

## Combining interpolation methods and precipitation products of TRMM satellite to increase the accuracy of rainfall maps in Mazandaran province

Alireza Yousefi Kebriya<sup>1</sup> | Mehdi Nadi<sup>\*2</sup> | Mozhdeh Jamei<sup>3</sup>

1. M.Sc. Graduate of Agrometeorology, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.  
E-mail: [m.nadi@sanru.ac.ir](mailto:m.nadi@sanru.ac.ir)
3. Ph.D. Graduate of Agrometeorology, Khuzestan Water and Power Organization.

---

---

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history:**  
Received: 07.05.2021  
Revised: 10.20.2021  
Accepted: 11.20.2021

**Keywords:**  
Accurate precipitation estimation,  
Four-dimensional linear gradient,  
Geostatistics,  
Precipitation map

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** The most common methods used to estimate and spatialize precipitation data are geostatistic methods and satellite images. Today, satellite rainfall products have become very popular in preparing rainfall maps. These products use satellite imagery to estimate precipitation in places with no observed data and are usually associated with a large error and require calibration. Interpolation methods estimate precipitation data using recorded data. It seems that the combination of interpolation methods and satellite images can be effective in increasing the accuracy of rainfall maps, especially in areas with complex topography such as Mazandaran province.

**Materials and Methods:** In this study, in order to evaluate different methods of estimating precipitation in Mazandaran province and combining satellite images with interpolation methods, precipitation data from 21 synoptic and rain gauge stations and 24 monthly images and 2 annual TRMM satellite images were used in 2012 and 2015 that the spatial resolution of this satellite product is  $0.25 * 0.25$  degrees. The studied interpolation methods included Kriging and Inverse Distance Weighting. Also, the accuracy of rainfall products of TRMM satellite was investigated. In addition, to increase the accuracy of rainfall maps, multiple linear regression were used to combine satellite images with latitude, longitude, and altitude covariate. The investigated methods were evaluated using the Root Mean Square Error and Mean Bias Error indices and regression analysis. Also, the annual rainfall maps of the province for 2012 and 2015 were drawn and analyzed.

**Results:** In this study, 5 theoretical semivariogram models were fitted to the data, that the spherical and exponential models were selected as appropriate models. Also the coefficient of determination of the selected variogram model and the ratio of structured part to total variation showed a relatively strong variography analysis and the effective range of precipitation data was obtained about 80 km. Correlation coefficients of covariates and precipitation in most months provided acceptable results and were significant in almost more than 50% of the studied months. As a result, the coefficients of determination of the four-dimensional gradient

---

---

regression equation also showed satisfactory values, so that the used covariates explained between 10 and more than 70% of the precipitation variations. The evaluation of investigated methods showed that interpolation models and TRMM satellite network data are not efficient in the estimation of precipitation in the province and the use of covariates in the gradient method could reduce the error estimation of rainfall data by 20 to 40 percent. Investigation of Bias error showed that TRMM precipitation network data, despite good correlation with observational data, has about 5 times more underestimation error than other interpolation methods, but the combination of TRMM network data with other covariates in the 4-dimensional gradient method has reduced the MBE to zero. Regression analysis of the studied methods showed a significant advantage of the 4-dimensional gradient method that the slope of this method is 3 times more than the geostatistical methods, which shows the performance of this method in detecting low and high rainfall rings in Mazandaran province.

**Conclusion:** The results showed the superiority of the four -dimensional gradient method in spatial rainfall estimation of Mazandaran province and showed the role of covariates in increasing the accuracy of rainfall maps, that use of the selected method reduced the estimation error of geostatistical methods and TRMM network data by 30% and 40% respectively. The results of this study showed that the combination of satellite rainfall products with interpolation methods will lead to more accurate estimation of precipitation in highlands and the points with no recorded rainfall data.

---

Cite this article: Yousefi Kebriya, Alireza, Nadi, Mehdi, Jamei, Mozhdeh. 2022. Combining interpolation methods and precipitation products of TRMM satellite to increase the accuracy of rainfall maps in Mazandaran province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28 (3), 49-70.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19286.3477

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## ترکیب روش‌های درون‌یابی و محصولات بارش ماهواره‌های TRMM به منظور افزایش دقت نقشه‌های هم‌بارش در استان مازندران

علیرضا یوسفی کبریا<sup>۱</sup> | مهدی نادى<sup>۲\*</sup> | مژده جامعی<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. رایانامه: [m.nadi@sanru.ac.ir](mailto:m.nadi@sanru.ac.ir)
۳. دانش‌آموخته دکتری هواشناسی کشاورزی، سازمان آب و برق خوزستان.

| اطلاعات مقاله  | چکیده   |
|--|---|
| نوع مقاله:<br>مقاله کامل علمی - پژوهشی   | سابقه و هدف: تخمین مکانی و تشخیص پراکندگی بارش، عمدتاً توسط روش‌های زمین‌آمار و تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌شود. امروزه اقبال زیادی از محصولات بارش ماهواره‌ای در تهیه نقشه‌های هم‌بارش شده است. این محصولات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به تخمین بارش در نقاط فاقد داده می‌پردازد و معمولاً با خطای زیادی همراه بوده و نیاز به واسنجی دارند. روش‌های درون‌یابی نیز با استفاده از داده‌های واقعی ثبت‌شده به تخمین بارش می‌پردازند. به نظر می‌رسد ترکیب روش‌های درون‌یابی و تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در افزایش دقت نقشه‌های هم‌بارش به خصوص در مناطق با توپوگرافی پیچیده مانند استان مازندران مؤثر باشد.  |
| تاریخ دریافت: ۰۰/۰۴/۱۴<br>تاریخ ویرایش: ۰۰/۰۷/۲۸<br>تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۸/۲۹                  |   |
| واژه‌های کلیدی:<br>تخمین دقیق بارش،<br>زمین‌آمار،<br>گرادین خطی چهار بعدی،<br>نقشه هم‌بارش | <b>مواد و روش‌ها:</b> در این پژوهش در راستای ارزیابی روش‌های مختلف تخمین بارش استان مازندران و ترکیب تصاویر ماهواره‌ای با روش‌های درون‌یابی از داده‌های ۲۱ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی و از ۲۴ تصویر ماهانه و ۲ تصویر سالانه ماهواره تی آر ام (TRMM) در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ استفاده شد، که تفکیک مکانی این ماهواره ۰/۲۵*۰/۲۵ درجه می‌باشد. روش‌های درون‌یابی موردبررسی شامل کریگینگ، وزنی عکس فاصله بوده و هم‌چنین دقت محصولات بارش ماهواره تی آر ام نیز بررسی شد. به علاوه برای افزایش دقت نقشه‌های هم‌بارش از رابطه رگرسیون خطی چندگانه برای ترکیب تصاویر ماهواره‌ای با متغیرهای کمکی طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع استفاده شد. ارزیابی روش‌ها با استفاده از شاخص‌های میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب و تحلیل رگرسیونی صورت گرفت. هم‌چنین نقشه‌های هم‌بارش سالانه استان نیز برای دو سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ ترسیم و تحلیل شد. |
|  | <b>یافته‌ها:</b> در این پژوهش ۵ مدل تئوری نیم تغییرنا بر داده‌ها برازش داده شد که مدل‌های نمایی و کروی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل نیم تغییرنا انتخاب شدند. هم‌چنین ضریب تعیین مدل  |

نیم‌تغییرنمای منتخب و نسبت تغییرات ساختارمند به تغییرات کل وضعیت نسبت مناسب ساختار مکانی داده‌های بارش را نشان داد و دامنه تأثیر داده‌های بارش در حدود ۸۰ کیلومتر به‌دست آمد. ضرایب همبستگی پارامترهای کمکی و بارش در اکثر ماه‌ها نتایج قابل قبولی ارائه داد و تقریباً در بیش از ۵۰ درصد ماه‌های موردبررسی معنادار بود که در نتیجه ضرایب تعیین معادله رگرسیونی گرادیان چهاربعدهی نیز مقادیر راضی‌کننده را نشان داد به‌طوری‌که متغیرهای کمکی مورداستفاده بین ۱۰ تا بیش از ۷۰ درصد از تغییرات بارش را توجیه نمودند. بررسی شاخص ارزیابی خطا نشان داد که روش‌های درون‌یابی و داده‌های شبکه ماهواره‌ای تی آر ام ام تخمین مناسبی از بارش استان نداشته و استفاده از متغیرهای کمکی در روش گرادیان خطی چهاربعدهی توانسته باعث کاهش خطای تخمین گردد به‌طوری‌که خطای تخمین بارش را ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش داد. بررسی شاخص ارزیابی نشان داد که داده‌های شبکه بارش تی آر ام ام برخلاف همبستگی خوب با داده‌های مشاهده‌ای تا حدود ۵ برابر بیش‌تر از سایر روش‌های درون‌یابی دارای خطای کم برآوردی است اما ترکیب داده‌های شبکه تی آر ام ام با سایر متغیرهای کمکی در روش گرادیان ۴ بعدی خطای ارزیابی را به صفر رساند. تحلیل رگرسیونی روش‌های مختلف درون‌یابی نیز حاکی از برتری چشمگیر روش گرادیان ۴ بعدی بود که شیب خط روش گرادیان ۴ بعدی بیش از ۳ برابر روش‌های زمین آماری بوده که نشان‌دهنده درک دقیق‌تر روش گرادینی در تشخیص حلقه‌های کم بارش و پربارش منطقه است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج به‌دست آمده بیانگر برتری روش گرادیان ۴ بعدی در تخمین مکانی بارش در استان مازندران بوده و نقش متغیرهای کمکی در افزایش دقت نقشه‌های همبارش را نشان داد به‌طوری‌که استفاده از روش منتخب سبب کاهش ۳۰ درصدی خطای تخمین روش‌های زمین آماری و کاهش ۴۰ درصدی خطای شبکه تی آر ام ام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیب محصولات بارش ماهواره‌ای با روش‌های درون‌یابی منجر به تخمین دقیق‌تر بارش ارتفاعات و نقاط فاقد داده ثبت شده بارش خواهد شد.

استناد: یوسفی کبریا، علیرضا، نادى، مهدى، جامعى، مژده (۱۴۰۰). ترکیب روش‌های درون‌یابی و محصولات بارش ماهواره‌ای TRMM به‌منظور افزایش دقت نقشه‌های هم‌بارش در استان مازندران. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۸ (۳)، ۷۰-۴۹.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19286.3477



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

یکی از عوامل محدودکننده پژوهش‌ها در زمینه هواشناسی و علوم آب، کشورهای در حال توسعه مانند ایران، کمبود داده پایه مانند بارش است. این کمبود شامل کوتاه بودن طول سری زمانی و یا پراکنش کم ایستگاه‌های برداشت داده است، به علاوه کمبود داده بارشی همواره یکی از محدودیت‌های اصلی پژوهش‌ها و مطالعه در زمینه مهندسی آب و هواشناسی بوده است. بر این اساس پژوهشگران و مهندسين همواره به دنبال یک جایگزین و یا مکمل برای به دست آوردن اطلاعات حاصل از ایستگاه‌های باران‌سنجی زمینی بوده‌اند (۱۰). روش‌های بسیاری برای تخمین مقدار بارندگی در نقاط فاقد ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی، به کار برده می‌شود. امروزه پایگاه‌های بارش شبکه‌بندی شده جهانی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های درون‌یابی، یکی از گزینه‌های اصلی و معتبر این کمبود است (۱۲). ماهواره‌ها صدها کیلومتر بالای زمین قرار گرفته و مناطق بزرگی را در یک زمان خاص مشاهده می‌کنند. ابرها و دیگر پدیده‌های هواشناسی در پهنای وسیعی اسکن شده و این ویژگی به هواشناس‌ها دید بهتری برای کار کردن بر روی سامانه‌های هواشناسی متحرک می‌دهد (۱۱). روش‌های برآورد بارش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نسبتاً پیچیده بوده و عملکرد ضعیفی دارند (۵)، که به علت مشکلاتی در زمینه ثبت تغییرات مکانی-زمانی بارش و محدودیت‌های سنجنده‌ها در مشاهده مستقیم متغیرهای مؤثر در شکل‌گیری بارش است. علاوه بر این با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای متغیرهای به دست آمده به صورت تقریبی بوده و بنابراین ارتباط غیرمستقیم و ضعیفی با بارش مشاهده شده خواهند داشت (۶). هدف نهایی برآورد بارش با استفاده از ماهواره‌ها، به دست آوردن اطلاعاتی از رخداد بارش، مقدار و توزیع آن در سطح

کره زمین برای اهداف هواشناختی، آب و هواشناسی، هیدرولوژی و علوم محیطی است (۱). به علاوه استفاده از ماهواره‌های تخمین بارش دارای چندین مزیت مانند، وضوح زمانی و مکانی بالا، پوشش مکانی جهانی بر روی اقیانوس‌ها و زمین و به طور مشخص مناطق کوهستانی و دورافتاده دارد (۲۰). روش‌های درون‌یابی مکانی از جمله روش‌هایی است که با به کارگیری از مدل‌های درون‌یابی، از آن‌ها برای تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته در مناطق نمونه‌گیری نشده‌ای که در داخل ناحیه‌ای از مشاهدات نقطه‌های پراکنده شده‌اند، استفاده می‌شود (۷). درون‌یابی از علوم کاربردی است که اقلیم‌شناسان در مطالعات پهنه‌بندی از آن بهره‌مند می‌شوند، که انواع مختلف دارد (۲). به طور کلی در دودسته آماری و زمین‌آماري قرار می‌گیرند. زمین‌آمار شاخه‌ای از علم آمار کاربردی است که با استفاده از اطلاعات به دست آمده از نقاط نمونه‌برداری شده قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به منظور برآورد خصوصیت موردنظر در نقاط نمونه‌برداری نشده، است (۲۴). در روش‌های زمین‌آماري برای برآورد یک متغیر از مقدار معلوم نقاط اطراف آن استفاده می‌شود به طوری که به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده، وزنی را نسبت می‌دهد که در رابطه ۱ نشان داده شده است (۱۵).

$$Z = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_{V_i} \quad (1)$$

که در آن،  $Z$  پارامتر تخمینی،  $\lambda_i$  وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه  $i$  ام و  $Z_{V_i}$  پارامتر معلوم نمونه  $i$  ام است (۸). تفاوت روش‌های مختلف زمین‌آماري در نحوه تعیین ضرایب نقاط معلوم است. مثلاً روش وزنی عکس فاصله بر این فرض استوار است که تأثیر نقاط مجاور با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. در این

روش از فاصله به‌عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود. از طرف دیگر تأثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال کرد (۲). مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش زمین‌آماری درون‌یابی روش کریجینگ است (۸). این تخمین‌گر کریجینگ در مرحله اول به شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیر می‌پردازد که این کار را با تحلیل واریوگرافی و آنالیز نیم‌تغییرنما انجام می‌دهد. سپس در مرحله بعد ضرایب نقاط معلوم و تعداد نقاط همسایگی از روی نیم‌تغییرنما تعیین می‌گردد (۱۳). روش‌های گرادیان خطی بر مبنای رابطه رگرسیون خطی بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی بنا شده که فرض بر آن است که در راستای طول و عرض و ارتفاع منطقه، روند خطی وجود دارد که در روش گرادیان خطی سه‌بعدی با برازش یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی، می‌توان در نقاط مجهول با مشخص بودن طول و عرض و ارتفاع آن، مقدار متغیر اصلی را برآورد کرد (۱۶). کشورهای در حال توسعه که غالباً تعداد ایستگاه‌های دارای آمار طولانی‌مدت بسیار اندک است، استفاده از روش‌های گفته شده می‌تواند دارای اهمیت باشد. مطالعات بسیاری نیز در جهت تخمین بارش و بررسی نزولات جوی صورت گرفته که در همین راستا، ورکول و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی به ارزیابی داده‌های سی‌اس‌اف آر (CSFR)، تی‌ام‌پی‌ای ۳ بی ۴۲ (TMPA 3B42) و داده‌های باران زمینی به‌عنوان ورودی برای مدل‌های هیدرولوژیکی، در مناطق داده‌کمیاب پرداختند. نتایج بیانگر این بود که تی‌ام‌پی‌ای ۳ بی ۴۲ (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 (۲۳). پؤمن و همکاران (۲۰۱۷)، در

پژوهشی به ارزیابی داده‌های سنسجش از دور و داده‌های باز تحلیل در منطقه غرب آفریقا پرداختند و با داده‌های موجود باران‌سنج مقایسه گردیدند، نتایج بیانگر آن است که، ماهواره‌هایی که داده‌های ورودی آن‌ها مادون قرمز و میکروویو می‌باشد نتایج بهتری ارائه می‌دهند (۱۸). تن و همکاران (۲۰۱۸)، به مقایسه داده‌های شبکه‌بندی جی‌ام‌پی‌ایمرج (GMP IMERG)، تی‌ام‌پی‌ای ۳ بی ۴۲ (TMPA 3B42) و پرشین-سی دی آر (PERSIANN-CDR) در مالزی پرداختند. با استفاده از شاخص‌های آماری نتایج حاصل نشان‌دهنده مناسب بودن تمام مجموع داده‌ها به جز پرشین-سی دی آر (PERSIANN-CDR) بوده است (۲۱). یوسفی کبریا و همکاران (۲۰۲۰)، با اصلاح شبکه ماهواره‌ای تی‌ام‌ام با استفاده از روش گرادیان چهاربعدی بارش استان مازندران در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ را تخمین زده و به نتیجه دست یافتند که اصلاح شبکه تی‌ام‌ام سبب افزایش ۳۰-۵۰ درصد دقت این ماهواره شده است (۲۵). امینی و همکاران (۲۰۱۹)، به ارزیابی دقت داده‌های بارش جی‌پی‌ام (GPM) و تی‌ام‌ام در مقابل داده‌های ثبت شده ایستگاه‌های منتخب در سطح ایران (۷۰ ایستگاه بارش) طی دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۶ پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که در حالت کلی مقادیر بارش روزانه سنجنده‌ها از دقت مناسبی در سطح ایران برخوردار نیستند و میزان خطای بارش برآوردی برای بیش‌تر ایستگاه‌ها قابل توجه است (۲). سیف و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای، پس از برطرف نمودن خطای داده‌های ماهواره‌ای تی‌ام‌ام، از این اطلاعات به‌عنوان پارامتر تغذیه به استفاده کردند و عدم قطعیت تراز آب زیرزمینی توسط توابع مختلف کاپوال را محاسبه کردند. بررسی خروجی‌های مدل آب زیرزمینی نشان‌دهنده کاهش ۵۰ درصدی شاخص خطای جذر میانگین مربعات خطا بوده است.

منظور، پژوهش حاضر با هدف یافتن بهترین روش برای تخمین بارش استان انجام می‌گیرد و از درون‌یابی برای تخمین بارش استان انجام می‌شود، و از طرفی چون روش‌های درون‌یابی در مازندران به دلیل توپوگرافی پیچیده، دقت پایینی دارند و باید از روش‌های دارای متغیر کمکی استفاده شود و به همین جهت از ماهواره در روش درون‌یابی استفاده می‌شود و نقش ماهواره به عنوان پارامتر کمکی بررسی می‌شود، به‌طور کلی پژوهش حاضر با بررسی امکان ترکیب تصاویر ماهواره‌ای با روش‌های درون‌یابی به منظور افزایش دقت تخمین مکانی بارش و ترسیم دقیق‌تر نقشه‌های هم بارش در استان مازندران انجام شد.

### مواد و روش‌ها

استان مازندران با داشتن  $23756/4$  کیلومترمربع مساحت از وسعتی معادل  $1/46$  درصد ایران برخوردار است که در جنوب دریای خزر و شمال رشته‌کوه البرز قرار دارد. وجود رشته‌کوه البرز در قسمت جنوبی این استان یک قوس عظیمی را بوجود آورده است که مانع عبور رطوبت دریای مازندران به مرکز ایران می‌شود و جلگه‌های پست دریای مازندران را از فلات مرکزی جدا ساخته و حد فاصل بین این دو آب و هوا متضاد است. عوامل مؤثر در آب و هوای این منطقه را می‌توان به وجود رشته کوه البرز، جهت قرار گرفتن آن‌ها، ارتفاع مکان، نزدیکی به دریا، پوشش گیاهی، بادهای محلی، عرض جغرافیایی متوسط و پیش آمدن توده هوای شمالی و غربی نسبت داد. در میان عوامل ذکر شده نقش کوه‌ها، دریای مازندران و بادهای بیش از سایر عوامل در آب و هوای استان تأثیر دارد، آب و هوای مازندران با توجه به وجود دریا، کوه و جنگل به دو نوع معتدل مرطوب و کوهستانی سرد تقسیم می‌شود. در نواحی کم ارتفاع ساحلی تابستان‌های آن گرم و شرجی بوده و دارای زمستان‌های معتدل و

نتایج مذکور نشان‌دهنده عملکرد مناسب و با ضریب اطمینان بالای ۹۰ درصد توابع کاپوال در محاسبه عدم قطعیت تراز آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای تی آر ام به عنوان پارامتر تغذیه است (۱۹).

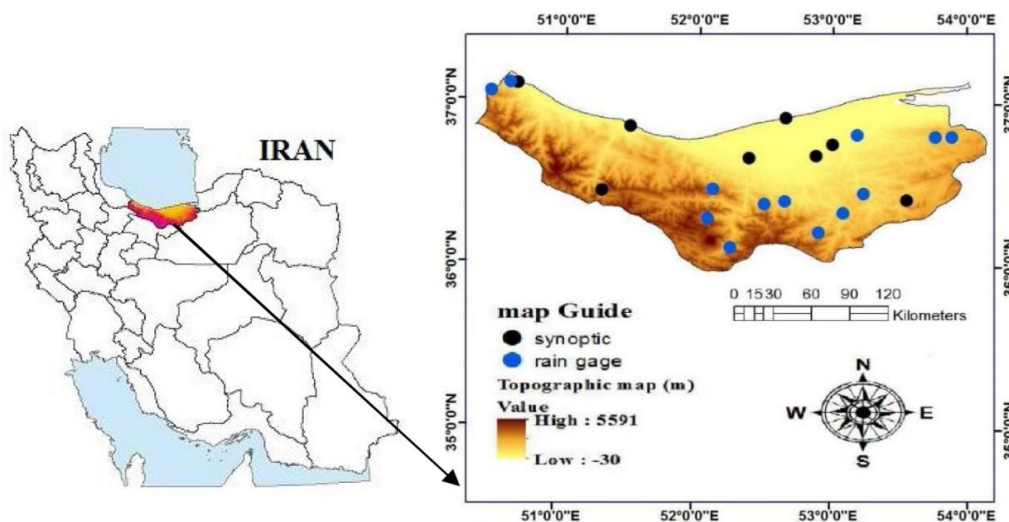
یوسفی کبریا و همکاران (۲۰۲۰)، به مقایسه چهار روش درون‌یابی، کریجینگ، کوکریجینگ، وزنی عکس فاصله و گرادیان خطی سه‌بعدی به منظور تخمین بارش استان مازندران پرداختند، که بهترین روش مورد بررسی روش گرادیان خطی سه‌بعدی انتخاب شد، هم‌چنین نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، روش‌هایی که از متغیر ارتفاع به عنوان متغیر کمکی استفاده می‌کنند، نسبت به روش‌های دیگر از دقت بالاتری برخوردارند، اشاره کرد (۲۵). کوماری و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از معکوس وزنی و روش‌های خانواده کریجینگ، به میان‌یابی بارش در کوه‌های هیمالیا پرداختند. نتایج نشان داد، روش کریجینگ ساده در برآورد بارش سالانه در مقایسه با بارش فصلی عملکرد بهتری دارد (۱۴). آروولو و همکاران (۲۰۱۷)، برای برآورد دما و بارندگی ماهانه در نیجریه از روش‌های کریجینگ رونددار و اسپلاین استفاده کردند، نتایج نشان داد در منطقه مورد مطالعه روش‌های خانواده اسپلاین نسبت به روش کریجینگ رونددار مناسب‌تر هستند (۳).

با وجود مطالعات گوناگون صورت گرفته در زمینه تخمین بارش با روش‌های درون‌یابی و سنسجش از دور، به‌نظر می‌رسد که تاکنون مطالعه‌ای جامع در زمینه ترکیب روش‌های درون‌یابی با محصولات بارش ماهواره‌ای انجام نگرفته است. با توجه به اهمیت این موضوع و فقدان ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در نقاط ارتفاعی استان مازندران، مطالعه در زمینه انتخاب روش‌های مناسب جهت تخمین بارش استان مازندران، امری ضروری به‌نظر می‌رسد. به همین

است، به علاوه اقلیم ایستگاه‌ها با استفاده از روش دمارتن گسترش یافته در جدول ۱ نشان داده شده است (۲۵). بر اساس جدول ۱، مناطق ساحلی استان دارای اقلیم بسیار مرطوب و معتدل می‌باشد و هرچه به سمت ارتفاعات پیش می‌رویم اقلیم به حالت مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک سرد تغییر می‌کند. با بررسی دوره آماری ایستگاه‌ها (۱۹۹۱-۲۰۱۸) و به جهت اطمینان از نتایج مقایسه روش‌ها، سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵، با توجه به تکمیل بودن داده‌های ایستگاه‌ها در این دو سال 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 بارش‌سنجی با دوره بلندمدت، به خصوص در ارتفاعات استان، کار برای تخمین بارش استان از طریق روش‌های درونیابی، تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور را دشوار می‌سازد، یافتن روش‌های مناسب برای گسترش شبکه بارشی استان می‌تواند نقش به‌سزایی در جهت مطالعات بارشی استان داشته باشد.

پربارشی است که به ندرت یخبندان رخ می‌دهد. کوهستان‌های استان دارای آب و هوای سرد و نیمه‌مرطوب است (۴). وضعیت توپوگرافی و جهت‌گیری کوه و دریا تشخیص تغییرات مکانی بارش در استان را بسیار پیچیده می‌کند به گونه‌ای که هوای مرطوب از سمت دریا به سمت رشته کوه البرز حرکت می‌کند و در کوهپایه بارش رخ می‌دهد اما ابرها تا یک ارتفاع مشخصی صعود کرده و پس از آن از حضور ابرها و مقدار بارش کاسته می‌شود. البته ارتفاعات البرز تحت تأثیر سیستم‌های بزرگ مقیاس جوی است (۱۷).

در پژوهش مدنظر و در راستای ارزیابی روش‌های مختلف تخمین بارش استان مازندران از داده‌های ۲۱ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی و باران‌سنجی وزارت نیرو و از ۲۴ تصویر ماهواره‌ای ماهانه و ۲ تصویر ماهواره‌ای سالانه ماهواره‌ی تی آر ام<sup>۱</sup> که دارای داده‌های بارشی هستند، استفاده شد. لیست ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است و نقشه پراکنش آن در شکل ۱ قابل مشاهده



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان مازندران.

Figure 1. Location of meteorological stations used in Mazandaran province.

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



جدول ۱- موقعیت و اقلیم ایستگاه‌های هواشناسی.

Table 1. Location and the climate of meteorological station.

| ایستگاه       | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع (متر) | نوع ایستگاه  | اقلیم ایستگاه                                |
|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--|
| Station       | Long(deg)     | Lat(deg)      | Elev. (m)    | Station type | Station Climate                              |
| رامسر         | 50.66         | 36.9          | 21           | سینوپتیک     | بسیار مرطوب معتدل<br>Very humid temperate    |
| Ramsar        |               |               |              | Synoptic     |  |
| نوشهر         | 51.5          | 36.65         | -18          | سینوپتیک     | بسیار مرطوب معتدل<br>Very humid temperate    |
| Noshahr       |               |               |              | Synoptic     |  |
| ساری          | 53            | 36.55         | 10           | سینوپتیک     | نیمه مرطوب معتدل<br>Semi humid temperate     |
| Sari          |               |               |              | Synoptic     |  |
| کیاسر         | 53.55         | 36.21         | 1688         | سینوپتیک     | نیمه مرطوب سرد<br>Semi humid cold            |
| Kiyasar       |               |               |              | Synoptic     |  |
| سیابیشه       | 51.3          | 36.25         | 1991         | سینوپتیک     | نیمه مرطوب سرد<br>Semi humid cold            |
| Siabishe      |               |               |              | Synoptic     |  |
| آمل           | 52.38         | 36.46         | 105          | سینوپتیک     | نیمه مرطوب معتدل<br>Semi humid temperate     |
| Amol          |               |               |              | Synoptic     |  |
| بابلسر        | 52.65         | 36.71         | -21          | سینوپتیک     | مرطوب معتدل<br>humid temperate               |
| Babolsar      |               |               |              | Synoptic     |  |
| قائم‌شهر      | 52.88         | 36.48         | 37           | سینوپتیک     | نیمه مرطوب معتدل<br>Semi humid temperate     |
| Qhaemshahr    |               |               |              | Synoptic     |  |
| سفیدچاه       | 53.88         | 36.6          | 1023         | باران‌سنجی   | نیمه مرطوب سرد<br>Semi humid cold            |
| Sefidchah     |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| برما          | 53.67         | 36.21         | 1028         | باران‌سنجی   | نیمه مرطوب سرد<br>Semi humid cold            |
| Berma         |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| سلیمان‌تنگه   | 53.23         | 36.25         | 530          | باران‌سنجی   | نیمه مرطوب معتدل<br>Semi humid temperate     |
| Soleymantange |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| گت‌کلا        | 52.5          | 36.18         | 1256         | باران‌سنجی   | مدیترانه‌ای سرد<br>Cold Mediterranean        |
| Gatkolla      |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| زرودک         | 50.6          | 36.9          | 221          | باران‌سنجی   | مدیترانه‌ای معتدل<br>Mediterranean temperate |
| Zarodak       |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| پالند         | 52.9          | 36.01         | 1476         | باران‌سنجی   | نیمه‌خشک سرد<br>Cold semi dry                |
| Paland        |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| جواهرده       | 50.46         | 36.85         | 2005         | باران‌سنجی   | مدیترانه‌ای سرد<br>Cold Mediterranean        |
| Jaherdeh      |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| گازنسرا       | 52.12         | 36.37         | 2316         | باران‌سنجی   | نیمه‌خشک سرد<br>Cold semi dry                |
| Gazensara     |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| نمارستاغ      | 52.08         | 36.09         | 2199         | باران‌سنجی   | مدیترانه‌ای سرد<br>Cold Mediterranean        |
| Nemarestagh   |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| فیروزجاه      | 52.65         | 36.2          | 632          | باران‌سنجی   | نیمه مرطوب معتدل<br>Semi humid temperate     |
| Firozjah      |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| سنگده         | 52.25         | 36.91         | 1434         | باران‌سنجی   | مدیترانه‌ای معتدل<br>Mediterranean temperate |
| Sangedeh      |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| دشت‌ناز       | 53.18         | 36.61         | 16           | باران‌سنجی   | نیمه مرطوب معتدل<br>Semi humid temperate     |
| Dashnaz       |               |               |              | Rain Gauge   |  |
| پل سفید       | 53.08         | 36.13         | 1128         | باران‌سنجی   | مدیترانه‌ای معتدل<br>Mediterranean temperate |
| Polsaz        |               |               |              | Rain Gauge   |  |

(TXT)، ای اس سی آی آی (ASCII) و فایل‌های اچ دی اف (HDF)، می‌باشد (۲۲). 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 چندجمله‌ای 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 دودسته، متغیرهای موقعیت جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) و متغیرهای وضعیت توپوگرافی (ارتفاع، مقدار و جهت شیب و ...) است. 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 صورت رابطه ۲ برقرار نماییم (۱۷).

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

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 تی آر ام ام، از متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع به عنوان متغیر کمکی در کنار داده بارشی تی آر ام ام استفاده شد، که معادله گرادیان خطی ۴ بعدی را به صورت رابطه ۳ تشکیل می‌دهد.

$$\hat{f}_{(s_0)} = \hat{a} + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 y + \hat{\beta}_3 h + \hat{\beta}_4 n \quad (3)$$

که در آن،  $(\beta)$  پارامتر مستقل،  $(x)$ ،  $(y)$ ،  $(h)$ ،  $(n)$ ، به ترتیب طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، داده ماهواره‌ای می‌باشد.

ماهواره تی آر ام ام (TRMM)<sup>۱</sup> در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ میلادی پرتاب شد و در 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 (۹). 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 است. داده‌های ماهواره تی آر ام ام در فرمت‌های مختلف از جمله، کی ام زد (KMZ)، تی ایکس تی

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

تصاویر ماهواره‌ای در کنار نقشه توپوگرافی و نقشه طول، عرض جغرافیایی به عنوان یک پیش‌بینی‌کننده در معادله رگرسیونی به کار می‌رود، روند موجود در داده‌ها با استفاده از یک رابطه 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 این که ارتفاع ایستگاه‌های موجود در استان بین ۲۱- تا ۲۳۰۰ متر متغیر است،

نسبت تغییرات ساختاردار به تغییرات کل مناسبی دارند. با توجه به این جدول بهترین مدل‌ها در این پژوهش مدل‌های نمایی و کروی بوده است. علاوه بر این بررسی نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که دامنه تأثیر داده‌های بارش در این استان در سال ۲۰۱۲ حدود ۷۰ کیلومتر و در سال ۲۰۱۵ حدود ۷۵ کیلومتر می‌باشد. همچنین نتایج جدول نشان می‌دهد که در ماه‌های گرم دامنه تأثیر داده‌های بارش کاهش می‌یابد که به دلیل ماهیت محلی بودن توده‌های تأثیرگذار بر بارش منطقه است که این نتیجه قبلاً نیز توسط نادى و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است (۱۷).

تحلیل معنی‌داری پارامترهای کمکی (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع و محصولات بارش ماهواره) مورد استفاده در روش گرادیان خطی ۴ بعدی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد داده‌های بارش گرچه در مقیاس سالانه همبستگی قابل درکی با طول و عرض جغرافیایی داشته به طوری که از غرب به شرق و از شمال به جنوب استان مازندران بارش کاهش می‌یابد، اما در ماه‌های مختلف مورد بررسی، بارش همبستگی قوی با این دو متغیر نداشته اما افزایش ارتفاع در اغلب ماه‌ها (به جز ماه‌های کم بارش انتهای فصل بهار و تابستان) تأثیر منفی و معناداری بر مقدار بارش در این استان دارد. همچنین سطح معنی‌داری، محصول بارش ماهواره‌ای (ستون TRMM) طبق جدول در اکثر ماه‌ها و همچنین داده‌های سالانه مثبت و معنادار است.

برای ارزیابی تخمین روش گرادیان خطی ۴ بعدی و ماهواره‌ای از ام‌ام و محاسبه مقدار خطا روش‌ها، در این پژوهش از تحلیل رگرسیونی و میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> و خطای اریب استفاده شد، که میانگین مربعات خطا و خطای اریب به صورت روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند (۲۵).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{N}} \quad (4)$$

$$MBE = 1/N \sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)] \quad (5)$$

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 نرم‌افزارهای ArcMap 10.3، Minitab 16، GS+ استفاده شد.

### نتایج و بحث

در این پژوهش در تحلیل واریوگرافی ۵ نوع مدل نیم‌تغییرنا شامل مدل‌های کروی<sup>۲</sup>، گوسی<sup>۳</sup>، نمایی<sup>۴</sup>، خطی<sup>۵</sup> و خطی دارای حد آستانه<sup>۶</sup> بر داده‌ها برازش داده شدند.

برای انتخاب بهترین نیم‌تغییر نما از ضریب تعیین و نسبت تغییرات ساختاردار به تغییرات کل استفاده شد، به گونه‌ای که هرچه این نسبت و همچنین ضریب تعیین به یک نزدیک‌تر باشد، مدل انتخابی بهتر خواهد بود. نتایج بهترین مدل‌های نیم‌تغییرنا در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این جدول ضریب تعیین در بیش‌تر ماه‌های در هر دو سال منتخب مناسب بوده، همچنین به جز ماه سپتامبر در سال ۲۰۱۵ بقیه ماه‌ها

- 1- Root Mean Square Error (RMSE)
- 2- Spherical
- 3- Gaussian
- 4- Exponential
- 5- Linear
- 6- Linear to sill

جدول ۲- پارامترهای نیم تغییر نمای داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه.

**Table 2. Semi variance analysis parameters of rainfall in Mazandaran province.**

| مدل منتخب<br>Model | اثر قطعه‌ای<br>nugget (C0) | آستانه<br>Sill (C+C0) | دامنه تأثیر<br>Effective range (km) | C/(C+C0) | ضریب تعیین<br>r <sup>2</sup> | ماه<br>month | سال<br>Year |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------|------------------------------|--------------|-------------|
| Exponential        | 0.1                        | 0.4                   | 40                                  | 0.7      | 0.8                          | ژانویه       | 2012        |
| Spherical          | 0.06                       | 0.8                   | 35                                  | 0.9      | 0.9                          | Jan          | 2015        |
| Exponential        | 0.05                       | 0.11                  | 70                                  | 0.5      | 0.8                          | فوریه        | 2012        |
| Spherical          | 0.01                       | 0.4                   | 33                                  | 0.9      | 0.7                          | Feb          | 2015        |
| Spherical          | 0.06                       | 0.17                  | 65                                  | 0.6      | 0.9                          | مارس         | 2012        |
| Spherical          | 0.007                      | 0.3                   | 25                                  | 0.9      | 0.9                          | Mar          | 2015        |
| Exponential        | 0.04                       | 0.11                  | 69                                  | 0.6      | 0.99                         | آوریل        | 2012        |
| Spherical          | 0.05                       | 0.1                   | 60                                  | 0.6      | 0.8                          | Apr          | 2015        |
| Exponential        | 0.001                      | 0.7                   | 75                                  | 1        | 0.8                          | می           | 2012        |
| Spherical          | 0.07                       | 0.1                   | 72                                  | 0.5      | 0.7                          | May          | 2015        |
| Spherical          | 0.1                        | 0.9                   | 70                                  | 0.8      | 0.7                          | ژوئن         | 2012        |
| Spherical          | 0.05                       | 0.1                   | 80                                  | 0.6      | 0.8                          | June         | 2015        |
| Spherical          | 0.001                      | 1.6                   | 28                                  | 1        | 0.8                          | ژوئیه        | 2012        |
| Exponential        | 0.04                       | 0.3                   | 43                                  | 0.8      | 0.8                          | July         | 2015        |
| Spherical          | 0.1                        | 1.5                   | 26                                  | 0.9      | 0.99                         | آگوست        | 2012        |
| Spherical          | 0.0001                     | 0.06                  | 42                                  | 0.9      | 0.8                          | Agu          | 2015        |
| Spherical          | 0.2                        | 0.8                   | 67                                  | 0.7      | 0.99                         | سپتامبر      | 2012        |
| Spherical          | 0.08                       | 0.9                   | 65                                  | 0.9      | 0.6                          | Sep          | 2015        |
| Exponential        | 0.1                        | 1                     | 45                                  | 0.9      | 0.9                          | اکتبر        | 2012        |
| Spherical          | 0.0001                     | 0.2                   | 35                                  | 1        | 0.9                          | Oct          | 2015        |
| Spherical          | 0.1                        | 0.6                   | 22                                  | 0.8      | 0.9                          | نوامبر       | 2012        |
| Spherical          | 0.09                       | 0.6                   | 20                                  | 0.8      | 0.9                          | Nov          | 2015        |
| Spherical          | 0.07                       | 0.7                   | 35                                  | 0.9      | 0.9                          | دسامبر       | 2012        |
| Spherical          | 0.05                       | 0.4                   | 29                                  | 0.8      | 0.9                          | Dec          | 2015        |
| Exponential        | 0.03                       | 0.09                  | 30                                  | 0.6      | 0.99                         | سالانه       | 2012        |
| Spherical          | 0.03                       | 0.2                   | 34                                  | 0.8      | 0.8                          | Annual       | 2015        |

جدول ۳- نتایج همبستگی متغیرهای کمکی با بارش ماهانه و سالانه.

**Table 3. Correlation results of monthly and annual precipitation with covariates.**

| TRMM |         | Z     |         | Y     |         | X     |         | سال  | ماه     |
|------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|------|---------|
| r    | P-Value | R     | P-Value | R     | P-Value | R     | P-Value | Year | Month   |
| 0.28 | 0.22    | -0.27 | 0.22    | 0.04  | 0.99    | 0.07  | 0.76    | 2012 | ژانویه  |
| 0.57 | 0.01    | -0.39 | 0.08    | 0.60  | < 0.01  | -0.60 | < 0.01  | 2015 | Jan     |
| 0.11 | 0.63    | -0.04 | 0.87    | -0.13 | 0.57    | 0.31  | 0.18    | 2012 | فوریه   |
| 0.64 | <0.01   | -0.28 | 0.21    | 0.47  | 0.03    | -0.61 | < 0.01  | 2015 | Feb     |
| 0.53 | 0.01    | -0.13 | 0.56    | 0.22  | 0.33    | -0.49 | 0.03    | 2012 | مارس    |
| 0.07 | 0.77    | -0.35 | 0.12    | 0.17  | 0.45    | -0.29 | 0.29    | 2015 | Mar     |
| 0.58 | 0.01    | 0.81  | < 0.01  | -0.37 | 0.10    | -0.33 | 0.15    | 2012 | آوریل   |
| 0.50 | 0.02    | 0.34  | 0.12    | 0.03  | 0.90    | -0.63 | < 0.01  | 2015 | Apr     |
| 0.48 | 0.03    | 0.36  | 0.11    | -0.17 | 0.46    | -0.53 | 0.01    | 2012 | می      |
| 0.55 | < 0.01  | 0.32  | 0.15    | -0.08 | 0.74    | -0.52 | 0.02    | 2015 | May     |
| 0.35 | 0.12    | -0.16 | 0.48    | -0.04 | 0.85    | -0.33 | 0.14    | 2012 | ژوئن    |
| 0.12 | 0.61    | 0.31  | 0.17    | -0.38 | 0.09    | -0.01 | 0.97    | 2015 | June    |
| 0.32 | 0.15    | 0.12  | 0.61    | 0.02  | 0.94    | -0.68 | < 0.01  | 2012 | ژوئیه   |
| 0.43 | 0.05    | -0.51 | 0.02    | 0.27  | 0.23    | -0.17 | 0.45    | 2015 | July    |
| 0.54 | 0.01    | -0.59 | < 0.01  | 0.59  | 0.01    | -0.56 | 0.01    | 2012 | آگوست   |
| 0.44 | 0.04    | -0.28 | 0.21    | 0.22  | 0.35    | 0.04  | 0.85    | 2015 | Agu     |
| 0.05 | 0.82    | -0.26 | 0.26    | 0.12  | 0.61    | 0.15  | 0.53    | 2012 | سپتامبر |
| 0.01 | 0.99    | -0.02 | 0.94    | 0.11  | 0.64    | -0.31 | 0.16    | 2015 | Sep     |
| 0.29 | 0.20    | 0.07  | 0.78    | -0.13 | 0.57    | 0.31  | 0.17    | 2012 | اکتبر   |
| 0.62 | < 0.01  | -0.48 | 0.03    | 0.58  | 0.01    | -0.57 | 0.01    | 2015 | Oct     |
| 0.58 | 0.01    | -0.52 | 0.01    | 0.41  | 0.07    | -0.26 | 0.25    | 2012 | نوامبر  |
| 0.59 | 0.01    | -0.48 | 0.03    | 0.65  | < 0.01  | -0.65 | < 0.01  | 2015 | Nov     |
| 0.02 | 0.92    | -0.71 | < 0.01  | 0.53  | 0.01    | -0.22 | 0.33    | 2012 | دسامبر  |
| 0.59 | 0.01    | 0     | 0.99    | 0.45  | 0.04    | -0.44 | 0.05    | 2015 | Dec     |
| 0.29 | 0.20    | -0.41 | 0.06    | 0.27  | 0.24    | -0.26 | 0.26    | 2012 | سالانه  |
| 0.56 | 0.01    | -0.46 | 0.04    | 0.57  | 0.01    | -0.57 | 0.01    | 2015 | Annual  |

دریافت تصاویر ماهواره‌ای از شبکه تی ار ام ام فایل مورد نظر ابتدا توسط نرم‌افزار ای انوی مدیریت و سپس وارد نرم‌افزار جی ای اس شد و اطلاعات بارشی از آن استخراج شد. برای به‌دست آوردن بارش هر ایستگاه با استفاده از تصاویر شبکه تی ار ام ام اطلاعات

از اهداف اصلی این پژوهش بررسی امکان ترکیب تصاویر ماهواره‌ای با روش‌های درون‌یابی به‌منظور افزایش دقت نقشه‌های هم‌بارش است. به‌منظور ترکیب تصاویر ماهواره با روش‌های درون‌یابی از تصاویر ماهواره‌ای تی ار ام ام استفاده گردید. پس از

هم‌بارش استفاده شد. با توجه به جدول ۴ متغیر کمکی جدید به کار رفته در این پژوهش در اکثر ماه‌ها همبستگی و معنی‌داری مناسبی با بارش استان دارد. بر اساس نتایج به دست آمده معادله گرادیان خط چهاربندی با متغیرهای طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و تصویر ماهواره تی ار ام در مقیاس ماهانه و سالانه محاسبه شد که در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

جغرافیایی ایستگاه‌ها وارد نرم‌افزار گردید، سپس با اکسترکت (Extract) کردن تصاویر و نقاط ایستگاهی، اطلاعات برای هر یک از نقاط حاصل گردید.

در این پژوهش علاوه بر متغیرهای کمکی طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع، از تصویر ماهواره تی ار ام پارامتر کمکی جدید در معادله خط گرادیانی، برای تخمین بارش استان و رسم نقشه

جدول ۴- معادله رگرسیونی اصلاح شبکه بارشی تی ار ام استان مازندران.

Table 4. Regression equation for modification of TRMM precipitation network in Mazandaran province.

| سال<br>Year | ماه<br>Month | معادله رگرسیونی گرادیان چهار بعدی<br>Regression Equation of Grad4D                  | ضریب تعیین<br>R <sup>2</sup> |
|-------------|--------------|---|------------------------------|
| 2012        | ژانویه       | $P = -683 + 11.5 \text{ LONG} + 2.5 \text{ LAT} - 0.0126 z + 1.07 \text{ TRMM}$     | 0.2                          |
| 2015        | Jan          | $P = -132 - 14.6 \text{ LONG} + 26.1 \text{ LAT} - 0.0166 z + 0.316 \text{ TRMM}$   | 0.57                         |
| 2012        | فوریه        | $P = -847 + 18.8 \text{ LONG} + 0.7 \text{ LAT} - 0.0022 z - 0.70 \text{ TRMM}$     | 0.1                          |
| 2015        | Feb          | $P = 920 + 5.3 \text{ LONG} - 32.4 \text{ LAT} - 0.0236 z + 0.867 \text{ TRMM}$     | 0.61                         |
| 2012        | مارس         | $P = 249 - 1.12 \text{ LONG} - 3.8 \text{ LAT} - 0.00750 z + 0.561 \text{ TRMM}$    | 0.34                         |
| 2015        | Mar          | $P = 1381 - 8.92 \text{ LONG} - 22.7 \text{ LAT} - 0.0152 z + 0.069 \text{ TRMM}$   | 0.26                         |
| 2012        | آوریل        | $P = 420 - 4.58 \text{ LONG} - 4.7 \text{ LAT} + 0.0157 z + 0.145 \text{ TRMM}$     | 0.73                         |
| 2015        | Apr          | $P = 1309 - 17.9 \text{ LONG} - 9.4 \text{ LAT} + 0.00817 z - 0.025 \text{ TRMM}$   | 0.49                         |
| 2012        | می           | $P = 1372 - 9.19 \text{ LONG} - 23.9 \text{ LAT} + 0.00204 z + 0.250 \text{ TRMM}$  | 0.46                         |
| 2015        | May          | $P = 1400 - 14.4 \text{ LONG} - 17.0 \text{ LAT} + 0.00220 z - 0.69 \text{ TRMM}$   | 0.39                         |
| 2012        | ژوئن         | $P = 2602 - 9.6 \text{ LONG} - 56.8 \text{ LAT} - 0.0169 z + 0.774 \text{ TRMM}$    | 0.32                         |
| 2015        | June         | $P = 1123 - 3.66 \text{ LONG} - 25.1 \text{ LAT} + 0.00351 z + 0.85 \text{ TRMM}$   | 0.18                         |
| 2012        | ژوئیه        | $P = 3222 - 23.2 \text{ LONG} - 54.0 \text{ LAT} - 0.00820 z + 0.424 \text{ TRMM}$  | 0.56                         |
| 2015        | July         | $P = 231 + 1.4 \text{ LONG} - 7.8 \text{ LAT} - 0.0213 z + 0.900 \text{ TRMM}$      | 0.36                         |
| 2012        | آگوست        | $P = 1079 - 21.2 \text{ LONG} + 3.0 \text{ LAT} - 0.0218 z - 0.450 \text{ TRMM}$    | 0.70                         |
| 2015        | Agu          | $P = 534 - 5.15 \text{ LONG} - 6.9 \text{ LAT} - 0.0089 z + 1.62 \text{ TRMM}$      | 0.26                         |
| 2012        | سپتامبر      | $P = -2638 + 23.6 \text{ LONG} + 43.6 \text{ LAT} - 0.0159 z - 1.37 \text{ TRMM}$   | 0.16                         |
| 2015        | Sep          | $P = 247 - 24.0 \text{ LONG} + 28.6 \text{ LAT} + 0.0036 z + 1.02 \text{ TRMM}$     | 0.19                         |
| 2012        | اکتبر        | $P = -226 + 5.6 \text{ LONG} - 0.1 \text{ LAT} + 0.0059 z + 0.71 \text{ TRMM}$      | 0.11                         |
| 2015        | Oct          | $P = -584 + 21 \text{ LONG} - 16 \text{ LAT} - 0.0851 z + 1.82 \text{ TRMM}$        | 0.62                         |
| 2012        | نوامبر       | $P = -2008 + 10.8 \text{ LONG} + 39.5 \text{ LAT} - 0.0335 z + 1.46 \text{ TRMM}$   | 0.55                         |
| 2015        | Nov          | $P = 220 - 21.8 \text{ LONG} + 27.6 \text{ LAT} - 0.0246 z + 0.316 \text{ TRMM}$    | 0.72                         |
| 2012        | دسامبر       | $P = -1335 - 0.1 \text{ LONG} + 38.7 \text{ LAT} - 0.0523 z + 0.812 \text{ TRMM}$   | 0.62                         |
| 2015        | Dec          | $P = -1101 + 0.33 \text{ LONG} + 30.1 \text{ LAT} + 0.00747 z + 0.887 \text{ TRMM}$ | 0.39                         |
| 2012        | سالانه       | $P = 7980 - 53 \text{ LONG} - 123 \text{ LAT} - 0.158 z + 0.42 \text{ TRMM}$        | 0.27                         |
| 2015        | Annual       | $P = 4566 - 89 \text{ LONG} + 14 \text{ LAT} - 0.182 z + 0.77 \text{ TRMM}$         | 0.67                         |

کم‌ترین میزان اریبی خطا در بین روش‌های مورد بررسی مربوط به روش گرادیان خطی چهار بعدی می‌باشد، که میزان آن برابر صفر است. بر اساس نتایج ارزیابی خطا روش‌های مورد بررسی در این پژوهش (جدول‌های ۵ و ۶)، بهترین روش تخمین بارش در استان مازندران، روش گرادیان خطی چهار بعدی می‌باشد که می‌توان به این نتیجه دست یافت که استفاده از متغیر کمکی ماهواره تی ار ام باعث افزایش دقت روش‌های تخمین بارش و کاهش خطا روش‌ها می‌شود.

برای تحلیل رگرسیونی روش‌های مورد استفاده در این پژوهش، نمودار سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ رسم شد که نتیجه آن‌ها یکسان و مشابه هم بود، به همین منظور از نمودار داده‌های مربوط به سال ۲۰۱۵ که در شکل ۲ آمده استفاده گردید. نمودار برآورد و مقدار واقعی بارش در مقابل یکدیگر ترسیم شد و معادله خط برای روش‌های مختلف درون‌یابی نیز بر داده‌ها برازش یافت. با توجه به معادلات و نمودار حاصل، بهترین معادله خط مربوط به روش گرادیان چهار بعدی می‌باشد که نزدیک‌ترین خط نسبت به سایر روش‌ها به خط ۱:۱ می‌باشد. نتایج تحلیل رگرسیونی روش گرادیان چهار بعدی را به عنوان روش برتر معرفی نمود.

برای ارزیابی روش‌های تخمین بارش مورد بررسی از میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب استفاده شد. برای مقایسه بهتر روش‌های درون‌یابی با روش ترکیبی جدول میانگین مربعات خطا و جدول خطای اریب آورده شد، با توجه به جدول‌های ۵ و ۶، چنین استنباط می‌شود، که کم‌ترین خطا تخمین بارش در استان مورد نظر مربوط به روش گرادیان ۴ بعدی می‌باشد و ماهواره تی ار ام به تنهایی نتوانسته است تخمین مناسبی داشته باشد، هم‌چنین روش‌های درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله نیز دارای خطای قابل‌توجهی بوده‌اند به‌طوری که روش گرادیان خطی چهار بعدی در سال ۲۰۱۵ خطای روش‌های کریجینگ و وزنی عکس فاصله را به ۲۵ درصد کاهش داده و خطای ماهواره تی ار ام را حدود ۴۰ درصد کاهش داده است. هم‌چنین این روش، در سال ۲۰۱۲ روش‌های کریجینگ و وزنی عکس فاصله را ۲۰ درصد و خطای ماهواره تی ار ام را ۳۰ درصد کاهش داده است.

بررسی میانگین خطای اریب روش‌های تخمین بارش این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین میزان خطا را ماهواره تی ار ام در هر دو سال داشته است که میزان خطای آن در جدول‌های ۵ و ۶ مشخص است.

جدول ۵- مقادیر میانگین مربعات خطا و خطای اریب روش‌های تخمین بارش برای داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه ۲۰۱۲.

**Table 5. RMSE and MBE values of interpolation method for monthly and annual rainfall data for 2012.**

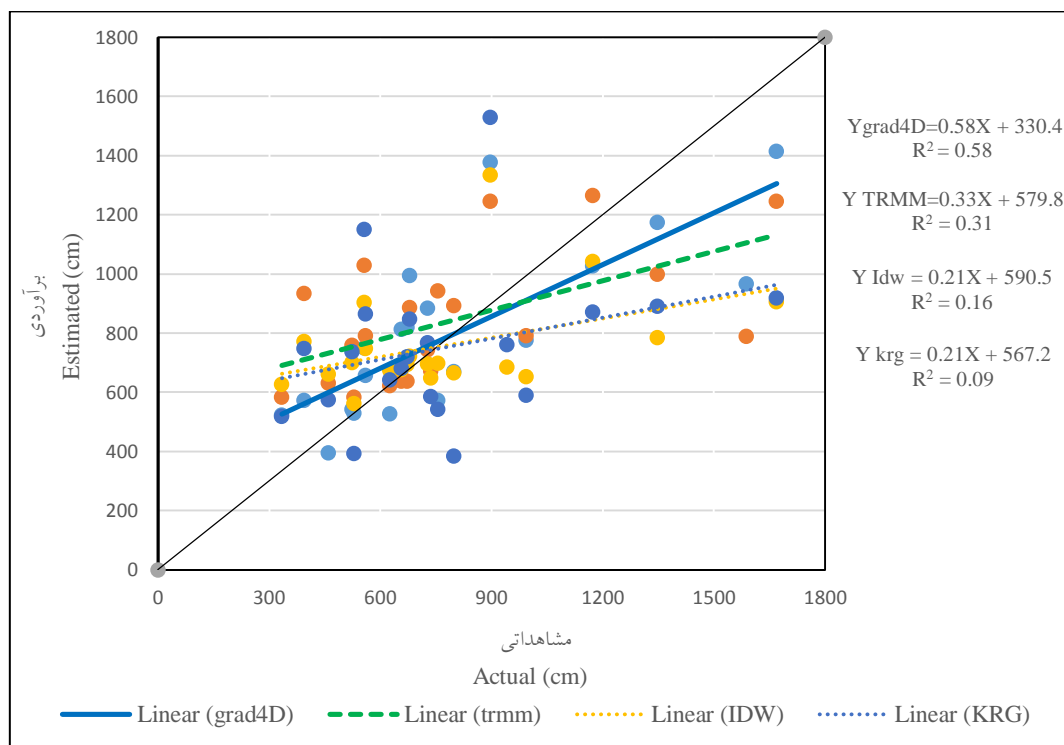
| TRMM  |       | کریجینگ<br>KRG |       | وزنی عکس فاصله<br>IDW |       | گرادیان ۴ بعدی<br>Grad4D |     | ماه<br>Month     |
|-------|-------|----------------|-------|-----------------------|-------|--------------------------|-----|------------------|
| RMSE  | MBE   | RMSE           | MBE   | RMSE                  | MBE   | RMSE                     | MBE |                  |
| 40.4  | -0.7  | 43.5           | -6.3  | 43.2                  | -4.4  | 37.3                     | 0   | ژانویه<br>Jan    |
| 56.8  | -15.0 | 59.4           | -7.3  | 58.5                  | -8.9  | 52.4                     | 0   | فوریه<br>Feb     |
| 23.4  | -10.5 | 21.7           | -2.8  | 21.3                  | -3.5  | 17.5                     | 0   | مارس<br>Mar)     |
| 14.5  | -0.6  | 18.4           | -7.0  | 20.0                  | -8.0  | 9.2                      | 0   | آوریل<br>Apr     |
| 15.9  | -1.6  | 16.6           | -5.5  | 17.3                  | -6.3  | 12.8                     | 0   | می<br>May        |
| 28.2  | -8.0  | 30.2           | -5.3  | 31.0                  | -4.8  | 23.7                     | 0   | ژوئن<br>June     |
| 30.8  | -14.2 | 24.2           | -1.3  | 24.7                  | -6.1  | 19.0                     | 0   | ژوئیه<br>July    |
| 28.2  | -15.4 | 28.9           | -5.1  | 26.7                  | -6.7  | 15.0                     | 0   | آگوست<br>Agu     |
| 58.0  | -34.1 | 60.8           | -11.8 | 53.0                  | -11.5 | 41.4                     | 0   | سپتامبر<br>Sep   |
| 73.8  | -64.4 | 43.6           | -6.8  | 39.6                  | -6.5  | 35.5                     | 0   | اکتبر<br>Oct     |
| 65.4  | -15.8 | 82.0           | -14.4 | 80.9                  | -15.8 | 51.0                     | 0   | نوامبر<br>Nov    |
| 63.2  | -6.5  | 63.0           | -11.6 | 63.0                  | -13.8 | 37.7                     | 0   | دسامبر<br>Dec    |
| 305.1 | -187  | 278.9          | -22.5 | 271.8                 | -26.7 | 214.4                    | 0   | سالانه<br>Annual |



جدول ۶- مقادیر میانگین مربعات خطا و خطای اریب روش‌های تخمین بارش برای داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه ۲۰۱۵.

**Table 6. RMSE and MBE values of interpolation method for monthly and annual rainfall data for 2015.**

| TRMM  |       | کریجینگ<br>KRG |       | وزنی عکس فاصله<br>IDW |      | گرادیان ۴ بعدی<br>Grad4D |     | ماه<br>Month     |
|-------|-------|----------------|-------|-----------------------|------|--------------------------|-----|------------------|
| RMSE  | MBE   | RMSE           | MBE   | RMSE                  | MBE  | RMSE                     | MBE |                  |
| 34.1  | 8.2   | 40             | -4.8  | 40.8                  | -6.6 | 26                       | 0   | ژانویه<br>Jan    |
| 32.5  | 15.0  | 27.8           | -0.7  | 27                    | -3.1 | 18.7                     | 0   | فوریه<br>Feb     |
| 28.8  | -6.3  | 20.1           | -2.3  | 22.7                  | -3.6 | 18.8                     | 0   | مارس<br>Mar      |
| 24.8  | -6.4  | 27.7           | 0.4   | 26.5                  | -2.2 | 19.0                     | 0   | آوریل<br>Apr     |
| 11.4  | 0     | 12.5           | -0.2  | 13.2                  | 0.1  | 10.6                     | 0   | می<br>May        |
| 29.1  | -20.3 | 22.3           | -0.2  | 23.4                  | 1.2  | 18.3                     | 0   | ژوئن<br>June     |
| 34.1  | 2.7   | 46.6           | -7.6  | 43.6                  | -8.7 | 29.9                     | 0   | ژوئیه<br>July    |
| 33.3  | -20.9 | 30.6           | -3.2  | 31.1                  | 1.3  | 24.4                     | 0   | اگوست<br>Agu     |
| 59.9  | -36.1 | 50.3           | -7.5  | 46.7                  | -7.3 | 39.1                     | 0   | سپتامبر<br>Sep   |
| 110.5 | 6.1   | 146.1          | -5.1  | 143                   | -4   | 83.6                     | 0   | اکتبر<br>Oct     |
| 41.6  | -19.1 | 36.5           | -5.3  | 37.7                  | -8.1 | 24.1                     | 0   | نوامبر<br>Nov    |
| 26.1  | -13.7 | 33.1           | -4.3  | 32.2                  | -5.6 | 21.2                     | 0   | دسامبر<br>Dec    |
| 246.4 | -56.5 | 339.1          | -14.6 | 291.4                 | -8.6 | 181.1                    | 0   | سالانه<br>Annual |



شکل ۲- تحلیل رگرسیونی روش‌های مختلف مکانی کردن داده‌های بارش سالانه ۲۰۱۵.

Figure 2. Regression analysis of different methods of locating precipitation data for 2015.

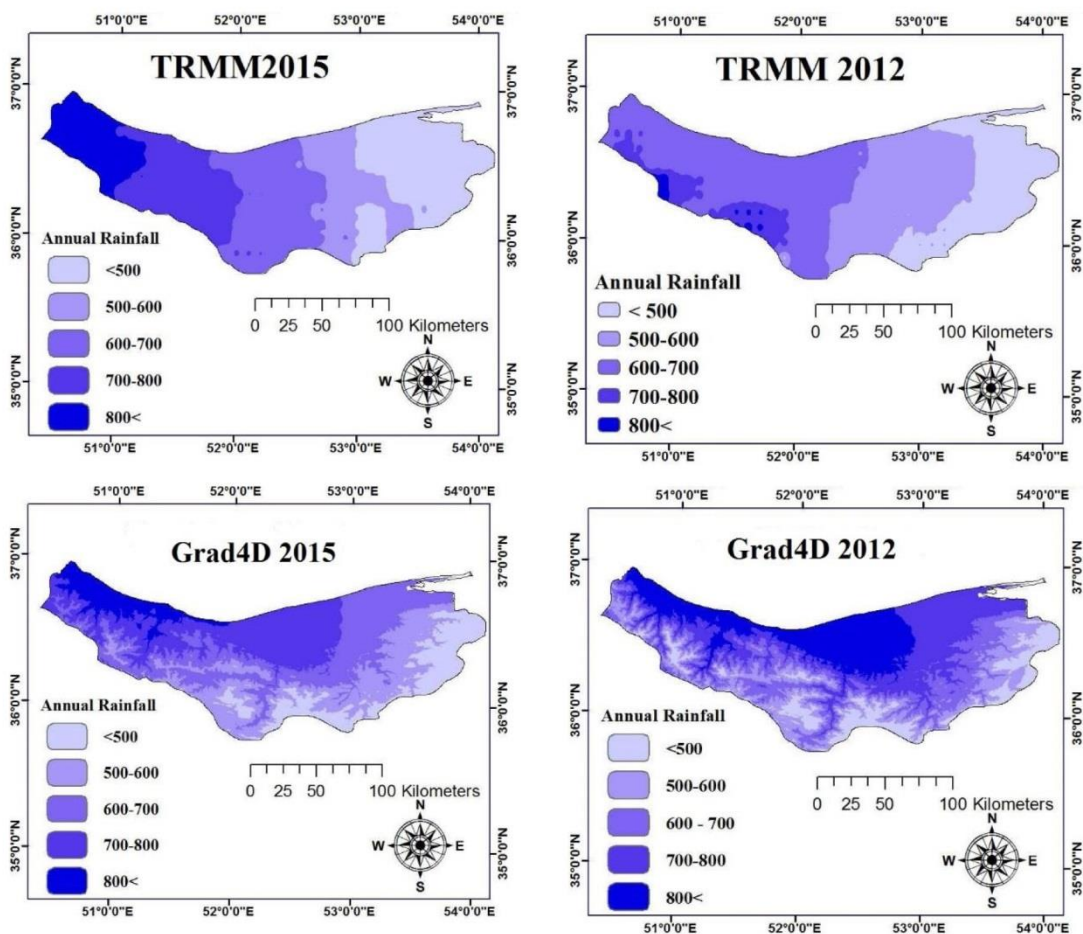
می‌رویم از حجم بارشی استان کاسته می‌شود. از ایرادات وارد بر نقشه‌های هم‌بارش رسم شده با استفاده از ماهواره تی‌آر ام ام تفکیک نکردن بارش سواحل از کوهستان استان است و ایراد دیگر آن تغییرات بارشی استان را این ماهواره بر اساس طول جغرافیایی تفکیک کرده است. از بررسی نقشه‌های هم‌بارش حاصل از روش گرادیان خطی چهار بعدی یا تی‌آر ام ام اصلاح شده، در هر دو سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که از غرب به سمت شرق استان، میزان بارش کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین میزان بارش سواحل بیش‌تر از ارتفاعات می‌باشد، به‌طوری‌که بیش‌ترین بارش را در ارتفاع کم‌تر از ۷۰۰ متر نشان می‌دهد و با افزایش ارتفاع تا ارتفاع ۲۰۰۰ متر میزان بارش کاهش پیدا می‌کند، اما از ارتفاع ۲۰۰۰ متر به بالا میزان بارش روند مشخصی ندارد و بین ۴۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر در نوسان است، که

به‌منظور مقایسه و درک بهتر عملکرد روش گرادیان ۴ بعدی در اصلاح داده‌های ماهواره تی‌آر ام ام در برآورد بارش ماهانه و سالانه استان مازندران، نقشه‌های هم‌بارش سالانه ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ تهیه شدند. این نقشه‌ها در محیط نرم‌افزاری آرک‌جی‌آی اس ترسیم شد و برای تهیه نقشه گرادیان چهار بعدی، از معادلات جدول ۵ استفاده شد. هم‌چنین نقشه هم‌بارش استان با استفاده از داده‌های شبکه ماهواره‌ای تی‌آر ام ام نیز تهیه گردید که در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد.

نقشه توزیع مجموع بارندگی در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ با استفاده از ماهواره تی‌آر ام ام را شکل ۳ نشان می‌دهد. دامنه بارندگی در استان در این دو سال بر اساس نقشه هم‌بارش بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر بوده است. از هر دو نقشه این نتایج استناد می‌شود که بارش استان در غرب بیش‌تر بوده و هرچه به شرق

است که نقشه گرادیان چهار بعدی نسبت به نقشه رسم شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ارام ام از دقت بالاتری برخوردار بوده و میزان بارش نزولی استان را بهتر تشخیص می‌دهد. با توجه به تحلیل نتایج و نقشه‌های ارائه شده در شکل‌های زیر، بهترین نقشه هم‌بارش مربوط به روش‌های گرادیان خط چهاربعدی می‌باشد، که این مسأله نیز بیانگر افزایش دقت روش‌های به کار برده شده با استفاده از پارامتر کمکی تصویر ماهواره‌ای نسبت به سایر روش‌ها است.

نشان‌دهنده توپوگرافی پیچیده استان و نقش آب و هوای محلی بر میزان بارش استان است. علاوه بر این نقشه‌های تهیه شده توسط این روش به خوبی نشان می‌دهد که حلقه پر بارش استان از سواحل غربی تا سواحل مرکزی استان در نزدیکی فریدون‌کنار تشکیل می‌شود هم‌چنین شیب تغییرات بارش-ارتفاع در غرب استان بیش‌تر از شرق می‌باشد که دلیل آن توپوگرافی خاص غرب استان مازندران است. نقشه هم‌بارش گرادیان خطی چهار بعدی، بخش غربی استان را به چند بخش بارشی تفکیک کرده است. در مجموع ارزیابی دقیق نقشه‌های به دست آمده بیانگر آن



شکل ۳- نقشه هم بارش استان مازندران با داده‌های شبکه‌ای ارام ام و روش گرادیان ۴ بعدی در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵.

Figure 3. Precipitation map of Mazandaran province, with network data (TRMM) and 4-dimensional gradient method (Reg4D) in 2012 and 2015.

### نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش به منظور بررسی امکان ترکیب محصولات بارش ماهواره‌ای و روش‌های درون‌یابی انجام شد و علاوه بر بررسی دقت داده‌های شبکه بارش تی آر ام ام، دقت روش پیشنهادی با روش‌های درون‌یابی نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از متغیرهای کمکی که همبستگی معقول و قابل قبولی با داده‌های بارش داشته باشند تخمین بهتری از داده‌های بارش به‌خصوص در مناطق سخت‌گذر و فاقد داده ثبت‌شده بارش دارد که این با نتایج یوسفی و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد (۲۵). بررسی نقشه هم‌بارش استان با روش‌های مورد بررسی بیانگر برتری نقشه به‌دست‌آمده از روش ترکیبی بود. تحلیل نقشه هم‌بارش با روش منتخب نشان داد بیش‌تر مناطق غربی استان، میزان بارش بیش از ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال را تجربه می‌کنند. هم‌چنین میزان بارش نزولی در برخی از دره‌های اطراف قله مرتفع و رشته‌کوه البرز برابر بارش نزولی مناطق ساحلی و کم‌ارتفاع بوده که این نکته نقش مهمی در دبی رودخانه‌های جاری در اطراف دره‌های استان دارد. افزون بر این نقشه هم بارش نشان‌دهنده وقوع بارش کمتر در ارتفاعات شرقی نسبت به ارتفاعات غرب استان است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد، محصولات بارش ماهواره‌ای به‌تنهایی دقت مناسبی در تخمین مکانی بارش نداشته اما ترکیب آن‌ها با روش‌های درون‌یابی به‌عنوان یک پارامتر کمکی باعث افزایش دقت تخمین مکانی بارش و نقشه‌های هم بارش می‌شود.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از اداره کل هواشناسی استان مازندران و شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان

مازندران به جهت تسهیل دسترسی به داده‌های بارشی استان، تقدیر و تشکر می‌نمایند.

### داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

بخشی از داده‌های این تحقیق برگرفته از سایت شبکه ماهواره‌ای TRMM است، که همه داده‌ها از طریق لینک <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/> قابل دانلود هستند. هم‌چنین بخشی از داده‌های این مقاله برگرفته از پایان‌نامه فوق‌لیسانس نویسنده اول است که با مکاتبه با اداره کل هواشناسی و وزارت نیرو مهیا شده است.

### تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

### مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این متن به شکل ذیل است: نویسنده اول: دسترسی و آماده‌سازی داده‌ها، آنالیز داده‌ها و ترسیم نقشه‌ها. نویسنده دوم: روش‌شناسی، طرح تحقیق، اصلاح و نهایی سازی مقاله. نویسنده سوم: نظارت بر تحقیق و اصلاح مقاله.

### اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

### حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش در قالب پژوهانه پژوهشی نویسنده دوم، این مطالعه بوده است.

### منابع

1. Alexakis, D.D., and Tsanis, I.K. 2016. Comparison of multiple linear regression and artificial neural network models for downscaling TRMM precipitation products using MODIS data. *Environmental Earth Sciences*. 75: 14. 67-77.
2. Amini, M., Dezful, A., and Azadi, M. 2019. Comparison of precipitation zoning on Iran using different interpolation methods and in a case-by-case manner. *Nevar Journal of meteorological organization*. 18: 101. 67-74.
3. Arowolo, A., Bhowmik, O.K.A., Qi, M., and Deng, X. 2017. Comparison of spatial interpolation techniques to generate high-resolution climate surfaces for Nigeria. *International Journal of Climatology*. 37: 1. 179-192.
4. Ataei, H., Tavana, M., and Parsa, L. 2014. Climate Analysis of Mazandaran Province and Mazandaran Province's Climate Zoning Using Gis. The Second national conference of Tourism, Geography and Stable Environment. 18: 3. 95-106. (In Persian)
5. Badpi, A., Kavianpour, M., and Moazami Goodarzi, S. 2017. Investigating the performance of precipitation algorithms in comparison with radar in Golestan and Mazandaran regions. 2<sup>nd</sup> International Conference on Civil Engineering, Architecture and Crisis Management. (In Persian)
6. Bostan, P., Heuvelink, G., and Akyurek, S. 2012. Comparison of regression and kriging techniques for mapping the average annual precipitation of Turkey. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 19: 1. 115-126.
7. De Mello Cunha, A., dos Santos, G.R., de Souza, E., Trindade, S.F., Filho, E.I.F., Lani, J.L., and França, M.M. 2012. Kriging and Cokriging for spatial interpolation of rainfall in Espírito Santo State, Brazil. *Proceedings of the 10th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, 10-13th July, Florianópolis, SC, Brazil. pp. 97-102.
8. Dellavari, D., Mirzai zade, M., and Tarek, M. 2014. Evaluation of Different Kriging Methods in Ilam Province Rain Zone. Second National Conference on Architecture, Civil and Urban Environment, Hamadan, Martyr Mofteh Callege. (In Persian)
9. Gao, F., Zhang, Y., Chen, Q., Wang, P., Yang, H., Yao, Y., and Cai, W. 2018. Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. *Atmospheric Research*. 212: 15. 150-157.
10. Ghaderpour, E., Ben Abbes, A., Rhif, M., Pagiatakis, S.D., and Farah, I. R. 2020. Non-stationary and unequally spaced NDVI time series analyses by the LSWAVE software. *International Journal of Remote Sensing*, 41: 6. 2374-2390.
11. Guo, H., Chen, S.H., Bao, A., Behrangi, A., Hong, Y., Ndayisaba, F., Junjun, H.U., and Stepanian, P.M. 2016. Early Assessment of Integrated Multi-Satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement over China. *Journal of Atmospheric Research*. 176: 14. 121-133.
12. Hosseini Moghari, S.M., Iraquejad, S.H., and Ebrahimi, K. 2016. Evaluation of global rainfall bases and their application in drought monitoring-Case (Karkheh basin). *Journal of Agricultural Meteorology*. 102: 2. 14-26.
13. Jamei, M., and Mousavi Baigi, M. 2013. Spatial and zoning estimation of reference evapotranspiration in Khuzestan province. *Journal of Geography and Regional Development (Research Journal)*. 11: 21. 23-43.
14. Kumari, M., Basistha, A., Bakimchandra, O., and Singh, K.C. 2016. Comparison of spatial interpolation methods for mapping rainfall in Indian Himalayas of Uttarakhand region. *Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment*. Springer, Cham, Switzerland. 104: 56. 156-165.
15. Nabi Pur, Y., and Vafa Khah, M. 2017. Comparison of Different Geostatistical Methods for Estimating

- Rainfall in Haji Ghoshan Watershed. *Journal of range and watershed management*. 2: 69. 487-502.
16. Nadi, M., Jamei, M., Bazrafshan, J., and Janat Rostami, S. 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)
  17. Nadi, M., Khalili, A., Pour Tahmasi, K., 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)
  18. Poméon, T., Jackisch, D., and Diekkrüger, B. 2017. Evaluating the performance of remotely sensed and reanalysed precipitation data over West Africa using HBV light. *Journal of Hydrology*. 547: 103. 222-235.
  19. Seyf, S., and Sherafati, A. 2021. Analysis of TRMM precipitation data uncertainty in groundwater level modeling of Rafsanjan plain. *Journal of Water and Irrigation Managemen*. 11:2.207-22. DOI: 10.22059/jwim.2021.319364.862.
  20. Sharifi, A., Saghafian, B., and Hold Stein Ker, R. 2016. Efficiency of the latest product manufacturers of satellite evaluation with high resolution. The first national conference on water resources management, Kurdistan University. (In Persian)
  21. Tan, M.L., and Santo, H. 2018. Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric Research*. 202: 64. 63-76.
  22. Ten, M.L., Ibrahim, A.L., Duan, Z.H., Cracknell, A.P., and Chaplot, V. 2015. Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia, *remote Sens*. 58: 7. 1504-1528.
  23. 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*. 152: 78. 242-251.
  24. Yang, X., Xiaojin, X., Liu, D., Ji, F., and Wang, L. 2015. Spatial Interpolation of Daily Rainfall Data for Local Climate Impact Assessment over Greater Sydney Region, *Advances in Meteorology*. 655p.
  25. Yousefi Kabria, A., Nadi, M., and Sheikhi Arjanki, S.H. 2020. Increase the accuracy of monthly and annual precipitation maps using covariates in Mazandaran province. *Iranian Water Researches Journal*. 14: 3. 107-114. (In Persian)