگذار است. بنابراین تعداد و پراکندگی مکانی نامناسب ایستگاه‌های همدیدی و باران‌سنجی و عدم پایش در فاصله زمانی کوتاه از مشکل‌های همیشگی کاربران داده‌های بارش است. به علاوه در صورت موجود بودن آمار، به دلایل مختلفی از جمله حساسیت دستگاه، اشتباه کاربر، خرابی دستگاه و غیره، آمارها از دقت خوبی برخوردار نیستند. داده‌های رادار، منابع مناسبی برای کالیبره کردن داده‌های باران‌سنجی می‌باشد و توزیع بارندگی را تخمین می‌زند. رادار، بارندگی را در محدوده ۱۰۰-۸۰ کیلومتری مجاور خود با دقت مناسبی تخمین می‌زند (هادلو، ۱۹۷۹)<sup>۱</sup>. کالیبراسیون داده‌های باران‌سنجی و رادار بسیار گران و هزینه‌بر می‌باشد و برای تعیین توزیع بارندگی جهانی مقرون به صرفه نمی‌باشد. بنابراین تلاش‌هایی برای استفاده از امواج مادون قرمز<sup>۲</sup> و مرئی<sup>۳</sup> جهت تخمین بارندگی انجام شده است. امروزه ماهواره‌ها با بهره‌گیری از امواج میکروویو فعال و غیرفعال رادار و سنسورهای عمل‌گرا در نور مرئی و مادون قرمز، قادر به تخمین بارش در مقیاس زمانی کوتاه مدت برای کل دنیا می‌باشند. ماهواره TRMM<sup>۴</sup> اولین ماهواره‌ای است که بارش در سه بعد بررسی می‌کند: ۱- اندازه‌گیری شدت و توزیع باران ۲- تخمین عمق طوفان ۳- اندازه‌گیری آب معادل ذوب برف. در معرفی و شناخت داده‌های این ماهواره، کامرو و همکاران<sup>۵</sup> (۱۹۹۸) خدمات ارزنده‌ای انجام داده‌اند. این دو محقق به بررسی و معرفی بسته ماهواره‌ای TRMM پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها به‌عنوان راهنمای استفاده از داده‌های این ماهواره می‌تواند در اختیار بهره‌برداران قرار گیرد. آن‌ها ادعا داشتند که این سیستم چند ماهواره‌ای متشکل از امواج میکروویو غیرفعال، رادار و امواج رادیومتری مرئی و مادون قرمز است که فعالیت آن پایش بارش، کالیبراسیون و تولید داده برای هر کدام از

<sup>6</sup> National Aeronautics and Space Administration,(NASA)

<sup>7</sup> Japan Aerospace Exploration Agency

<sup>8</sup> Huffman & Bolvin

<sup>9</sup> Kummerow et al.

<sup>10</sup> Masunaga et al.

<sup>11</sup> Huffman

<sup>12</sup> Chokngamwong

<sup>13</sup> Islam & Uyeda

<sup>1</sup> Hud low

<sup>2</sup> Infrared (IR)

<sup>3</sup> Visible (VIS)

<sup>4</sup> Tropical Rainfall Measuring mission

<sup>5</sup> Kummerow & Barnes

پژوهش‌ها بر روی کاربرد داده‌های TRMM در هیدرولوژی به‌منظور محاسبه رواناب و بیلان آب سوق داده شده‌است. لی و همکاران (۲۰۱۲) ضمن مقایسه بارندگی ماهواره TRMM با داده‌های زمینی، مناسب بودن داده‌های TRMM را برای محاسبه بیلان آبی در مدل‌های هیدرولوژی در حوزه آبریز سین‌کیانگ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از مناسب بودن داده‌ها برای مدل‌سازی‌های هیدرولوژی در مقیاس ماهانه و عدم تناسب برای مقیاس روزانه می‌باشد. از نتایج بالا چنین برمی‌آید که می‌توان با تلفیق اطلاعات بارش به‌دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای و زمینی محصول جدیدی از بارش به‌دست آورد که به‌لحاظ زمانی و مکانی نسبت به داده‌های اندازه‌گیری زمینی جامع‌تر است. هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر مقایسه بارش مشاهده شده در ایستگاه‌های زمینی و بارش برآورد شده ماهواره TRMM در استان فارس برای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه کل استان فارس می‌باشد. این استان به‌طور تقریبی بین مدارهای ۲۷ و ۳۱ درجه عرض شمالی و نصف‌النهارهای ۵۰ و ۵۶ درجه طول شرقی واقع شده است. مساحت استان فارس ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع می‌باشد که از این جهت پنجمین استان بزرگ کشور ایران می‌باشد و تقریباً ۸/۱ درصد مساحت کشور را تشکیل می‌دهد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

### داده‌ها

سه مجموعه داده بارش به‌شرح زیر در این پژوهش استفاده می‌شود: ۱- داده‌های روزانه مشاهده شده دوازده ایستگاه همدیدی در استان فارس که از سازمان هواشناسی استان فارس تهیه گردید. ۲- داده‌های روزانه مشاهده شده ۳۷ ایستگاه باران‌سنجی در استان فارس که از سازمان آب منطقه‌ای دریافت شد. داده‌های مفقود هر ایستگاه با استفاده از بیشترین همبستگی با ایستگاه‌های مجاور و میانگین دراز مدت پر شدند. ۳- داده‌های روزانه بارش نسخه ۷ ماهواره

مشخصات اقلیمی باران انجام دادند، گزارش کردند که داده‌های نسخه ۵ در دوره پیش مونسون و مناطق خشک، مقادیر بارندگی را بیشتر و در دوره مونسون و مناطق مرطوب کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند که در نسخه ۶ این افزایش و کاهش تا حدودی بهبود یافته و به واقعیت نزدیک‌تر است. لی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) نشان دادند که در منطقه سین‌کیانگ تخمین بارندگی روزانه توسط ماهواره TRMM بهتر از بارش‌های حدی پاسخ‌گو است. همچنین در مقیاس ماهانه، هرچند ماهواره بارندگی را بیشتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند اما همبستگی مناسبی بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای مشاهده گردید (۰/۸۹). در برخی پژوهش‌ها علاوه بر مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی، اقدام به ارائه ضرایب تصحیح و کالیبراسیون داده‌های بارش ماهواره‌ای نیز شده است. به عنوان مثال، آلمازروی<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) در منطقه عربستان سعودی در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی ضمن تأیید همبستگی مناسب داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای (۰/۹) ضریب کالیبراسیونی برای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نیز ارائه داد. کندم<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) نیز صحت داده‌های بارش ماهواره TRMM را در کوهستان‌های پرو مورد بررسی قرار داد و ضرایب جمعی و ضربی را برای تصحیح داده‌های ماهواره‌ای پیشنهاد داد. در ایران جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰) اقدام به مقایسه بین داده‌های بارندگی شبکه باران‌سنجی ایستگاه‌های زمینی و داده‌های بارندگی ماهواره TRMM نموده‌اند. در این تحقیق از داده‌های TRMM-Level3 در دامنه (۴۵-۲۰ شمالی تا ۶۵-۴۰ درجه شرقی) استفاده شده است. مقایسه ماهانه و سالانه داده‌های ایستگاه‌های همدیدی و ماهواره TRMM در طول دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۶ دو الگو در دریای خزر و رشته کوه‌های زاگرس را نشان داد. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارندگی ایستگاه‌های همدیدی و داده‌های ماهواره‌ای در نواحی رشته کوه‌های زاگرس ۰/۸ و در دریای خزر و نواحی بیابانی ۰/۶ می‌باشد. در سال‌های اخیر

<sup>1</sup> Li et al.

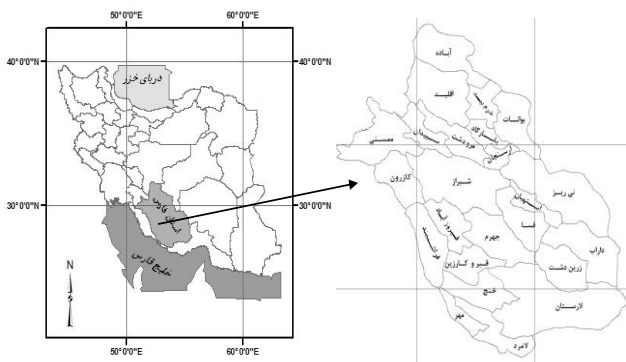
<sup>2</sup> Almazroui

<sup>3</sup> Condom

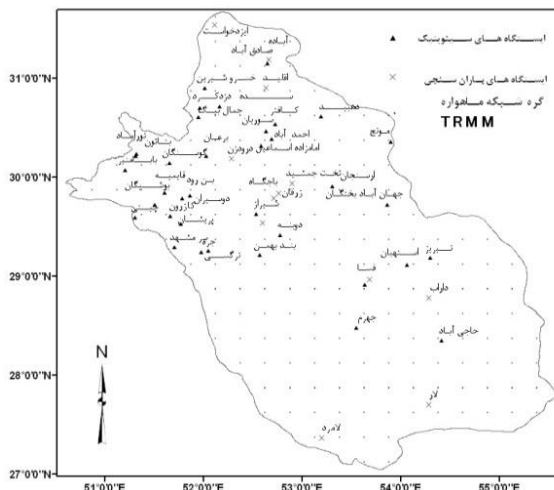
حاصل ضرب انحراف معیار نمونه‌ای دو متغیر X و Y به صورت معادله ۱ به دست می آید.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (1)$$

به طوری که  $S_x$ ،  $S_y$  و  $S_{xy}$  به ترتیب کوواریانس بین X و Y، انحراف معیار X و انحراف معیار Y می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه و گرّه‌های متناظر آن‌ها در شبکه TRMM

آستانه معنی‌دار بودن مقدار ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از معادله ۲ به دست می آید.

$$\left| \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \right| > t_{\alpha/2}(n-2) \quad (2)$$

به طوری که  $\alpha$  سطح معنی‌داری،  $n$  طول دوره آماری مورد مطالعه و  $r$  ضریب همبستگی نمونه‌ای می‌باشد.

TRMM (TRMM\_L3B42Vers7) از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ از پایگاه سازمان فضایی آمریکا استخراج گردید. برای هر ایستگاه زمینی، نزدیک‌ترین گرّه به آن برای مقایسه انتخاب شد. داده‌های ماهواره‌ای از اول ژانویه ۱۹۹۸ تا کنون موجود می‌باشد، بنابراین شروع دوره آماری مورد مطالعه بر پایه داده‌های ماهواره‌ای از اول ژانویه ۱۹۹۸ در نظر گرفته شده و پایان دوره آماری نیز بر پایه داده‌های زمینی در نظر گرفته شده است. سری‌های زمانی روزانه (کل روزها و روزهای ماه‌های با بارش)، ماهانه (ماه‌های با بارش و کل ماه‌ها) و سالانه ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای به طور جداگانه ساخته شد. در این تحقیق ماه اکتبر و مارس به ترتیب به عنوان آغاز و پایان بارش در نظر گرفته شد. از اکتبر تا مارس نیز به عنوان ماه‌های با بارش (ماه‌های تر) در نظر گرفته شد. موقعیت گرّه‌ها، ایستگاه‌های همبندی و باران‌سنجی در شکل ۲ آورده شده و مشخصات تمامی ایستگاه‌های زمینی و دوره آماری هر یک از ایستگاه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

## روش‌ها

### نمودار سری‌های زمانی

نخستین مرحله در تجزیه و تحلیل مجموعه‌ای از داده‌ها که در گذر زمان ثبت شده است، رسم نمودار سری‌های زمانی مربوط می‌باشد. این نمودارها خواص یک سری را آشکار و مقایسه مقادیر واقعی و تخمین زده شده را امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین از نمودار سری‌های زمانی داده‌های مشاهده شده و ماهواره‌ای برای بررسی اولیه چگونگی تغییرات هم‌زمان این داده‌ها استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در غرب جهرم و فسا، ایستگاه زمینی وجود ندارد در حالی‌که گرّه در آن مناطق وجود دارد.

### ضریب همبستگی پیرسون

از روش‌های آماری مانند ضریب همبستگی پیرسون ( $r_{xy}$ ) برای مقایسه بارش زمینی و ماهواره‌ای استفاده گردید. ضریب همبستگی پیرسون از تقسیم کوواریانس نمونه‌ای به

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و گره‌های متناظر با آن‌ها

نام ایستگاه	طول دوره آماری مورد مطالعه	مختصات گره متناظر		طول دوره آماری مورد مطالعه	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		مختصات گره متناظر		طول دوره آماری مورد مطالعه	نام ایستگاه	
		عرض شمالی	طول شرقی			عرض شمالی	طول شرقی	عرض شمالی	طول شرقی			عرض شمالی
آباده <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۳۱/۱۲۵	۵۲/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	سوریان	۳۱/۲	۵۲/۷	۳۱/۱۲۵	۵۲/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	آباده <sup>۰</sup>	
داراب <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۲۸/۸۷۵	۵۴/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	صادق آباد	۲۸/۸	۵۴/۳	۲۸/۸۷۵	۵۴/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	داراب <sup>۰</sup>	
دردوزن <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۳۰/۱۲۵	۵۲/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	کافترا	۳۰/۲	۵۲/۳	۳۰/۱۲۵	۵۲/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	دردوزن <sup>۰</sup>	
اقلید <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۳۰/۸۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	گوسنگان	۳۰/۹	۵۲/۶	۳۰/۸۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	اقلید <sup>۰</sup>	
فسا <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۲۹/۱۲۵	۵۳/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	مونج	۲۹/۰	۵۳/۷	۲۹/۱۲۵	۵۳/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	فسا <sup>۰</sup>	
ایزدخواست <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۳۱/۶۲۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	نرگسی	۳۱/۵	۵۲/۱	۳۱/۶۲۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	ایزدخواست <sup>۰</sup>	
لامرد <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۲۷/۳۷۵	۵۳/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	نورآباد	۲۷/۴	۵۳/۲	۲۷/۳۷۵	۵۳/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	لامرد <sup>۰</sup>	
لار <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۲۷/۸۷۵	۵۴/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	جره	۲۷/۷	۵۴/۳	۲۷/۸۷۵	۵۴/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	لار <sup>۰</sup>	
شیراز <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۲۹/۶۲۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	کازرون	۲۹/۵	۵۲/۶	۲۹/۶۲۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	شیراز <sup>۰</sup>	
زرقان <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۲۹/۸۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	بند بهمن	۲۹/۸	۵۲/۷	۲۹/۸۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	زرقان <sup>۰</sup>	
باچگاه <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۲۹/۸۷۵	۵۲/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	بابامنیر	۲۹/۸	۵۲/۸	۲۹/۸۷۵	۵۲/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	باچگاه <sup>۰</sup>	
تخت جمشید <sup>۰</sup>	۱۹۹۹-۲۰۱۰	۲۹/۸۷۵	۵۲/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	باتون	۲۹/۹	۵۲/۹	۲۹/۸۷۵	۵۲/۸۷۵	۱۹۹۹-۲۰۱۰	تخت جمشید <sup>۰</sup>	
استهبان	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۲۹/۱۲۵	۵۴/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	برغان	۲۹/۱	۵۴/۱	۲۹/۱۲۵	۵۴/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	استهبان	
آباده تشک	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۲۹/۸۷۵	۵۴/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	بن رود	۲۹/۸	۵۴/۷	۲۹/۸۷۵	۵۴/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	آباده تشک	
حاجی آباد	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۲۸/۳۷۵	۵۴/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	بوشیگان	۲۸/۴	۵۴/۴	۲۸/۳۷۵	۵۴/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	حاجی آباد	
چهرم	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۲۸/۶۲۵	۵۳/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	پریشان	۲۸/۵	۵۳/۶	۲۸/۶۲۵	۵۳/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	چهرم	
ارسنجان	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۲۹/۸۷۵	۵۳/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	جهان‌آباد بختگان	۲۹/۹	۵۳/۳	۲۹/۸۷۵	۵۳/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	ارسنجان	
احمد آباد	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۳۰/۳۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	چیتی	۳۰/۴	۵۲/۷	۳۰/۳۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	احمد آباد	
امامزاده اسماعیل	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۳۰/۳۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	دزدکرد	۳۰/۳	۵۲/۶	۳۰/۳۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	امامزاده اسماعیل	
جمال بیگ	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۳۰/۶۲۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	دوبنه	۳۰/۶	۵۲/۰	۳۰/۶۲۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	جمال بیگ	
خسروشیرین	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۳۰/۸۷۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	سر مشهد	۳۰/۹	۵۲/۰	۳۰/۸۷۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	خسروشیرین	
دهبید	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۳۰/۶۲۵	۵۳/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	قایمیه	۳۰/۶	۵۳/۲	۳۰/۶۲۵	۵۳/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	دهبید	
دوسیران	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۲۹/۸۷۵	۵۱/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	فسا	۲۹/۸	۵۱/۸	۲۹/۸۷۵	۵۱/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	دوسیران	
سده	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۳۰/۶۲۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	شیراز	۳۰/۷	۵۲/۲	۳۰/۶۲۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	سده	
				۱۹۹۸-۲۰۱۱	نیریز							*ایستگاه‌های سازمان هواشناسی

## نتایج و بحث

### نمودارهای سری زمانی و ضرایب همبستگی

نمودار سری زمانی بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در مقیاس سالانه و ماهانه در ایستگاه همدیدی شیراز به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ رسم شد. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود نوسان‌های سالانه بارش ایستگاهی و ماهواره‌ای مشابه می‌باشد، به طوری که در سال ۲۰۰۴ که بارش ایستگاهی به بیشینه مقدار خود می‌رسد، بارش ماهواره‌ای نیز به بیشینه مقدار خود می‌رسد. در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود که رفتار سری‌های زمانی بارش ماهانه ایستگاه همدیدی شیراز و بارش ماهواره‌ای مشابه می‌باشد. این نمودارها بیان‌گر الگوی مشابه بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای می‌باشند. با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان گفت که رفتار هر دو سری زمانی در مقیاس‌های سالانه و ماهانه بسیار نزدیک می‌باشند و با افزایش (کاهش) بارش ایستگاهی، بارش ماهواره‌ای نیز افزایش (کاهش) می‌یابد. نکته دیگری که از نمودار قابل درک است این است که در اغلب سال‌ها ماهواره مقدار بارش را کم‌تر از مقدار واقعی تخمین زده است. نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود ضرایب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده بارش ایستگاه‌های همدیدی و ماهواره‌ای در مقیاس سالانه از دقت بالایی برخوردار می‌باشد، به طوری که مقادیر این ضرایب (به جز ایستگاه همدیدی اقلید) بین ۰/۸ تا ۰/۹۵ می‌باشد و همگی در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشند. همچنین ضرایب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی و ماهواره‌ای در مقیاس سالانه نیز از دقت خوبی برخوردار می‌باشد، به طوری که مقادیر این ضرایب (به جز شش ایستگاه) برای ۳۱ ایستگاه دیگر باران‌سنجی بین ۰/۵۶ تا ۰/۹۶ می‌باشند. در مقیاس ماهانه (ماه‌های با بارش و تمامی ماه‌ها)، مقادیر ضرایب همبستگی برای ایستگاه‌های همدیدی بین ۰/۶۴ تا ۰/۹۳ بود که در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند. همچنین مقادیر ضریب همبستگی پیرسون برای ایستگاه‌های باران‌سنجی (به جز ایستگاه استهبان) در مقیاس ماهانه بین ۰/۵ تا ۰/۹۸ بود که همگی در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند. در مقیاس

ضریب همبستگی پیرسون برای سه مقیاس، روزانه، ماهانه و سالانه استفاده شد که در مقیاس‌های روزانه و ماهانه، علاوه بر کل دوره آماری، روزها و ماه‌های با بارش سال نیز تفکیک شدند و ضریب همبستگی پیرسون آن‌ها محاسبه گردید.

### میانگین، واریانس، میانه و دامنه بین چارکی

در این تحقیق از میانگین<sup>۱</sup> و میانه<sup>۲</sup> به عنوان معیارهای تمرکز و از دامنه بین چارکی<sup>۳</sup> که برابر اختلاف بین چارک سوم و اول می‌باشد به عنوان معیار پراکندگی استوار<sup>۴</sup> برای داده‌های مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در سه مقیاس زمانی ماهانه (برای ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل)، فصلی (زمستان، پاییز و بهار) و سالانه استفاده شد. به دلیل آن‌که معیار دامنه بین چارکی نسبت به مقادیر حدی حساس نمی‌باشد به جای واریانس از آن استفاده شد. این ملاک‌ها به طور جداگانه برای موارد ذکر شده محاسبه گردید. برای مقایسه برابری واریانس داده‌های ایستگاه زمینی و نزدیک‌ترین گره به آن از آزمون F استفاده شد. همچنین از آزمون t دو نمونه‌ای برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

### ارزیابی داده‌های تخمین زده شده

برای ارزیابی دقت برآوردها از نرمال شده جذر میانگین مربعات خطا<sup>۵</sup> (NRMSE) و میانگین اختلاف<sup>۶</sup> بین مشاهده و تخمین (MD) مطابق معادله‌های ۳ و ۴ استفاده شده است.

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i^2}} \quad (3)$$

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n} \quad (4)$$

که در آن‌ها  $O_i$  مقادیر مشاهده شده و  $P_i$  مقادیر تخمین هستند و  $n$  تعداد داده‌های مورد مطالعه می‌باشد.

<sup>1</sup> Average

<sup>2</sup> Median

<sup>3</sup> Interquartile range

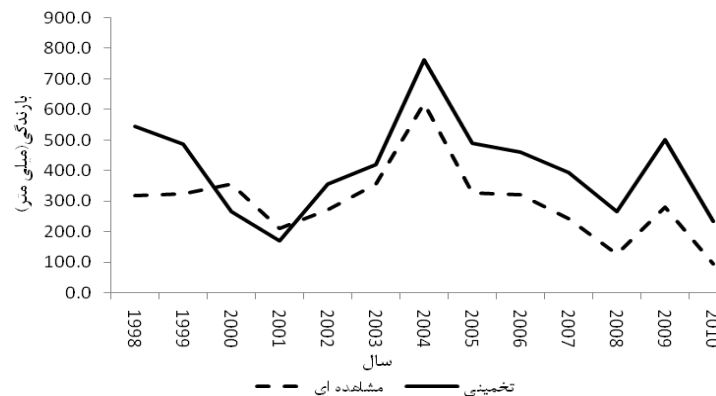
<sup>4</sup> Robust

<sup>5</sup> Normalized Root Mean Square Error

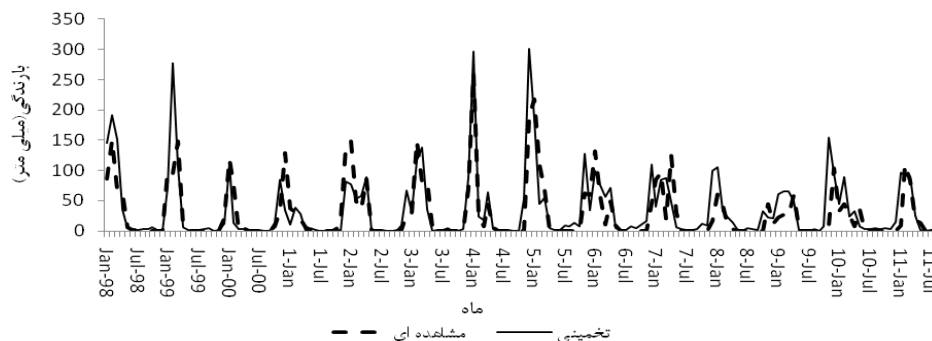
<sup>6</sup> Mean difference

روزهای ماه‌های با بارش) ماهانه (کل ماه‌ها و ماه‌های بارش) و سالانه در شکل ۵ آورده شده است. در مقایسه میانگین ضرایب همبستگی در استان، در مقیاس‌های مختلف، کل ماه‌ها بیشترین ضرایب همبستگی پیرسون را داشتند. به‌طور کلی بیشترین ضرایب همبستگی در مناطق غرب استان و کمترین آن در شرق و جنوب شرقی استان مشاهده می‌شود. اما در مقیاس سالانه علاوه بر غرب استان مناطق جنوب غربی نیز از همبستگی بالایی برخوردارند.

روزانه نیز مقادیر ضرایب همبستگی پیرسون برای ایستگاه‌های همدیدی بیشتر از ایستگاه‌های باران‌سنجی بود (جدول ۲). در مجموع بهترین ضرایب همبستگی در مقیاس ماهانه و کمترین آن در مقیاس روزانه مشاهده گردید. تفاوت معنی‌داری بین ضرایب همبستگی کل روزها و روزهای بارش و همچنین کل ماه‌ها و ماه‌های بارش مشاهده نگردید. تغییرات ضرایب پیرسون در روزها و ماه‌های بارش و کل روزها تقریباً از یک الگو تبعیت می‌کنند. نقشه مکانی ضرایب همبستگی در هر سه مقیاس زمانی روزانه (کل روزها و



شکل ۳- نمودار سری زمانی بارش سالانه مشاهده ای و تخمین زده شده به‌وسیله ماهواره برای ایستگاه شیراز



شکل ۴- نمودار سری زمانی بارش ماهانه مشاهده ای و تخمین زده شده به‌وسیله ماهواره برای ایستگاه شیراز

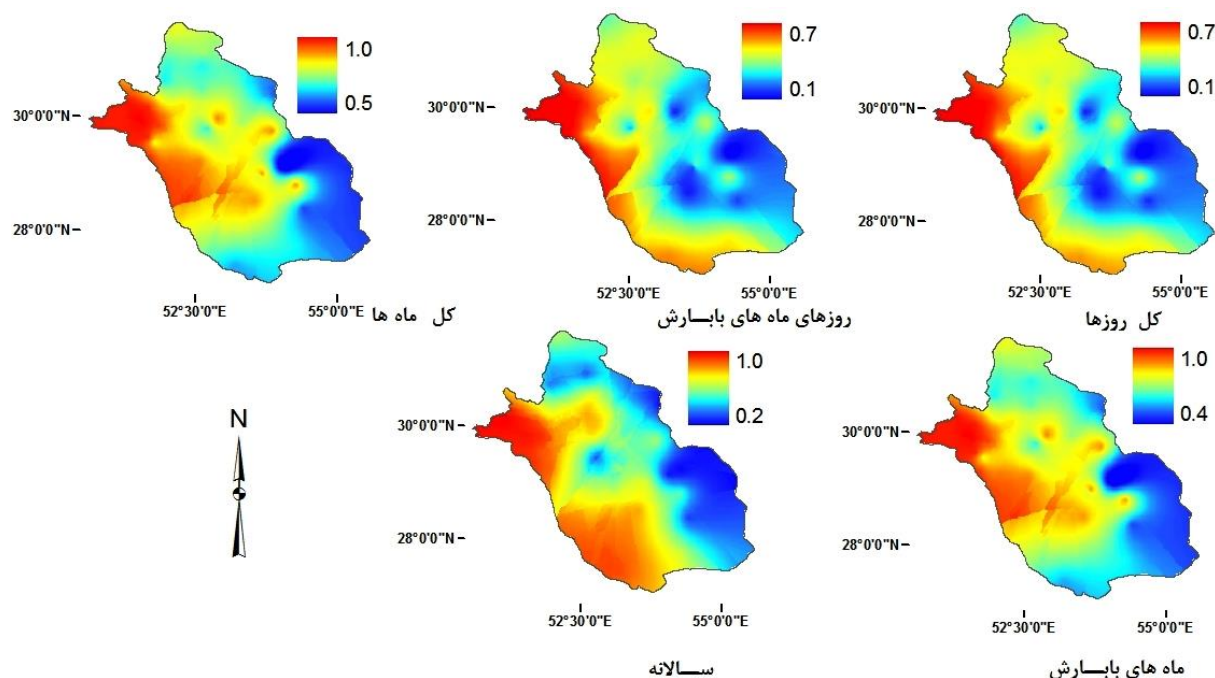
داده‌های میانه اکتفا گردید. همچنین برای آن‌که تعداد کمتری نقشه استفاده شود، از نقشه اختلاف بین میانه داده‌های زمینی و ماهواره‌ای که در شکل ۶ رسم شد، استفاده شد. این شکل نشان می‌دهد که به‌طور کلی در قسمت‌های غرب و شمال استان میانه داده‌های TRMM بیشتر از میانه داده‌های واقعی بوده است. این الگو در تحلیل نقشه‌های پراکنش مکانی اختلاف دامنه بین چارکی داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی (شکل ۷) نیز مشاهده شد.

**مقایسه میانگین، واریانس، میانه و دامنه بین چارکی**  
مقادیر میانگین، میانه و دامنه بین چارکی برای تمامی گروه‌ها، ایستگاه‌های همدیدی و باران‌سنجی برای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه به‌طور جداگانه محاسبه شد. مقایسه داده‌های میانگین و میانه مشابه بود که در این قسمت نتایج مربوط به میانه آورده می‌شود. به‌دلیل آن‌که معیار میانه نسبت به میانگین به مقادیر حدی حساس نمی‌باشد و برای مقایسه مناسب می‌باشد به ارائه نتایج

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای

روزانه		ماهانه		روزانه		ماهانه		سالانه	ایستگاه
کل روزها	روزهای ماهی با بارش	کل ماهها	ماه‌های با بارش	کل روزها	روزهای ماهی با بارش	کل ماهها	ماه‌های با بارش		
۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۷۷	۰/۷۰	۰/۸۶	سوریان	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۸۰	آباده*
۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۶۲	صادق آباد	۰/۵۶	۰/۹۳	۰/۹۵	داراب*
۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۸۴	کافترا	۰/۵۳	۰/۸۹	۰/۸۶	درودزن*
۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۲	گوسنگان	۰/۴۸	۰/۷۸	۰/۶۸	اقلید*
۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۶۸	۰/۵۹	۰/۴۵	مونج	۰/۶۱	۰/۹۵	۰/۹۱	فسا*
۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۸۸	نرگسی	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۸۱	ایزدخواست*
۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۵	نورآباد	۰/۵۶	۰/۶۸	۰/۹۴	لامرد*
۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۹۲	جره	۰/۵۰	۰/۷۱	۰/۸۴	لار*
۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۳	کازرون	۰/۶۱	۰/۸۳	۰/۸۰	شیراز*
۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۷۶	بند بهمن	۰/۵۹	۰/۷۱	۰/۶۵	زرقان*
۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۵	بابامنیر	۰/۴۱	۰/۷۶	۰/۸۰	باجگاه*
۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۵	باتون	۰/۶۰	۰/۹۳	۰/۹۱	تخت جمشید*
۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۸۶	۰/۸۰	۰/۷۳	برغان	۰/۲۰	۰/۴۶	۰/۳۷	استهبان
۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۵	بن رود	۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۵۰	آباده تشک
۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۴	بوشیگان	۰/۱۳	۰/۵۹	۰/۵۷	حاجی آباد
۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۸۴	پریشان	۰/۱۳	۰/۸۹	۰/۸۸	جهرم
۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۶	جهان آباد بختگان	۰/۰۷	۰/۷۹	۰/۷۴	ارسنجان
۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۰	چیتی	۰/۴۹	۰/۸۲	۰/۷۴	احمد آباد
۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۷۹	۰/۶۸	۰/۵۶	دزدکرد	۰/۴۲	۰/۸۴	۰/۷۶	امامزاده اسماعیل
۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۳۰	دوبنه	۰/۴۴	۰/۷۷	۰/۶۷	جمال بیگ
۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۴	سر مشهد	۰/۴۹	۰/۷۹	۰/۶۹	خسرو شیرین
۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۴	قایمیه	۰/۴۵	۰/۸۰	۰/۷۲	دهبید
۰/۰۷۱	۰/۲۵	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۸۲	فسا	۰/۵۴	۰/۹۳	۰/۹۲	دوسیران
۰/۴۳	۰/۲۱	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۷۰	شیراز	۰/۴۷	۰/۸۰	۰/۷۲	سده
۰/۴۰	۰/۱۲	۰/۸۱	۰/۶۰	۰/۴۶	نیریز				*ایستگاه‌های سازمان هواشناسی

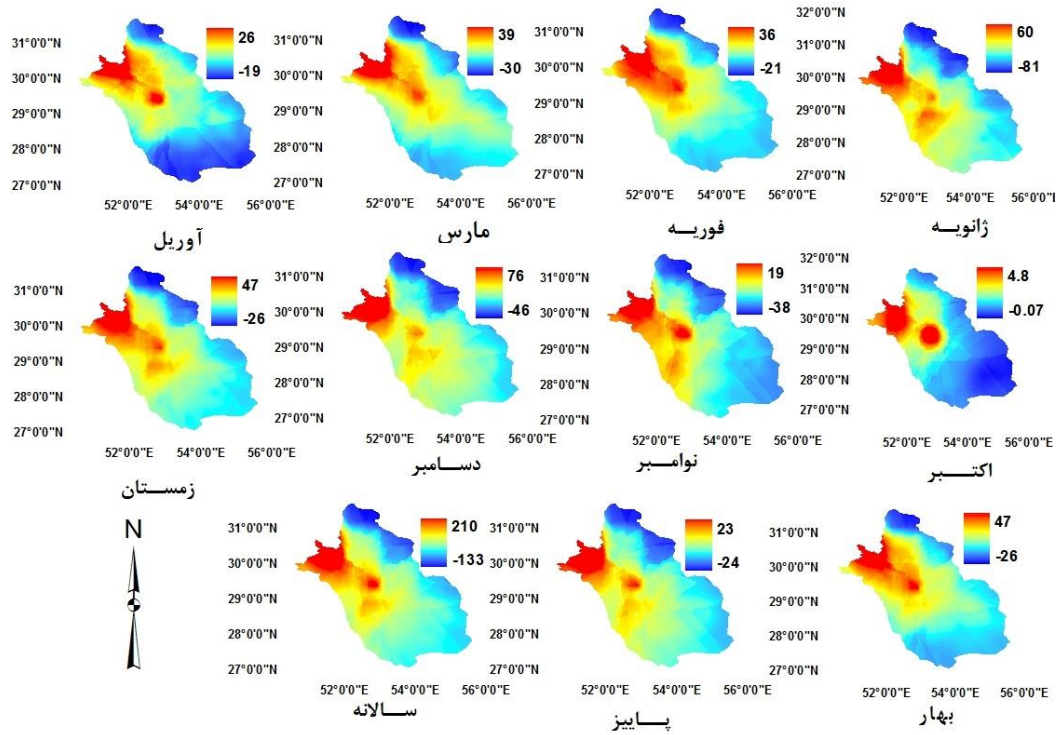




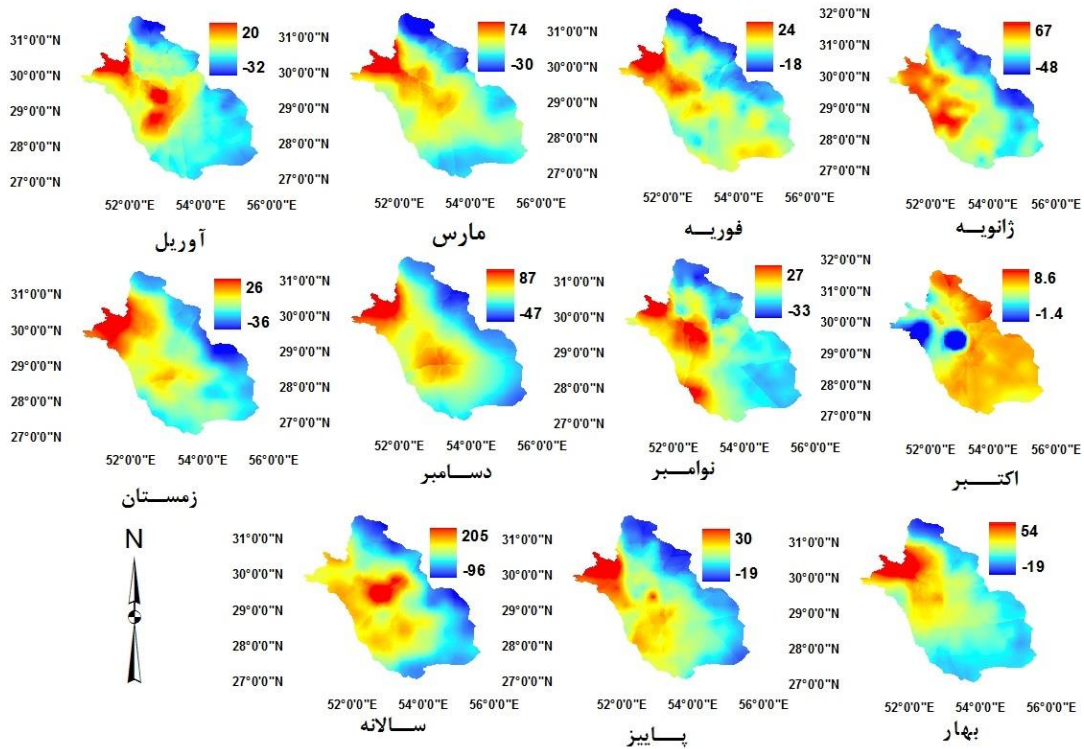
شکل ۵- نقشه ضرایب همبستگی بین داده‌های بارش مشاهده‌ای و تخمینی در مقیاس‌های زمانی مختلف

$t$  از عدد جدول ( $T_{0.976}(136) = 1.96$ ) بزرگ‌تر باشد فرض برابری میانگین‌ها در سطح  $\alpha = 0.05$  رد می‌شود.  $P$ -مقدارهای مربوطه نیز در پرانتز آورده شده است که هرگاه  $P$ -مقدار یک ایستگاه کمتر از سطح معنی‌داری پنج درصد باشد، فرض برابری واریانس‌ها یا میانگین‌ها رد می‌شود. برای نمونه جدول ۳ نشان می‌دهد که ایستگاه دوسیران تفاوت معنی‌داری بین میانگین و واریانس داده‌های زمینی و ماهواره‌ای وجود ندارد. نتایج آزمون  $t$  دو نمونه‌ای در جدول ۳ نشان می‌دهد که اختلاف بین میانگین بارش مشاهده‌شده و ماهواره‌ای برای ماه‌های تر در ۲۹ ایستگاه در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین نتایج آزمون  $F$  نشان می‌دهد که واریانس بارش مشاهده‌شده و ماهواره‌ای برای ماه‌های تر در ۳۳ ایستگاه در سطح پنج درصد برابر است (جدول ۳).

نتایج نشان می‌دهد که در ماه‌های پرباران و در مناطق با بارش بیشتر داده‌های ماهواره‌ای مقادیر بارش را بیشتر از مقادیر واقعی تخمین می‌زنند. آماره آزمون محاسبه شده  $F$  و  $t$  به ترتیب برای مقایسه واریانس و میانگین بارش هر ایستگاه با گره مجاور آن برای ماه‌های تر در جدول ۳ آورده شده است. این آزمون‌ها برای یک دوره مشترک ۶۹ ماهه (شروع ژانویه ۱۹۹۹ و پایان مارس ۲۰۱۰) محاسبه شد. اگر آماره آزمون  $F$  از عدد جدول ( $F_{\alpha=0.05}(68,68) = 1.49$ ) بزرگ‌تر باشد، فرض برابری واریانس‌ها رد می‌شود و نتیجه می‌شود که واریانس‌ها با هم اختلاف معنی‌داری دارند. بنابراین در جدول ۳ اگر آماره آزمون برای یک ایستگاه کمتر از  $1/49$  باشد، اختلافی بین واریانس آن‌ها وجود ندارد. همچنین اگر آماره آزمون  $t$  بزرگ‌تر از عدد جدول باشد، آن‌گاه فرض برابری میانگین‌ها در سطح  $\alpha = 0.05$  رد می‌شود. برای نمونه اگر واریانس دو نمونه برابر باشند آنگاه اگر آماره آزمون



شکل ۶- پراکنش مکانی اختلاف میانه داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در مقیاس‌های زمانی مختلف



شکل ۷- پراکنش مکانی اختلاف دامنه بین چارکی داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در مقیاس‌های زمانی مختلف

جدول ۳- نتایج آزمون معنی داری T و F

نام ایستگاه	آماره آزمون T	آماره آزمون F	نام ایستگاه	آماره آزمون T	آماره آزمون F
آباد*	** -۰/۵(۰/۶۳۷)	** ۰/۶(۰/۰۶۸)	سوریان	** -۱/۹(۰/۰۵۹)	** ۰/۵(۰/۰۰۲)
داراب*	۲/۹(۰/۰۰۵)	۵/۹(<۰/۰۰۱)	صادق آباد	** ۱/۳(۰/۱۸۴)	۱/۶(۰/۰۶۸)
درودزن*	** -۰/۶(۰/۰۵۷۵)	** ۰/۸(۰/۳۵۳)	کافترا	- ۳/۶(۰/۰۰۱)	** ۰/۲(<۰/۰۰۱)
اقلید*	۳/۹(<۰/۰۰۱)	۲/۷(<۰/۰۰۱)	گوسنگان	** ۰/۱(۰/۹۱۲)	۲/۱(۰/۰۰۳)
فسا*	** - ۱/۳(۰/۰۰۵)	** ۰/۶(۰/۰۵۶)	مونج	۲/۵(۰/۰۱۵)	۱/۸(۰/۰۱۸)
ایزدخواست*	** -۰/۸(۰/۰۴۲۱)	** ۰/۸(۰/۰۴۲۱)	نرگسی	** ۱/۱(۰/۲۷۰)	۱/۷(۰/۰۳۲)
لامرد*	** -۱/۲(۰/۲۱۴)	** ۰/۴(<۰/۰۰۱)	نورآباد	** ۰/۱(۰/۹۷۰)	** ۱/۱(۰/۷۲۸)
لار*	** ۰/۲(۰/۰۸۶۳)	۲/۸(<۰/۰۰۱)	جره	** ۰/۳(۰/۷۵۷)	** ۱/۱(۰/۵۹۶)
شیراز*	** -۰/۴(۰/۰۶۷۴)	** ۰/۸(۰/۳۸۸)	کازرون	** -۰/۶(۰/۰۵۴۱)	** ۰/۶(۰/۰۲۸)
زرقان*	- ۲/۲(۰/۰۳۳)	** ۰/۳(<۰/۰۰۱)	بند بهمن	** ۲/۵(۰/۰۱۴)	۲/۱(۰/۰۰۲)
باجگاه*	** -۱/۲(۰/۲۱۴)	** ۰/۶(۰/۰۱۵)	بابامنیر	** -۰/۶(۰/۰۵۲۳)	** ۰/۶(۰/۰۱۵)
تخت جمشید*	** ۱/۹(۰/۰۶۲)	۵/۳(<۰/۰۰۱)	باتون	۲/۳(۰/۰۲۵)	۲/۷(<۰/۰۰۱)
استهبان	** ۱/۷(۰/۰۹۴)	** ۰/۶(۰/۰۳۱)	برغان	- ۲/۳(۰/۰۲۵)	** ۰/۴(<۰/۰۰۱)
آباد تشک	- ۳/۴(۰/۰۰۱)	** ۰/۹(۰/۰۶۰۲)	بن رود	۲/۲(۰/۰۲۸)	۲/۶(<۰/۰۰۱)
حاجی آباد	۲/۳(۰/۰۲۴)	۲/۶(<۰/۰۰۱)	بوشیگان	** -۱/۷(۰/۰۱۰۱)	** ۰/۵(۰/۰۰۴)
چهرم	** ۱/۱(۰/۲۷۶)	** ۱/۳(۰/۲۸۶)	پریشان	** ۰/۴(۰/۰۶۹۰)	** ۱/۳(۰/۲۳۶)
ارسنجان	- ۴/۱(<۰/۰۰۱)	** ۰/۱(<۰/۰۰۱)	جهان آباد بختگان	** -۱/۲(۰/۲۲۵)	** ۰/۵(۰/۰۱۳)
احمد آباد	۴/۰(<۰/۰۰۱)	۹/۴(<۰/۰۰۱)	چیتی	- ۱/۹(۰/۰۶۵)	** ۱/۰(۰/۹۱۱)
امامزاده اسماعیل	** -۱/۷(۰/۰۹۵)	** ۰/۵(۰/۰۱۰)	دزدکورد	** -۱/۷(۰/۰۹۲)	** ۰/۳(<۰/۰۰۱)
جمال بیگ	** ۱/۶(۰/۱۱۹)	۲/۹(<۰/۰۰۱)	دوبنه	۵/۵(<۰/۰۰۱)	۱۶/۶(<۰/۰۰۱)
خسرو شیرین	۰/۳(۰/۰۷۴۸)	** ۰/۶(۰/۰۵۲)	سر مشهد	- ۳/۵(۰/۰۰۱)	** ۰/۳(<۰/۰۰۱)
دهبید	** -۰/۵(۰/۰۶۴۲)	** ۱/۰(۰/۰۸۴۸)	قایمیه	۲/۳(۰/۰۲۶)	۱/۹(۰/۰۰۹)
دوسیران	** ۰/۵(۰/۰۶۴۲)	** ۱/۰(۰/۰۸۴۸)	فسا	- ۲/۰(۰/۰۴۹)	** ۰/۳(<۰/۰۰۱)
سده	** -۱/۲(۰/۲۲۲)	** ۰/۹(۰/۰۵۳۶)	شیراز	- ۲/۵(۰/۰۱۲)	۰/۸(۰/۰۴۳۹)
			نیریز	۲/۸(۰/۰۰۶)	۱/۲(۰/۰۴۵۶)

\*ایستگاه‌های سازمان هواشناسی، \*\* عدم معنی داری

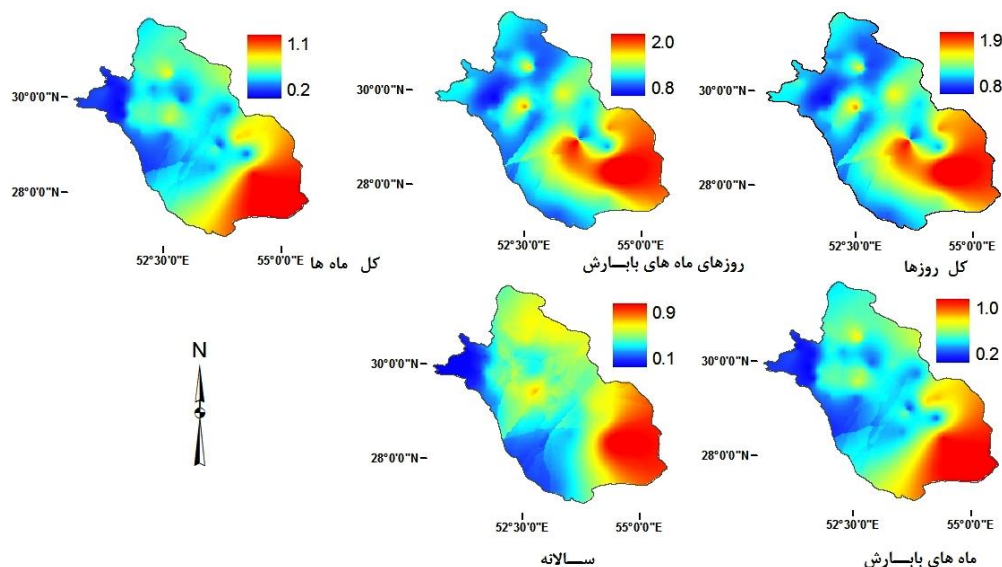
### ارزیابی خطای برآورد

برای ارزیابی دقت برآوردها از ملاک جذر میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) و اختلاف میانگین (MD) که در معادله‌های ۳ و ۴ بیان شد، استفاده گردید. مقادیر NRMSE به‌طور مکانی در شکل ۸ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که کمترین خطا در غرب و بیشترین خطا در جنوب شرقی به سمت مرکز استان مشاهده می‌شود. این مقادیر همچنین در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده‌است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود در مقیاس سالانه، کمترین (۰/۱۴) و بیشترین (۰/۴۶) مقدار NRMSE در بین ایستگاه‌های همدیدی به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های همدیدی داراب و شیراز می‌باشد. همچنین مقادیر NRMSE در مقیاس سالانه برای ایستگاه‌های باران‌سنجی فسا و کازرون بسیار کوچک (کمتر از ۰/۱۲) می‌باشد. مقادیر NRMSE در مقیاس ماهانه برای تمامی ایستگاه‌ها (به‌جز حاجی آباد، لار، استهبان و سوریان) بین ۰/۲ تا ۰/۷۲

جدول نشان می‌دهند که به‌طور متوسط مقدار بارش ماهواره‌ای بیشتر از بارش مشاهده شده می‌باشد. برای نمونه بارش در ایستگاه همدیدی شیراز توسط ماهواره بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود.

می‌باشد. به‌طور کلی مقایسه میانگین‌های خطای نرمال در کل استان نشان می‌دهد که کمترین خطا در مقیاس سالانه و سپس ماهانه رخ داده است. مقادیر اختلاف بین میانگین داده‌های مشاهده شده و ماهواره‌ای برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۵ آورده شده است. مقادیر منفی در این



شکل ۸- پراکنش مکانی جذر میانگین مربعات خطای نرمال داده‌های بارش ماهواره TRMM در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای

متغیر پیش‌گوکننده (یا متغیر توضیحی)، قابل تصحیح و استفاده در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی و زمینه‌های مرتبط با آن می‌باشند. با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای که به‌هنگام می‌باشد، نقشه‌های بارش در سطح استان فارس در کمترین فاصله زمانی در اختیار کاربران قرار خواهد گرفت. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق حاکی از آن است که داده‌های بارش ماهواره‌ای از دقت خوبی برخوردارند و با انجام تصحیحات ساده قابل استفاده در زمینه‌های مختلف علوم آب و هواشناسی می‌باشند. کاربرد داده‌های ماهواره‌ای به‌عنوان ورودی مدل‌های برآورد رواناب در سطح استان فارس نیاز به تحقیق جداگانه‌ای دارد.

## نتیجه‌گیری

پارامتر بارش ورودی اغلب مدل‌های اقلیمی، جوی و مدل‌های مربوط به چرخه هیدرولوژیک است. در صورت نیاز به مطالعه در مقیاس‌های ملی و بین‌المللی دستیابی به یک بانک اطلاعاتی وسیع و همگن از ضروریات است. در تحقیق حاضر دقت داده‌های بارش ماهواره TRMM در استان فارس مورد ارزیابی قرار گرفت. ضرایب همبستگی و میانگین خطای نرمال شده، نشان از معنی‌دار بودن معادله بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای است. این همبستگی‌های بالا حاکی از آن است که داده‌های بارش ماهواره‌ای به‌وسیله یک رگرسیون خطی بین مقادیر مشاهده شده به‌عنوان متغیر پیش‌گوشونده (یا متغیر وابسته) و مقادیر ماهواره‌ای به‌عنوان

جدول ۴- میزان جذر میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) داده‌های بارش ماهواره TRMM در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای

ماهانه					روزانه					ایستگاه
سالانه	ماه‌های بارش	کل ماه‌ها	روزهای ماه‌های بارش	روزانه	سالانه	ماه‌های بارش	کل ماه‌ها	روزهای ماه‌های بارش	روزانه	
۰/۶۶	۰/۸۲	۰/۸۰	۱/۴۴	۱/۴۰	۰/۳۳	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۹۸	۰/۹۸	آباده*
۰/۴۷	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۱۴	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۹۶	۰/۹۷	داراب*
۰/۳۷	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۲۲	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۹۴	۰/۹۳	درودزن*
۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۴۲	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۹۳	۰/۹۲	اقلید*
۰/۴۲	۰/۶۹	۰/۶۷	۱/۲۱	۱/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۹۲	۰/۹۱	فسا*
۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۴۶	۱/۱۴	۱/۱۴	۰/۲۹	۰/۴۷	۰/۴۷	۱/۱۰	۱/۱۱	ایزدخواست*
۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۳۲	۱/۱۶	۱/۱۶	۰/۱۹	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۹۲	۰/۹۳	لامرد*
۰/۱۶	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۳۶	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۱۸	۱/۱۹	لار*
۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۴۶	۰/۷۰	۰/۷۰	۱/۰۲	۱/۰۲	شیراز*
۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۲۲	۰/۶۳	۰/۶۳	۱/۰۳	۱/۰۳	زرقان*
۰/۲۳	۰/۳۳	۰/۳۴	۱/۰۸	۱/۰۸	۰/۲۲	۰/۵۲	۰/۵۸	۱/۱۱	۱/۱۰	باجگاه*
۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۲۲	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۳۴	۱/۰۲	۱/۰۱	تخت جمشید*
۰/۴۲	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۵۷	۰/۸۱	۰/۸۱	۱/۱۲	۱/۱۱	استهبان
۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۶۸	۰/۷۸	۰/۷۷	۱/۱۰	۱/۱۰	آباده تشک
۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۲	۱/۰۴	۱/۰۵	۱/۹۵	۱/۹۱	حاجی آباد
۰/۳۷	۰/۵۲	۰/۵۳	۱/۰۵	۱/۰۵	۰/۱۸	۰/۴۰	۰/۴۱	۱/۴۹	۱/۴۶	چهرم
۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۳۷	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۳۹	۰/۵۵	۰/۵۵	۱/۳۳	۱/۳۴	ارسنجان
۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۳۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۲۲	۰/۵۰	۰/۴۹	۱/۰۰	۰/۹۸	احمد آباد
۰/۴۱	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۳۲	۰/۵۱	۰/۵۰	۱/۰۱	۰/۹۹	امامزاده اسماعیل
۰/۷۳	۰/۵۳	۰/۵۸	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۳۱	۰/۵۶	۰/۵۵	۱/۰۵	۱/۰۵	جمال بیگ
۰/۳۰	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۳۱	۰/۵۳	۰/۵۳	۱/۰۴	۱/۰۴	خسرو شیرین
۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۴۱	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۹۷	۰/۹۵	دهبید
۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۲۱	۱/۵۷	۱/۴۱	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۸۳	۰/۸۳	دوسیران
۰/۳۲	۰/۴۱	۰/۴۱	۱/۱۸	۱/۳۱	۰/۳۵	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۹۷	۰/۹۶	سده
۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۵۳	۱/۳۳	۱/۱۱	* ایستگاه‌های سازمان هواشناسی					

جدول ۵- میزان خطای میانگین اختلاف (MD) داده‌های بارش ماهواره TRMM در مقایسه با داده‌های مشاهده ای

روزانه		ماهانه		سالانه	ایستگاه	روزانه		ماهانه		سالانه	ایستگاه
کل روزها	روزهای ماهی با بارش	کل ماهها	ماه‌های با بارش			کل روزها	روزهای ماهی با بارش	کل ماهها	ماه‌های با بارش		
-۰/۴	-۰/۷	-۱۲/۳	-۲۱/۸	-۱۳۱/۸	سوریان	۰/۰	۰/۱	۱/۲	۱/۸	۱۱/۷	آباده*
۰/۲	۰/۴	۶/۵	۱۱/۴	۷۴/۶	صادق آباد	۰/۰	۰/۱	۱/۲	۳/۹	۱۴/۹	داراب*
۰/۴	۰/۸	۱۳/۱	۲۳/۱	۱۶۱/۶	کافترا	۰/۲	۰/۵	۵/۵	۱۲/۳	۶۶/۱	درودزن*
۰/۰	۰/۱	۰/۳	۱/۵	۷/۴	گوسنگان	۰/۲	۰/۳	۵/۱	۸/۲	۶۴/۹	اقلید*
۰/۰	۰/۱	۱/۱	۲/۶	۱۷/۵	مونج	۰/۱	۰/۱	۱/۵	۳/۱	۱۷/۵	فسا*
-۰/۳	-۰/۵	-۷/۹	۱۳/۹	-۸۸/۷	نرگسی	۰/۱	۰/۱	۱/۸	۳/۵	۲۳/۲	ایزدخواست*
-۰/۳	-۰/۵	-۷/۹	-۱۴/۷	-۱۰۳/۸	نورآباد	-۰/۱	-۰/۱	-۶/۵	۱۰/۷	-۲۳/۰	لامرد*
۰/۰	۰/۰	-۰/۴	۰/۹	۴/۵	جره	-۰/۱	-۰/۱	-۷/۸	-۱۵/۶	-۴۰/۲	لار*
۰/۰	۰/۱	۰/۹	۲/۲	۹/۹	کازرون	-۰/۳	-۰/۵	۱۴/۴	۲۸/۵	-۱۱۵/۵	شیراز*
-۰/۲	-۰/۱	-۵/۷	-۴/۵	-۶۱/۰	بند بهمن	-۰/۳	-۰/۲	۷/۶	۱۳/۴	-۶۴/۴	زرقان*
-۰/۳	-۰/۵	-۸/۶	-۱۵/۵	-۱۰۵/۰	بابامیر	۰/۰	-۰/۳	۰/۵	-۶/۹	۷/۴	باجگاه*
-۰/۲	-۰/۳	-۵/۷	-۸/۹	-۶۸/۷	باتون	-۰/۱	-۰/۲	-۲/۴	-۴/۶	-۲۶/۸	تخت جمشید*
۰/۷	۱/۳	۲۱/۴	۴۰/۹	۲۵۹/۴	برغان	۰/۳	۰/۵	۹/۷	۱۴/۳	۱۱۹/۳	استهبان
۱/۲	۲/۱	۳۵/۵	۶۵/۱	۴۴۷/۷	بن رود	۰/۴	۰/۷	۱۱/۸	۲۰/۶	۱۴۱/۵	آباده تشک
۰/۰	۰/۰	-۱/۵	-۱/۴	-۲۰/۴	بوشیگان	-۰/۲	-۰/۴	-۳/۷	-۱۲/۷	-۸۷/۹	حاجی آباد
۰/۳	۰/۵	۷/۰	۱۱/۸	۹۷/۵	پیرشان	۰/۰	۰/۰	۱/۱	۰/۵	۱۲/۳	چهرم
۰/۲	۰/۳	۴/۹	۹/۵	۵۸/۱	جهان آباد بخنگان	۰/۱	۰/۱	۲/۳	۳/۶	۲۹/۶	ارسنجان
-۰/۲	-۰/۴	-۷/۲	-۱۱/۵	-۸۲/۴	چیتی	۰/۱	۰/۲	۲/۳	۵/۱	۳۱/۲	احمد آباد
-۰/۶	۱/۱	۱۷/۵	۲۳/۳	۲۱۱/۵	دزدکرد	۰/۴	۰/۷	۱۱/۱	۱۱/۰	۱۳۵/۱	امامزاده اسماعیل
-۰/۶	-۰/۶	-۱۷/۲	-۱۹/۳	-۱۷۴/۸	دوبنه	۰/۳	۰/۶	۱۰/۱	۱۸/۵	۱۰۸/۳	جمال بیگ
-۰/۲	-۰/۴	-۶/۷	-۱۲/۶	-۸۴/۴	سر مشهد	۰/۲	۰/۳	۴/۹	۸/۶	۶۱/۴	خسرو شیرین
۰/۱	۰/۳	۴/۲	۹/۵	۴۹/۱	قایمیه	۰/۲	۰/۳	۵/۲	۰/۹	۵۹/۲	دهبید
۰/۰	-۰/۱	-۰/۱	-۳/۱	۳/۵	فسا	۰/۹	۱/۶	۲۶/۴	۴۸/۳	۳۱۱/۶	دوسیران
-۰/۲	-۰/۴	-۶/۰	-۱۳/۰	-۷۰/۱	شیراز	۰/۳	۰/۶	۱۰/۴	۱۹/۴	۱۲۱/۰	سده
۰/۰	۰/۰	۱/۱	۰/۳	۱۵/۷	نیریز	* ایستگاه‌های سازمان هواشناسی					

Science Systems and Applications, Inc.[WWW document] Available at: [ftp://meso-a.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdocs/3B42\\_3B43\\_doc.pdf](ftp://meso-a.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdocs/3B42_3B43_doc.pdf) (accessed 23 March 2012).

Islam, M. N., Uyeda, H. 2007. Use of TRMM in determining the climatic characteristics of rainfall over Bangladesh. *Remote Sens of Environ.*, 108(3): 264-276.

Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M. I., BodaghJamali, J., Kawamoto, H. 2010. Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM 3B42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25: 119-125.

Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., Simpson, J. 1998. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. *J. Atmos. Ocean Technol.*, 15(3): 809 – 717.

Kummerow, C., Simpson, J., Thiele, O., Barnes, W., Chang, A. T. C., Stocker, E., Nakamura, K. 2000. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *J. Appl. Meteorol.*, 39(12): 1965-1982.

Li, X. H., Zhang, Q., Xu, C. Y. 2012. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. *J. Hydrol.*, 426: 28-38.

Masunaga, H., Iguchi, T., Oki, R., Kachi, M. 2002. Comparison of rainfall products derived from TRMM Microwave Imager and precipitation radar. *J. Appl. Meteorol.*, 41(8): 849 -862.

## سپاسگزاری

به این وسیله از سازمان هواشناسی و سازمان منطقه‌ای استان فارس برای تهیه داده‌های روزانه بارش قدردانی می‌شود. همچنین از حمایت مالی سازمان آب منطقه‌ای استان فارس برای انجام طرح تحقیقاتی با کد 92-SU-AT97-0 سپاسگزاری می‌شود.

## منابع

Almazroui, M. 2011. Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. *Atmos. Res.*, 99(3): 400-414.

Chokngamwong, R., Chiu, L. S. 2008. Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products. *J. Hydrometeorol.*, 9(2): 256-266.

Condom, T., Rau, P., Espinoza, J. C. 2011. Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998–2007. *Hydrol. Processes*, 25(12): 1924-1933.

Hudlow, M. D. 1979. Mean rainfall patterns for the three phases of GATE. *J. Appl. Meteorol.*, 18(12): 1656-1669.

Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., Gu, G., Nelkin, E. J., Bowman, K. P., Wolff, D. B. 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *J. Hydrometeorol.*, 8(1): 38-55.

Huffman, G. J., Bolvin, D. T. 2012. TRMM and other data precipitation data set documentation. Laboratory for Atmospheres, NASA Goddard Space Flight Center and



## Comparison of ground based observation of precipitation with TRMM satellite estimations in Fars Province

A. Shirvani<sup>1\*</sup>, E. Fakhari Zade Shirazi<sup>2</sup>

Received: 07/09/2014

Accepted: 14/02/2015

### Abstract

Precipitation which is a key parameter in agricultural and hydrometeorology studies has a large spatio-temporal variation. Hence, its small scale monitoring is quite difficult using ground-based data. Satellite images can provide fine resolution data of rainfall for different applications. However, the temporal and spatial verification should be evaluated and studied before using satellite data. In the present study, daily precipitation data from 12 synoptic and 37 rain gage stations of Fars province, Iran was used to evaluate level 3 B42 version 7 product of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite on a regular spatial scale ( $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ) for the period 1998-2011. The Pearson correlation coefficient, mean, median, variance, inter quintiles range (IQR), normalized root mean square error (NRMSE) and mean difference (MD) for daily, monthly, seasonal, yearly time scales were worked out and analyzed. In general, there was a significant correlation between TRMM and ground-based precipitation data over the most parts of the province for all time scale at 5% level such that the range of Pearson correlation for all synoptic (Except for Eghlid) and rain gage (Except for 6 stations) annual time scale was (0.8-0.95) and (0.64-0.93), respectively. The corresponding values for monthly time scale were (0.64-0.96) and (0.5-0.9). The highest and lowest correlation were observed in the monthly and daily time scales respectively. The range of NRMSE for annual, monthly and daily scales were (0.12 – 0.92), (0.21 – 0.94) and (0.79 – 1.91) respectively. In north western parts of the province, which receives more rainfall, positive mean difference values (the mean of observed precipitation was more than that of satellite precipitation) was observed for all time scales. Over eastern parts, in which the amount of precipitation is low, negative MD values were observed. The results of two sample t test indicated that there is no significant difference between means of observed and satellite precipitation for wet months at 5% significance level for 29 stations. Also, the results of F test indicated that the variance of the observed and satellite precipitation for wet months are the same at 5% significance level for 33 stations.

**Keywords:** Precipitation, TRMM satellite, Comparison, Fars Province

<sup>1</sup> Assistant Professor, Water engineering Dept., Agricultural Faculty, Shiraz University, Iran

<sup>2</sup> Ph.D. candidate at Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(\*Corresponding author email address: am\_shirvani@hotmail.com)