

1 توسعه مدل‌های واریوگرام به دست آمده از مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای خانواده  
2 PERSIANN و TRMM 3B43 V. 7 در استان فارس

3 **Development of variogram models retrieved from PERSIANN**  
4 **family and TRMM 3B47 V. 7 satellite-derived datasets in Fars**  
5 **province**

6

زودایبند ویرایش نشده

7 **Abstract**

8 Precipitation data plays a crucial role in hydrological models, and it is important to have a good  
9 understanding of its spatial and temporal distribution before incorporating it into these models.  
10 Access to sufficient statistics on precipitation events is necessary to address this issue. However,  
11 due to the cost and limited availability of ground-based rain monitoring statistics in various  
12 locations, satellite-derived datasets can be a highly effective alternative. In the current study  
13 conducted in Fars province, four satellite-derived datasets (PERSIANN, PERSIANN-CDR,  
14 PERSIANN-CCS, and TRMM 3B43 V.7) were compared to assess and enhance the variogram  
15 curves of average annual precipitation. Ground-based observations from 23 stations in the area  
16 were utilized to evaluate the datasets. Upon comparing the observational and satellite-derived  
17 datasets, certain discrepancies were observed. For instance, the regression coefficient of the  
18 employed PERSIANN and TRMM families' satellite-derived datasets with ground-based  
19 observations were found to be 0.35 and 0.65, respectively. These datasets were found to be  
20 anisotropic, meaning that their characteristics vary directionally, and the variogram curves  
21 obtained from them were unbounded. These factors make their use challenging in most  
22 hydrological applications. To mitigate these issues, the trend of 1st or 2nd order polynomials was  
23 removed from the datasets in order to make them isotropic and separate the non-random  
24 component. After trend removal, the resulting two datasets prepared based on PERSIANN-CCS  
25 and TRMM 3B43 V.7 exhibited acceptable characteristics and isotropy. The bound indices of the  
26 variograms reached approximately 0.85 and 0.31, respectively. Among various models of  
27 theoretical variogram, the Gaussian model was selected as the most suitable model to express the  
28 variogram of the satellite-derived precipitation datasets. This choice helps in accurately  
29 representing the characteristics of these datasets for further analysis and application in  
30 hydrological studies. Therefore, it can be observed that utilizing the results of this study, it  
31 becomes feasible to construct a precipitation variogram using certain chosen satellite datasets  
32 and an appropriate model, even in regions where ground monitoring stations are absent. This  
33 variogram can then be obtained and implemented in other hydrological models.

34 **Keywords:** variogram, satellite-derived datasets, Gaussian model, trend removal

35

## 36 **Extended abstract**

### 37 **Introduction**

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

### 52 **Methodology**

53 The degree of spatial irrelevance for a regionalized random variable can be determined using a  
54 variogram model. This model involves a mathematical function of distance and direction  
55 between two points where a random variable is realized. Once the unprocessed variogram is  
56 obtained from the observed data, a theoretical variogram can be fitted for practical applications  
57 in geostatistical models. In the field of hydrology, attention has been focused on bounded models  
58 such as exponential, Gaussian, and spherical variogram models. The variogram is considered  
59 isotropic if parameter values do not depend on direction, and spatial dependence or  
60 autocorrelation changes only with distance. Anisotropic variograms, on the other hand, have  
61 varying range and sill values in different directions, and can be classified as geometric  
62 anisotropy, zonal isotropy, or mixed anisotropy. The next step in modeling theoretical  
63 variograms is to estimate their parameters, which can be done through fitting the best curve to  
64 the experimental variogram coefficients or using cross-validation in kriging methods. Large-  
65 scale satellite-based precipitation data may contain non-stationary trends and directional effects  
66 that violate hydrological modeling assumptions. To achieve reliable results, non-random trends  
67 should be removed from the original dataset. Directional non-stationarity can be evaluated by  
68 computing directional variograms and fitting them with a power model as an index for intrinsic  
69 non-stationarity in regionalized data.

### 70 **Results and Discussion**

71 To obtain a suitable variogram model based on satellite-derived datasets, it is necessary to  
72 compare them with ground-based observations. Figure 1 depicts the comparison of AAP in 23  
73 synoptic stations with 4 satellite-derived datasets, and Table 2 displays the respective error  
74 indices. The "mean error" and "relative bias" indices show that the PERSIANN and PERSIANN-  
75 CDR datasets have lower values than the ground-based observations, supporting other studies

76 done on such datasets in the region. Figure 2 presents the spatial distribution of the AAP  
77 observed from the 4 satellite and the ground-based. Trends can be detected in most of these  
78 datasets, except for the PERSIAN-CCS dataset, which has a stationary property, while the  
79 PERSIANN and PERSIAN-CDR datasets are stationary after linear trend removal, and the  
80 TRMM 3B43 V. 7 datasets are stationary after quadratic trend removal. Among the 4 satellite-  
81 derived precipitation datasets, PERSIAN-CCS and TRMM 3B43 V. 7 can be considered almost  
82 stationary after removing their trend from the original dataset. Consequently, these two data sets  
83 were selected for the final modeling. Figure 4 depicts the modeling of the theoretical variogram  
84 (as mentioned in equation 2) on the selected variogram models from the previous section, fitting  
85 with the minimization of the root mean square of errors (as stated in equation 3), and comparing  
86 it with the variograms of the ground-based. Table 4 shows the parameters of these variograms.  
87 The RMSE values show that the Gaussian model has the lowest error for modeling the  
88 theoretical mapping. This entails that in the study area, the rate of increase in variograms is  
89 directly proportional to the distance between the points, and then the rate of increase in  
90 variograms decreases.

## 91 **Conclusion**

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

## 99 **Keywords**

100 Variogram, satellite-derived precipitation dataset, Gaussian model, trend removal

101

102

103  
104  
105  
106  
107  
108  
109  
110  
111  
112  
113  
114  
115  
116  
117  
118  
119  
120  
121  
122  
123  
124  
125  
126  
127  
128  
129  
130  
131  
132  
133  
134

## توسعه مدل‌های واریوگرام به دست آمده از مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای خانواده PERSIANN و TRMM 3B43 ۷.۷ در استان فارس

### خلاصه

داده‌های بارندگی معمولاً یکی از اجزای جدایی ناپذیر اغلب مدل‌های هیدرولوژیکی به حساب می‌آیند. از این رو می‌بایستی شناخت مناسبی از توزیع مکانی و زمانی این گونه داده‌ها، قبل از استفاده در مدل‌های مربوطه حاصل گردد. این موضوع مستلزم دسترسی به آمار کافی پدیده بارش می‌باشد. با توجه به هزینه و عدم دسترسی به آمار پایش باران در نقاط مختلف، مجموعه-داده‌های مبتنی بر اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای می‌تواند در این راستا بسیار موثر باشد. در این تحقیق، ۴ مجموعه-داده ماهواره‌ای (PERSIANN-CDR، PERSIANN، PERSIANN-CCS و TRMM 3B43 V. 7) برای به دست آوردن و بهسازی منحنی‌های واریوگرام میانگین بارندگی سالیانه در استان فارس، با هم مقایسه گردیده‌اند. برای ارزیابی آنها، از مقادیر مشاهداتی در ۲۳ ایستگاه پایش زمینی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. با مقایسه داده‌های مشاهداتی و ماهواره‌ای، ملاحظه گردید که علاوه بر عدم تطابق مقادیر مجموعه-داده‌های به دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای با مشاهدات ایستگاه‌های پایش زمینی (به عنوان مثال، ضریب رگرسیون مجموعه-داده‌های مورد استفاده از خانواده PERSIANN و TRMM با مشاهدات ایستگاه‌های زمینی به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۶۵ می‌باشد)، این مجموعه-داده‌ها ناهمسانگرد بوده و منحنی‌های واریوگرام به دست آمده از آنها نامحدود می‌باشند که این موارد کاربرد آنها را در اغلب کاربردهای هیدرولوژیکی سخت می‌نماید. بنابراین، با حذف روند چندجمله‌ای‌های درجه ۱ یا درجه ۲، برای همسانگرد نمودن مجموعه-داده‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای و جدا نمودن بخش غیرتصادفی از آنها اقدام به عمل آمد. پس از حذف روند از مجموعه-داده‌ها، دو مجموعه-داده تهیه شده از داده‌های اولیه مبتنی بر PERSIANN-CCS و TRMM 3B43 V. 7 دارای خصوصیات قابل قبول بوده و همسانگرد به دست می‌آید، به طوری که شاخص محدودیت منحنی واریوگرام به حداکثر ۰/۸۵ و ۰/۳۱ رسیده است. از میان مدل‌های مختلف واریوگرام تئوری نیز، مدل گوسی به عنوان مدل منتخب برای بیان واریوگرام مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای انتخاب گردید. بنابراین، ملاحظه می‌گردد که با استفاده از یافته‌های این مطالعه، می‌توان حتی در مناطقی که فاقد ایستگاه‌های پایش زمینی هستند، با استفاده از برخی مجموعه-داده‌های منتخب ماهواره‌ای و مدل مناسب واریوگرام بارندگی را به دست آورده و در سایر مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** واریوگرام، مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای، مدل گوسی، حذف روند

136 آمار بارندگی در مدل‌های هیدرولوژیکی اهمیت بسیاری دارد. هنگامی که یک مدل هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی فرآیندهای مربوط به آن،  
 137 شامل جریان سطحی، رواناب، جذب و نفوذ آب در خاک، و موارد مشابه استفاده می‌شود، دقت و صحت پیش‌بینی بارندگی بسیار حائز اهمیت  
 138 است. این آمار نه تنها بیانگر میزان بارندگی می‌باشد، الگوی توزیع مکانی و زمانی بارندگی را نیز نشان می‌دهند (Shaghaghian and  
 139 Abedini, 2013). با استفاده از این اطلاعات، می‌توان مدل‌های هیدرولوژیکی را بهبود بخشید و بارندگی آینده را به طور دقیق پیش‌بینی  
 140 کرد. این امر در برنامه‌ریزی منابع آب، مدیریت سیلاب و خشکسالی، اقدامات احتیاطی و تحلیل ریسک‌های آبی بسیار مفید است.

141 در دهه‌های اخیر، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در مدل‌های هواشناسی و هیدرولوژی کاربرد روز افزونی یافته است که علت اصلی آن، مقیاس  
 142 زمانی و مکانی وسیع در داده‌ها و سادگی به‌دست آوردن این داده‌ها می‌باشد (Huang *et al.*, 2019). در طرف مقابل این داده‌ها معمولاً از  
 143 دقت مناسب برای مقاصد مدنظر برخوردار نبوده و از این‌رو تاکنون مطالعات گسترده‌ای در زمینه صحت سنجی این داده‌ها انجام پذیرفته است.  
 144 پهنه این مطالعات عمدتاً بر مبنای مکان و اقلیم، روش تحلیل و داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده، گسترده شده است.

145 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  
 146 مطالعات عمدتاً شامل صحت سنجی داده‌های ماهواره‌ای (شیروانی و فخاری‌زاده شیرازی، ۱۳۹۳؛ Khojand *et al.*, 2022؛ Salmani-  
 147 Dehghani and Samani, 2019؛ Keikhosravi Kiany *et al.*, 2020) و کاربرد این مجموعه داده‌ها در زمینه‌های مختلف  
 148 هیدرولوژی می‌باشد (مهید و همکاران، ۱۴۰۱؛ Mikaili and Rahimzadegan, 2022). به عنوان مثال، بر اساس بعضی از این  
 149 مطالعات، اقلیم‌های موجود در استان فارس، می‌توانند بر پارامترهای مختلف ارزیابی بارندگی روزانه به دست آمده از مجموعه داده‌های ماهواره-  
 150 ای مربوط به این استان (دقت، قابلیت اطمینان و قطعیت) موثر باشند (Khojand *et al.*, 2022). نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که  
 151 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  
 152 توجه به حیطه مورد استفاده، اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد.

153 یکی از مدل‌های بسیار پرکاربرد در بسیاری از مفاهیم هیدرولوژیکی واریوگرام (به دست آمده از توزیع مکانی بارندگی می‌باشد) (Gutierrez-  
 154 Lopez, 2021). این مدل اغلب بر اساس مشاهدات ایستگاه‌های زمینی قابل حصول بوده ولی گاهی نیز از سایر روش‌ها برای توسعه آنها  
 155 استفاده می‌شود (Shehu and Haberlandt, 2021). به عنوان یک مثال کاربردی، درون‌یابی پدیده‌های بارش ساعتی در سطوح  
 156 بازگشتی مختلف می‌بایستی با استفاده از مفهوم واریوگرام صورت پذیرد (Zou *et al.*, 2021). تعداد محدودی از مطالعات هیدرولوژیکی  
 157 توسعه یافته در ایران (Bárdossy *et al.*, 2021) و در استان فارس نیز از این مدل‌ها استفاده نموده‌اند (تقیان و همکاران، ۱۳۹۰). حجم  
 158 نسبتاً کم مطالعات، علی‌رغم اهمیت مدل‌های واریوگرام، به علت تعداد محدود ایستگاه‌های پایش بارندگی، جهت توسعه این مدل‌ها می‌باشد. از  
 159 این‌رو، استفاده از داده‌های جایگزین مشاهدات در ایستگاه‌های پایش زمینی برای رسیدن به مدل‌های واریوگرام بارندگی در استان ضروری به‌نظر  
 160 می‌رسد و به عنوان نوآوری این مطالعه در نظر گرفته می‌شود.

161 مجموعه داده‌های بارندگی برگرفته از خانواده‌های PERSIANN<sup>2</sup> و TRMM<sup>3</sup> منابع ارزشمندی برای تحلیل و درک الگوهای بارش  
 162 جهانی هستند. PERSIANN با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی تکنیکی می‌باشد که از داده‌های ماهواره‌ای برای تخمین میزان  
 163 بارش استفاده می‌نماید. این تخمین بارندگی را با مقیاس بالا در مناطق مختلف جهان را ارائه می‌دهد. از سوی دیگر، مجموعه داده‌های مبتنی  
 164 بر داده‌های ماهواره‌ای TRMM مشاهدات چندین ماهواره و اندازه‌گیری‌های زمینی را برای تولید داده‌های بارش جامع در مناطق استوایی و

<sup>1</sup> Variogram

<sup>2</sup> Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information

<sup>3</sup> Tropical Rainfall Measuring Mission

165 عرض‌های جغرافیایی میانی ترکیب می‌کند. این مجموعه-داده‌ها محققان و دانشمندان را قادر می‌سازد تا توزیع بارندگی را ارزیابی کنند، تغییرات  
166 آب و هوایی را پیش‌کنند و تأثیرات بارش بر اکوسیستم، کشاورزی و مدیریت منابع آب را مطالعه کنند. آنها نقش مهمی در مطالعات آب و هوا،  
167 مدیریت بلایا و پیش‌بینی آب و هوا دارند و به درک بهتر دینامیک بارش پیچیده سیاره ما کمک می‌کنند (Khojand et al., 2022);  
168 (Alijanian et al., 2017).

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

### 174 منطقه و داده‌های مورد مطالعه

#### 175 منطقه مورد مطالعه

176 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  
177 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  
178 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  
179 دشت گسترده شده‌اند. علاوه بر خصوصیات اقلیمی، منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر سه توده هوایی مدیترانه‌ای از شمال غرب، سودانی از جنوب  
180 غرب و استوایی از بخش‌های شرقی قرار گرفته است که دو توده اول نزدیک به ۸۷ درصد مجموع بارندگی را تأمین کرده و اغلب در فصل‌های  
181 پاییز، زمستان و نیمه اول بهار بر منطقه حکمفرما می‌باشد.

#### 182 مجموعه-داده‌ها

#### 183 ایستگاه‌های پایش زمینی

184 داده‌های مرجع مورد استفاده در این پژوهش از 23 ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی کشوری که دارای حداقل ۱۰ سال داده می‌باشند به  
185 دست آمده است.

186 واریوگرام‌های مورد بحث در این تحقیق، از میزان بارندگی‌های بلندمدت به دست آمده‌اند. بنابراین این واریوگرام‌ها تنها می‌توانند در مدل‌های  
187 هیدرولوژیکی که بر اساس داده‌های بلندمدت بارندگی توسعه یافته‌اند (مانند مدل‌های مدیریت منابع آب)، استفاده گردند و نمی‌توان از آنها در  
188 مدل‌های هیدرولوژیکی مثل مدل‌های بارندگی-رواناب و یا هشدار سیل استفاده کرد. از این رو یکی از تحقیقاتی که می‌تواند در ادامه این  
189 تحقیق پیشنهاد گردد، استفاده از داده‌های با مقیاس زمانی کوچک‌تر جهت توسعه واریوگرام و استفاده از آنها در مدل‌های هیدرولوژیکی مثل  
190 مدل‌های هشدار سیل می‌باشد. همچنین می‌توان، به عنوان یک تحقیق دیگر، واریوگرام به دست آمده از مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای خانواده  
191 CMORPH و یا CHIRPS را با استفاده از روش‌های پیشنهادی این تحقیق مورد بررسی قرار داد.

192

193

194

195

196

197

198

199

200 جدول ۱ موقعیت مکانی و داده‌های مورد استفاده به همراه اقلیم‌بندی آنها را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، اغلب این ایستگاه‌ها در  
201 اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند.

### 202 مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای

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

207 در میان مجموعه داده‌ها، محصولات مورد استفاده از خانواده PERSIANN در این تحقیق شامل PERSIANN-CCS و PRSIANN-CDR و از خانواده TRMM، TRMM 3B43 V. 7 می‌باشد. از لحاظ دقت مکانی، تمام این مجموعه-  
208 داده‌ها با مقیاس ۰.۲۵ درجه طولی و عرضی می‌باشند. مجموعه-داده‌های خانواده PERSIANN، دارای مقیاس زمانی روزانه و کمتر می-  
209 باشند، حال آن‌که مجموعه-داده‌های TRMM 3B43 V. 7 دارای مقیاس زمانی ماهیانه می‌باشند. در هر صورت، با توجه به مقیاس زمانی  
210 مورد استفاده در این پژوهش (داده‌های سالیانه)، مجموعه-داده‌های ثانویه‌ای از تجمیع داده‌های با مقیاس زمانی کوچکتر برای تولید داده‌ها با  
211 مقیاس بزرگ‌تر، استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در مجموعه-داده‌ها در این تحقیق، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی بوده‌اند.

### 213 مواد و روش‌ها

#### 214 مدل‌های واریوگرام

215 یک مدل واریوگرام در حقیقت میزان ناوابستگی در یک متغیر تصادفی مکانی<sup>۴</sup> را نمایش می‌دهد. در مدل‌سازی واریوگرام، واریوگرام تجربی<sup>۵</sup> به  
216 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  
217 محاسبه می‌گردد:

معادله ۱

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

<sup>4</sup> Regionalized random variable

<sup>5</sup> Experimental variogram



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

220 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  
 221 واریوگرام تئوری<sup>۶</sup> بر واریوگرام تجربی ضروری به نظر می‌رسد. در میان واریوگرام‌های تئوری متعدد، واریوگرام‌های نمایی، گوسی و کروی،  
 222 مطالعات زیادی را در مدلسازی‌های هیدرولوژیکی به سمت خود جلب نموده‌اند. این مدل‌ها به شکل زیر نمایش داده می‌شوند ( Usowicz et al., 2021 )  
 223

مدل واریوگرام نمایی 
$$\gamma_t(h_\theta) = N_0 + S_\theta \left[ 1 - e^{-\frac{\sqrt{3}h_\theta}{r_\theta}} \right]$$

مدل واریوگرام گوسی معادله ۲ 
$$\gamma_t(h_\theta) = N_0 + S_\theta \left[ 1 - e^{-\frac{3h_\theta^2}{r_\theta^2}} \right]$$

مدل واریوگرام کروی 
$$\gamma_t(h_\theta) = N_0 + S_\theta \left[ 1.5 \frac{h_\theta}{r_\theta} - 0.5 \frac{h_\theta^3}{r_\theta^3} \right]$$

224 که در آن  $N_0$ ،  $r_\theta$  و  $(N_0 + S_\theta)$  که اغلب به عنوان پارامترهای واریوگرام شناخته می‌شوند به ترتیب واریوگرام اولیه<sup>۷</sup>، دامنه<sup>۸</sup> و حد  
 225 واریوگرام<sup>۹</sup> نام دارند. در صورتی که تمام پارامترهای واریوگرام تنها به فاصله دو نقطه بستگی داشته باشد و به جهت قرارگیری آنها بستگی  
 226 نداشته باشد، واریوگرام همسانگرد<sup>۱۰</sup> و در غیر اینصورت واریوگرام ناهمسانگرد<sup>۱۱</sup> نامیده می‌شود. واریوگرام‌های ناهمسانگرد نیز به نوبه خود به  
 227 ناهمسانگرد هندسی، ناهمسانگرد ناحیه‌ای و ناهمسانگرد مرکب تقسیم می‌گردند که در آنها به ترتیب، دامنه، حد واریوگرام و تمام پارامترهای  
 228 واریوگرام، علاوه بر فاصله به جهت قرارگیری نقاط در متغیر تصادفی مکانی بستگی دارند.

229 برای انتخاب نوع و پارامترهای واریوگرام تئوری مناسب، از ارزیابی مقاطع<sup>۱۲</sup> یا برازش تابع بر واریوگرام تئوری استفاده می‌گردد. بهترین نوع  
 230 واریوگرام با پارامترهای بهینه می‌بایستی دارای کمترین یکی از شاخص‌های خطا باشد. در میان شاخص‌های خطا، جذر میانگین مربع خطاها  
 231 (معادله ۳) یکی از پرکاربردترین شاخص‌های خطا بوده که در بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده واقع می‌گردد. این شاخص به  
 232 صورت زیر تعریف می‌گردد:

معادله ۳ 
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^N E_i^2}{N}}$$
 جذر میانگین مربع خطاها

6 Permissible  
 7 Theoretical variogram  
 8 Nugget  
 9 Range  
 10 Sill  
 11 Isotropic  
 12 Anisotropic  
 13 Cross-validation

233 که در آن،  $E_i$  خطای مقدار مدل‌سازی شده نسبت به مقدار مشاهده شده و  $N$  تعداد مقادیر مشاهداتی می‌باشد. شاخص‌های دیگر نیز مانند  
234 ضریب همبستگی پیرسن، ضریب همبستگی مرتبه اسپیرمن، ضریب رگرسیون، میانگین خطا، میانگین خطای مطلق و خطای نسبی به عنوان  
235 شاخص‌های خطا در بسیاری از مراجع جهت ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده واقع شده‌اند (Vallejo-Bernal et al. 2021; )  
236 (Khojand et al., 2022).

### 237 حذف روند از متغیرهای تصادفی مکانی

238 بسیاری مدل‌های هیدرولوژیکی-زمین آماری مبتنی بر "متغیرهای تصادفی مکانی" بوده که دارای خاصیت ایستایی ذاتی<sup>۱۴</sup> و محدود<sup>۱۵</sup> باشند.  
239 متغیرهای تصادفی مکانی دارای خاصیت ایستایی ذاتی، دارای میانگین ثابت بوده، واریوگرام آنها تنها به فاصله دو نقطه بستگی داشته و به  
240 موقعیت آنها وابسته نمی‌باشد (Isaaks and Srivastava, 1989). برای بررسی خاصیت محدود بودن نیز، واریوگرام با افزایش فاصله به یک  
241 مقدار ثابت میل می‌کند. بدین منظور می‌توان از برازش واریوگرام نمایی ( $\gamma(h) = Ae^{Bh}$ ) برای بررسی این خاصیت استفاده نمود. بطور  
242 کلی، برای متغیرهای تصادفی مکانی محدود، مقدار  $B$  باید از یک کمتر باشد. بنابراین از این مقدار می‌توان به عنوان شاخص محدود بودن  
243 متغیر تصادفی مکانی استفاده کرد.

244 در این مطالعه برای رسیدن به مجموعه-داده‌ها با خصوصیات ذکر شده، از فرایند حذف روند چندجمله‌ای استفاده می‌گردد. در این راستا، با  
245 برازش داده‌های موجود، که به عنوان یک نماینده<sup>۱۶</sup> از متغیر تصادفی مکانی در نظر گرفته شده، با منحنی چند جمله‌ای و حذف منحنی از  
246 مجموعه داده‌های اصلی، مجموعه داده‌های جدید حاصل می‌گردد. این فرایند می‌تواند (با افزایش درجه منحنی چند جمله‌ای) تا رسیدن به  
247 مجموعه داده‌های مناسب ادامه پیدا کند.

### 248 نتایج و بحث

249 هدف اصلی این مطالعه، به دست آوردن مدل مناسب واریوگرام مبتنی بر مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد. از این‌رو در گام نخست می-  
250 یابستی داده‌های ماهواره‌ای با مشاهدات بدست آمده در ایستگاه‌های زمینی مقایسه گردد. از این رو، شکل ۲ پراکنش آمار بارتدگی بلندمدت در  
251 ۲۳ ایستگاه پایش زمینی در مقایسه با ۴ مجموعه-داده مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای را نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل ملاحظه می  
252 گردد، از منظر پراکنش و شاخص برازش، تنها داده‌های مربوط به مجموعه‌داده‌های ماهواره‌ای *TRMM 3B43 V. 7* از روند مشاهدات به  
253 دست آمده در ایستگاه‌های زمینی پیروی می‌نماید. همچنین مشاهده می‌گردد که داده‌های مربوط به مجموعه داده‌های خانواده *PERSIANN*  
254 به طور چشمگیری از مقادیر مشاهداتی ایستگاه‌های زمینی کمتر می‌باشند. در ادامه نیز، تعدادی از شاخص‌های خطا برای ارزیابی مجموعه-  
255 داده‌های ماهواره‌ای در جدول ۲ آورده شده است. شاخص‌های میانگین خطا و خطای نسبی نمایانگر این است که مجموعه-داده‌های  
256 *PERSIANN* و *PERSIANN-CDR* دارای مقادیر کمتر از مقادیر مشاهداتی در ایستگاه‌های پایش زمینی می‌باشند. این موضوع با  
257 سایر مطالعات انجام شده بر مجموعه-داده‌های ذکر شده بر منطقه نیز مطابقت دارد (Salmani-Dehghani and Samani, 2019; )  
258 (Khojand et al., 2022). اما مقادیر ضرایب همبستگی پیرسن و مرتبه اسپیرمن در کنار ضریب رگرسیون نمایانگر این است که تنها داده-  
259

<sup>14</sup> Intrinsic stationary

<sup>15</sup> Bounded

<sup>16</sup> Realization

260 های به دست آمده مبتنی بر مجموعه داده‌های TRMM 3B43 V. 7 به شکل معناداری از مشاهدات ایستگاه‌های پایش زمینی تبعیت می-  
261 کنند.

262 اولین گام در مدل‌سازی واریوگرام، بررسی وجود ناهمسانگردی در متغیر تصادفی مکانی می‌باشد. از این رو این متغیر می‌بایستی در جهت‌های  
263 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  
264 رسید که بتوان از آن در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی بعدی، مانند طراحی شبکه‌های پایش (Shaghaghian and Abedini, 2013)  
265 بهره جست. در این راستا، تولید مجموعه-داده‌های بهبودیافته یکی از روش‌های مرسوم برای بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی می‌باشد  
266 (شقایقین، ۱۳۹۶).

267 در شکل ۳ توزیع مکانی میانگین بارندگی سالیانه مشاهده شده از ۴ مجموعه-داده ماهواره‌ای و مجموعه-داده مبتنی بر ایستگاه‌های پایش  
268 زمینی قابل مشاهده است. وجود روند در اغلب این مجموعه-داده‌ها قابل مشاهده است. به عنوان مثال، مجموعه-داده‌های PERSIANN  
269 دارای روند کاهشی قابل مشاهده‌ای از شمال غرب به جنوب شرق می‌باشند. از این رو واریوگرام تئوری در جهت‌های شمال شرقی-جنوب غربی  
270 ( $\theta = +60^\circ$ )، شرقی-غربی ( $\theta = 0^\circ$ ) و جنوب شرقی-شمال غربی ( $\theta = -60^\circ$ ) ترسیم شده و شاخص ایستایی آن به دست می‌آید.  
271 جدول ۳ شاخص‌های ایستایی برای داده‌های خام و بهبود یافته را نشان می‌دهند. همانطور که از این داده‌ها مشاهده می‌شود، مجموعه-داده  
272 PERSIANN-CCS به صورت خام دارای خاصیت ایستایی دارد، حال آنکه مجموعه‌داده‌های PERSIANN و PERSIAN-CDR  
273 با حذف روند خطی و مجموعه-داده‌های TRMM 3B43 V. 7 با حذف روند سهموی (درجه ۲) دارای خاصیت ایستایی می‌گردند. تغییرات  
274 واریوگرام تجربی با فاصله در جهت‌های مختلف و بدون در نظر گرفتن جهت<sup>۱۷</sup> برای مجموعه-داده‌های خام و بهبود یافته در شکل ۴ نشان داده  
275 شده است. ملاحظه می‌گردد که از میان ۴ مجموعه-داده مبتنی بر ماهواره، PERSIANN-CCS و TRMM 3B43 V. 7 با حذف  
276 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-  
277 داده برای مدل‌سازی نهایی انتخاب می‌گردند.

278 در نهایت نیز در شکل ۵ مدل‌سازی واریوگرام‌های تئوری ذکر شده در معادله ۲ بر مدل‌های واریوگرام منتخب از قسمت قبل برازش با حداقل-  
279 سازی جذرمیانگین مربع خطاها (معادله ۳) و مقایسه آن با واریوگرام مجموعه-داده‌های مبتنی بر مشاهدات ایستگاه‌های پایش زمینی نشان داده  
280 شده است. جدول ۴ نیز پارامترهای این واریوگرام‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از مقادیر جذر میانگین مربع خطا ملاحظه می‌گردد، مدل  
281 گوسی تا حدودی کمترین خطا را برای مدل‌سازی واریوگرام تئوری دارا می‌باشد. این بدان معنا می‌باشد که در منطقه مورد مطالعه، ابتدا با  
282 افزایش فاصله بین نقاط نرخ افزایش واریوگرام افزایش یافته و پس از آن، نرخ افزایش واریوگرام کاهش می‌یابد.

## نتیجه‌گیری

284 مدل‌های واریوگرام یکی از قسمتهای عمده بررسی متغیرهای تصادفی مکانی می‌باشد. گاهی اوقات فرآوری داده‌ها اولیه برای رسیدن به مدل  
285 مناسب، ضروری به نظر می‌رسد. مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای بارندگی می‌توانند ابزار مناسبی در تدوین مدل‌های مکانی بارندگی باشند. اما، با  
286 توجه به شرایط ثبت آنها (اختلالات پارازیتی، شرایط جوی و ...)، فرآوری این داده‌ها برای استفاده از آنها، ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق  
287 مدل واریوگرام میانگین سالیانه بارندگی برای ۳ مجموعه-داده از خانواده PERSIANN و مجموعه-داده TRMM 3B43 V. 7 مورد  
288 ارزیابی قرار گرفت. مجموعه-داده‌های PERSIANN-CCS و TRMM 3B43 V. 7، با حذف روند، شرایط لازم برای تدوین مدل  
289 واریوگرام را دارا شدند. به عنوان مثال، همانطور که ملاحظه می‌گردد، شاخص محدودیت منحنی واریوگرام برای این مجموعه-داده‌ها به حداکثر  
290  $0/85$  و  $0/31$  رسیده است. همچنین با استفاده از مدل گوسی، مدل واریوگرام تئوری مناسب به دست آمد.

<sup>17</sup> Omni-directional direction

291 واریوگرام‌های مورد بحث در این تحقیق، از میزان بارندگی‌های بلندمدت به دست آمده‌اند. بنابراین این واریوگرام‌ها تنها می‌توانند در مدل‌های  
 292 هیدرولوژیکی که بر اساس داده‌های بلندمدت بارندگی توسعه یافته‌اند (مانند مدل‌های مدیریت منابع آب)، استفاده گردند و نمی‌توان از آنها در  
 293 مدل‌های هیدرولوژیکی مثل مدل‌های بارندگی-رواناب و یا هشدار سیل استفاده کرد. از این رو یکی از تحقیقاتی که می‌تواند در ادامه این  
 294 تحقیق پیشنهاد گردد، استفاده از داده‌های با مقیاس زمانی کوچک‌تر جهت توسعه واریوگرام و استفاده از آنها در مدل‌های هیدرولوژیکی مثل  
 295 مدل‌های هشدار سیل می‌باشد. همچنین می‌توان، به عنوان یک تحقیق دیگر، واریوگرام به دست آمده از مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای خانواده  
 296 CMORPH<sup>18</sup> و یا CHIRPS<sup>19</sup> را با استفاده از روش‌های پیشنهادی این تحقیق مورد بررسی قرار داد.

297  
 298  
 299  
 300  
 301  
 302  
 303  
 304  
 305

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده در تحقیق و داده‌های برداشت شد از آنها (Khojand *et al.*, 2022)

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
پوانات	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	فراسیند	52°07'09"	28°48'47"	782	272.3	22.2
صفاشهر	53°09'23"	30°35'27"	2251	204.05	12.1						

306

<sup>18</sup> Climate prediction center MORPHing technique

<sup>19</sup> Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station

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

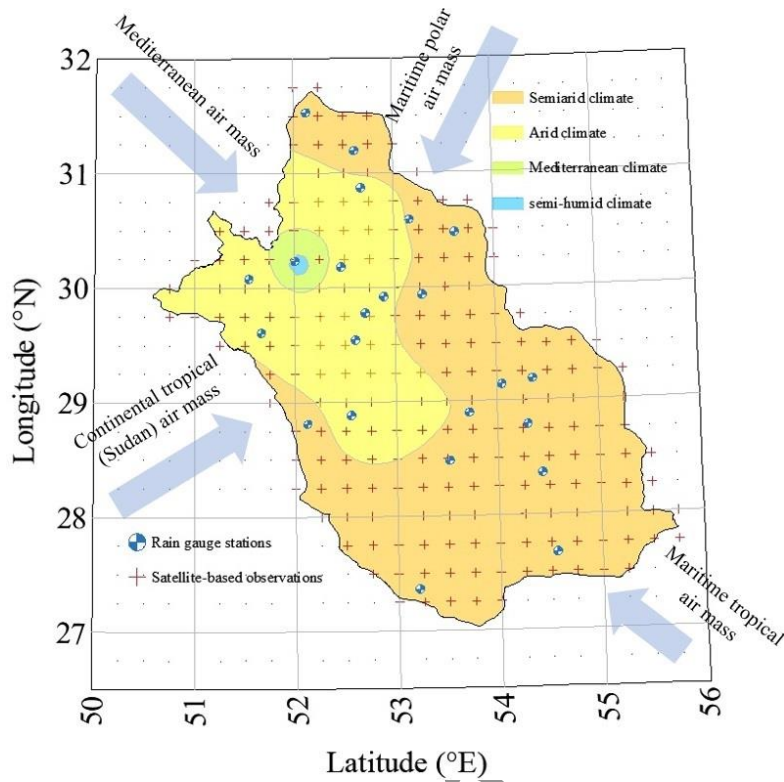
TRMM 3B43 V. 7	PERSIANN-CCS	PERSIANN-CCR	PERSIANN	
0.82	0.56	0.60	0.58	ضریب همبستگی پیرسن ( $\rho$ )
0.91	0.35	0.61	0.50	ضریب همبستگی مرتبه‌ی اسپیرمن ( $\rho_s$ )
0.67	0.32	0.36	0.34	ضریب رگرسیون ( $R^2$ )
75.7	20.9	-42.3	-146.1	میانگین خطا ( $mm/year$ )
84.2	72.2	67.7	146.4	میانگین خطای مطلق ( $mm/year$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

309  
 310 جدول ۳: شاخص ایستایی مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای برای داده‌های خام و داده‌های بهبودیافته با حذف روند خطی و سهموی در جهت‌های مختلف

مجموعه-داده‌های بهبودیافته با حذف روند سهموی (درجه ۲)			مجموعه-داده‌های بهبودیافته با حذف روند خطی (درجه ۱)			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-CCR
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

311  
 312 جدول ۴: پارامترهای انواع واریوگرام تئوری برای مجموعه-داده‌های به دست آمده از مشاهدات ایستگاه‌های پایش زمینی و داده‌های ماهواره‌ای منتخب

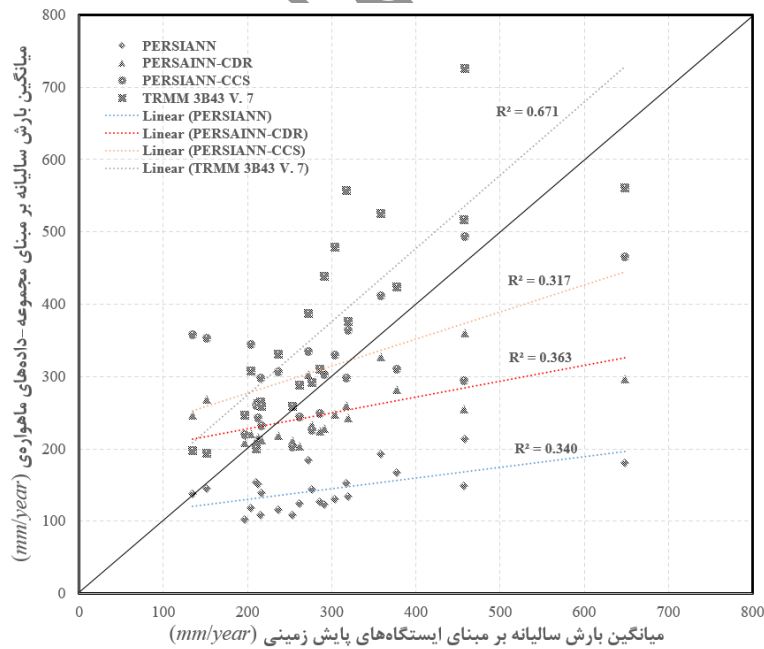
جذر میانگین مربع خطا (RMSE)			دامنه واریوگرام تئوری			حد واریوگرام تئوری			
کروی	گوسی	نمایی	کروی	گوسی	نمایی	کروی	گوسی	نمایی	
1816.6	1601.5	1654.1	101899	74146	88995	5325	5399	5341	مجموعه-داده‌ها بر مبنای مشاهدات ایستگاه‌های پایش زمینی
67.5	67.4	66.4	40321	31835	31075	1061	1062	1069	مجموعه داده‌های بهبودیافته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



شکل ۱: توده‌های تاثیر گذار بر منطقه مورد مطالعه و برکنش ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده (Khojand *et al.*, 2022)

313  
314

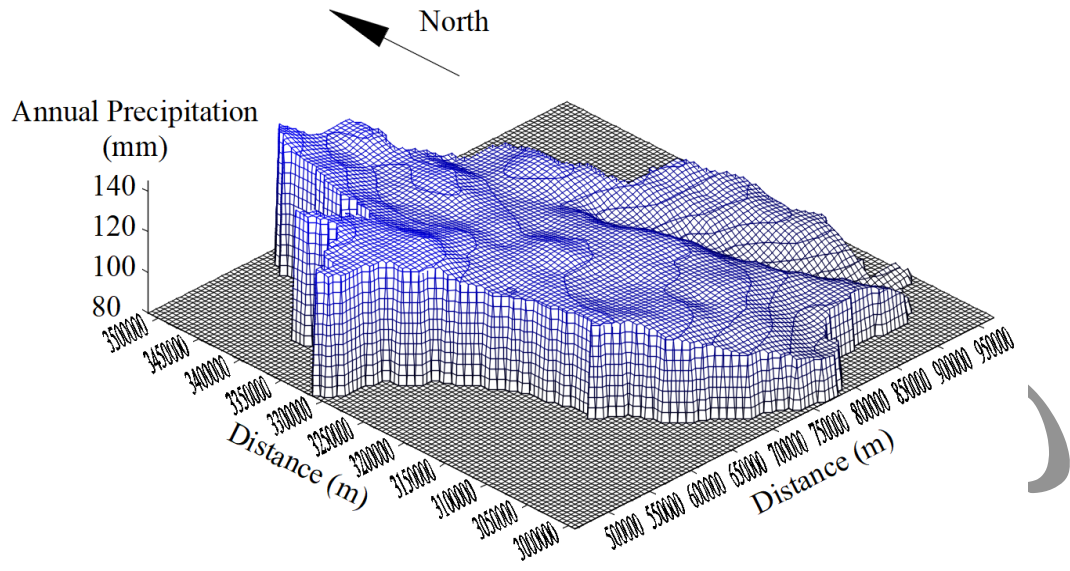
315  
316



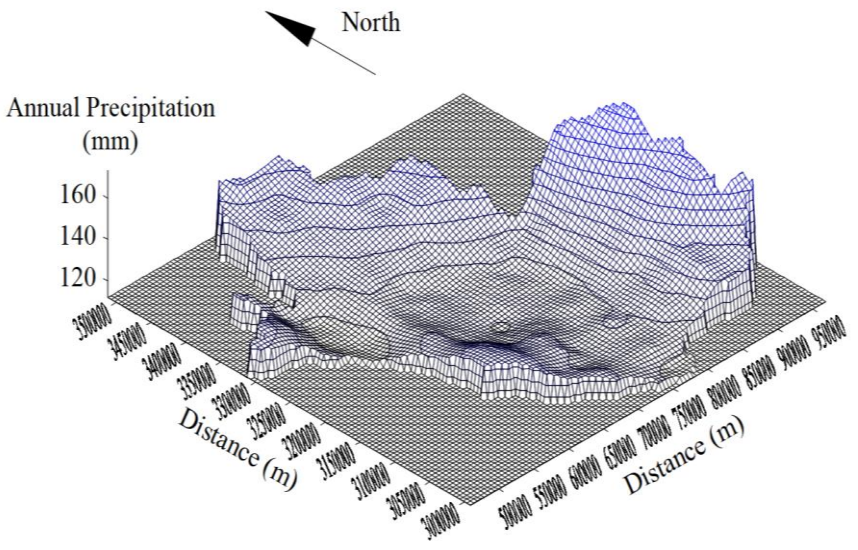
شکل ۲: پراکنش رسم (scatterplot) میانگین بارندگی سالیانه به دست آمده از مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های پایش زمینی

317  
318

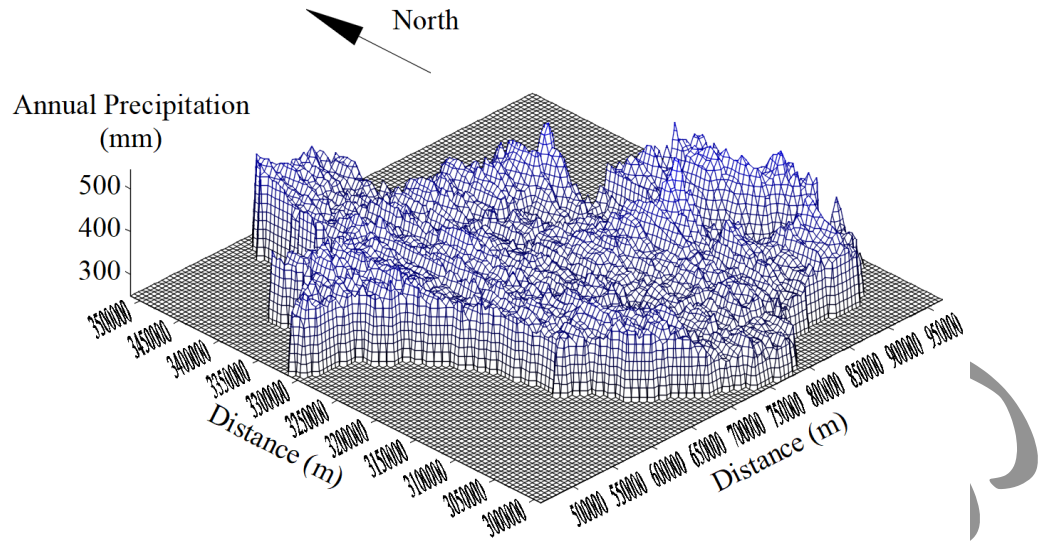
319



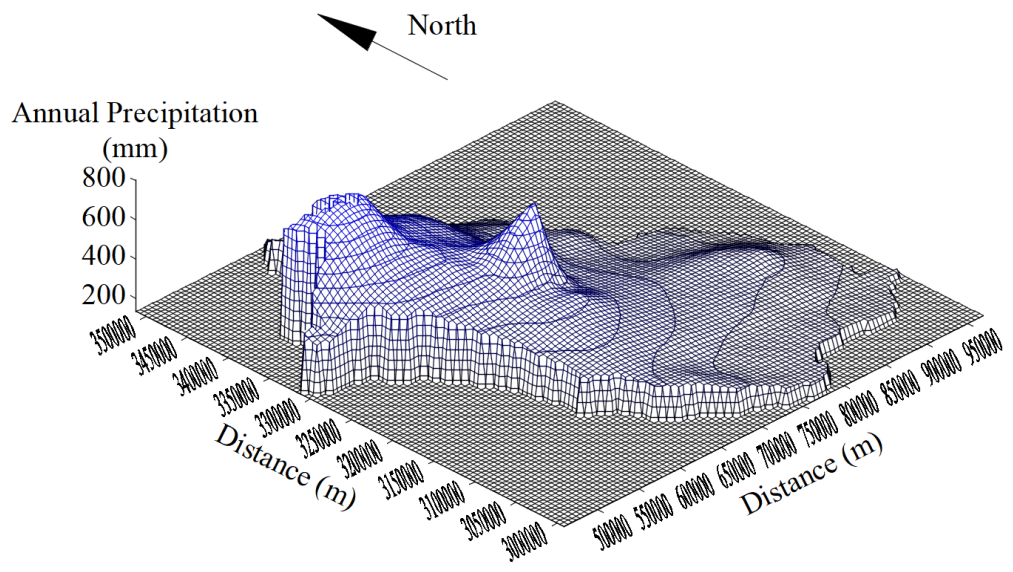
PERSIANN



PERSIANN-CDR

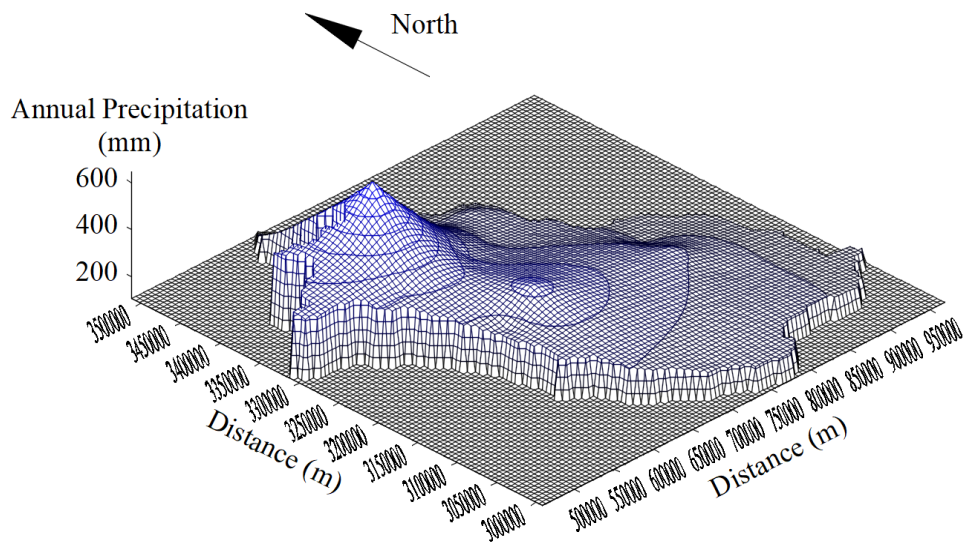


PERSIANN-CCS



TRMM 3B43 V. 7



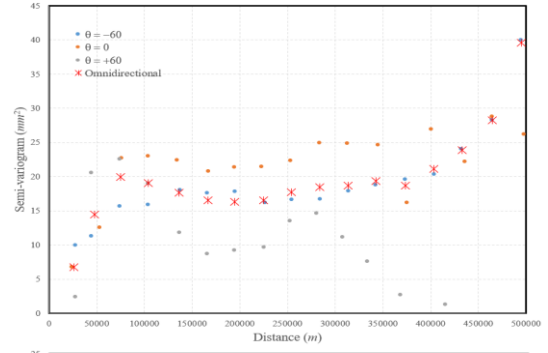
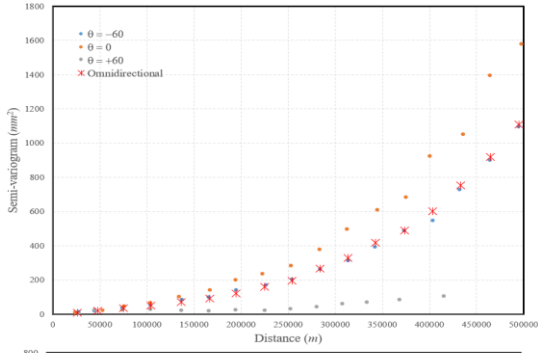


مجموعه-داده‌های به دست آمده از ایستگاه‌های پایش زمینی

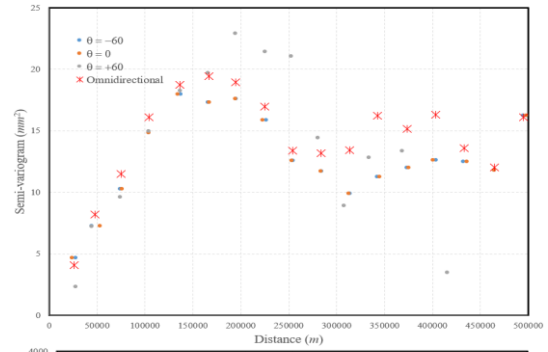
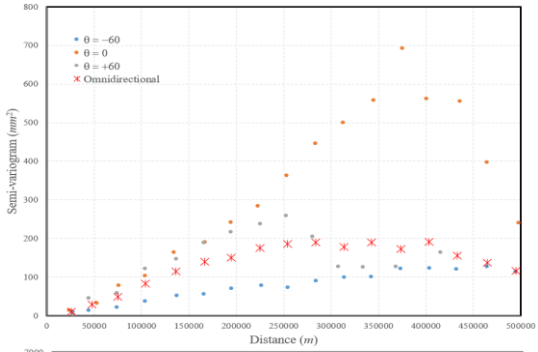
شکل ۳: نمایش سه‌بعدی تغییرات بارندگی بلندمدت به دست آمده از مجموعه-داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های پایش زمینی در منطقه مورد مطالعه

ویرایش نشده

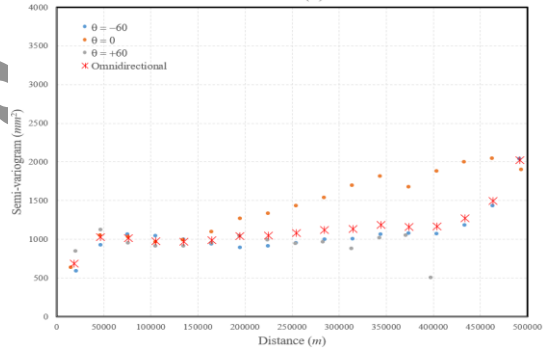
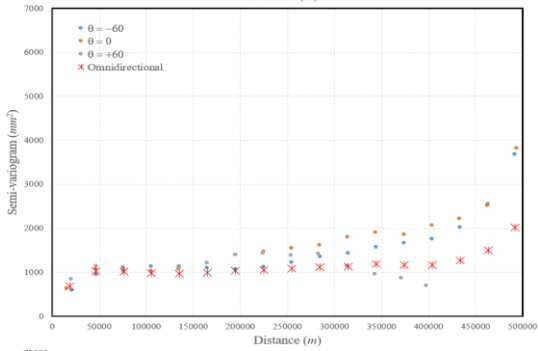
PERSIANN



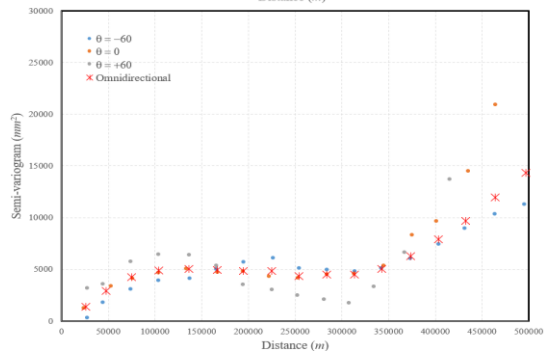
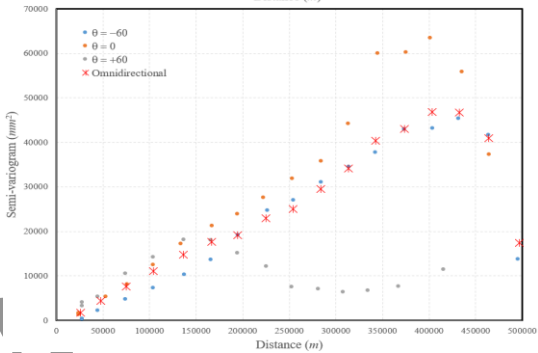
PERSIANN-CCR



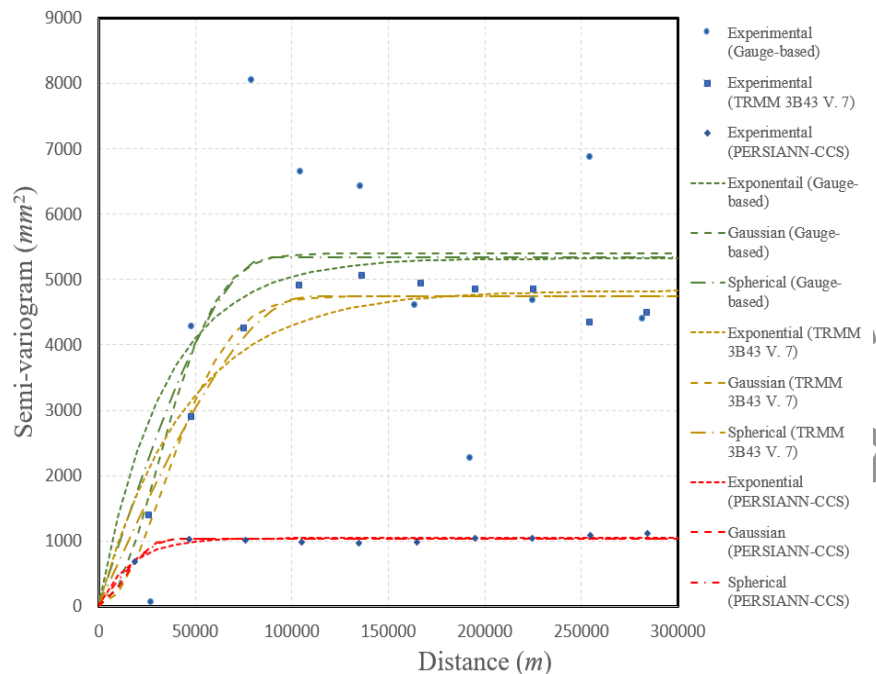
PERSIANN-CCS



TRMM 3B43 V7



شکل ۴: مدل سازی واریوگرام تئوری با استفاده از مجموعه داده های (اصلی و بعد از حذف روند) مجموعه داده های PERSIANN، PERSIANN-CCR، PERSIANN-CCS و TRMM 3B43 V. 7



323

324 شکل ۵: مدل‌سازی تغییرنگاش‌های تنوری (نمایی، گوسی و کروی) برای مشاهدات ایستگاه‌های پایش زمینی و دو مجموعه داده ماهواره‌ای PERSIANN-CCS و  
 325 TRMM 3B43 V. 7

326

327

328 مراجع:

329 ثقفیان ب، رزمخواه ه، قرمز چشمه ب. (۱۳۹۰) " بررسی تغییرات منطقه ای بارش سالانه با کاربرد روش های زمین آمار (مطالعه ی موردی:  
 330 استان فارس)", فصلنامه علمی مهندسی منابع آب (۹)، ۴، ۳۸-۲۹

331 شقاقیان م.ر، (۱۳۹۶) " بررسی تأثیر استفاده از آمار تبدیل‌شده در طراحی شبکه‌ی پایش باران بابه‌گیری از مفهوم ورگشت", فصلنامه علمی  
 332 مهندسی منابع آب (۳۳)، ۱۰، ۸۲-۷۳

333 شیروانی ا، فخاری‌زاده شیرازی ا. (۱۳۹۳) "مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس", نشریه هواشناسی  
 334 کشاورزی، (۲)، ۱-۱۵.

335 مهبد م، صفری س، رفیعی م.ر. (۱۴۰۱) "ریزمقیاس‌سازی داده‌های بارش ماهواره TRMM به کمک داده‌های NDVI، مدل رقوم ارتفاعی و  
 336 دمای سطح زمین با استفاده از مدل های یادگیری رگرسیونی", نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، (۳)، ۱۴، ۳۶۱-۳۴۷.

337 Alijanian M., Rakhshandehroo G.R., Mishra A.K., Dehghani M. (2017) "Evaluation of satellite rainfall  
 338 climatology using CMORPH, PERSIANN-CDR, PERSIANN, TRMM, MSWEP over Iran",  
 339 *International Journal of Climatology*, 37(14), 4896-4914

340 Bárdossy A, Modiri E, Anwar F., Pegram G. (2021) "Gridded daily precipitation data for Iran: A  
 341 comparison of different methods", *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 38, 100958

- 342 Gutierrez-Lopez A. (2021) “A Robust Gaussian variogram estimator for cartography of hydrological  
343 extreme events”, *Natural Hazards*, 107, 1469-1488.
- 344 Huang Y., Bárdossy A., Zhang K. (2019) “Sensitivity of hydrological models to temporal and spatial  
345 resolutions of rainfall data”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(6), 2647-2663
- 346 Isaaks E.H., Srivastava R. (1989) “Applied geostatistics”, Oxford University Press, pp. 561
- 347 Keikhosravi Kiany M.S., Masoodian S.A., Balling Jr R.C., Montazeri M. (2020) “Evaluation of the  
348 TRMM 3B42 product for extreme precipitation analysis over southwestern Iran”, *Advances in Space  
349 Research*, 66(9), 2094-2112.
- 350 Khojand K., Shaghaghian M.R., Ghadampour Z., Sabzevari T. (2022) “Validity, reliability and certainty  
351 of PERSIANN and TRMM satellite-derived daily precipitation data in arid and semiarid climates”, *Acta  
352 Geophysica*, 70, 1745-1767.
- 353 Mikaili O., Rahimzadegan M. (2022) “Investigating remote sensing indices to monitor drought impacts  
354 on a local scale (case study: Fars province, Iran)”, *Natural Hazards*, 111, 2511–2529.
- 355 Salmani-Dehghani N., Samani N. (2019) “Spatiotemporal assessment of the PERSIANN family of  
356 satellite precipitation data over Fars Province, Iran”, *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 1333–  
357 1357.
- 358 Shaghaghian M.R., Abedini M.J. (2013) “Rain gauge network design using coupled geostatistical and  
359 multivariate techniques”, *Scientia Iranica*, 20(2): 259-269.
- 360 Shehu B., Haberlandt U. (2021) “Relevance of merging radar and rainfall gauge data for rainfall  
361 nowcasting in urban hydrology”, *Journal of Hydrology*, 594, 125931
- 362 Usowicz B., Lipiec J., Łukowski M., Słomiński J. (2021) “Improvement of Spatial Interpolation of  
363 Precipitation Distribution Using Cokriging Incorporating Rain-Gauge and Satellite (SMOS) Soil Moisture  
364 Data”, *Remote Sensing*, 13(5)
- 365 Vallejo-Bernal S. M., Urrea V., Bedoya-Soto J.M., Posada D., Olarte A., Cárdenas-Posso Y., Ruiz-  
366 Murcia F., Martínez M.T., Petersen W.A., Huffman G.J., and Poveda G. (2021) “Ground validation of  
367 TRMM 3B43 V7 precipitation estimates over Colombia. Part I: Monthly and seasonal timescales”,  
368 *International Journal of Climatology*, 41, 601-24.
- 369 Zou W., Yin S., Wang W. (2021) “Spatial interpolation of the extreme hourly precipitation at different  
370 return levels in the Haihe River basin”, *Journal of hydrology*, 598,126273