

Research Paper

Development of Variogram Models Retrieved from PERSIANN Family and TRMM 3B47 V. 7 Satellite-Derived Datasets in Fars Province

Keyvan Khojand¹, Mahmood Reza Shaghaghian^{2*}, Zahra Ghampour¹, Tooraj Sabzevari¹

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Estahban branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran

2. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shiraz branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Received: 2023/05/01

Revised: 2023/06/14

Accepted: 2023/07/06

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2024.31837.2385](https://doi.org/10.30495/wej.2024.31837.2385)

Keywords:

Variogram, Satellite-derived datasets, Gaussian model, Trend removal

Abstract

Introduction: Precipitation data plays a crucial role in hydrological models, and it is important to have a good understanding of its spatial and temporal distribution before incorporating it into these models. Access to sufficient statistics on precipitation events is necessary to address this issue. However, due to the cost and limited availability of ground-based rain monitoring statistics in various locations, satellite-derived datasets can be a highly effective alternative.

Methods: In the current study four satellite-derived datasets (PERSIANN, PERSIANN-CDR, PERSIANN-CCS, and TRMM 3B43 V.7) were compared to assess and enhance the variogram curves of average annual precipitation. Ground-based observations from 23 stations in the area were utilized to evaluate the datasets.

Findings: The regression coefficient of the employed PERSIANN and TRMM families' satellite-derived datasets with ground-based observations were found to be 0.35 and 0.65, respectively. These datasets were found to be anisotropic, meaning that their characteristics vary directionally, and the variogram curves obtained from them were unbounded. These factors make their use challenging in most hydrological applications. To mitigate these issues, the trend of 1st or 2nd order polynomials was removed from the datasets in order to make them isotropic and separate the non-random component. After trend removal, the resulting two datasets prepared based on PERSIANN-CCS and TRMM 3B43 V.7 exhibited acceptable characteristics and isotropy. The bound indices of the variograms reached approximately 0.85 and 0.31, respectively. Among various models of theoretical variogram, the Gaussian model was selected as the most suitable model to express the variogram of the satellite-derived precipitation datasets.

Citation: Khojand K, Shaghaghian MR, Ghampour Z, Sabzevari T. Development of variogram models retrieved from PERSIANN family and TRMM 3B47 V. 7 satellite-derived datasets in Fars province. Water Resources Engineering Journal. Water Resources Engineering Journal. 2025; 17(63): 41- 52.

***Corresponding author:** Mahmood Reza Shaghaghian

Address: Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Tell: (+98) 917 112 9009

Email: shaghaghian1357@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

In recent decades, the use of satellite-derived precipitation (SDP) products has increased rapidly in meteorological and hydrological models due to their wide spatial and temporal coverage and availability. However, these datasets are not sufficiently accurate for practical applications, leading to many studies on SDP validation. Fars Province, located in southwestern Iran, has received considerable attention in this field due to its complex climate. The studies have focused on the validation of SDP datasets and their application in different hydrological fields. The results indicate that most of these datasets suffer from spatial inconsistency and uncertainty, necessitating their correction for specific purposes. The variogram obtained from the spatial distribution of Average Annual Precipitation (AAP) is widely used in hydrological models, but its development often requires ground-based observations, which may not be available in many regions. This situation has underscored the need for complementary datasets. In this study, we introduce the data used, including ground-based observations and SDP datasets, describe the variogram and its models, and present the research results, including variograms obtained from ground-based observations alongside PERSIANN family and TRMM 3B47 v.7 SDP datasets.

Materials and Methods

The degree of spatial irrelevance for a regionalized random variable can be determined using a variogram model. This model involves a mathematical function of distance and direction between two points where a random variable is realized. Once the unprocessed variogram is obtained from the observed data, a theoretical variogram can be fitted for practical applications in geostatistical models. In the field of hydrology, attention has been focused on bounded models such as exponential, Gaussian, and spherical variogram models. The variogram is considered isotropic if parameter values do not depend on

direction, and spatial dependence or autocorrelation changes only with distance. Anisotropic variograms, on the other hand, have varying range and sill values in different directions, and can be classified as geometric anisotropy, zonal isotropy, or mixed anisotropy. The next step in modeling theoretical variograms is to estimate their parameters, which can be done through fitting the best curve to the experimental variogram coefficients or using cross-validation in kriging methods. Large-scale satellite-based precipitation data may contain non-stationary trends and directional effects that violate hydrological modeling assumptions. To achieve reliable results, non-random trends should be removed from the original dataset. Directional non-stationarity can be evaluated by computing directional variograms and fitting them with a power model as an index for intrinsic non-stationarity in regionalized data.

Results and Discussion

To obtain a suitable variogram model based on satellite-derived datasets, it is necessary to compare them with ground-based observations. Figure 1 depicts the comparison of AAP in 23 synoptic stations with 4 satellite-derived datasets, and Table 2 displays the respective error indices. The "mean error" and "relative bias" indices show that the PERSIANN and PERSIANN-CDR datasets have lower values than the ground-based observations, supporting other studies done on such datasets in the region. Figure 2 presents the spatial distribution of the AAP observed from the 4 satellite and the ground-based. Trends can be detected in most of these datasets, except for the PERSIAN-CCS dataset, which has a stationary property, while the PERSIANN and PERSIAN-CDR datasets are stationary after linear trend removal, and the TRMM 3B43 V. 7 datasets are stationary after quadratic trend removal. Among the 4 satellite-derived precipitation datasets, PERSIAN-CCS and TRMM 3B43 V. 7 can be considered almost stationary after removing their trend from the original dataset. Consequently, these two data sets were selected for the final modeling. Figure 4

depicts the modeling of the theoretical variogram (as mentioned in equation 2) on the selected variogram models from the previous section, fitting with the minimization of the root mean square of errors (as stated in equation 3), and comparing it with the variograms of the ground-based. Table 4 shows the parameters of these variograms. The RMSE values show that the Gaussian model has the lowest error for modeling the theoretical mapping. This entails that in the study area, the rate of increase in variograms is directly proportional to the distance between the points, and then the rate of increase in variograms decreases.

Conclusion

Variogram models serve as a primary representation of the spatial distribution of satellite-derived precipitation. However, due to various factors such as parasitic disturbances and atmospheric conditions during recording, practical usage of these data requires processing. This study evaluated the AAP variogram model using three datasets from the PERSIANN family and the TRMM 3B43 V. 7 datasets. By removing the trend, the PERSIANN-CCS and TRMM 3B43 V. 7 datasets met the necessary conditions for developing the mapping model, and the appropriate theoretical mapping model was obtained using the Gaussian model.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Keyvan Khojand, Zahra Ghadampour, Tooraj Sabzevari.

Methodology and data analysis: Keyvan Khojand, Mahmood Reza Shaghaghain

Supervision and final writing: Mahmood Reza Shaghaghian

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

توسعه مدل های واریوگرام به دست آمده از مجموعه-داده های ماهواره ای خانواده PERSIANN و TRMM 3B43 V. 7 در استان فارس

کیوان خجند^۱، محمود رضا شقاقیان^{۲*}، زهرا قدمپور^۱، تورج سبزواری^۱

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران

۲. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

چکیده

مقدمه: داده های بارندگی معمولاً یکی از اجزای جدایی ناپذیر اغلب مدل های هیدرولوژیکی به حساب می آیند. از این رو می بایستی شناخت مناسبی از توزیع مکانی و زمانی این گونه داده ها، قبل از استفاده در مدل های مربوطه حاصل گردد. این موضوع مستلزم دسترسی به آمار کافی پدیده بارش می باشد. با توجه به هزینه و عدم دسترسی به آمار پیش باران در نقاط مختلف، مجموعه-داده های مبتنی بر اندازه گیری های ماهواره ای می تواند در این راستا بسیار موثر باشد.

روش: در این تحقیق، ۴ مجموعه-داده ماهواره ای (PERSIANN-CCS، PERSIANN-CDR، PERSIANN و TRMM 3B43 V. 7) برای به دست آوردن و بهسازی منحنی های واریوگرام میانگین بارندگی سالیانه در استان فارس، با هم مقایسه گردیده اند. برای ارزیابی آنها، از مقادیر مشاهداتی در ۲۳ ایستگاه پیش زمینی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

یافته ها: با مقایسه داده های مشاهداتی و ماهواره ای، ملاحظه گردید که علاوه بر عدم تطابق مقادیر مجموعه-داده های به دست آمده از داده های ماهواره ای با مشاهدات ایستگاه های پیش زمینی (به عنوان مثال، ضریب رگرسیون مجموعه-داده های مورد استفاده از خانواده PERSIANN و TRMM با مشاهدات ایستگاه های زمینی به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۶۵ می باشد)، این مجموعه-داده ها ناهمسانگرد بوده و منحنی های واریوگرام به دست آمده از آنها نامحدود می باشند که این موارد کاربرد آنها را در اغلب کاربردهای هیدرولوژیکی سخت می نماید. بنابراین، با حذف روند چندجمله ای های درجه ۱ یا درجه ۲، برای همسانگرد نمودن مجموعه-داده های مبتنی بر داده های ماهواره ای و جدا نمودن بخش غیرتصادفی از آنها اقدام به عمل آمد. پس از حذف روند از مجموعه-داده ها، دو مجموعه-داده تهیه شده از داده های اولیه مبتنی بر PERSIANN-CCS و TRMM 3B43 V. 7 دارای خصوصیات قابل قبول بوده و همسانگرد به دست می آید، به طوری که شاخص محدودیت منحنی واریوگرام به حداکثر ۰/۸۵ و ۰/۳۱ رسیده است.

نتیجه گیری: از میان مدل های مختلف واریوگرام تئوری نیز، مدل گوسی به عنوان مدل منتخب برای بیان واریوگرام مجموعه-داده های ماهواره ای انتخاب گردید. بنابراین، ملاحظه می گردد که با استفاده از یافته های این مطالعه، می توان حتی در مناطقی که فاقد ایستگاه های پیش زمینی هستند، با استفاده از برخی مجموعه-داده های منتخب ماهواره ای و مدل مناسب واریوگرام بارندگی را به دست آورده و در سایر مدل های هیدرولوژیکی استفاده نمود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱

تاریخ داوری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2024.31837.2385](https://doi.org/10.30495/wej.2024.31837.2385)

واژه های کلیدی:

واریوگرام، مجموعه-داده های ماهواره ای، مدل گوسی، حذف روند.

* نویسنده مسئول: محمود رضا شقاقیان

نشانی: گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

تلفن: (+۹۸) ۹۱۷ ۱۱۲ ۹۰۰۹

پست الکترونیکی: shaghaghian1357@gmail.com

زمینی برای رسیدن به مدل‌های واریوگرام بارندگی در استان ضروری به نظر می‌رسد و به عنوان نوآوری این مطالعه در نظر گرفته می‌شود. مجموعه داده‌های بارندگی برگرفته از خانواده‌های PERSIANN² و TRMM³ منابع ارزشمندی برای تحلیل و درک الگوهای بارش جهانی هستند. PERSIANN با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی تکنیکی می‌باشد که از داده‌های ماهواره‌ای برای تخمین میزان بارش استفاده می‌نماید. این تخمین بارندگی را با مقیاس بالا در مناطق مختلف جهان را ارائه می‌دهد. از سوی دیگر، مجموعه داده‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای TRMM مشاهدات چندین ماهواره و اندازه‌گیری‌های زمینی را برای تولید داده‌های بارش جامع در مناطق استوایی و عرض‌های جغرافیایی میانی ترکیب می‌کند. این مجموعه داده‌ها محققان و دانشمندان را قادر می‌سازد تا توزیع بارندگی را ارزیابی کنند، تغییرات آب و هوایی را پیش‌بینی کنند و تأثیرات بارش بر اکوسیستم، کشاورزی و مدیریت منابع آب را مطالعه کنند. آنها نقش مهمی در مطالعات آب و هوا، مدیریت بلایا و پیش‌بینی آب و هوا دارند و به درک بهتر دینامیک بارش پیچیده سیاره ما کمک می‌کنند (۸، ۱۴).

در این پژوهش ابتدا به معرفی داده‌های مورد استفاده (شامل داده‌های حاصل از ایستگاه زمینی و مجموعه داده‌های بارندگی ماهواره‌ای) پرداخته خواهد شد. در ادامه، واریوگرام و مدل‌های آن شرح داده خواهد شد و در خاتمه نیز، نتایج تحقیق، شامل مدل‌های واریوگرام حاصل از ایستگاه‌های زمینی و مجموعه داده‌های ماهواره‌ای به دست آمده از خانواده PERSIANN و TRMM 3B43 V.7 به عنوان تعدادی از مجموعه داده‌های بارندگی ماهواره‌ای پرکاربرد، ارائه شده و مدل‌های به دست آمده از مجموعه داده‌های ماهواره‌ای جهت استفاده در مدل‌های هیدرولوژیکی به‌نگام‌سازی خواهند شد.

منطقه و داده‌های مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (استان فارس) در جنوب غربی ایران بین عرض جغرافیایی ۵۰ تا ۵۵ درجه شرقی و ۲۷ تا ۳۲ درجه شمالی به مساحت ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع واقع شده است (شکل ۱). این منطقه شامل ۵۴٪ ارتفاعات بیش از ۱۵۰۰ متر بالاتر از سطح دریا در بخش‌های شمالی و غربی بوده در حالی که قسمت‌های شرقی و ساحلی با ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا و شیب کمتر از ۵ درصد، اغلب به صورت دشت گسترده شده‌اند. علاوه بر خصوصیات اقلیمی، منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر سه توده هوایی مدیترانه‌ای از شمال غرب، سودانی از جنوب

آمار بارندگی در مدل‌های هیدرولوژیکی اهمیت بسیاری دارد. هنگامی که یک مدل هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی فرآیندهای مربوط به آن، شامل جریان سطحی، رواناب، جذب و نفوذ آب در خاک، و موارد مشابه استفاده می‌شود، دقت و صحت پیش‌بینی بارندگی بسیار حائز اهمیت است. این آمار نه تنها بیانگر میزان بارندگی می‌باشد، الگوی توزیع مکانی و زمانی بارندگی را نیز نشان می‌دهند (۱). با استفاده از این اطلاعات، می‌توان مدل‌های هیدرولوژیکی را بهبود بخشید و بارندگی آینده را به طور دقیق پیش‌بینی کرد. این امر در برنامه‌ریزی منابع آب، مدیریت سیلاب و خشکسالی، اقدامات احتیاطی و تحلیل ریسک‌های آبی بسیار مفید است.

در دهه‌های اخیر، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در مدل‌های هواشناسی و هیدرولوژی کاربرد روز افزونی یافته است که علت اصلی آن، مقیاس زمانی و مکانی وسیع در داده‌ها و سادگی به دست آوردن این داده‌ها می‌باشد (۲). در طرف مقابل این داده‌ها معمولاً از دقت مناسب برای مقاصد مدنظر برخوردار نبوده و از این رو تاکنون مطالعات گسترده‌ای در زمینه صحت سنجی این داده‌ها انجام پذیرفته است. پهنه این مطالعات عمدتاً بر مبنای مکان و اقلیم، روش تحلیل و داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده، گسترده شده است.

در میان مناطق مختلف، استان فارس، با توجه به اقلیم گسترده‌ای که دارد، مطالعات متعددی را در این زمینه به خود جلب کرده است. این مطالعات عمدتاً شامل صحت سنجی داده‌های ماهواره‌ای (۳-۵) و کاربرد این مجموعه داده‌ها در زمینه‌های مختلف هیدرولوژی می‌باشد (۶، ۷). به عنوان مثال، بر اساس بعضی از این مطالعات، اقلیم‌های موجود در استان فارس، می‌توانند بر پارامترهای مختلف ارزیابی بارندگی روزانه به دست آمده از مجموعه داده‌های ماهواره‌ای مربوط به این استان (دقت، قابلیت اطمینان و قطعیت) موثر باشند (۸). نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که اغلب این مجموعه داده‌ها از ناهماهنگی مکانی (با توجه به اقلیم) و عدم اطمینان رنج برده و از این رو نیاز مبرم به تدقیق و تصحیح آنها با توجه به حیطه مورد استفاده، اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد.

یکی از مدل‌های بسیار پرکاربرد در بسیاری از مفاهیم هیدرولوژیکی واریوگرام^۱ به دست آمده از توزیع مکانی بارندگی می‌باشد (۹). این مدل اغلب بر اساس مشاهدات ایستگاه‌های زمینی قابل حصول بوده ولی گاهی نیز از سایر روش‌ها برای توسعه آنها استفاده می‌شود (۱۰). به عنوان یک مثال کاربردی، درون‌یابی پدیده‌های بارش ساعتی در سطوح بازگشتی مختلف می‌بایستی با استفاده از مفهوم واریوگرام صورت پذیرد (۱۱). تعداد محدودی از مطالعات هیدرولوژیکی توسعه یافته در ایران (۱۲) و در استان فارس نیز از این مدل‌ها استفاده نموده‌اند (۱۳). حجم نسبتاً کم مطالعات، علی‌رغم اهمیت مدل‌های واریوگرام، به علت تعداد محدود ایستگاه‌های پیش‌بارندگی، جهت توسعه این مدل‌ها می‌باشد. از این رو، استفاده از داده‌های جایگزین مشاهدات در ایستگاه‌های پیش

³ Tropical Rainfall Measuring Mission

¹ Variogram

² Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information

مجموعه داده‌های ماهواره‌ای

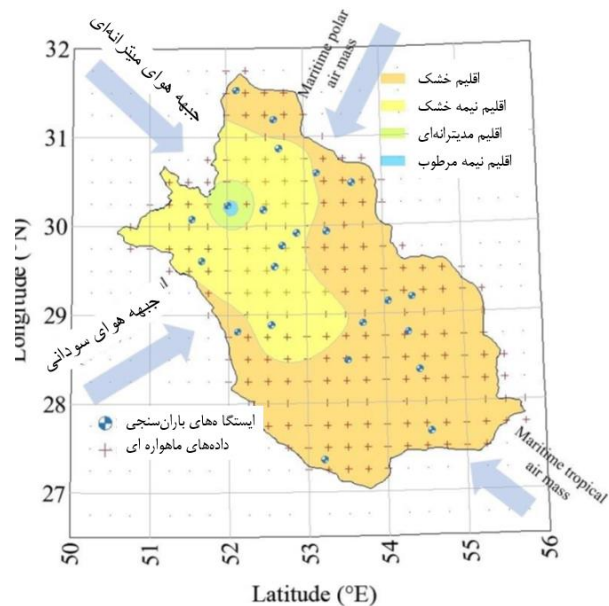
هدف اصلی این پژوهش بهبود داده‌های برگرفته از ماهواره‌ها می‌باشد. تعداد زیادی مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای وجود دارد که در این میان، با توجه به اینکه مجموعه-داده‌های خانواده TRMM و PERSIANN به راحتی قابل دسترس بوده و داده‌های ارائه شده در بازه زمانی نسبتاً طولانی (بیش از ۲۰ سال) موجود می‌باشد، در این پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر آن مقیاس زمانی و مکانی این داده‌ها در منطقه مورد مطالعه کفایت لازم را برای بهره‌برداری از آنها دارا می‌باشد.

در میان مجموعه داده‌ها، محصولات مورد استفاده از خانواده PERSIANN در این تحقیق شامل PERSIANN-TRMM 3B43 V. 7، PERSIANN-TRMM 3B43 V. 7، و PERSIANN-CCS می‌باشد. از لحاظ دقت مکانی، تمام این مجموعه-داده‌ها با مقیاس ۰/۲۵ درجه طولی و عرضی می‌باشند. مجموعه-داده‌های خانواده PERSIANN دارای مقیاس زمانی روزانه و کمتر می‌باشند، حال آن‌که مجموعه-داده‌های TRMM 3B43 V. 7 دارای مقیاس زمانی ماهیانه می‌باشند. در هر صورت، با توجه به مقیاس زمانی مورد استفاده در این پژوهش (داده‌های سالیانه)، مجموعه-داده‌های ثانویه‌ای از تجمیع داده‌های با مقیاس زمانی کوچکتر برای تولید داده‌ها با مقیاس بزرگتر، استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در مجموعه-داده‌ها در این تحقیق، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی بوده‌اند.

مواد و روش‌ها

مدل واریوگرام

یک مدل واریوگرام در حقیقت میزان ناوابستگی در یک متغیر تصادفی مکانی^۴ را نمایش می‌دهد. در مدل‌سازی واریوگرام، واریوگرام تجربی^۵ به صورت یک تابع ریاضی از فاصله و جهت دو نقطه در متغیر تصادفی مکانی تعریف می‌شود. این تابع با توجه به داده‌های مشاهداتی به شکل زیر محاسبه می‌گردد:



شکل ۱: توده‌های تاثیر گذار بر منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده (۸)

غرب و استوایی از بخش‌های شرقی قرار گرفته است که دو توده اول نزدیک به ۸۷ درصد مجموع بارندگی را تامین کرده و اغلب در فصل-های پاییز، زمستان و نیمه اول بهار بر منطقه حکمفرما می‌باشد.

مجموعه داده‌ها

ایستگاه‌های پایش زمینی

داده‌های مرجع مورد استفاده در این پژوهش از ۲۳ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی کشوری که دارای حداقل ۱۰ سال داده می‌باشند به دست آمده است. جدول ۱ موقعیت مکانی و داده‌های مورد استفاده به همراه اقلیم‌بندی آنها را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، اغلب این ایستگاه‌ها در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده در تحقیق و داده‌های برداشت شد از آنها (۸)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین بارندگی سالیانه (mm)	میانگین دمای سالیانه (C°)	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین بارندگی سالیانه (mm)	میانگین دمای سالیانه (C°)
شیراز	52°36'10"	29°32'39"	1484	317.49	18.1	نیریز	54°21'07"	29°11'12"	1632	197.12	19.5
سپیدان	52°00'24"	30°14'03"	2201	648.65	14.7	داراب	54°17'46"	28°47'25"	1098	262.26	22.2
آباده	52°36'42"	31°11'54"	2030	134.9	14.4	استهبان	54°02'54"	29°08'25"	1690	253.86	17.4
چهرم	53°31'02"	28°28'58"	1082	276.1	20.8	فسا	53°43'10"	28°53'56"	1288	286.01	19.4
زرقان	52°42'15"	29°46'39"	1596	303.71	16.5	لار	54°22'29"	27°40'12"	792	210.06	23.8
درودزن	52°27'54"	30°10'59"	1650	457.14	17.7	ت. جمشید	52°53'21"	29°55'11"	1605	291.68	17.5
ممسنی	51°32'39"	30°04'46"	972	458.1	21.2	ایزدخواست	52°07'42"	31°31'47"	2188	151.6	13.8
لامرد	53°12'12"	27°21'52"	405	212.25	25.6	ارسنجان	53°16'46"	29°56'08"	1703	236.4	18.4
کازرون	51°39'54"	29°36'26"	860	358.3	23.1	زرین‌دشت	54°25'44"	28°21'55"	1029	216.9	23.2
بوانات	53°36'32"	30°28'34"	2231	215.12	13.8	فیروزآباد	52°33'06"	28°53'09"	1362	377.2	20.7
اقلید	52°40'32"	30°52'09"	2300	319.81	13.0	فرشبند	52°07'09"	28°48'47"	782	272.3	22.2
صفاشهر	53°09'23"	30°35'27"	2251	204.05	12.1						

⁵ Experimental variogram

⁴ Regionalized random variable

رگرسیون، میانگین خطا، میانگین خطای مطلق و خطای نسبی به عنوان شاخص‌های خطا در بسیاری از مراجع جهت ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده واقع شده‌اند (۸،۱۶).

حذف روند از متغیرهای تصادفی

بسیاری مدل‌های هیدرولوژیکی-زمین آماری مبتنی بر "متغیرهای تصادفی مکانی" بوده که دارای خاصیت ایستایی ذاتی^{۱۴} و محدود^{۱۵} باشند. متغیرهای تصادفی مکانی دارای خاصیت ایستایی ذاتی، دارای میانگین ثابت بوده، واریوگرام آنها تنها به فاصله دو نقطه بستگی داشته و به موقعیت آنها وابسته نمی باشد (۱۷). برای بررسی خاصیت محدود بودن نیز، واریوگرام با افزایش فاصله به یک مقدار ثابت میل می کند. بدین منظور می توان از برازش واریوگرام نمایی ($\gamma(h) = Ae^{Bh}$) برای بررسی این خاصیت استفاده نمود. بطور کلی، برای متغیرهای تصادفی مکانی محدود، مقدار B باید از یک کمتر باشد. بنابراین از این مقدار می توان به عنوان شاخص محدود بودن متغیر تصادفی مکانی استفاده کرد.

در این مطالعه برای رسیدن به مجموعه-داده‌ها با خصوصیات ذکر شده، از فرایند حذف روند چندجمله‌ای استفاده می‌گردد. در این راستا، با برازش داده‌های موجود، که به عنوان یک نماینده^{۱۶} از متغیر تصادفی مکانی در نظر گرفته شده، با منحنی چند جمله‌ای و حذف منحنی از مجموعه داده‌های اصلی، مجموعه داده‌های جدید حاصل می‌گردد. این فرایند می تواند (با افزایش درجه منحنی چند جمله‌ای) تا رسیدن به مجموعه داده‌های مناسب ادامه پیدا کند.

نتایج و بحث

هدف اصلی این مطالعه، به دست آوردن مدل مناسب واریوگرام مبتنی بر مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای می باشد. از این رو در گام نخست می-بایستی داده‌های ماهواره‌ای با مشاهدات بدست آمده در ایستگاه‌های زمینی مقایسه گردد. از این رو، شکل ۲ پراکنش آمار بارندگی بلندمدت در ۲۳ ایستگاه پایش زمینی در مقایسه با ۴ مجموعه-داده مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای را نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل ملاحظه می‌گردد، از منظر پراکنش و شاخص برازش، تنها داده‌های مربوط به مجموعه داده‌های ماهواره‌ای TRMM 3B43 V. 7 از روند مشاهدات به دست آمده در ایستگاه‌های زمینی پیروی می‌نماید. همچنین مشاهده می‌گردد که داده‌های مربوط به مجموعه داده‌های خانواده PERSIANN به طور چشمگیری از مقادیر مشاهداتی ایستگاه‌های زمینی کمتر می‌باشند. در ادامه نیز، تعدادی از شاخص‌های خطا برای ارزیابی مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای در جدول ۲ آورده شده است. شاخص‌های میانگین خطا و خطای نسبی نمایانگر این است که مجموعه-داده‌های PERSIANN و PERSIANN-CDR دارای مقادیر کمتر از مقادیر مشاهداتی در ایستگاه‌های پایش زمینی می‌باشند. این

$$\gamma(h_\theta) = \frac{1}{2N(h_\theta)} \sum_{i=1}^{N(h_\theta)} [Z(x_i) - Z(x_i + h_\theta)]^2 \quad (۱)$$

که در این رابطه $N(h_\theta)$ تعداد نقاط نمونه‌گیری شده در جهت θ با فاصله h و همچنین $Z(x_i)$ و $Z(x_i + h_\theta)$ مقادیر مشاهده شده از متغیر تصادفی در دو نقطه با مختصات x_i و با فاصله h در جهت θ از آن می‌باشد.

پس از تدوین واریوگرام تجربی که حاصل از داده‌های خام بوده و با توجه به عدم دارا بودن برخی خواص مانند رواء بودن، نیاز به برازش واریوگرام تئوری^{۱۷} بر واریوگرام تجربی ضروری به نظر می‌رسد. در میان واریوگرام‌های تئوری متعدد، واریوگرام‌های نمایی، گوسی و کروی، مطالعات زیادی را در مدلسازی‌های هیدرولوژیکی به سمت خود جلب نموده‌اند. این مدل‌ها به شکل زیر نمایش داده می‌شوند (۱۵):

$$\begin{aligned} \gamma_t(h_\theta) &= N_0 + S_\theta \left[1 - e^{-\frac{\sqrt{3}h_\theta}{r_\theta}} \right] && \text{مدل واریوگرام نمایی} \\ \gamma_t(h_\theta) &= N_0 + S_\theta \left[1 - e^{-\frac{3h_\theta^2}{r_\theta^2}} \right] && \text{مدل واریوگرام گوسی} \\ \gamma_t(h_\theta) &= N_0 + S_\theta \left[1.5 \frac{h_\theta}{r_\theta} - 0.5 \frac{h_\theta^3}{r_\theta^3} \right] && \text{مدل واریوگرام کروی} \end{aligned} \quad (۲)$$

که در آن N_0 ، r_θ و $(N_0 + S_\theta)$ که اغلب به عنوان پارامترهای واریوگرام شناخته می‌شوند به ترتیب واریوگرام اولیه^{۱۸}، دامنه^{۱۹} و حد واریوگرام^{۲۰} نام دارند. در صورتی که تمام پارامترهای واریوگرام تنها به فاصله دو نقطه بستگی داشته باشد و به جهت قرارگیری آنها بستگی نداشته باشد، واریوگرام همسانگرد^{۲۱} و در غیر اینصورت واریوگرام ناهمسانگرد^{۲۲} نامیده می‌شود. واریوگرام‌های ناهمسانگرد نیز به نوبه خود به ناهمسانگرد هندسی، ناهمسانگرد ناحیه‌ای و ناهمسانگرد مرکب تقسیم می‌گردند که در آنها به ترتیب، دامنه، حد واریوگرام و تمام پارامترهای واریوگرام، علاوه بر فاصله به جهت قرارگیری نقاط در متغیر تصادفی مکانی بستگی دارند.

برای انتخاب نوع و پارامترهای واریوگرام تئوری مناسب، از ارزیابی مقاطع^{۲۳} یا برازش تابع بر واریوگرام تئوری استفاده می‌گردد. بهترین نوع واریوگرام با پارامترهای بهینه می‌بایستی دارای کمترین یکی از شاخص‌های خطا باشد. در میان شاخص‌های خطا، جذر میانگین مربع خطاها (معادله ۳) یکی از پرکاربردترین شاخص‌های خطا بوده که در بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده واقع می‌گردد. این شاخص به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$(RMSE) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N E_i^2}{N}} \quad (۳)$$

که در آن، E_i خطای مقدار مدل‌سازی شده نسبت به مقدار مشاهده شده و N تعداد مقادیر مشاهداتی می‌باشد. شاخص‌های دیگر نیز مانند ضریب همبستگی پیرسن، ضریب همبستگی مرتبه اسپیرمن، ضریب

12 Anisotropic
13 Cross-validation
14 Intrinsic stationary
15 Bounded
16 Realization

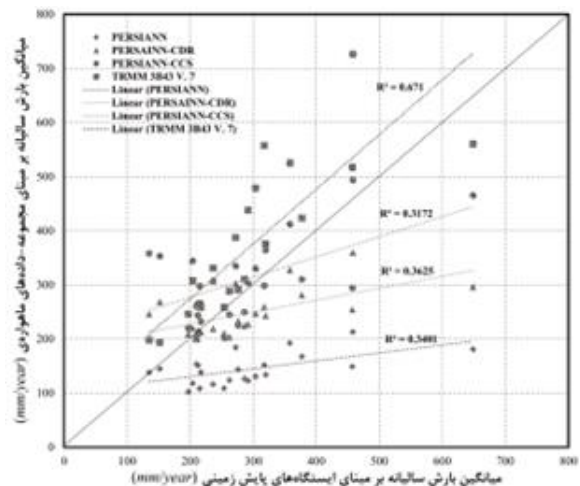
6 Permissible
7 Theoretical variogram
8 Nugget
9 Range
10 Sill
11 Isotropic

جدول ۲: خلاصه شاخص‌های خطا برای ارزیابی مجموعه-داده‌های PERSIANN-CCS، PERSIANN-CDR، PERSIANN و TRMM 3B43 V. 7 در مقایسه با میانگین بارندگی سالیانه در استان فارس

TRMM 3B43 V. 7	PERSIANN-CCS	PERSIANN-CDR	PERSIANN	
0.82	0.56	0.60	0.58	ضریب همبستگی پیرسن (ρ)
0.91	0.35	0.61	0.50	ضریب همبستگی مرتبه‌ی اسپیرمن (ρ_r)
0.67	0.32	0.36	0.34	ضریب رگرسیون (R^2)
75.7	20.9	-42.3	-146.1	میانگین خطا ($mm/year$)
84.2	72.2	67.7	146.4	میانگین خطای مطلق ($mm/year$)
109.48	95.28	102.14	175.96	جزر میانگین مربع خطاها ($mm/year$)
26.14	7.22	-14.60	-50.45	خطای نسبی (%)

رسید که بتوان از آن در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی بعدی، مانند طراحی شبکه‌های پایش (۱) بهره جست. در این راستا، تولید مجموعه-داده‌های بهبودیافته یکی از روش‌های مرسوم برای بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی می‌باشد (۱۸).

در شکل ۳ توزیع مکانی میانگین بارندگی سالیانه مشاهده شده از ۴ مجموعه-داده ماهواره‌ای و مجموعه-داده مبتنی بر ایستگاه‌های پایش زمینی قابل مشاهده است. وجود روند در اغلب این مجموعه-داده‌ها قابل مشاهده است. به عنوان مثال، مجموعه-داده‌های PERSIANN دارای روند کاهشی قابل مشاهده‌ای از شمال غرب به جنوب شرق می‌باشند. از این رو وایوگرام تتوری در جهت‌های شمال شرقی-جنوب غربی ($\theta = 0^\circ$)، شرقی-غربی ($\theta = -60^\circ$) ترسیم شده و شاخص ایستایی آن به دست می‌آید. جدول ۳ شاخص‌های ایستایی برای داده‌های خام و بهبود یافته را نشان می‌دهند. همانطور که از این داده‌ها مشاهده می‌شود، مجموعه-داده PERSIANN-CCS به صورت خام دارای خاصیت ایستایی دارد، حال آنکه مجموعه‌داده‌های PERSIANN و PERSIANN-CDR با حذف روند خطی و مجموعه-داده‌های TRMM 3B43 V. 7 با حذف روند سهموی (درجه ۲) دارای خاصیت ایستایی می‌گردند. تغییرات واریوگرام تجربی با فاصله در جهت‌های مختلف و بدون در نظر گرفتن جهت^{۱۷} برای مجموعه-داده‌های خام و بهبود یافته در شکل ۲ نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که از میان ۴ مجموعه-داده مبتنی بر ماهواره، PERSIANN-CCS و TRMM 3B43 V. 7 با حذف روند از مجموعه-داده‌ها، وابستگی جهت از آنها تقریباً قابل صرف نظر بوده و آنها را می‌توان تقریباً ایستا در نظر گرفت. از این رو، این دو مجموعه-داده برای مدل‌سازی نهایی انتخاب می‌گردند.



شکل ۲: پراکنش رسم (scatterplot) میانگین بارندگی سالیانه به دست آمده از مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های پایش زمینی

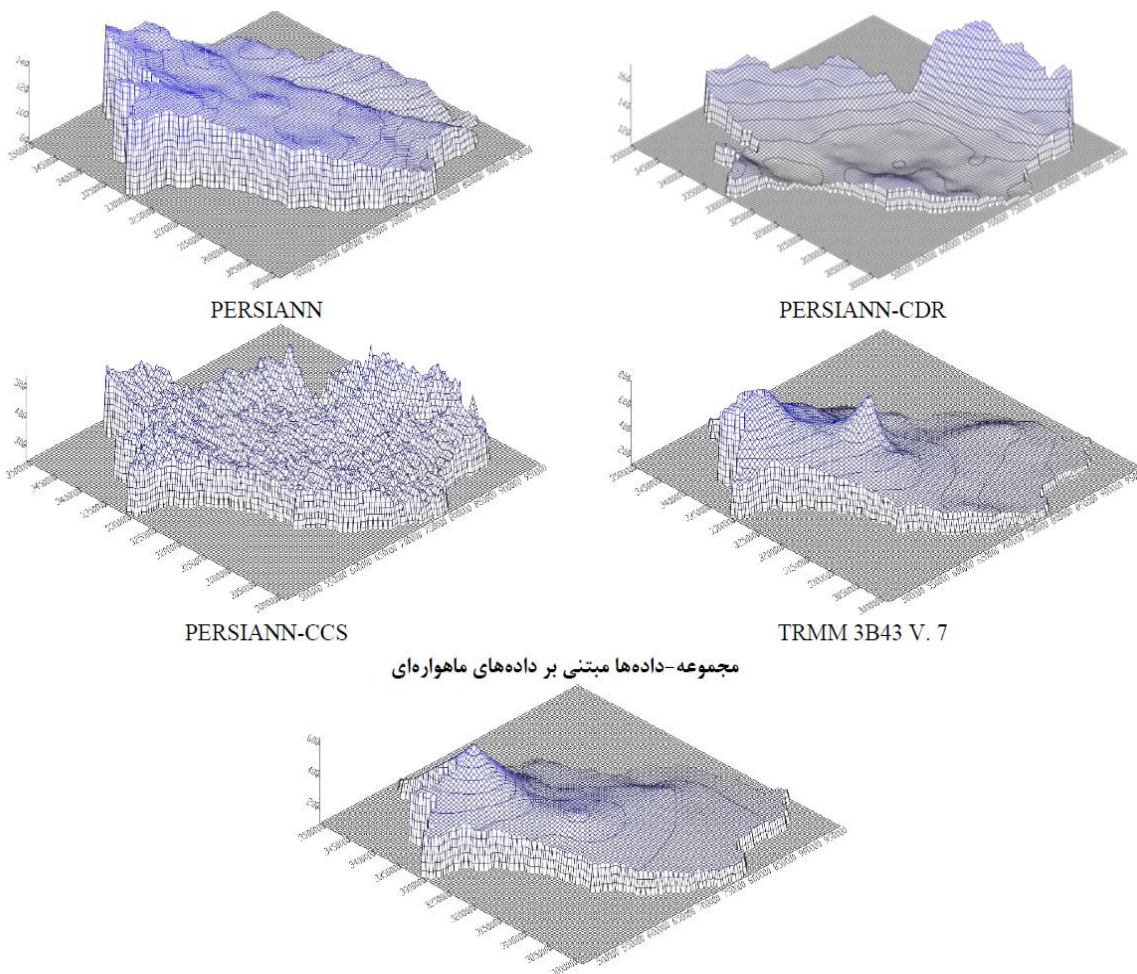
موضوع با سایر مطالعات انجام شده بر مجموعه-داده‌های ذکر شده بر منطقه نیز مطابقت دارد (۵، ۸). اما مقادیر ضرایب همبستگی پیرسن و مرتبه اسپیرمن در کنار ضریب رگرسیون نمایانگر این است که تنها داده‌های به دست آمده مبتنی بر مجموعه داده‌های TRMM 3B43 V. 7 به شکل معناداری از مشاهدات ایستگاه‌های پایش زمینی تبعیت می‌کنند.

اولین گام در مدل‌سازی واریوگرام، بررسی وجود ناهمسانگردی در متغیر تصادفی مکانی می‌باشد. از این رو این متغیر می‌بایستی در جهت‌های مختلف به دست آید. پس از آن نیز وجود روند در این متغیر باید بررسی گردد تا بتوان با حذف آن به مجموعه-داده‌های ذاتی و ایستا به شکلی

جدول ۳: شاخص ایستایی مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای برای داده‌های خام و داده‌های بهبود یافته با حذف روند خطی و

سهموی در جهت‌های مختلف

مجموعه-داده‌های بهبود یافته با حذف روند خطی (درجه ۱)			مجموعه-داده‌های بهبود یافته با حذف روند سهموی (درجه ۲)			مجموعه-داده‌های خام			
$\theta = -60^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = +60^\circ$	$\theta = -60^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = +60^\circ$	$\theta = -60^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = +60^\circ$	
0.22	0.34	0.25	0.28	0.52	0.07	1.45	1.67	0.89	PERSIANN
0.27	0.61	0.25	0.67	0.74	0.56	0.99	1.41	1.03	PERSIANN-CDR
0.13	0.31	0.01	0.16	0.32	0.02	0.29	0.33	0.03	PERSIANN-CCS
0.85	0.47	0.02	1.30	0.53	0.17	1.71	1.27	0.14	TRMM 3B43 V. 7



مجموعه-داده‌های به دست آمده از ایستگاه‌های پایش زمینی

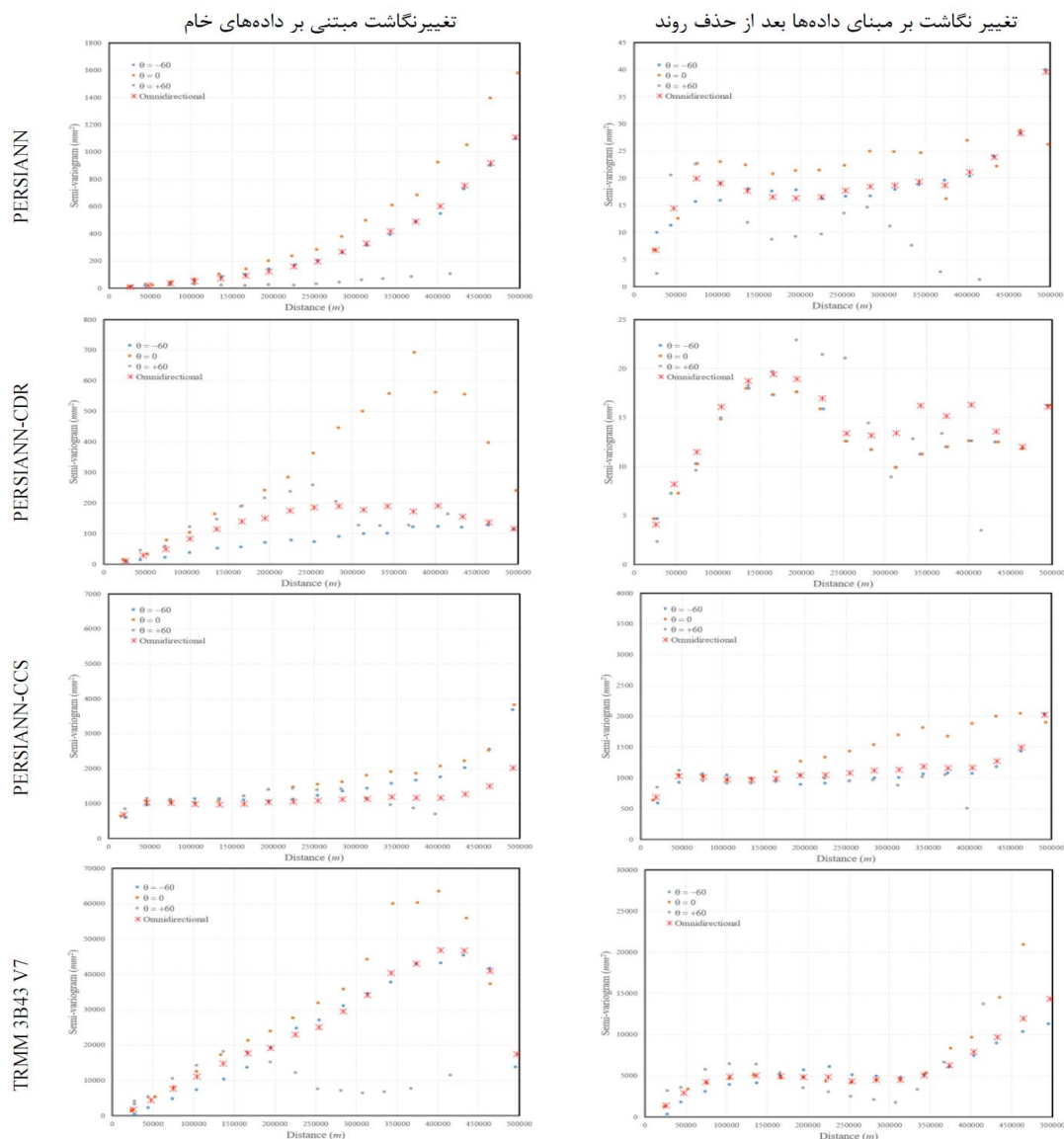
شکل ۳- نمایش سه‌بعدی تغییرات بارندگی بلندمدت به‌دست آمده از مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های پایش زمینی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۴: پارامترهای انواع واریوگرام تئوری برای مجموعه-داده‌های به دست آمده از مشاهدات ایستگاه‌های پایش زمینی و داده‌های ماهواره‌ای منتخب

حد واریوگرام تئوری			دامنه واریوگرام تئوری			جزر میانگین مربع خطا (RMSE)			مجموعه-داده‌ها بر مبنای مشاهدات ایستگاه‌های پایش زمینی
نمایی	گوسی	کروی	نمایی	گوسی	کروی	نمایی	گوسی	کروی	
5341	5399	5325	88995	74146	101899	1654.1	1601.5	1816.6	مجموعه-داده‌های بهبودیافته مجموعه-داده‌های PERSIANN-CCS
1069	1062	1061	31075	31835	40321	66.4	67.4	67.5	مجموعه-داده‌های بهبودیافته مجموعه-داده‌های TRMM 3B43 V. 7
5051	4928	4940	87096	86892	115376	524.9	457.0	456.5	

مدل گوسی تا حدودی کمترین خطا را برای مدل‌سازی واریوگرام تئوری دارا می‌باشد. این بدان معنا می‌باشد که در منطقه مورد مطالعه، ابتدا با افزایش فاصله بین نقاط نرخ افزایش واریوگرام افزایش یافته و پس از آن، نرخ افزایش واریوگرام کاهش می‌یابد.

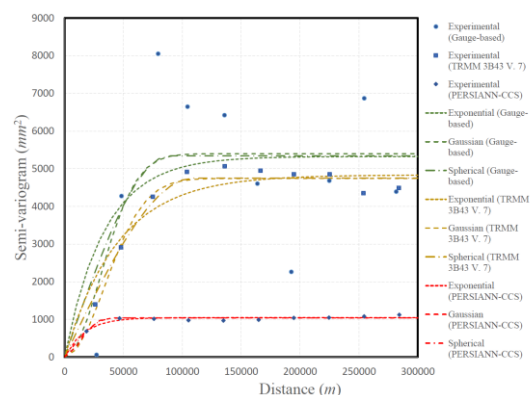
در نهایت نیز در شکل ۳ مدل‌سازی واریوگرام‌های تئوری ذکر شده در معادله ۲ بر مدل‌های واریوگرام منتخب از قسمت قبل برآزش با حداقل-سازی جذرمیانگین مربع خطاها (معادله ۳) و مقایسه آن با واریوگرام مجموعه-داده‌های مبتنی بر مشاهدات ایستگاه‌های پایش زمینی نشان داده شده است. جدول ۴ نیز پارامترهای این واریوگرام‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از مقادیر جذر میانگین مربع خطا ملاحظه می‌گردد،



شکل ۲: مدل‌سازی واریوگرام تئوری با استفاده از مجموعه داده‌های (اصلی و بعد از حذف روند) مجموعه داده‌های PERSIANN-CCS، PERSIANN-CDR، PERSIANN و TRMM 3B43 V. 7

نتیجه‌گیری

مدل‌های واریوگرام یکی از قسمتهای عمده بررسی متغیرهای تصادفی مکانی می‌باشد. گاهی اوقات فرآوری داده‌ها اولیه برای رسیدن به مدل مناسب، ضروری به نظر می‌رسد. مجموعه داده‌های ماهواره‌ای بارندگی می‌توانند ابزار مناسبی در تدوین مدل‌های مکانی بارندگی باشند. اما، با توجه به شرایط ثبت آنها (اختلالات پارازیتی، شرایط جوی و ...)، فرآوری این داده‌ها برای استفاده از آنها، ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق مدل واریوگرام میانگین سالیانه بارندگی برای ۳ مجموعه داده از خانواده PERSIANN و مجموعه داده TRMM 3B43 V. 7 مورد ارزیابی قرار گرفت. مجموعه داده‌های PERSIANN-CCS و TRMM 3B43 V. 7، با حذف روند، شرایط لازم برای تدوین مدل واریوگرام را دارا شدند. به عنوان مثال، همانطور که



شکل ۳: مدل‌سازی تغییر نگاشت‌های تئوری (نمایی، گوسی و کروی) برای مشاهدات ایستگاه‌های پیش زمینی و دو مجموعه داده ماهواره‌ای PERSIANN-CCS و TRMM 3B43 V. 7

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: کیوان خجند، زهرا قدم‌پور، تورج سبزواری؛
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: محمود رضا شقاقیان، کیوان خجند؛
نظارت و نگارش نهایی: محمود رضا شقاقیان.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

ملاحظه می‌گردد، شاخص محدودیت منحنی واریوگرام برای این مجموعه-داده‌ها به حداکثر $0/85$ و $0/31$ رسیده است. همچنین با استفاده از مدل گوسی، مدل واریوگرام تتوری مناسب به دست آمد. واریوگرام‌های مورد بحث در این تحقیق، از میزان بارندگی‌های بلندمدت به دست آمده‌اند. بنابراین این واریوگرام‌ها تنها می‌توانند در مدل‌های هیدرولوژیکی که بر اساس داده‌های بلندمدت بارندگی توسعه یافته‌اند (مانند مدل‌های مدیریت منابع آب)، استفاده گردند و نمی‌توان از آنها در مدل‌های هیدرولوژیکی مثل مدل‌های بارندگی-رواناب و یا هشدار سیل استفاده کرد. از این رو یکی از تحقیقاتی که می‌تواند در ادامه این تحقیق پیشنهاد گردد، استفاده از داده‌های با مقیاس زمانی کوچک‌تر جهت توسعه واریوگرام و استفاده از آنها در مدل‌های هیدرولوژیکی مثل مدل‌های هشدار سیل می‌باشد. همچنین می‌توان، به عنوان یک تحقیق دیگر، واریوگرام به دست آمده از مجموعه-داده-های ماهواره‌ای خانواده CMORPH¹⁸ و یا CHIRPS¹⁹ را با استفاده از روش‌های پیشنهادی این تحقیق مورد بررسی قرار داد.

References

1. Shaghaghian MR, Abedini MJ. Rain gauge network design using coupled geostatistical and multivariate techniques. *Scientia Iranica*. 2013;20(2):259-69.
2. Huang Y, Bárdossy A, Zhang K. Sensitivity of hydrological models to temporal and spatial resolutions of rainfall data. *Hydrol Earth Syst Sci*. 2019;23(6):2647-63.
3. Shirvani A. Comparison of ground based observation of precipitation with TRMM satellite estimations in Fars Province. *Journal of Agricultural Meteorology*. 2014;2(2):1-15 [In persian].
4. Kiany MSK, Masoodian SA, Balling Jr RC, Montazeri M. Evaluation of the TRMM 3B42 product for extreme precipitation analysis over southwestern Iran. *Advances in Space Research*. 2020;66(9):2094-2112.
5. Salmani-Dehaghi N, Samani N. Spatiotemporal assessment of the PERSIANN family of satellite precipitation data over Fars Province, Iran. *Theor Appl Climatol*. 2019;138(3):1333-57.
6. Mahbod M, Safari S, Rafiee MR. Spatial downscaling of TRMM satellite precipitation data by NDVI, DEM and surface temperature using regression learner methods. *Watershed Engineering and Management*. 2022;14(3):347-61 [In Persian].
7. Mikaili O, Rahimzadegan M. Investigating remote sensing indices to monitor drought impacts on a local scale (case study: Fars province, Iran). *Natural Hazards*. 2022;111(3):2511-29.
8. Khojand K, Shaghaghian MR, Ghadampour Z, Sabzevari T. Validity, reliability and certainty of PERSIANN and TRMM satellite-derived daily precipitation data in arid and semiarid climates. *Acta*

¹⁹ Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station

¹⁸ Climate prediction center MORPHing technique

- Geophysica. 2022;70(4):1745-67.
9. Gutierrez-Lopez A. A Robust Gaussian variogram estimator for cartography of hydrological extreme events. *Natural Hazards*. 2021;107(2):1469-88.
 10. Shehu B, Haberlandt U. Relevance of merging radar and rainfall gauge data for rainfall nowcasting in urban hydrology. *J Hydrol (Amst)*. 2021;594:125931.
 11. Zou W yue, Yin S qing, Wang W ting. Spatial interpolation of the extreme hourly precipitation at different return levels in the Haihe River basin. *J Hydrol (Amst)*. 2021;598:126273.
 12. Bárdossy A, Modiri E, Anwar F, Pegram G. Gridded daily precipitation data for Iran: A comparison of different methods. *J Hydrol Reg Stud*. 2021;38:100958.
 13. Saghafian B, Razmkhah H., Ghermez Cheshmeh B. Spatial mapping of the mean annual precipitation using geostatistics techniques (Case study: Fars province). 2011;4(9):29-38 [In Persian].
 14. Alijanian M, Rakhshandehroo GR, Mishra AK, Dehghani M. Evaluation of satellite rainfall climatology using CMORPH, PERSIANN-CDR, PERSIANN, TRMM, MSWEP over Iran. *International Journal of Climatology*. 2017;37(14):4896-914.
 15. Usowicz B, Lipiec J, Łukowski M, Słomiński J. Improvement of spatial interpolation of precipitation distribution using cokriging incorporating rain-gauge and satellite (SMOS) soil moisture data. *Remote Sens (Basel)*. 2021;13(5):1039.
 16. Vallejo-Bernal SM, Urrea V, Bedoya-Soto JM, Posada D, Olarte A, Cárdenas-Posso Y, et al. Ground validation of TRMM 3B43 V7 precipitation estimates over Colombia. Part I: Monthly and seasonal timescales. *Int J Climatol*. 2021;41(1):601-24.
 17. Isaaks EH. *Applied Geostatistics*. Oxford University Press; 1989.
 18. Shaghaghian MR. Application of transformed data in rain gauge network design using entropy concept. *Water Resources Engineering*. 2017;10(33):73-82 [In Persian].