



## ارزیابی و اصلاح شبکه بارشی TRMM (مطالعه موردی استان مازندران)

علیرضا یوسفی کبریا دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری\*

مهدی نادى استاديار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم

کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

مژده جامعی دکتری هواشناسی کشاورزی، سازمان آب و برق خوزستان

\* مسئول مکاتبه: ۰۹۳۳۷۶۷۷۵۰۷ پست الکترونیکی: alirezau3fikrbriya@gmail.com

### چکیده

یکی از منابع برآورد بارش در سطح جهانی، استفاده از ماهواره‌ها است. یکی از ماهواره‌های مورد توجه پژوهشگران برای تخمین بارندگی ماهواری TRMM می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از ماهواره‌ی TRMM، همبستگی محصول بارشی این ماهواره را با بارش واقعی ماهانه و سالانه استان مازندران در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵، بررسی کردیم که نشان دهنده همبستگی مناسب ماهواره TRMM بوده است، اما دارای خطای بیش برآوردی بوده و برای کاهش خطای بارش برآوردی ماهواره TRMM، از روش گرادینانی و متغیرهای کمکی ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی بهره برده و آن را با تصاویر ماهواره‌ای TRMM ترکیب کرده و معادله گرادینان خط ۴ بعدی را تشکیل داده و بارش استان را در محدوده زمانی فوق تخمین زده و با بارش برآوردی ماهواره TRMM مورد ارزیابی قرار داده، که نشان دهنده برتری روش گرادینان خط ۴ بعدی بوده است، به طوری که خطای سالانه استان را در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ به ترتیب ۱۵ و ۲۷ درصد کاهش و خطای تخمین برخی از ماه‌ها را تا ۴۸ درصد کاهش داده است. این پژوهش نشان داد استفاده از ترکیب تصویر ماهواره‌ای و روش گرادینانی، دقت تخمین بارش ماهواره‌ای را افزایش می‌دهد.

کلید واژه‌ها: ماهواره TRMM، گرادینان خط ۴ بعدی، بارش، استان مازندران.

### ۱- مقدمه

امروزه مهمترین مسئله‌ای که ذهن بشر را درگیر خود کرده مسئله گرمایش جهانی و تأثیر آن بر نزولات جوی می‌باشد. به همین جهت مسئله‌ای اصلی جهان امروزی دیگر نفت، جنگ و ابزار جنگی و... نمی‌باشد، بلکه مهمترین مسئله شناخت هرچه بهتر و بیشتر پارامترهای هواشناسی است که محیط زیست و زندگی موجودات را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. یکی از مهمترین پارامترهای هواشناسی، بارش می‌باشد. امروزه روش‌های بسیار زیادی برای تخمین بارش و اندازه گیری بارش مناطق مختلف به وجود آمده که از اصلی ترین روش‌ها می‌شود به روش‌های درون یابی و استفاده از تصاویر ماهواره ای و سنجش از دور اشاره کرد، که روش‌های نام برده شده مورد قبول جامعه علمی می‌باشد، اما ما در این پژوهش قصد داریم با استفاده از روش گرادینانی و



تصاویر ماهواره‌ای TRMM، روشی را ابداع کنیم که خطای تصاویر ماهواره‌ای TRMM را کاهش به سزایی بدهد. با استفاده از این روش و روش‌های گفته شده می‌توان داده‌های بارشی طولانی مدت را مورد مطالعه قرار داده و شبکه بارشی را تقویت کرد. به خصوص در کشورهای در حال توسعه که قالباً تعداد ایستگاه‌های دارای آمار طولانی مدت بسیار اندک است، استفاده از روش‌های گفته شده می‌تواند حائز اهمیت باشد. مطالعات بسیاری نیز در جهت تخمین بارش و بررسی نزولات جوی از طریق ماهواره TRMM صورت گرفته که در همین راستا، (Madadi et al (2015) به ارزیابی قابلیت داده‌های ماهواره TRMM در برآورد بارش روزانه، ماهانه و سالانه در مقیاس مکانی ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰ در حوضه‌ی مرزی غرب ایران پرداختند، که نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد بین داده‌های بارش زمینی و داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه وجود دارد [1]. (Asakare (2005) به منظور تخمین بارش در کل ایران، داده‌های رادار بارش ماهواره TRMM را با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک کشور مقایسه، اعتبارسنجی و کالیبره کردند. آن‌ها از داده‌های سه‌ساعته بارش آذرماه سال ۱۳۸۶ استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که بیشتر بارش‌های آذرماه در نواحی مرکز به سمت شمال غرب رخ داده است. همچنین میزان همبستگی بین مقادیر بارش ماهواره‌ای با بارش زمینی حدود ۷۰ درصد است [2]. (Worqlul et al (2017) در پژوهشی به ارزیابی داده‌های CFSR، TMPA 3B42 و داده‌های باران زمینی به عنوان ورودی برای مدل‌های هیدرولوژیکی، در مناطق داده کمیاب پرداختند نتایج بیانگر این بود که TMPA 3B42، قادر به توصیف تغییرات زمانی باران نمی‌باشد و همچنین هر دو نوع داده باران‌سنجی و داده تحلیل مجدد CFSR به خوبی قادر به تولید داده‌های جریان رودخانه می‌باشند [3]. (Javan et al (2016) به ارزیابی کارایی الگوریتم 3B42 ماهواره TRMM برای برآورد مقدار بارندگی شش ساعته در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و اعتبارسنجی داده‌ها با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی پرداختن که نتایج این تحقیقات بیانگر مطابقت قابل قبول داده‌های بارش برآورد شده با مقادیر ثبت شده ایستگاه‌های زمینی است [4]. (Baranizade et al (2011) داده‌های 3B43 ماهواره TRMM را با داده‌های بارش شبکه‌بندی شده زمینی پروژه گردآوری داده‌های مشاهداتی بارش با قدرت تفکیک بالا در بازه زمانی ۲۰۰۷-۲۰۰۰ ارزیابی کردند. ایشان نتیجه گرفتند، ضرایب همبستگی در برآورد بارش میانگین زمستان به عنوان پر بارش‌ترین فصل سال ۰/۸۳ و در فصل بهار ۰/۸۶ و در فصل پاییز ۰/۸۳ در کل کشور است. در نهایت اعلام نمودند به طور کلی داده‌های ماهانه ماهواره TRMM، عملکرد موفق‌تری در پایش باران در کشور ایران را نشان می‌دهند [5]. (Mashayekhi et al (2016) به بررسی مقایسه مقادیر مشاهداتی داده‌های بارشی ۲۱ ایستگاه سینوپتیک و برآوردهای ماهواره TRMM در استان اصفهان از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴ پرداختند، نتایج حاکی از تشابه داده‌های ماهواره‌ی TRMM و داده‌های ایستگاهی بوده است [6]. (Erfanian et al (2013) به ارزیابی و کالیبراسیون داده‌های باران ماهواره TRMM، در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پرداختند. نتایج نشان داد که ماهواره TRMM مقادیر بارندگی ماهانه را در ۸۲ درصد ایستگاه‌های سینوپتیک بیشتر از مقدار مشاهداتی برآورد می‌کند [7]. (Cohen leichti et al (2012) داده‌های زمینی فصول تر سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۳، منطقه‌ی زمبزی<sup>۲</sup> آفریقا را با داده‌های بارش CMORPH و TRMM3B42 مقایسه کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که TRMM و CHMORPH هر دو بارش را بیشتر از مقدار مشاهداتی تخمین می‌زنند [8]. (Ten et al (2015) داده‌های بارش CMORPH، PERSIANN، GPCP، TRMM و داده‌های زمینی APHRODITE در مقیاس روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه را با داده‌های مشاهداتی در مالزی برای دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۰۳، مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که GPCP کمترین هماهنگی را با ایستگاه‌های زمینی دارد ولی TRMM

1. Tropical Rainfall Measuring Mission

2. Zambezi



APHRODITE بیشترین هماهنگی را با ایستگاه زمینی دارند. با توجه به منابع فوق می‌شود به این نتیجه رسید که ماهواره trmm ماهواره مناسبی برای تحلیل بارش مناطق مختلف می‌باشد [9].

## ۲- مواد و روشها

### منطقه مورد مطالعه

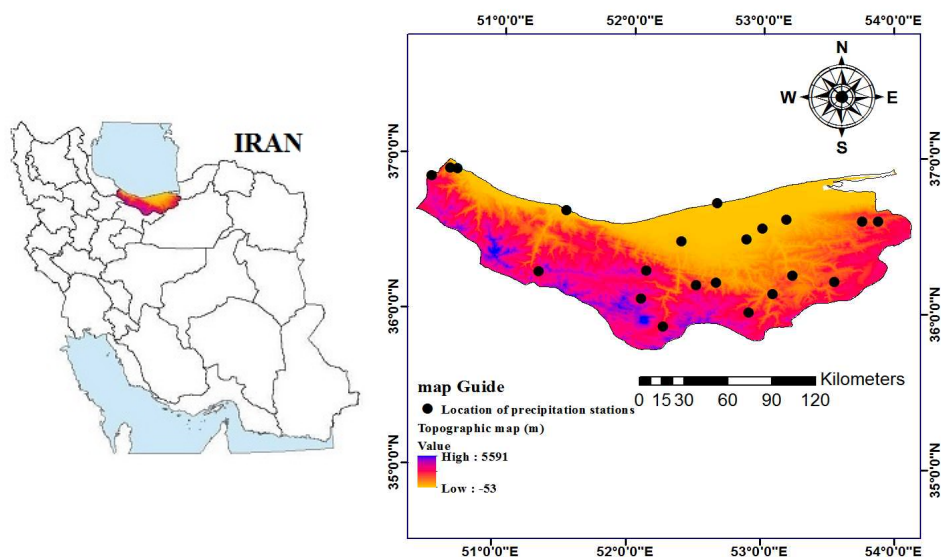
استان مازندران از وسعتی معادل ۱/۴۶ درصد ایران برخوردار است. این استان با داشتن ۲۳۷۵۶/۴ کیلومتر مربع مساحت، بین طول جغرافیایی ۳۴° ۵۰' و ۱۰' ۵۴° و عرض جغرافیایی ۳۵° ۴۷' و ۳۵° ۳۵' در جنوب دریای مازندران (خزر) و در شمال رشته کوه البرز قرار دارد. دریای مازندران و رشته کوه البرز نقش تعیین کننده‌ای در آب و هوای استان دارند. پستی و بلندی در استان مازندران بین ۶۱- تا ۵۶۱۰ متر نوسان می‌کند و باعث ایجاد اقلیم‌های گوناگون و متنوع در این استان می‌شود. از سویی دیگر وجود دریای خزر در شمال و رشته کوه البرز در جنوب استان باعث پیچیدگی بیشتر تغییرات مکانی بارش در این استان می‌شود به طوری که تخمین بارش در مناطق فاقد ایستگاه هواشناسی بخصوص در ارتفاعات صعب‌العبور استان که منبع تغذیه رودخانه‌های بزرگی است، با خطای بیشتری همراه می‌شود [10].

## منابع آماری

### داده‌های بارندگی

در پژوهش مدنظر و در راستای ارزیابی روش‌های مختلف تخمین بارش استان مازندران از داده‌های ۲۱ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی زمینی و از ۲۴ تصویر ماهواره‌ای ماهانه و ۲ تصویر ماهواره‌ای سالانه ماهواره‌ی TRMM که دارای داده‌های بارشی هستند، استفاده شد.<sup>۳</sup> در شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌ها نشان داده شده است. با بررسی دوره آماری ایستگاه‌ها (۱۹۹۱-۲۰۱۸) سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵، برای انجام پژوهش مورد نظر انتخاب شدند. با توجه به مطالب گفته شده و پیچیدگی توپوگرافی استان و شرایط اقلیمی خاص استان مازندران، و تعداد اندک ایستگاه‌های بارش سنجی با دوره‌ی بلند مدت، به خصوص در ارتفاعات استان، کار برای تخمین بارش استان از طریق روش‌های درون‌یابی، تصاویر ماهواره‌ای و سنسجش از دور را دشوار می‌سازد، یافتن روش‌های مناسب برای گسترش شبکه بارشی استان می‌تواند نقش به‌سزایی در جهت مطالعات بارشی استان داشته باشد.

<sup>۳</sup> . داده‌های ماهواره‌ای TRMM از سایت <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/> دانلود گردید.



شکل ۱: موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان مازندران

## ماهواره TRMM

این ماهواره ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ میلادی پرتاب شد و مدار قرار گرفت و از ۳۱ ژانویه سال ۲۰۰۰ توزیع داده‌ها به صورت تقریباً همزمان آغاز گردید. این ماهواره محصول مشترک کشورهای ژاپن و آمریکا است، که در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد. محصولات آن از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی ارائه می‌گردد. توان تفکیک مکانی در ثبت بارش‌ها حداقل ۰/۲۵\*۰/۲۵ درجه و حداکثر ۵\*۵ درجه است. این ماهواره در هر روز چندین بار از مناطق مختلف کره زمین عبور کرده و اطلاعات لازم را برداشت می‌کند. چرخش کامل زمین هر بار به مدت ۹۱/۵۳۸ دقیقه زمان خواهد برد و ۱۶ مدار در روز طی خواهد شد، زاویه میل ماهواره، ۳۵ درجه می‌باشد. داده‌های ماهواره TRMM در فرمت‌های مختلف از جمله، ASCII، TXT، KMZ، و فایل‌های HDF، می‌باشد [11].

## روش شناسی

### روش گرادیانی

در روش گرادیان‌ها فرض بر آن است که در منطقه تحت بررسی در جهت‌های متفاوت نوعی از روند وجود دارد که این روند را یک چند جمله‌ای از درجه  $n$  فرض می‌کنیم. در روش گرادیان‌های خطی  $n$  را در تمام جهات برابر یک فرض می‌کنیم. به عبارتی فرض می‌کنیم در تمامی جهات متغیر مکانی به صورت خطی تغییر می‌کند. ابعاد یک روش گرادیان خطی برابر تعداد متغیرهای مستقل است که معمولاً این متغیرهای مستقل شامل دو دسته، متغیرهای موقعیت جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) و متغیرهای وضعیت توپوگرافی (ارتفاع، مقدار و جهت شیب و ...) می‌باشد. برای دستیابی به یک معادله گرادیان خطی  $n$  بعدی باید بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته مکانی یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه بدون عدد ثابت به فرمت زیر برقرار نماییم [12].



$$Y_i = a_1 * X_{(1,i)} + a_2 * X_{(2,i)} + \dots + a_{n-1} * X_{(n-1,i)} + a_n * X_{(n,i)} \quad (1)$$

$Y_i$ ، مقدار متغیر مکانی برآورد شده در نقطه  $i$ ،  $X_{(1,i)}$ ،  $X_{(2,i)}$ ،  $X_{(n-1,i)}$ ،  $X_{(n,i)}$ ، مقادیر متغیرهای مستقل نقطه  $i$  شامل متغیرهای موقعیت جغرافیایی و وضعیت توپوگرافی،  $a_1$ ،  $a_2$ ،  $a_n$ ،  $a_{n-1}$ ، پارامترهای معادله و  $n$  تعداد متغیرهای مستقل، می- باشد.

### ترکیب تصویر ماهواره‌ای و روش گرادیانی

تصاویر ماهواره‌ای در کنار نقشه توپوگرافی و نقشه طول، عرض جغرافیایی به عنوان یک پیش بینی کننده در معادله‌ی رگرسیونی به کار می‌رود، روند موجود در داده‌ها با استفاده از یک رابطه‌ی رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی محاسبه شده و نقش استفاده از ماهواره به عنوان متغیر کمکی در تخمین بارش آزمون می‌شود. با توجه به مطالب فوق و با توجه به اینکه ارتفاع ایستگاه‌های موجود در استان بین ۲۱- تا ۲۳۰۰ متر متغیر است، داده‌های بارش برای ارتفاعات بالاتر از ایستگاه‌های باران‌سنجی در دسترس نیست و با توجه به نقش ارتفاع در پراکنش بارش و همچنین تغییرات عرضی و طولی بارش در استان مازندران در این پژوهش برای افزایش دقت داده‌های بارشی ماهواره TRMM، از متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع به عنوان متغیر کمکی در کنار داده بارشی TRMM استفاده شد، که معادله گرادیان خطی ۴ بعدی را به صورت زیر تشکیل می‌دهد

$$\hat{f}(s_n) = \hat{a} + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 y + \hat{\beta}_3 h + \hat{\beta}_4 n \quad (2)$$

که در این رابطه  $\beta$  پارامتر مستقل،  $x$ ،  $y$ ،  $h$ ،  $n$ ، به ترتیب طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، تصویر ماهواره‌ای می‌باشد.

### معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی تخمین روش گرادیان خطی ۴ بعدی و ماهواره TRMM و محاسبه مقدار خطا روش‌ها، در این پژوهش از تحلیل رگرسیونی و میانگین مربعات خطا<sup>۴</sup> و خطای ارب<sup>۵</sup> استفاده شد، که میانگین مربعات خطا و خطای ارب به صورت روابط زیر محاسبه می‌شوند [13].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\hat{z}(x_i) - z(x_i)]^2}{N}} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{z}(x_i) - z(x_i)] \quad (4)$$

که در آن،  $\hat{z}(x_i)$  مقدار برآورد شده و  $z(x_i)$  مقدار مشاهده شده و  $N$  تعداد داده‌ها هستند.

در این پژوهش از نرم‌افزار Arc Gis، Mini tab، GS+، Excel استفاده شده است.

### ۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

#### تحلیل معنی داری پارامترهای کمکی

4. Root Mean Square Error (RMSE)

5. Mean Bias Error (MBE)



برای تحلیل معنی داری پارامترهای کمکی مورد استفاده در روش گرادبان خطی ۴ بعدی، از روش آزمون فرض آماری استفاده شد، که در جدول شماره ۱ یک قابل مشاهده است. سطح معنی داری، پارامترهای کمکی طبق جدول در اکثر ماه‌ها قابل قبول می‌باشد. بعلاوه از ضریب همبستگی نیز برای ارتباط میان پارامترهای کمکی به کار گرفته شد. این ضریب بین ا تا ۱- است، که هر چه به ۱ و ۱- نزدیک باشد بهتر است، همچنین در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر برابر صفر می‌باشد. که با توجه به جدول ضریب همبستگی نیز در اکثر ماه‌ها مناسب می‌باشد.

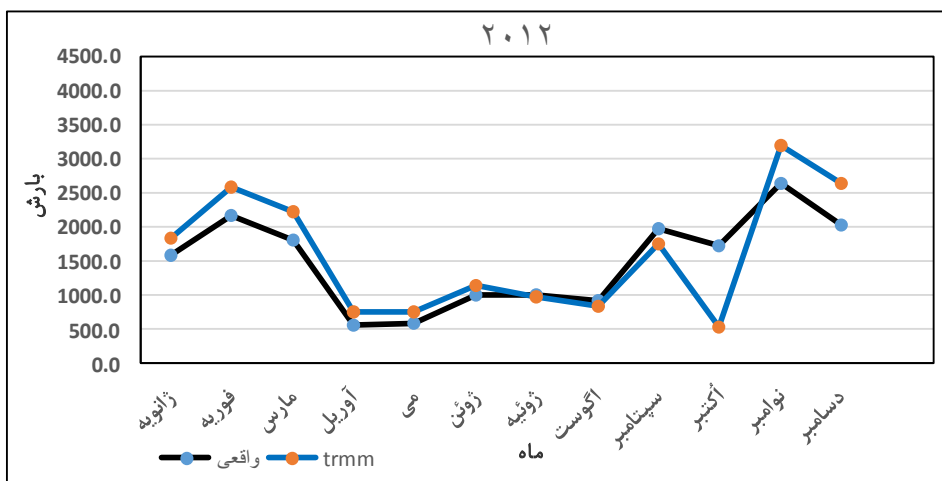
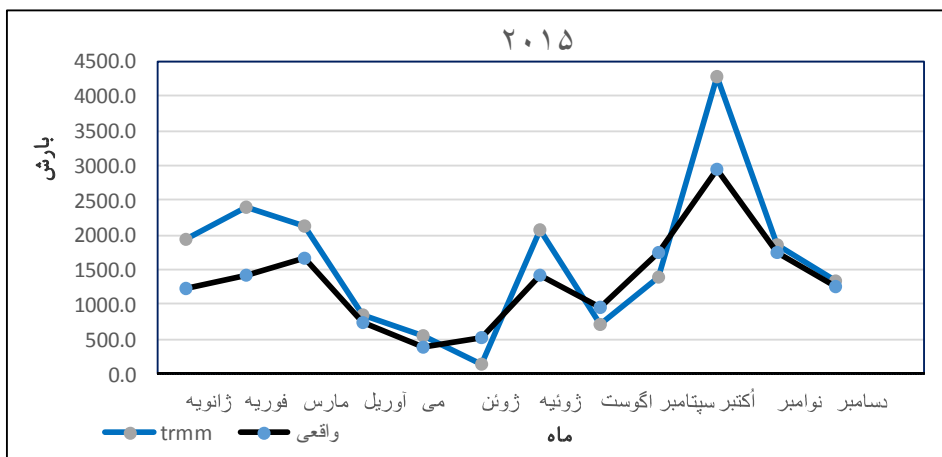
جدول ۱: میزان همبستگی پارامترهای کمکی با بارش ماهانه و سالانه

| ماه     | سال  | X     |         | y     |         | Z     |         | TRMM |         |
|---------|------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|------|---------|
|         |      | r     | P-Value | r     | P-Value | r     | P-Value | R    | P-Value |
| ژانویه  | ۲۰۱۲ | ۰/۰۷  | ۰/۷۶    | ۰     | ۰/۹۹    | -۰/۲۷ | ۰/۲۳    | ۰/۲۸ | ۰/۲۲    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۶۰ | ۰/۰۰۰۱  | ۰/۶۰  | ۰/۰۰۰۱  | -۰/۳۹ | ۰/۰۸    | ۰/۶۴ | ۰/۰۰۰۰۱ |
| فوریه   | ۲۰۱۲ | ۰/۳۱  | ۰/۱۸    | -۰/۱۳ | ۰/۵۷    | -۰/۰۴ | ۰/۸۸    | ۰/۱۱ | ۰/۶۳    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۶۱ | ۰/۰۰۰۰۲ | ۰/۴۷  | ۰/۰۳    | -۰/۲۸ | ۰/۲۱    | ۰/۶۴ | ۰/۰۰۰۰۴ |
| مارس    | ۲۰۱۲ | -۰/۴۹ | ۰/۰۳    | ۰/۲۲  | ۰/۳۳    | -۰/۱۳ | ۰/۵۷    | ۰/۵۳ | ۰/۰۱    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۲۹ | ۰/۲۹    | ۰/۱۷  | ۰/۴۵    | -۰/۳۵ | ۰/۱۲    | ۰/۰۷ | ۰/۸۷    |
| آوریل   | ۲۰۱۲ | -۰/۳۳ | ۰/۱۵    | -۰/۳۷ | ۰/۱۰    | ۰/۸۱  | ۰/۰۰۰۰۲ | ۰/۵۸ | ۰/۰۱    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۶۳ | ۰/۰۰۰۰۵ | ۰/۰۳  | ۰/۹۰    | ۰/۳۴  | ۰/۱۲    | ۰/۵۰ | ۰/۰۲    |
| می      | ۲۰۱۲ | -۰/۵۳ | ۰/۰۱    | -۰/۱۷ | ۰/۴۶    | ۰/۳۶  | ۰/۱۱    | ۰/۴۸ | ۰/۰۳    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۵۲ | ۰/۰۲    | -۰/۰۸ | ۰/۷۴    | ۰/۳۲  | ۰/۱۵    | ۰/۵۵ | ۰/۰۰۰۰۸ |
| ژوئن    | ۲۰۱۲ | -۰/۳۳ | ۰/۱۴    | -۰/۰۴ | ۰/۸۵    | -۰/۱۶ | ۰/۴۸    | ۰/۳۵ | ۰/۱۲    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۰۱ | ۰/۹۷    | -۰/۳۸ | ۰/۰۹    | ۰/۳۱  | ۰/۱۷    | ۰/۱۲ | ۰/۶۱    |
| ژوئیه   | ۲۰۱۲ | -۰/۶۸ | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۰۲  | ۰/۹۴    | ۰/۱۲  | ۰/۶۲    | ۰/۳۲ | ۰/۱۵    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۱۷ | ۰/۴۵    | ۰/۲۷  | ۰/۲۳    | -۰/۵۱ | ۰/۰۲    | ۰/۴۳ | ۰/۰۵    |
| اگوست   | ۲۰۱۲ | -۰/۵۶ | ۰/۰۱    | ۰/۵۹  | ۰/۰۱    | -۰/۵۹ | ۰/۰۱    | ۰/۵۴ | ۰/۰۱    |
|         | ۲۰۱۵ | ۰/۰۴  | ۰/۸۵    | ۰/۲۲  | ۰/۳۵    | -۰/۲۸ | ۰/۲۱    | ۰/۴۴ | ۰/۰۴    |
| سپتامبر | ۲۰۱۲ | ۰/۱۵  | ۰/۵۳    | ۰/۱۲  | ۰/۶۱    | -۰/۲۶ | ۰/۲۶    | ۰/۰۵ | ۰/۸۲    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۳۱ | ۰/۱۶    | ۰/۱۱  | ۰/۶۴    | -۰/۰۲ | ۰/۹۴    | ۰    | ۰/۹۹    |
| اکتبر   | ۲۰۱۲ | ۰/۳۱  | ۰/۱۷    | -۰/۱۳ | ۰/۵۷    | ۰/۰۷  | ۰/۷۸    | ۰/۲۹ | ۰/۲۰    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۵۷ | ۰/۰۱    | ۰/۵۸  | ۰/۰۱    | -۰/۴۸ | ۰/۰۳    | ۰/۵۹ | ۰/۰۱    |
| نوامبر  | ۲۰۱۲ | -۰/۲۶ | ۰/۲۵    | ۰/۴۱  | ۰/۰۷    | -۰/۵۲ | ۰/۰۲    | ۰/۵۸ | ۰/۰۱    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۶۵ | ۰/۰۰۰۰۳ | ۰/۶۵  | ۰/۰۰۰۰۷ | -۰/۴۸ | ۰/۰۳    | ۰/۵۹ | ۰/۰۱    |
| دسامبر  | ۲۰۱۲ | -۰/۲۲ | ۰/۳۳    | ۰/۵۳  | ۰/۰۱    | -۰/۷۱ | ۰/۰۰۰۰۵ | ۰/۰۲ | ۰/۹۲    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۴۴ | ۰/۰۵    | ۰/۴۵  | ۰/۰۴    | ۰     | ۰/۹۹    | ۰/۵۹ | ۰/۰۱    |
| سالانه  | ۲۰۱۲ | -۰/۲۶ | ۰/۲۶    | ۰/۲۷  | ۰/۲۴    | -۰/۴۲ | ۰/۰۶    | ۰/۲۹ | ۰/۲۰    |
|         | ۲۰۱۵ | -۰/۵۷ | ۰/۰۱    | ۰/۵۷  | ۰/۰۱    | -۰/۴۶ | ۰/۰۴    | ۰/۵۶ | ۰/۰۱    |



### مقایسه توزیع زمانی بارندگی

تغییرات زمانی بارندگی ماهانه مشاهداتی و ماهواره‌ای در دو سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ استان مازندران در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. روند داده‌های بارش ماهواره‌ای TRMM در هر ۲۴ ماه، تقریباً تفاوتی با داده‌های زمینی ندارد، و بیشترین بارش در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ به ترتیب مربوط به ماه‌های نوامبر و اکتبر می‌باشد، که داده‌های ماهواره نیز همین را نشان می‌دهد و نشان از همبستگی بالای این ماهواره با داده‌های واقعی دارد. به علاوه ماهواره TRMM میزان بارش را در اکثر ماه‌ها بیشتر از مقدار واقعی آن برآورد کرده است.



شکل ۲: مقایسه میزان بارندگی ماهانه داده‌های واقعی و داده‌های ماهواره‌ای

### ارزیابی روش‌های تخمین بارش

برای ارزیابی روش‌های تخمین بارش مورد بررسی از میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب استفاده شد. بررسی میانگین مربعات خطای روش‌های تخمین بارش در این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین خطای برآورد تخمین میانگین بارش در سال ۲۰۱۲ مربوط به ماه‌های سپتامبر، نوامبر، دسامبر و در سال ۲۰۱۵ مربوط به ماه اکتبر می‌باشد، همچنین کمترین خطا در هر دو



سال مربوط به ماه‌های آوریل و می، می‌باشد. با بررسی جداول شماره ۲ و ۳ می‌توان دریافت که بیشترین خطای تخمین بارش مربوط به اواخر فصل تابستان و اوایل فصل پاییز و کمترین خطا مربوط به فصل بهار می‌باشد. از جداول زیر می‌توان به برتری میزان تخمین بارش با روش گرادیان خط ۴ بعدی نسبت به ماهواره‌ی TRMM پی برد، به طوری که روش گرادیان خط ۴ بعدی، میزان خطای تخمین بارش سالانه ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ ماهواره TRMM را به ترتیب ۱۵ و ۲۷ درصد کاهش و خطای ماه‌های ژانویه و فوریه سال ۲۰۱۵ را به ترتیب ۴۵ و ۷۰ درصد و ماه‌های اکتبر، آوریل، مارس سال ۲۰۱۲ را به ترتیب ۴۷، ۴۸ و ۴۵ درصد کاهش داده است در سایر ماه‌های هر دو سال نیز خطای ماهواره TRMM را کاهش قابل قبولی داده است. بررسی میانگین خطا اریب نیز نشان دهنده دقت بیشتر روش گرادیان خطی ۴ بعدی نسبت به تخمین ماهواره‌ی TRMM می‌باشد، به طوری که خطای روش گرادیان خط ۴ بعدی در تمامی ماه‌های هر دو سال صفر می‌باشد. نتایج فوق گواه برتری روش گرادیان خط ۴ بعدی نسبت به ماهواره TRMM می‌باشد.

جدول ۲: مقادیر  $RMSE$  و  $MBE$  روش‌های تخمین بارندگی سال ۲۰۱۲

| ماه     | گرادیان ۴ بعدی |       | TRMM  |       |
|---------|----------------|-------|-------|-------|
|         | RMSE           | MBE   | RMSE  | MBE   |
| ژانویه  | ۰              | ۲۵/۹  | ۴۹/۶  | ۳۴    |
| فوریه   | ۰              | ۱۸/۷  | ۶۱/۴  | ۴۷/۲  |
| مارس    | ۰              | ۱۸/۸  | ۴۰    | ۲۲    |
| آوریل   | ۰              | ۱۹    | ۲۷/۵  | ۵     |
| می      | ۰              | ۱۰/۶  | ۱۳/۹  | ۷/۲   |
| ژوئن    | ۰              | ۱۹    | ۲۷/۹  | -۱۸/۴ |
| ژوئیه   | ۰              | ۲۹/۹  | ۴۵/۸  | ۳۰/۲  |
| اگوست   | ۰              | ۲۴/۴  | ۲۸    | -۱۱/۴ |
| سپتامبر | ۰              | ۳۹/۱  | ۵۴/۴  | -۱۷/۶ |
| اکتبر   | ۰              | ۸۳/۶  | ۱۲۴/۷ | ۶۳/۵  |
| نوامبر  | ۰              | ۲۴/۱  | ۳۷/۱  | ۵/۷   |
| دسامبر  | ۰              | ۲۱/۲  | ۲۲/۶  | ۴     |
| سالانه  | ۰              | ۱۸۱/۵ | ۲۴۹/۵ | ۷۸/۹  |

جدول ۳: مقادیر  $RMSE$  و  $MBE$  روش‌های تخمین بارندگی سال ۲۰۱۵

| ماه    | گرادیان ۴ بعدی |      | TRMM |      |
|--------|----------------|------|------|------|
|        | RMSE           | MBE  | RMSE | MBE  |
| ژانویه | ۰              | ۳۷/۳ | ۴۲/۳ | ۱۱/۲ |
| فوریه  | ۰              | ۵۲/۴ | ۵۸/۱ | ۱۹/۴ |
| مارس   | ۰              | ۱۷/۵ | ۳۲/۲ | ۱۹   |
| آوریل  | ۰              | ۹/۲  | ۱۷/۸ | ۹/۵  |
| می     | ۰              | ۱۲/۸ | ۱۹/۶ | ۸/۵  |
| ژوئن   | ۰              | ۲۳/۷ | ۲۸/۸ | ۷/۳  |



|       |       |       |   |         |
|-------|-------|-------|---|---------|
| ۲۸/۲  | ۱/۱   | ۱۹    | ۰ | ژوئیه   |
| ۲۳/۷  | -۴    | ۱۵    | ۰ | اگوست   |
| ۵۰    | -۱۰/۹ | ۴۱/۴  | ۰ | سپتامبر |
| ۶۷/۹  | -۵۷/۴ | ۳۵/۵  | ۰ | اکتبر   |
| ۶۷/۵  | ۲۶/۷  | ۵۱    | ۰ | نوامبر  |
| ۷۱/۵  | ۲۸/۶  | ۳۷/۷  | ۰ | دسامبر  |
| ۲۵۳/۲ | ۵۶/۶  | ۲۱۴/۶ | ۰ | سالانه  |

## نتیجه گیری

امروزه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گسترده‌ی وسیعی پیدا کرده و مطالعات زیادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در راستای تخمین و پراکندگی بارندگی صورت گرفته است. در این پژوهش به بررسی تصاویر ماهواره‌ای TRMM برای برآورد بارش ماهانه و سالانه استان مازندران در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵، پرداختیم. نتایج حاکی همبستگی مناسب داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های بارندگی استان بوده، علاوه بر آن توزیع زمانی مناسبی نیز با داده‌های واقعی داشته است، اما بارش استان را بیشتر از میزان واقعی برآورد کرده است. همچنین برای کاهش خطای بارش برآوردی ماهواره‌ی TRMM از روش گرادینانی و متغیرهای کمکی استفاده نمودیم. با ترکیب تصویر ماهواره‌ای TRMM با روش گرادینانی و استفاده از متغیرهای کمکی ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی، معادله گرادینان خط ۴ بعدی به وجود آمد، که خطای تخمین بارش ماهواره‌ای استان را کاهش داده است. با استفاده از میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب دو روش فوق را مورد ارزیابی قرار دادیم، که نشان دهنده‌ی برتری روش گرادینان خط ۴ بعدی بوده، به طوری که خطای برخی از ماه‌های سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ را تا ۴۸ درصد کاهش داده است. با توجه به مطالب گفته شده، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ترکیب آن با روش گرادینانی باعث افزایش دقت تخمین بارش تصاویر ماهواره‌ای می‌شود، که می‌تواند نقش به‌سزایی در مطالعات بارش استان داشته باشد، به خصوص با وجود تعداد اندک ایستگاه‌های بارندگی در مناطق مختلف استان و اقلیم خاص استان مازندران روش فوق می‌تواند سبب گسترش و دقت شبکه بارندگی استان شود.

## ۴- مراجع

- [1] Madadi, Gh., Hamzeh. A. and Noroozi, A. (2015). Evaluation of rainfall on a daily, monthly and annual basis using satellite imagery (Case study: west boundary basin of Iran), RS & GIS for Natural Resources, 6(2),59-74.
- [2] Asakreh, H. (2005). Modeling of spatial changes of climatic elements, Quarterly Journal of Geographical Research, 74, 231-213.
- [3] Worqlul, A.W. Yen. H. Collick. A.S. Tilahun. S.A. Langan. S. and Steenhuis T.S. (2017) Evaluation of CFSR, TMPA 3B42 and ground-based rainfall data as input for hydrological models, in data-scarce regions: The upper Blue Nile Basin, Ethiopia. Catena, 15(2),242-251.
- [4] Javan, Kh., Rasouli. A. Erfani. M. and Sari Sarraf, B. (2016). Comparative evaluation of rainfall estimation methods in Urmia Lake basin, Journal of Geography and Planning. 65(22), 83-100.
- [5] Baranzadeh, A., Bahyar. M.B. and Abedini, Y. (2011). Evaluation of TRMM-3B43 Satellite Rainfall Estimates Using Comparison with Ground Observational Ground Observations (APHRODITE) in Iran, 2nd National Conference on Applied Research on Iranian Water Resources, Ordibehesht, Zanjan, (In Persian).
- [6] Mashayekhi, S., Mahbod. M. and Shirvani, A. (2016). Comparison of observational values of rainfall and TRMM satellite estimates in Isfahan province. First National Conference on Remote Sensing and Geographical Information System in Earth Sciences (In Persian).
- [7] Erfanian, M., Kazempour. S. and Heidari, H. (2013). Evaluation and Calibration of TRMM Satellite Rain in Dry and Semi-Dry Areas of Iran (Regional Planning). 3(1), 83-95.



- [8] Cohen Liechti, T. Matos. J. P. Boillat. J. L. and Schleiss, A. J. (2012). Comparison and evaluation of satellite derived precipitation products for hydrological modeling of the Zambezi River Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(2), 489-500.
- [9] Ten, M. L. Ibrahim. A. L. Duan. ZH. Cracknell. A.P. and Chaplot, V. (2015). Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia, *remote Sens*, 7, 1504-1528.
- [10] Nadi, M. M. Jamei. J. Bazrafshan. and S. Janat Rostami. (2012). Evaluation of Different Methods for Interpolation of Mean Monthly and Annual Precipitation Data (Case Study: Khuzestan Province), *Physical Geography Research*, 4(44), 130\_117. (In Persian).
- [11] Tan, M.L. and H. Santo. (2018). Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric Research* 35(202), 63-76.
- [12] Nadi, M. A. Khalili. K. Pour Tahmasi. And Bazrafshan, J. (2013). Comparison of different climatological zoning techniques to determine the most important factors affecting the growth of Chahar Bagh area trees, *Journal of Forest and Wood Products (iranian journal of natural resources)*.1( 66), 95-83. (In Persian).
- [13] Yousefi Kabria, A., M. Nadi. and Sheikh Arjanki, SH. (2019). Increasing the accuracy of monthly and annual precipitation maps using covariates in Mazandaran province. 3th Iranian National Conference on Hydrology, University of Tabriz (In Persian).