



## Evaluation of the Accuracy of the GPM Satellite Precipitation Product (Case Study of Mazandaran Province)

Alireza Yousefi Kebriya<sup>\*1</sup>, Mehdi Nadi<sup>2</sup>

1. PhD student in Agricultural Meteorology, Faculty of Agricultural Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Agricultural Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

\*Corresponding Author: [a.yousefi@stu.sanru.ac.ir](mailto:a.yousefi@stu.sanru.ac.ir)

### Keywords:

Auxiliary parameters,  
Precipitation estimation,  
Mazandaran, Grad-GPM.

### Extende Abstract

#### Introduction

Accurate spatial estimation of rainfall is very important in hydrological simulations. Despite the development of automatic rain gauge stations in recent years, obtaining reliable precipitation data in data-poor areas is still a major challenge. Rain gauge stations measure rainfall data and depth at a point. However, their main shortcoming is that their measurements are point-based and do not provide sufficient surface coverage of the desired area. Although measurements in small areas are relatively accurate, they are not applicable to large basins. This research evaluates the accuracy of GPM satellite precipitation products in Mazandaran province.

#### Materials and Methods

In this research, the accuracy of GPM satellite precipitation products was compared with image interval weighted interpolation and kriging methods. For this purpose, 21 meteorological stations and 24 monthly and 2 annual GPM satellite images were used in 2015 and 2017. The evaluation of the methods was done using mean square error, deviation error, absolute mean percentage of error. Also, annual rainfall maps of the province were drawn and analyzed for 2015 and 2017.

#### Results and Discussion

The results showed that GPM satellite precipitation products have a high bias error. This means the amount of overestimation/underestimation of this satellite reaches more than 140 mm per year. Of course, the interpolation methods of kriging and dis-

### Received:

22 Mar 2022

### Revised:

13 May 2023

### Accepted:

29 May 2023

### How to cite this article:

Yosefi Kebriya, A., & Nadi, M. (2023). Checking the accuracy of GPM satellite rainfall estimation (case study of Mazandaran province). *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(3), 1-14. [10.22077/JDCR.2023.6232.1022](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6232.1022).



tance image weighting also have a significant error and do not accurately distinguish between small and large circles of the province. Investigating and evaluating the possibility of combining the rainfall products of the desired satellites with latitude and longitude and altitude variables in most of the 4D gradient equations showed that the Grad-GPM combined method has significantly increased the accuracy of the spatial estimation of precipitation. And it reduces the error of GPM satellite and interpolation methods by 25 to 40%. Also, annual rainfall maps of 2015 and 2017 were drawn to compare and better understand the performance of Grad-GPM method in modifying GPM satellite data in monthly and annual rainfall estimation of Mazandaran province in GIS software environment. They were compared with the precipitation maps of Kriging, IDW and GPM satellite methods. It was compared with the precipitation maps of methods Kriging, IDW and GPM satellites. From the examination of the precipitation maps obtained by Grad-GPM methods, in both 2016 and 2018, it is concluded that the precipitation amount decreases from the west to the east of the province. Also, the amount of rainfall on the coasts is more than in the heights, so that it shows the highest amount of rainfall at an altitude of less than 700 meters, and with the increase of the altitude up to 2000 meters, the amount of rainfall decreases. But from the height of 2000 meters above, the amount of precipitation does not have a clear trend and fluctuates between 400 and 900 mm. This indicates the complex topography of the province and the role of local climate on the amount of precipitation in the province. In addition, the maps prepared by these methods clearly show that the heavy rainfall ring of the province is formed from the western coast to the central coast of the province near Fereydon Kenar. Also, the slope of rainfall-altitude changes in the west of the province is higher than in the east, which is due to the special topography of the west of Mazandaran province. The Grad-GPM precipitation map separates the western part of the province into several rainfall sections. In total, the detailed evaluation of the obtained maps indicates that the Grad-GPM map is more accurate than the map drawn using GPM satellite data and KRG and IDW methods, and the amount of rainfall in the province is better recognized.

### **Conclusion**

The results showed that the use of auxiliary variables that have a reasonable and acceptable correlation with rainfall data reduces the error of rainfall data estimation by 25-35% and has a better estimation of rainfall data, especially in inaccessible areas with no recorded rainfall data. The results of the present research showed that satellite precipitation products alone do not have proper accuracy in the spatial estimation of precipitation and its use brings a lot of bias error, but their combination with interpolation methods as an auxiliary parameter increases the accuracy of spatial estimation of precipitation and It rains maps too. Also, the method presented in this research can be used to modify satellite precipitation products.



## بررسی دقت تخمین بارش ماهواره‌ای GPM (مطالعه موردی استان مازندران)

علیرضا یوسفی کبری<sup>۱\*</sup>، مهدی نادى<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران  
 ۲. استادیار گروه هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران  
 \*نویسنده مسئول: a.yousefi@stu.sanru.ac.ir

### چکیده

### واژه‌های کلیدی:

پارامترهای کمکی، تخمین بارش، مازندران، Grad-GPM.

تخمین مکانی دقیق بارندگی اهمیت زیادی در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی دارد. علی‌رغم توسعه‌ی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی خودکار در سال‌های اخیر، دستیابی به داده‌های قابل اعتماد بارش در مناطق فاقد داده هنوز یک چالش بزرگ است. هدف از این تحقیق ارزیابی دقت محصولات بارش ماهواره‌ای GPM در استان مازندران می‌باشد. در این راستا دقت محصولات بارش ماهواره‌ای با روش‌های درون‌یابی وزنی عکس فاصله و کریجینگ مقایسه شد. برای این منظور از داده‌های ۲۱ ایستگاه هواشناسی و ۲۴ تصویر ماهانه و ۲ تصویر سالانه ماهواره‌ی GPM در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ استفاده شد. ارزیابی روش‌ها با استفاده از شاخص‌های میانگین مربعات خطا، خطای اریب و میانگین مطلق درصد خطا انجام شد. همچنین نقشه‌های هم‌بارش سالانه استان نیز برای دو سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ ترسیم و تحلیل گردید. نتایج نشان داد که محصولات بارش ماهواره‌ی GPM دارای خطای اریبی بالایی بوده به طوری که میزان بیش برآوردی/کم برآوردی این ماهواره به بیش از ۱۴۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. البته روش‌های درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله نیز دارای خطای قابل توجهی بوده و تشخیص دقیقی از حلقه‌های کم‌بارش و پر‌بارش استان ندارند. بررسی و ارزیابی امکان ترکیب محصولات بارش ماهواره‌های موردنظر با متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع در غالب معادلات گرادیان چهار بعدی نیز نشان داد روش ترکیبی Grad-GPM باعث افزایش دقت قابل توجه تخمین فضایی بارش شده و خطای روش‌های درون‌یابی و ماهواره‌ی GPM را حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد. به‌علاوه بررسی نقشه‌های هم‌بارش نیز بیانگر افزایش دقت روش‌های ترکیبی نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد.

### تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۱/۰۲

### تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۲/۲۳

### تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۳/۰۸

## مقدمه

بارش یک متغیر اساسی در تحلیل‌های آب و هوایی بوده که بر فعالیت‌های انسانی تأثیر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد. تغییرات در میزان بارندگی در مناطق مختلف زمین مستقیماً بر میزان دسترسی میلیون‌ها نفر از مردم به آب تأثیر می‌گذارد. تخمین دقیق بارش در مناطق وسیع، مدیریت کارآمد آب را تا حد زیادی ممکن می‌سازد. بارش مهم‌ترین عامل تحلیل چرخه آب و متغیر اصلی در شبیه‌سازی مخاطرات طبیعی از قبیل سیل، خشکسالی و رانش زمین است (Azizian and Ramezani, 2019). تغییرات مکانی-زمانی بارش در چرخه هیدرولوژیکی، تعاملات زمین - جو و همچنین مدیریت منابع آبی اهمیت زیادی دارد (Modaresi et al., 2010). یکی از عوامل محدودکننده تحقیقات در زمینه هواشناسی و علوم آب در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، کمبود اطلاعات پایه نظیر بارش است. این کمبود شامل کوتاه بودن طول سری زمانی و یا پراکنش کم ایستگاه‌های برداشت اطلاعات است. علاوه بر این کمبود اطلاعات بارشی همواره یکی از محدودیت‌های اصلی تحقیقات و مطالعه در زمینه مهندسی آب و هواشناسی بوده است (Yousefi et al., 2019). جهت تخمین میزان بارش از روش‌های مختلفی از جمله استفاده مستقیم از داده‌های ایستگاه‌های زمینی هواشناسی و مشاهدات مستقیم، به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌های سنجش از دور و یا استفاده از روش‌های دورن‌یابی که مبتنی بر روش‌های زمین آمار هستند، استفاده می‌شود (Guo et al., 2016). با توجه به اینکه در ایران و اکثر کشورهای در حال توسعه، شبکه‌های باران‌سنجی پراکنده بوده و در بعضی از مناطق نیز تعداد باران‌سنج‌ها محدود می‌باشد محاسبه بارش متوسط با استفاده از روش‌های دورن‌یابی منجر به افزایش خطا می‌شود (Kidd and Huffman, 2011). در مسیر توسعه سریع فناوری‌های مشاهداتی در دهه‌های اخیر، استفاده از امکانات سنجش از دور مزایای منحصر به فردی برای به‌دست آوردن اطلاعات دقیق بارش در بعد فضایی-زمانی در مناطقی که فاقد مشاهدات هواشناسی هستند، داشته است (Ning et al., 2016). در ارتباط با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

و روش‌های دورن‌یابی در تخمین مقدار بارش مطالعات زیادی صورت گرفته است که به طور نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. تن و سانتو (Tan and San-to, 2018)، به مقایسه داده‌های شبکه‌بندی GMP، IMPERG، TMPA 3B42 و PERSIANN-CDR در مالزی پرداختند. بر اساس شاخص‌های آماری نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی مناسب بودن تمام مجموع داده‌ها به جز PERSIANN-CDR بوده است. مددی و همکاران (Madadi et al., 2014)، 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. 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. جوان و همکاران (Javan et al., 2017) 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 پرداختند که نتایج این تحقیقات بیانگر مطابقت قابل قبول داده‌های بارش برآورد شده با مقادیر ثبت شده ایستگاه‌های زمینی است. جاثو و همکاران (Gao et al., 2018)، به مقایسه دو مجموعه داده شبکه‌بندی‌شده ماهانه با وضوح بالا در سین کیانگ چین پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های CHIRPS نسبت به PERSIANN-CDR در مقیاس ماهانه و سالانه دارای دقت بیشتر می‌باشند. ورکلول و همکاران (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. یوسفی کبری یا و همکاران (Yousefi et al., 2021)، با اصلاح شبکه ماهواره‌ای TRMM با استفاده از روش گرادیمان چهار بعدی بارش استان مازندران را در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ تخمین زده و

بادهای محلی، عرض جغرافیایی متوسط و پیش آمدن توده هوای شمالی و غربی نسبت داد. با توجه به شرایط حاکم بر این ناحیه می‌توان آب و هوا را به سه دسته، آب و هوای معتدل و مرطوب خزری، آب و هوای معتدل کوهستانی و آب و هوای سرد کوهستانی تقسیم کرد (Nadi and Dasti Gerdi).

در این پژوهش از داده‌های ۲۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک و باران‌سنجی زمینی و از ۲۴ محصول بارش ماهانه و ۲ محصول سالانه ماهواره GPM استفاده شد. آمار مذکور از سایت [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/GPM/main](https://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/main) استخراج گردید. نقشه پراکنش ایستگاه‌ها در شکل (۱) قابل مشاهده است. با بررسی دوره آماری ایستگاه‌ها، از آمار سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ جهت انجام پژوهش مورد نظر استفاده شده است. با توجه به وجود محدودیت‌هایی از قبیل پیچیدگی توپوگرافی، شرایط اقلیمی خاص استان مازندران، تعداد اندک ایستگاه‌های باران‌سنجی با دوره‌ی بلند مدت به‌ویژه در ارتفاعات، تخمین بارش از طریق روش‌های درون‌یابی، تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور را دشوار می‌سازد. یافتن روش‌های مناسب برای گسترش شبکه بارشی استان مازندران، می‌تواند نقش به‌سزایی را در مطالعات بارش ایفا نماید.

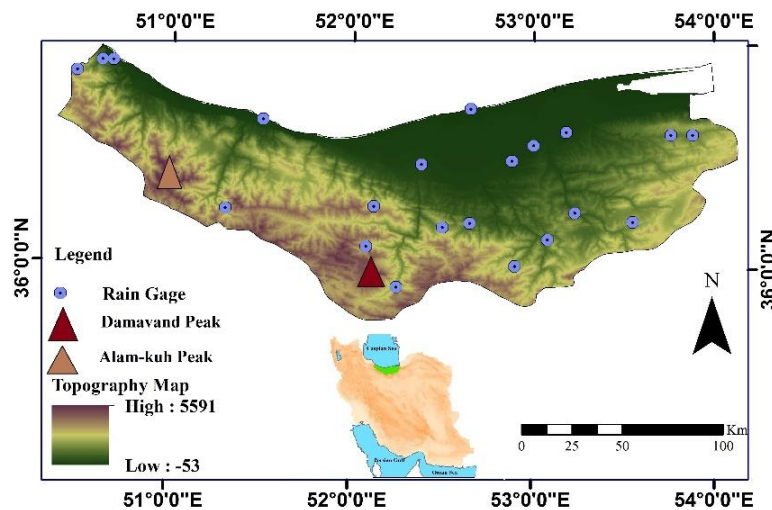
### ماهواره GPM

ماهواره GPM توسط NASA و JAXA به فضا پرتاب شد. تفکیک مکانی این ماهواره ۰/۱ در ۰/۱ درجه می‌باشد. این پایگاه از اطلاعات میکروویو، مادون قرمز و ایستگاهی برای تولید محصولات خود استفاده می‌کند. ماموریت GPM باعث کمک به بهبود پیش‌بینی رویدادهای حادی که باعث مخاطرات و سوانح طبیعی هستند، می‌شود و همچنین قابلیت‌های استفاده از اطلاعات دقیق و به روز بارندگی را افزایش می‌دهد. محصولات این پایگاه در مقیاس زمانی ۳۰ دقیقه‌ای، سه ساعته، روزانه، هفتگی و ماهانه با تأخیر زمانی حداقل شش ساعت تا حداکثر چهار ماه در درگاه GPM به فرمت‌های مختلف از جمله: HDF، ASCII، TXT، KMZ، NTCF موجود است (Hou et al., 2015).

نتایج بدست آمده نشان داد که اصلاح شبکه TRMM سبب افزایش ۳۰-۵۰ درصدی دقت این ماهواره شده است. آنچه قابل توجه است، این است که در استان مازندران با فقدان ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در نقاط ارتفاعی مواجه هستیم، از طرفی به دلیل توپوگرافی پیچیده استان، استفاده از روش‌های درون‌یابی و تصاویر ماهواره‌ای به تنهایی دارای دقت پایینی می‌باشند (Yousefi Kabria et al., 2021)، بررسی مطالعات گذشته نشان داد استان مازندران بخصوص در ارتفاعات رشته کوه‌های البرز دارای توپوگرافی پیچیده بوده و اغلب ایستگاه‌های هواشناسی در بخش جلگه‌ای استان پراکنده بوده و به دلیل ارتفاعات صعب العبور آن امکان احداث تراکم ایستگاه‌های هواشناسی وجود ندارد (Yousefi Kabria et al., 2019). از طرفی به دلیل قرارگیری بخشی از قله مرتفع ایران در ارتفاعات این استان و اهمیت ارتفاعات در مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی کشاورزی، مدیریت جنگل‌های هیرکانی و همچنین مدیریت گردشگری استان، دستیابی به داده‌های دقیق بارش در نقاط ارتفاعی فاقد داده هواشناسی اهمیت بسزایی دارد. لذا هدف از انجام این پژوهش ارائه یک روش جدید برای افزایش دقت نقشه‌های هم‌بارش بوسیله ترکیب محصول دما و بارش شبکه ماهواره‌ای GPM با روش‌های درون‌یابی در استان مازندران و مقایسه آن با داده‌های ماهواره‌ای GPM و افزایش دقت تخمین بارش با استفاده از روش درون‌یابی است.

### مواد و روش‌ها

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. شکل (۱) موقعیت استان مازندران را روی نقشه ایران به همراه نقشه پستی و بلندی‌های استان نشان می‌دهد. 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،



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

Fig1. Location of meteorological stations used in Mazandaran province

( Kruse et al., 2014 )

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

$$MAPE = 1/N \sum_{i=1}^N \frac{|\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)|}{Z(x_i)} \quad (3)$$

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

که در آن،  $Z(X_i)$  مقدار برآورد شده،  $Z(X_i)$  مقدار مشاهده شده و  $N$  تعداد داده‌ها هستند. در این پژوهش از نرم‌افزارهای GS+2018، Mini tab 16، Arc GIS 10.3، NDVI 5.3 و Excel 2016 استفاده شده است.

#### نتایج و بحث

از پارامترهای طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع ایستگاه‌ها و محصولات بارش ماهواره، برای ترکیب با روش درون‌یابی در این پژوهش استفاده شد. تحلیل معنی‌داری پارامترهای کمکی در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که افزایش ارتفاع در اغلب ماه‌ها به جز ماه‌های کم بارش (انتهای فصل بهار و تابستان) تأثیر منفی و معنی‌داری بر مقدار بارش در این استان دارد و همچنین داده‌های بارش در مقیاس سالانه همبستگی قابل قبولی با طول و عرض جغرافیایی نشان می‌دهد. اما در ماه‌های مختلف مورد بررسی، بارش همبستگی قوی با این دو متغیر نداشت. همچنین نتایج جدول (۱) نشان‌دهنده‌ی سطح معنی‌داری ۵ درصدی محصول بارش ماهواره‌ای GPM در اکثر ماه‌ها و داده‌های سالانه است. ماه‌هایی که با علامت ns مشخص شده‌اند، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار نداشتند.

#### معادله رگرسیون چند متغیره

رگرسیون خطی چندگانه یک روش تحلیل آماری برای پیدا کردن رابطه خطی بین یک متغیر پیش‌بینی‌شونده و یک یا چند متغیر پیش‌بینی‌کننده است. در این تحقیق از معادلات رگرسیون خطی چهار بعدی برای تخمین مکانی بارش استفاده شد. به طوری که محصولات بارش ماهواره‌های GPM در کنار ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی به عنوان پیش‌بینی‌کننده و متغیر بارش ماهانه و سالانه به عنوان متغیر پیش‌بینی‌شونده استفاده گردید. همچنین نقش محصولات ماهواره‌ای به عنوان متغیر کمکی در تخمین بارش استان مازندران آزموده شد. معادله رگرسیونی چهار بعدی مورد استفاده در این تحقیق به صورت رابطه (۱) می‌باشد (Nadi et al., 2013).

$$\hat{f}(s_0) = \hat{a}_0 + \hat{a}_1x + \hat{a}_2y + \hat{a}_3h + \hat{a}_4n \quad (1)$$

که در این رابطه  $\hat{a}_i$  ها پارامترهای معادله و  $x, y, h, n$  به ترتیب طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و داده بارش ماهواره‌ای می‌باشند.

#### معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی عدم قطعیت و محاسبه مقدار خطای روش‌های درون‌یابی و ماهواره‌ای GPM در این پژوهش از میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق درصد خطا و خطای اریب که به ترتیب به صورت روابط (۲) تا (۴) می‌باشند، استفاده گردید ( Ghaderpour et al., 2020 )

جدول ۱. تحلیل معنی‌داری پارامترهای کمکی با بارش در استان مازندران

Table 1. Significant analysis of auxiliary parameters with precipitation in Mazandaran province

GPM	ارتفاع Z	عرض Lat	طول Long	سال Year	ماه Month
0.12 <sup>ns</sup>	-0.27 <sup>ns</sup>	0.04*	0.07 <sup>ns</sup>	2016	ژانویه
-0.61*	-0.39*	0.60*	-0.60*	2018	(Jan)
0.14 <sup>ns</sup>	-0.04*	-0.13 <sup>ns</sup>	0.31*	2016	فوریه
0.56*	-0.27 <sup>ns</sup>	0.47*	-0.61*	2018	(Feb)
0.54*	-0.13 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	-0.49*	2016	مارس
0.15 <sup>ns</sup>	-0.35*	0.17 <sup>ns</sup>	-0.29 <sup>ns</sup>	2018	(Mar)
0.63*	0.81*	-0.37*	-0.31*	2016	آوریل
0.64*	0.34*	0.03*	-0.63*	2018	(Apr)
0.56*	0.36*	-0.17 <sup>ns</sup>	-0.53*	2016	می
0.52*	0.32*	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.52*	2018	(May)
0.37*	-0.16 <sup>ns</sup>	-0.04 <sup>ns</sup>	-0.33*	2016	ژوئن
0.14 <sup>ns</sup>	0.31*	-0.38*	-0.01*	2018	(Jun)
0.35*	0.12 <sup>ns</sup>	0.02*	-0.68*	2016	ژوئیه
0.37*	-0.51*	0.27 <sup>ns</sup>	-0.17 <sup>ns</sup>	2018	(Jan)
0.33*	-0.59*	0.59*	-0.56*	2016	اگوست
0.41*	-0.28 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	0.04*	2018	(Aug)
0.44*	-0.26 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	2016	سپتامبر
0.13 <sup>ns</sup>	-0.02*	0.11 <sup>ns</sup>	-0.31*	2018	(Sep)
0.26 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	-0.13 <sup>ns</sup>	0.31*	2016	اکتبر
0.61*	-0.48*	0.58*	-0.57*	2018	(Oct)
0.28 <sup>ns</sup>	-0.52*	0.41*	-0.26 <sup>ns</sup>	2016	نوامبر
0.52*	-0.48*	0.65*	-0.65*	2018	(Nov)
-0.13 <sup>ns</sup>	-0.71*	0.53*	-0.22 <sup>ns</sup>	2016	دسامبر
0.36*	0.1*	0.45*	-0.44*	2018	(Dec)
0.10 <sup>ns</sup>	0.41*	0.27 <sup>ns</sup>	-0.26 <sup>ns</sup>	2016	سالانه
0.60*	-0.47*	0.57*	-0.57*	2018	(Annual)

<sup>ns</sup>: Non significant ، \* : significant in 95% confidence level

به نتایج جدول (۲)، 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 چهار بعدی با متغیرهای طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و تصاویر ماهواره GPM، در مقیاس ماهانه و سالانه محاسبه شد که در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

در این پژوهش به منظور افزایش دقت نقشه‌های هم‌بارش، از تصاویر ماهواره‌ای GPM برای ترکیب با روش‌های درون‌یابی استفاده گردید. به طوری که علاوه بر متغیرهای کمکی طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع، از تصاویر ماهواره‌ای محصولات بارشی GPM نیز به عنوان پارامتر کمکی جدید در معادله خط گرادیان استفاده و معادله خط Grad-GPM را برآورد گردید و در رسم نقشه‌های هم‌بارش بکار گرفته شد. با توجه

جدول ۲. معادله رگرسیونی اصلاح شبکه بارش GPM استان مازندران

Table 2. Regression equation for correction of GPM precipitation network of Mazandaran province

سال (Year)	ماه (Month)	GPM معادله رگرسیونی	R <sup>2</sup>
2016	ژانویه (Jan)	$P = 1313 + 0.5 \text{ LONG} - 35.3 \text{ LAT} - 0.0211 \text{ Z} + 0.55 \text{ GPM}$	0.12
2018		$P = 635 - 9.3 \text{ LONG} - 2.8 \text{ LAT} - 0.0230 \text{ Z} + 0.356 \text{ GPM}$	0.6
2016	فوریه (Feb)	$P = -350 + 16.7 \text{ LONG} - 12.6 \text{ LAT} - 0.0023 \text{ Z} + 0.34 \text{ GPM}$	0.08
2018		$P = 1326 - 2.5 \text{ LONG} - 31.3 \text{ LAT} - 0.0246 \text{ Z} + 0.41 \text{ GPM}$	0.54
2016	مارس (Mar)	$P = 632 + 6.8 \text{ LONG} - 26.4 \text{ LAT} - 0.00484 \text{ Z} + 0.835 \text{ GPM}$	0.31
2018		$P = 1397 - 11.6 \text{ LONG} - 19 \text{ LAT} - 0.0135 \text{ Z} - 0.07 \text{ GPM}$	0.26
2016	آوریل (Apr)	$P = 584 - 6.07 \text{ LONG} - 7 \text{ LAT} + 0.0163 \text{ Z} - 0.019 \text{ GPM}$	0.71
2018		$P = 1426 - 11.1 \text{ LONG} - 22.7 \text{ LAT} + 0.00212 \text{ Z} + 0.27 \text{ GPM}$	0.51
2016	می (May)	$P = 1442 - 11.5 \text{ LONG} - 22.3 \text{ LAT} + 0.00235 \text{ Z} + 0.018 \text{ GPM}$	0.41
2018		$P = 1175 - 15 \text{ LONG} - 9.8 \text{ LAT} + 0.00385 \text{ Z} - 0.73 \text{ GPM}$	0.39
2016	ژوئن (Jun)	$P = 2277 - 6.9 \text{ LONG} - 51.5 \text{ LAT} - 0.0179 \text{ Z} + 0.451 \text{ GPM}$	0.33
2018		$P = 1140 - 3.58 \text{ LONG} - 25.6 \text{ LAT} + 0.0036 \text{ Z} + 0.82 \text{ GPM}$	0.18
2016	ژوئیه (Jan)	$P = 2834 - 24.5 \text{ LONG} - 41.2 \text{ LAT} - 0.00604 \text{ Z} + 0.03 \text{ GPM}$	0.59
2018		$P = 248 + 19.3 \text{ LONG} - 35.7 \text{ LAT} - 0.0202 \text{ Z} + 1.46 \text{ GPM}$	0.39
2016	اگوست (Aug)	$P = 1056 - 19.1 \text{ LONG} + 0.4 \text{ LAT} - 0.0213 \text{ Z} - 0.124 \text{ GPM}$	0.71
2018		$P = 511 + 0.12 \text{ LONG} - 14.1 \text{ LAT} - 0.0087 \text{ Z} + 1.54 \text{ GPM}$	0.21
2016	سپتامبر (Sep)	$P = -726 + 5.3 \text{ LONG} + 12.2 \text{ LAT} + 0.0025 \text{ Z} + 1.10 \text{ GPM}$	0.22
2018		$P = -411 - 20.8 \text{ LONG} + 41.4 \text{ LAT} + 0.006 \text{ Z} + 1.16 \text{ GPM}$	0.24
2016	اکتبر (Oct)	$P = -629 + 10.5 \text{ LONG} + 5.6 \text{ LAT} + 0.0036 \text{ Z} + 0.5 \text{ GPM}$	0.11
2018		$P = 2052 - 15 \text{ LONG} - 32 \text{ LAT} - 0.0928 \text{ Z} + 0.74 \text{ GPM}$	0.61
2016	نوامبر (Nov)	$P = 171 + 2.4 \text{ LONG} - 5.5 \text{ LAT} - 0.0718 \text{ Z} + 0.451 \text{ GPM}$	0.53
2018		$P = 1312 - 18.4 \text{ LONG} - 7 \text{ LAT} - 0.0358 \text{ Z} + 0.266 \text{ GPM}$	0.74
2016	دسامبر (Dec)	$P = 431 - 17.4 \text{ LONG} + 17.4 \text{ LAT} - 0.049 \text{ Z} - 0.049 \text{ GPM}$	0.57
2018		$P = -2252 - 7.48 \text{ LONG} + 7.26 \text{ LAT} + 0.0164 \text{ Z} - 0.382 \text{ GPM}$	0.35
2016	سالانه (Annual)	$P = 9982 - 73 \text{ LONG} - 143 \text{ LAT} - 0.174 \text{ Z} + 0.083 \text{ GPM}$	0.24
2018		$P = 11493 - 170 \text{ LONG} - 49 \text{ LAT} - 0.196 \text{ Z} + 0.182 \text{ GPM}$	0.66

Grad-GPM باعث افزایش دقت روش‌های بکار رفته در پژوهش شده است، به طوری که روش Grad-GPM در سال ۲۰۱۸ (بارش سالانه) خطای روش‌های کریجینگ و وزنی عکس فاصله را به ترتیب ۲۵ درصد کاهش داده و خطای میانگین مربعات ماهواره‌ی GPM ۴۳ درصد کاهش یافته است. همچنین این روش‌ها، در سال ۲۰۱۶ خطای هرکدام از روش‌های کریجینگ و وزنی عکس فاصله را ۲۱ درصد و خطای ماهواره‌ی GPM را بیش از ۳۵ درصد کاهش داده است. بررسی خطای اریب روش‌های تخمین بارش این تحقیق نشان داد که بیش‌ترین میزان خطا را ماهواره‌ی GPM در هر دو سال داشته است، که میزان خطای آن در جدول (۳) ارائه شده است. کمترین میزان میانگین مطلق درصد خطا در بین روش‌های مورد بررسی مربوط روش Grad-GPM می‌باشد.

جهت ارزیابی روش‌های تخمین بارش مورد بررسی از میانگین مربعات خطا، خطای اریب، میانگین مطلق درصد خطا استفاده شد. برای مقایسه بهتر روش‌های درون‌یابی با روش ترکیبی جداول شاخص خطاها نیز آورده شد. در شکل (۲) و جدول (۳)، به ارزیابی و مقایسه روش‌های درون‌یابی وزنی عکس فاصله، کریجینگ و تصاویر ماهواره‌ی GPM و روش‌های ترکیبی Grad-GPM پرداخته شده است. با بررسی میانگین مربعات خطا چنین استنباط می‌شود، که کمترین خطای تخمین بارش در استان مورد نظر مربوط به روش Grad-GPM می‌باشد و ماهواره GPM به تنهایی نتوانسته است تخمین مناسبی داشته باشد. همچنین روش‌های درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله نیز دارای خطای قابل توجهی بوده‌اند. استفاده از روش ترکیبی



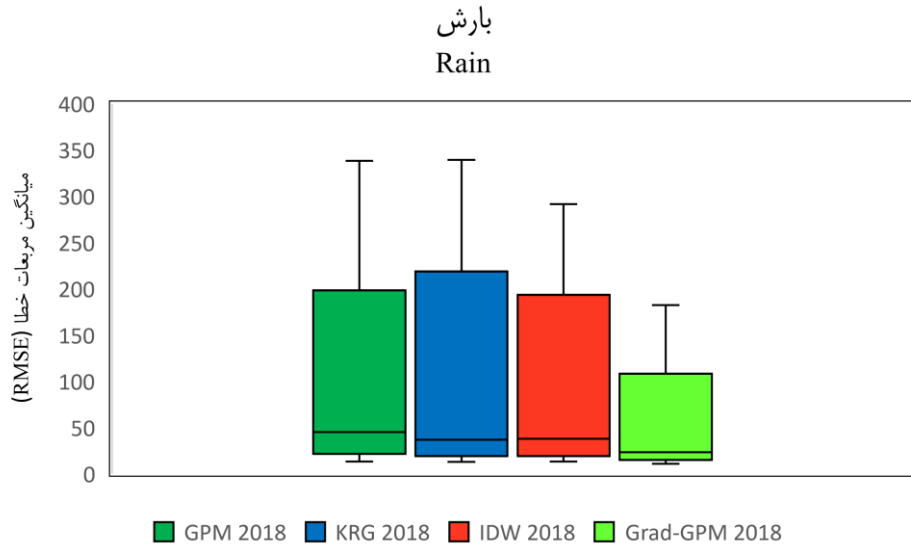
جدول ۳. مقادیر خطای اربب و میانگین مطلق درصد خطا روش‌های تخمین بارش

Table 3. MAPE and MBE values of rainfall estimation methods

Grad-GPM		GPM		کریجینگ (KRG)		وزنی عکس فاصله (IDW)		سال	ماه
MBE	MAPE	MBE	MAPE	MBE	MAPE	MBE	MAPE	(Year)	(Month)
0	0.30	42.4	0.43	-6.3	0.34	-4.4	0.35	2016	ژانویه
0	0.31	54.2	0.82	-4.8	0.39	-6.6	0.4	2018	(Jan)
0	0.40	57.1	0.48	-7.3	0.38	-8.9	0.45	2016	فوریه
0	0.19	56.5	0.5	-0.7	0.25	-3.1	0.22	2018	(Feb)
0	0.19	24.1	0.25	-2.8	0.24	-3.5	0.24	2016	مارس
0	0.22	45	0.5	-2.3	0.19	-3.6	0.23	2018	(Mar)
0	0.48	27.8	1.76	-7	1	-8	0.53	2016	آوریل
0	0.64	30.7	0.88	0.4	0.95	-2.2	0.92	2018	(Apr)
0	0.70	18	1.1	-5.5	0.75	-6.3	0.76	2016	می
0	1.13	13	2.2	-0.2	1.9	0.1	2.14	2018	(May)
0	0.49	21.2	0.63	-5.3	0.53	-4.8	0.56	2016	ژوئن
0	5.7	29	1.86	-0.2	7.4	1.2	8.52	2018	(Jun)
0	0.36	31.6	1.12	-1.3	0.48	-6.1	0.42	2016	ژوئیه
0	0.47	40	0.76	-7.6	0.66	-7.8	0.57	2018	(Jan)
0	0.46	30.8	1.12	-5.1	0.87	-6.7	0.79	2016	آگوست
0	0.61	29.5	0.43	-3.2	0.89	1.3	0.94	2018	(Aug)
0	0.71	41.2	0.68	-11.8	0.87	-11.5	0.43	2016	سپتامبر
0	0.45	50.9	0.4	-7.5	0.57	-7.3	0.53	2018	(Sep)
0	0.45	56.3	0.5	-6.8	0.45	-6.5	0.51	2016	اکتبر
0	0.46	118.9	1.13	-5.1	0.79	-4	0.96	2018	(Oct)
0	0.42	133.1	0.99	-14.4	0.44	-15.8	0.51	2016	نوامبر
0	0.28	59	0.59	-5.3	0.43	-8.1	0.42	2018	(Nov)
0	0.42	127.6	1.79	-11.6	0.58	-13.8	0.47	2016	دسامبر
0	0.33	34.3	0.63	-4.3	0.39	-5.6	0.36	2018	(Dec)
0	0.22	391.3	0.38	-22.5	0.26	-26.7	0.26	2016	سالانه
0	0.21	338/2	0.37	-45.4	0.37	-57.4	0.3	2018	(Annual)

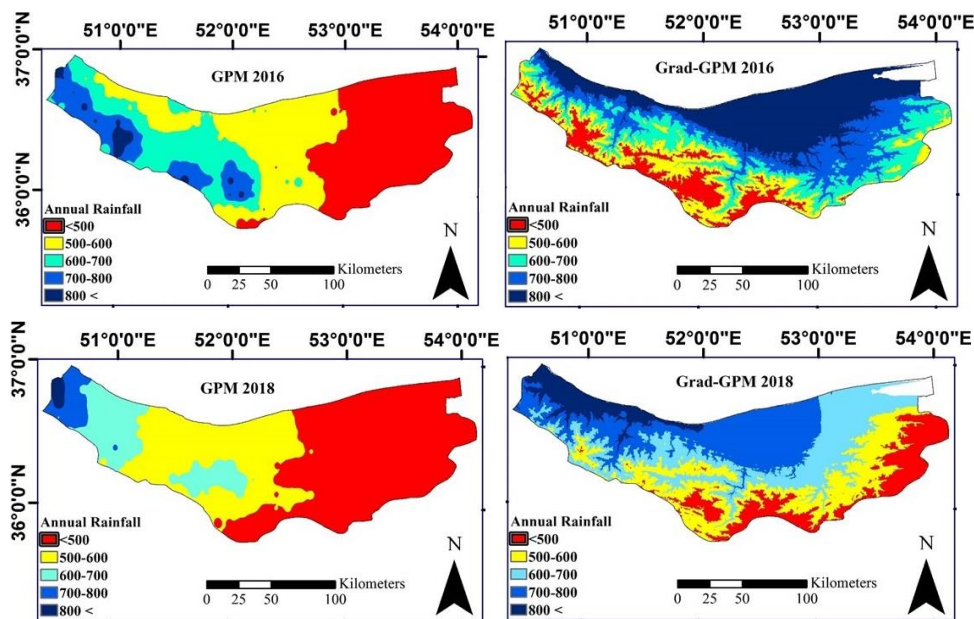
کمتر از ۵۰ درصد روش‌های معمول درون‌یابی است. نقشه‌های هم‌بارش سالانه ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ به‌منظور مقایسه و درک بهتر عملکرد روش Grad-GPM در اصلاح داده ماهواره‌ی GPM در برآورد بارش ماهانه و سالانه استان مازندران در محیط نرم افزاری Arc GIS ترسیم شد و برای تهیه نقشه Grad-GPM، از معادلات جدول شماره (۲) استفاده گردید. همچنین نقشه هم‌بارش استان با استفاده از داده‌های شبکه ماهواره‌ای GPM نیز تهیه گردید که در شکل (۳) قابل مشاهده می‌باشد.

به منظور درک بهتر از نوسانات میانگین مربعات خطای روش‌های مورد بررسی، نمودار جعبه‌ای آن‌ها ترسیم شد که در شکل (۲) نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد روش Grad-GPM خطای کمتری نسبت به ماهواره‌ی GPM دارد. همچنین به خوبی کاهش خطای ماهواره توسط روش معرفی شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. به علاوه خطای روش‌های درون‌یابی تقریباً از محصولات بارش ماهواره‌ای کمی بیشتر بوده است. اما بنظر می‌رسد خطای روش اصلاح شده تقریباً



شکل ۲. نمودار جعبه‌ای مقادیر میانگین مربعات خطا بارش

Fig2. Boxplot diagram of mean square error values of precipitation



شکل ۳. نقشه هم‌بارش استان با داده‌ی شبکه و روش ترکیبی در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸

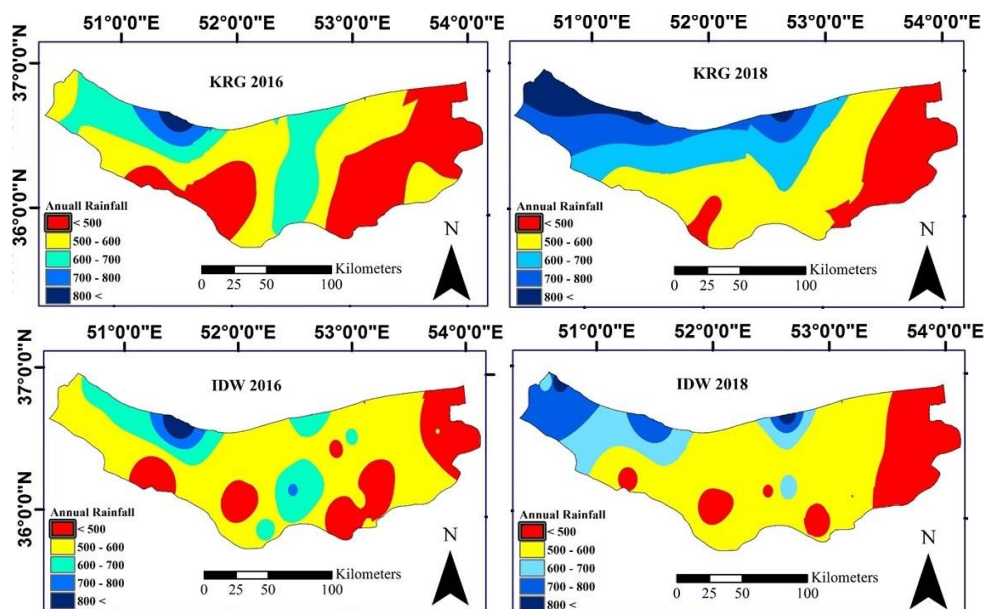
Fig3. Rainfall map of the province with network data and combined method in 2016 and 2018

نکردن بارش سواحل از نواحی کوهستانی استان است. از طرفی ایراد دیگر آن تغییرات بارشی استان می‌باشد که توسط این نوع ماهواره بر اساس طول جغرافیایی تفکیک شده است و در آن بارش کوهستان‌های غرب کشور را بیشتر از سواحل استان تخمین زده شده است. از بررسی نقشه‌های هم‌بارش حاصل از روش‌های Grad-GPM، در هر دو سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که از غرب به سمت شرق

نقشه توزیع مجموع بارندگی در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ با استفاده از ماهواره‌ی GPM نشان دهنده‌ی دامنه بارندگی استان در این دو سال می‌باشد که بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر متغیر بوده است. همچنین بارش استان در غرب بیشتر بوده و هرچه به سمت شرق پیش می‌رویم از حجم بارشی استان کاسته می‌شود. از ایرادات وارد بر نقشه‌های هم‌بارش رسم شده با استفاده از ماهواره‌ی GPM، تفکیک

را بهتر تشخیص می‌دهد. برای درک بهتر نقش متغیرهای کمکی و دقت نقشه ترسیم شده به روش Grad-GPM نقشه هم‌بارش روش وزنی عکس فاصله و کریجینگ نیز رسم گردید. همانطور که در شکل (۴) مشخص است، با بررسی هر دو شکل می‌توان به این نتیجه رسید که این دو روش پراکندگی بارش را با توجه به اقلیم خاص و متنوع استان مازندران، به خوبی نشان نداده‌اند. نقشه هم‌بارش بدست آمده از روش کریجینگ نسبت به نقشه‌ی عکس فاصله بهتر بوده و پراکندگی بارش را در سواحل به خوبی نشان داده است. همچنین هرچه از غرب به شرق استان پیش می‌رویم میزان بارش استان کاهش می‌یابد، اما این روش، تفکیک بارشی مناسبی برای ارتفاعات استان به خصوص ارتفاعات غربی استان در نظر نگرفته است. با توجه به تحلیل نتایج و نقشه‌های ارائه شده در شکل‌های زیر، بهترین نقشه هم‌بارش مربوط به روش Grad-GPM می‌باشد، که این مسئله نیز بیانگر افزایش دقت روش‌های به کار برده شده با استفاده از پارامتر کمکی تصویر ماهواره‌ای نسبت به سایر روش‌ها است

استان، میزان بارش کاهش پیدا می‌کند. همچنین میزان بارش سواحل بیشتر از ارتفاعات می‌باشد، به طوری که بیش‌ترین بارش را در ارتفاع کمتر از ۷۰۰ متر نشان می‌دهد و با افزایش ارتفاع تا ۲۰۰۰ متر، میزان بارش کاهش پیدا می‌کند در حالی که از ارتفاع ۲۰۰۰ متر به بالا میزان بارش روند مشخصی ندارد و بین ۴۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر در نوسان است، که این امر نشان‌دهنده‌ی توپوگرافی پیچیده استان و اثر آب و هوای محلی بر میزان بارش استان است. علاوه بر این نقشه‌های تهیه شده توسط این روش‌ها 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 روش Grad-GPM، بخش غربی استان را به چند بخش بارشی تفکیک کرده است. در مجموع ارزیابی دقیق نقشه‌های به دست آمده بیانگر آن است که نقشه Grad-GPM، نسبت به نقشه رسم شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای GPM از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد و میزان بارش نزولی استان



شکل ۴. نقشه هم‌بارش استان مازندران با روش‌های درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸

Fig4. Map of Mazandaran province precipitation with KRG and IDW methods in 2016 and 2018

the Accuracy of European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) Reanalysis Datasets for Estimation of Daily and Monthly Precipitation, Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(4), 777-791. [In Persian].

Gao, F., Zhang, Y., Chen, Q., Wang, P., Yang, H., Yao, Y. & Cai, W. (2018). Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. Atmospheric Research, 212 (89), 150-157.

Guo, H., Chen, S., Bao, A., Behrangi, A., Hong, Y., Ndayisaba, F. & Stepanian, P.M. (2016). Early assessment of integrated multi-satellite retrievals for global precipitation measurement over China, Atmospheric Research, 176, 121-133.

Hou, A.Y., Kakar, R.K., Neeck, S., Azarbarzin, A.A., Kummerow, C.D., Kojima, M., Oki, R., Nakamura, K. & Iguchi, T. (2014). The global precipitation measurement mission, Bulletin of the American Meteorological Society, 95, 701-722.

Javan, KH., Rasuli, A.A., Erfanian, M. & Sarisafar, B. (2017). Comparative evaluation of rainfall estimation methods in lake Urmia basin, Journal of geography and planning, 22(65), 93-100. [In Persian].

Kidd, C. and Huffman, G. (2011). Global precipitation measurement, Meteorol. Appl, 18, 334-353.

Madadi, GH., Hamzeh, S. & Noroozi, A.A. (2014). Evaluation of rainfall on a daily, monthly and annual basis using satellite imagery (case study : west boundary basin of iran), Journal of and GIS for natural, 6(2), 59-74. [In Persian].

Modaresi, F., Araghinejad, S.H., Ebrahimi, K. & Kholghi, M. (2010). Regional Assessment of Climate Change Using Statistical Tests: Case Study of Gorganroud-Gharehsou Basin, J. Water Soil, 24(3), 476-489. [In Persian].

Nadi M. & Dasti Gerdi M. (2022). Preparation of the climate map of Mazandaran province with extended Demarten method, 2nd National Conference on Environmental Changes Using Re-

## نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور بررسی دقت محصولات بارش ماهواره‌ای GPM و امکان ترکیب این محصول با روش‌های درون‌بایی انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از متغیرهای کمکی که همبستگی معقول و قابل قبولی با داده‌های بارش داشته باشند باعث کاهش ۲۵ الی ۳۵ درصدی خطای تخمین داده‌های بارش شده و تخمین بهتری از داده‌های بارش بخصوص در مناطق سخت‌گذر و فاقد داده ثبت‌شده بارش دارد. تحلیل نمودار جعبه‌ای خطای روش‌های مورد بررسی نشان داد محصول بارش ماهواره GPM دارای خطای نسبتاً کمتری نسبت به روش‌های درون‌بایی می‌باشد. اما اصلاح آن‌ها با روش پیشنهادی در این تحقیق باعث بهبود بسیار خوب دقت ماهواره در تخمین بارش گردید و ترکیب آن‌ها در روش گرادانی باعث رفع کامل خطای اریبی شده است. بررسی نقشه هم‌بارش استان با روش‌های مورد بررسی حاکی از برتری نقشه به‌دست‌آمده از روش ترکیبی است. 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. نقشه‌های هم‌بارش نشان‌دهنده وقوع بارش کمتر در ارتفاعات شرقی نسبت به ارتفاعات غرب استان است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد، محصولات بارش ماهواره‌ای به‌تنهایی دقت مناسبی در تخمین مکانی بارش نداشته و استفاده از آن خطای اریبی زیادی به همراه دارد اما ترکیب آن‌ها با روش‌های درون‌بایی به‌عنوان یک پارامتر کمکی باعث افزایش دقت تخمین مکانی بارش و نقشه‌های هم‌بارش می‌شود. همچنین از روش ارائه شده در این تحقیق می‌توان برای اصلاح محصولات بارش ماهواره‌ای استفاده نمود.

## سپاسگزاری

این تحقیق از محل طرح تحقیقاتی شماره ۱۴۰۰-۰۷-۰۲ توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری حمایت شده و بدینوسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

Azizian, A. & Ramezani, H. (2019). Assessing

Remote Sensing and GIS Technology, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari. [In Persian].

Nadi, M., Khalili, A., PourTahmasi, K. & 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), 66(1), 66-99. [In Persian].

Ning, S., Wang, J., Jin, J. & Ishidaira, H. (2016). Assessment of the latest GPMera high-resolution satellite precipitation products by comparison with observation gauge data over the Chinese Mainland, Water, 8(11), 481.

Tan, M. & Santo, H. (2018). Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia, Atmospheric Research, 77, 63-76.

Worqlul, A.W., Yen, H., Collick, A.S., Tilahun, S.A., Langan, S. & 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.

Yousefi Kabria, A., Nadi, M. & Jamei, M. (2021). Combining interpolation methods and precipitation products of TRMM satellite to increase the accuracy of rainfall maps in Mazandaran province, Water and Soil Conservation, 28(3), 49-70. [In Persian].

Yousefi Kabria, A., Nadi, M. & Sheikh Arjanki, S.H. (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].

