



Journal of Environmental Studies

Vol. 48, No. 3, Autumn 2022

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Evaluation of OLS Regression Models and GWR Regression for Modeling Spatial Soil Moisture, Case Study: Fars Province

Document Type
Research Paper

Received
June 13, 2022

Mahmoud Ahmadi*, Mohammad Kamangar, Ghazaleh Molanazar , Behzad Madani

Accepted
September 27, 2022

Department of Climatology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

DOI: 10.22059/JES.2022.344444.1008329

Abstract

Spatial modeling is one of the method for understanding and predicting environmental variables .soil surface moisture is a key variable for drought description, water and energy exchanges between earth and atmosphere. In addition soil moisture affects many environmental phenomena such as runoff, soil erosion, and crop production , due to the non-constant spatial and temporal conditions Environmental parameters is highly changeable .the purpose of this paper is to evaluate the overall regression model and geographically weighted regression in spatial modeling of soil moisture in Fars province . soil moisture distribution as dependent variable and precipitation, snow equivalent water, vegetation index and topographic wetness index were selected as independent variables and then, using the general regression model and geographically weighted regression is used to model the spatial modeling .based on the evaluation criteria, the results showed the GWR model has better explanatory power with the $R^2=0/71$ and a better estimate than the overall regression model with the $R^2=0/66$. The spatial factors of precipitation and topographic wetness had the most positive effect and evapotranspiration had a negative effect on soil moisture in the study area.

Keywords: Autocorrelation, Fars, Precipitation, Soil moisture, spatial regression.

* Corresponding Author:

Email: ma_ahmadi@sbu.ac.ir

Extended abstract

Introduction

soil surface moisture, in addition to its contribution to the hydrological cycle, is one of the most important components of the earth's crust because it plays a controlling role between the earth's surface and the atmosphere as well as water, energy and carbon. Soil moisture plays an important role in the global energy cycle and controls the energy conversion process. Researchers have shown that there is strong feedback between the soil and the climate of the region. Spatial and temporal variations of soil moisture variability differ both at the surface and below the surface. Although remotely sensed images have made good estimates of soil moisture in a large area, there is no systematic global network to monitor soil moisture. Estimation of soil moisture from remote sensing data due to extensive coverage can optimize surface and surface moisture conditions in different time periods. Soil moisture can be estimated by using variables and soil models. Identification and modeling of the variables involved in soil moisture can be a key step in the prediction of the nasal. By examining the past researches, soil moisture can be obtained depending on several factors such as climate conditions and soil moisture conditions in the past which are very diverse in different locations. The importance of changes in soil moisture in the region and its relation with other variables has not much attention to the effect of other variables. Complex relationships between variables affecting soil moisture can be understood and predicted by modeling. Climate variables such as precipitation or evapotranspiration have a great impact on increasing and decreasing soil moisture. These variables have cause and effect relationship with soil moisture distribution map, so the need for modeling and determination of their role on soil moisture is revealed. The purpose of this study is to evaluate and model soil moisture behavior using two methods of public regression (OLS) and geographically weighted regression (GWR) and evaluate the accuracy of the models using model validation indexes.

Materials and Methods

Fars province is located in the south of the central region of Iran between the latitudes of $27^{\circ} 31' 42''$ to $31^{\circ} 37' 23''$ north to $55^{\circ} 32' 14''$ to $50^{\circ} 30' 41''$ east with an area of 122,799 square kilometers. In this study, ECMWF database data were used for spatial analysis and modeling. The data of this database, starting from 1979, is becoming more complete every month, so that at the time of writing until April 2018, it has been released and ready to be downloaded. In this study, according to the studies of previous researchers and geographical studies, as well as cognition obtained from the spatial territory of the study area, the middle of rainfall climatic variables as the most important climatic variable-affecting soil and water moisture equivalent to snowmelt because part of the study area is mountainous. It was extracted after melting mountain snow and the resulting runoff could be a good source of soil moisture. The mean actual evapotranspiration layer was also obtained from ECMWF database data. A moisture topography variable that is used for quantitative studies of watersheds is a good indicator of soil moisture status. Regression modeling allows the relationship between independent and dependent variables to be identified and quantified. In ordinary linear and nonlinear regressions, it is assumed that the independent variables are the same throughout the study area, in reality this is not the case. In spatial regression, the coefficients of the independent variables are calculated to different degrees and it is assumed that they have more weight in places close to the complication. Among the regression models, the ordinary least squares regression method is the most common and simplest method. In spatial modeling by the OLS method, it is assumed that the coefficients or parameters of the statistical model are fixed to a place (geographical coordinates); therefore, the value of the dependent variable that is estimated by this model is the same for all parts of the region, which is considered as a weakness of this method in spatial

modeling. There are several indicators to evaluate the validity and efficiency of regression models, some of which were used in this study: Coefficient of determination (R^2) and AICC criterion method (AICc).

Results

The average soil moisture in the study period was extracted as a dependent variable in modeling. The highest value is related to the northwest and the lowest value is related to the south and northeast of the province. The rainfall distribution was extracted as the most important independent climatic variables in soil moisture distribution in the study area shows the highest rainfall from mid-autumn to early spring and can indicate the maximum frequency of rainfall systems in this time range. Due to the mountainous nature of some areas, water equivalent to snow was studied as one of the independent variables. The median of evapotranspiration was also estimated as an independent variable. Vegetation indices may also indicate soil moisture. In this study, the average NDVI index in the study period extracted from Landsat 8 satellite images was obtained using the Google Earth Engine system. the province's rainfall, the vegetation index in the west and northwest is the maximum, and as it goes east and south of the province, the amount of this index decreases. By examining the equivalence of the independent variables by taking the correlation between the five independent variables and also examining the increase in the inflation index of VIF variance and examining the rate of change of regression coefficients by deleting or adding individual variables in a multivariate regression model, by performing about 6 transformations of events, the best transformation of the natural logarithm ($\ln(x)$) was identified and used. Then the general least squares error (OLS) regression fitting was performed on the data.

$$P\text{-estimated} = 1/75 + 0.024416WI + 0.3208 PR - 0.0164AET + 0.002811NDVI + 0.000724SWE$$

Equation seven is a linear relationship between independent and dependent variables according to which independent variables can to justify and explain 66.59% of soil moisture changes. According to the general regression. The rain variable layer has the greatest effect among the 5 variables used in modeling on soil moisture. In other words, with each millimeter of increase in rainfall, the soil moisture in the province may increase by an average of 0.32 cubic meters per cubic meter. The second effective variable of topographic moisture index was extracted, which ranged from one to 0.03, and by comparing this layer with the slope, it can be seen that wetter areas of the soil in the west and northwest of the province are fed by upstream moisture, which have more slope, while areas with moisture. Less east and northeast of the province, because of rainfall, are directed downwards. Evapotranspiration has a decreasing effect on soil moisture, because one of the ways to get water out of the soil is by using plants called transpiration and water consumption by evaporation from the surface of the soil. The next variable of water is equivalent to snow. The effect of this variable has shown itself more due to the snow-covered western and northern regions of the province. The vegetation variable has the lowest coefficient of rainfall in the general regression equation due to slow growth and delayed reaction. One of the most important factors for water penetration in the soil and creating moisture in it is the soil texture, i.e. its constituents of clay, silt and sand. In this research, a lot of effort was made to create a soil texture layer, but due to the size of the study area and the need for many samples for testing, this layer was not considered. Regarding the vegetation layer in this study, the average interval studied was considered.

Conclusions

In the present study, to identify the relationships between spatial factors and soil moisture dispersion, using the generated information, the average of each factor in each cell and according to the spatial characteristics of each cell, using conventional regression (OLS) and geographic balanced regression (GWR) techniques. Was modeled. First, a logarithmic transformation was performed on the data to

remove the alignment and reduce the inflation index of variance, and then the general regression equation was fitted to the data. In this study, the results of geographic rhythmic regression model showed that the highest soil moisture is seen in the northwest. The most negative effects of evapotranspiration are seen in the east and southeast. Based on the error scattering map, the spatial regression model was able to explain more than 50% of soil moisture changes in more than 68.04% of the area. Model residual maps also show a decrease in the amplitude of the GWR model residuals compared to the OLS model residues. However, the error rate was much lower. The main advantage of spatial weighted regression method over the conventional regression method is its ability to study the spatial effect of variables. Finally, it can be said that using GWR forecasting maps, areas prone to significant decrease or a significant increase in soil moisture in Fars province can be identified and used to improve the decision-making process and forecast the service needs of relevant agencies. To improve this modeling of soil moisture, it is suggested to use the texture map and soil type as an independent layer in the modeling. Depth 10-12 cm (penetrates) to be used as independent variables. It is also recommended to use radar images that have high resolution to extract the moisture layer with high resolution for more detailed examination.

ارزیابی مدل‌های رگرسیون کلی و رگرسیون موزون جغرافیایی در مدل‌سازی مکانی رطوبت خاک، مطالعه موردی: استان فارس

محمود احمدی*، محمد کمانگر، غزاله ملانظر، بهزاد مدنی

گروه آموزشی آب و هواشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

چکیده

مدل‌سازی‌های مکانی از روش‌های درک و پیش‌بینی متغیرهای محیطی است. رطوبت سطحی خاک، متغیر کلیدی برای توصیف خشک‌سالی، تبادلات آب و انرژی بین زمین و هوا کره است. رطوبت خاک علاوه بر اینکه از متغیرهای محیطی تأثیر می‌پذیرد بر بسیاری از پدیده‌های محیطی از جمله رواناب، فرسایش خاک و تولید محصولات تأثیر می‌گذارد اما به دلیل ثابت نبودن شرایط مکانی و زمانی پارامترهای محیطی به‌شدت تغییرپذیر است. هدف از این مقاله ارزیابی مدل‌های رگرسیون کلی و رگرسیون موزون جغرافیایی در مدل‌سازی مکانی رطوبت خاک استان فارس است. در این راستا پراکندگی رطوبت خاک به‌عنوان متغیر وابسته و لایه‌های بارش، آب معادل برف، شاخص پوشش گیاهی و شاخص رطوبت توپوگرافی و به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب گردید و سپس با استفاده از مدل رگرسیون کلی (*OLS*) و رگرسیون موزون جغرافیایی (*GWR*) به مدل‌سازی مکانی اقدام شد. بر اساس معیارهای ارزیابی، نتایج نشان داد مدل *GWR* با $R^2=0.71$ قدرت تبیین و برآورد بهتری نسبت به مدل رگرسیون کلی با $R^2=0.66$ دارد. بر اساس نتایج، عوامل مکانی بارش و رطوبت توپوگرافی بیش‌ترین اثر مثبت و تبخیر و تعرق اثر منفی بر رطوبت خاک در محدوده مورد مطالعه را دارند.

کلید واژه‌ها: بارش، خودهمبستگی، رطوبت خاک، رگرسیون مکانی، فارس.

سرآغاز

(2014). محققان نشان داده‌اند که بازخورد قوی بین خاک و آب‌وهوای منطقه وجود دارد در نتیجه تهیه نقشه‌های رطوبت خاک با دقت بالا درک ما را از آب‌وهوای منطقه بهبود می‌بخشد (Tabatabaenejad et al., 2009). رطوبت خاک، متأثر از عوامل متعددی است که در این میان می‌توان به متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، ویژگی‌های خاک، نوع کشت، نوع کاربری و دوره رشد گیاه اشاره کرد (Lai et al., 2017). تغییرات مکانی و زمانی متغیر رطوبت خاک چه در سطح و چه در سطح بسیار متنوع است، گرچه اخیراً تصاویر سنجنش‌ازدور برآوردهای مناسبی از

رطوبت سطحی خاک با وجود سهم اندک آن در چرخه هیدرولوژی (۱۵٪) یکی از اجزاء مهم اثرگذار پوسه زمین محسوب می‌شود زیرا نقش کنترل‌کننده بین سطح زمین و اتمسفر زمین و نیز گردش آب و انرژی و کربن در طبیعت را ایفا می‌کند (Babaeian et al., 2013). رطوبت خاک به‌شدت بر رشد گیاه و در نتیجه بهره‌وری کشاورزی، به‌ویژه در شرایط کمبود آب و خشک‌سالی، تأثیر می‌گذارد. همچنین رطوبت خاک نقش مهمی در چرخه جهانی انرژی دارد و کنترل‌کننده فرایند تبدیل انرژی است (Vereecken et al.,)

باران است. دمای سطحی خاک، میزان بارندگی و دمای هوا از جمله خصوصیات مؤثر و مورد بررسی در روش‌های برآورد رطوبت خاک هستند. برآورد رطوبت خاک نیز با استفاده سنجش‌ازدور در محدوده‌های نوری، مادون‌قرمز و ماکروویو فعال و غیرفعال و با ترکیب شاخص‌های طیفی انجام می‌گیرد که هرکدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. در این راستا Khanmohammadi و همکاران (۲۰۱۵) رطوبت خاک را با استفاده از تصاویر مودیس و ترکیب با شاخص‌های طیفی در منطقه ورامین برآورد کردند. مدل‌های پیشنهادی آن‌ها ضریب تبیین ۰/۶۶ را نشان داد. Koohbanani (۲۰۱۹) پهنه‌بندی رطوبت خاک را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام دادند. نتایج کار ایشان نشان داد شاخص رطوبت باند قرمز با ضریب همبستگی ۰/۷۸ و ضریب تبیین مدل رگرسیونی ۰/۶۱ شاخص مناسبی برای پهنه‌بندی رطوبت خاک در مناطق خشک و بیابانی است. در مطالعات انجام‌شده، بیشتر به بررسی تک‌بعدی رطوبت خاک و به‌ویژه تغییرات زمانی آن پرداخته شده است. Tu (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به ریزمقیاس‌نمایی رطوبت خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مادیس پرداخته است، ایشان در این مطالعه از داده‌های سطح سه رطوبت فعال خاک (SMAP) با توان تفکیک ۱ کیلومتر، مادیس (MODIS)، دمای سطح زمین (LST)، شاخص پوشش گیاهی (Ndv)، بهره‌گرفته است، نتایج این مطالعه نشان داد بر اساس اعتبارسنجی صورت گرفته روش رگرسیون چند متغیره برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های سنجش‌ازدور رطوبت خاک با توان تفکیک پایین مناسب هستند ریزمقیاس‌نمایی داده‌های رطوبت خاک نشان می‌دهد که این روش برای تحقیقات مناطق کوچک کاربرد دارد. Lee (۲۰۱۹) در تحقیق خود به برآورد توزیع مکانی رطوبت خاک با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره و داده‌های ماهواره‌ای COMS در کره جنوبی پرداختند دوره آماری این مطالعه از ژانویه ۲۰۱۳ تا می ۲۰۱۵ بود. نتایج این مطالعه نشان داد مقادیر پی‌ولیو در تمامی ضرایب رگرسیون زیر پنج صدم بوده و نیز ضریب تعیین از ۱۷ تا ۶۳

رطوبت خاک در سطح وسیع انجام داده‌اند اما در حال حاضر هیچ شبکه جهانی منظمی برای پایش رطوبت خاک وجود ندارد. روش‌های میدانی برآورد رطوبت خاک مانند روش وزنی و انعکاس سنجی حوزه زمانی در سطح محلی دقت بالایی دارند اما برای یک منطقه وسیع، بسیار پرهزینه و زمان‌بر هستند. روش‌های معمول اندازه‌گیری رطوبت خاک در مقیاس زمانی و مکانی مناسب نیستند (Mekonnen, 2009). از مدل‌های مکانی و تصاویر سنجش‌ازدور برای کاهش هزینه‌ها و کاهش زمان‌های بررسی می‌توان استفاده کرد. برآوردهای رطوبت خاک از اطلاعات مستخرجی از تصاویر سنجش‌ازدور به دلیل پوشش وسیع می‌توانند شرایط رطوبت سطحی و زیرسطحی خاک را در بازه‌های زمانی مختلف به صورت بهینه می‌تواند پایش کند. یا با استفاده از متغیرها و مدل‌های مکانی و غیر مکانی می‌توان رطوبت خاک را برآورد کرد. شناخت و مدل‌سازی متغیرهای دخیل در رطوبت خاک می‌تواند گام اساسی جهت پیش‌بینی‌ها باشد. در همین راستا Luca و همکاران (۲۰۰۷) ارتباط بین شاخص رطوبت خاک و خصوصیات رطوبت خاک را بررسی کردند که نتایج آن‌ها نشان داد توپوگرافی سطح کنترل‌کننده توزیع مکانی رطوبت خاک، پوشش گیاهی، شوری و بافت خاک است. Amani و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از باند قرمز و مادون‌قرمز نزدیک تصویر لندست، شاخص رطوبت خاک مثلثی را معرفی کردند که با مقادیر واقعی همبستگی منطقه مورد مطالعه ۰/۶۷ را نشان داد سپس شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی را اضافه نمودند که همبستگی ۰/۷۴ را با مقادیر واقعی به دست آوردند. Xu و همکاران (۲۰۱۷) تحقیقی جهت ارزیابی رطوبت خاک انجام دادند نتایج آن‌ها نشان داد که کمیت رطوبت خاک در فصل‌های بارانی دارای مقدار ثابتی است اما طی دوره رشد و با کاهش بارندگی تفاوت نسبی در مقادیر رطوبت مشاهده می‌شود که تراکم ریشه را عامل اصلی این تفاوت دانسته‌اند. تحقیق Yoshioka و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد رطوبت و دمای خاک با یکدیگر ارتباط داشته و متأثر از آب نفوذ یافته

سال ۱۴۰۰ خورشیدی، استان فارس دارای ۳۷ شهرستان، ۹۷ بخش و ۱۲۰ شهر است. کوه‌های زاگرس با جهت شمال غربی- جنوب شرقی استان فارس است. قسمت عمده این ناهمواری‌ها بر اثر یک سلسله حرکات شدید کوهزایی ایجاد شده و تحت تأثیر عوامل فرسایشی نظیر بادهای تند و آب‌های روان به صورت کنونی درآمده است. استان فارس را می‌توان به دو ناحیه مشخص طبیعی تقسیم کرد: الف- ناحیه شمالی و شمال غربی که از ارتفاعات به هم پیوسته‌ای تشکیل شده ب- ناحیه جنوب و جنوب شرقی که در فاصله میان رشته‌کوه‌های فرعی قرار گرفته و شامل دشت‌های حاصلخیز است. بر اساس تقسیم‌بندی به روش تحلیل عاملی که بیگلو و دستجردی (۱۳۹۰) انجام داده چهار ناحیه اقلیمی در این استان قرار گرفته که ناحیه سرد و خشک شمالی، ناحیه معتدل و مرطوب مرکزی، ناحیه گرم و نیمه مرطوب غربی و ناحیه گرم و خشک جنوبی را در برمی‌گیرد.

متغیرهای مورد استفاده

بعضی از عناصر اقلیمی مانند سرما، گرما، رطوبت، اختلاف فشار و باد می‌توانند علت افزایش یا کاهش رطوبت خاک باشند. در این تحقیق برای بررسی و مدل‌سازی مکانی از داده‌های پایگاه داده ECMWF استفاده شد. داده‌های این پایگاه از سال ۱۹۷۹ شروع شده همراه کامل تر می‌شود، به طوری که در زمان نگارش تا آوریل ۲۰۱۸ آن عرضه و آماده بارگیری شده است. مرکز پیش بینی میان‌مدت هوا سپهر اروپا، سازمان بین‌المللی مستقلی است که با عضویت کشورهای مختلف جهان شکل گرفته است داده‌های باز واکاوی شده مرکز ECMWF نتیجه برهمکنش پیچیده ای میان داده‌های موجود و نتایج الگوهای هوا سپهری بوده که به صورت داده‌های یاخته‌ای عرضه شده است. نسخه ERA-Interim به روزترین نسخه این پایگاه داده است؛ این نسخه در حقیقت در جهت بهبود ارتقا نسخه ERA-40 این مجموعه بوده که تولید از آن از سال ۲۰۰۶ آغاز شده است؛ سال آغازین این پایگاه ۱۹۷۹ بوده که به شکل مستمر در حال به روزرسانی است.

است نتایج رگرسیون رطوبت خاک نشان داد که کل R2 بالاتر از ۰/۴ و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در کل کمتر از پنج درصد بوده است. تجزیه و تحلیل سری زمانی از رطوبت خاک شبیه‌سازی شده نشان داد که داده‌های مشاهده شده رطوبت خاک از ۰ تا ۲۰ درصد برای شن و ماسه، ۱۰ تا ۳۰ درصد برای لوم، ۲۰ تا ۴۰ درصد برای خاک رس و ۳۰ تا ۵۰ درصد برای لجن بستگی دارند.

با بررسی تحقیقات گذشته می‌توان دریافت رطوبت خاک به عوامل متعددی از جمله شرایط اقلیمی و شرایط رطوبتی خاک در گذشته بستگی دارد که این خصوصیات در مکان بسیار متنوع‌اند. با وجود اهمیت تغییرات رطوبت خاک در مکان و ارتباط آن با سایر متغیرها، توجه چندانی به تأثیرگذاری دیگر متغیرها نشده است. روابط پیچیده بین متغیرهای تأثیرگذار بر رطوبت خاک را می‌توان با مدل‌سازی درک و پیش‌بینی کرد. متغیرهای اقلیمی همچون بارش یا تبخیر و تعرق تأثیر زیادی در افزایش و کاهش رطوبت خاک دارند این متغیرهای از جنبه مکان مند بودن رابطه علت و معلولی بر نقشه پراکندگی رطوبت خاک دارند بنابراین ضرورت مدل‌سازی و تعیین نقش آن‌ها بر رطوبت خاک آشکار می‌شود. هدف از این مطالعه ارزیابی و مدل‌سازی رفتار مکانی رطوبت خاک با استفاده از دو روش رگرسیون کلی (OLS) و رگرسیون موزون جغرافیایی (GWR) و بررسی دقت مدل‌ها نیز با استفاده از شاخص‌های سنجش اعتبار مدل است.

داده‌ها و روش مطالعه

محدوده مورد مطالعه

استان فارس در جنوب منطقه مرکزی ایران بین عرض‌های جغرافیایی $27^{\circ} 31' 42''$ تا $31^{\circ} 37' 23''$ شمالی تا $14^{\circ} 32' 55''$ تا $50^{\circ} 30' 41''$ شرقی با وسعت $122/799$ کیلومتر مربع قرار گرفته است (شکل ۱). این استان از شمال با استان اصفهان و یزد، از مغرب با استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر، از جنوب با استان هرمزگان و از شرق با استان کرمان همسایه است. بر طبق آخرین تقسیمات کشوری

اگر $\hat{\beta}(u, v)$ برآوردی از β و ماتریس $w(u, v)$ اوزان و X ماتریس متغیرهای مستقل باشند پارامترها از طریق فرمول زیر برآورد می‌شوند:

$$\hat{\beta}(u, v) = (X^T W(u, v) X^{-1} X^T W(u, v) y) \quad (۴)$$

در گام بعد اگر بین متغیرهای مستقل هم خطی زیادی باشد باید آن‌ها را از مدل خارج نمود. شاخص VIF برای آگاهی از وجود یا عدم وجود هم خطی بکار می‌رود. به‌طورکلی اگر شاخص VIF بیشتر از ۷٫۵ بود بین متغیرها هم خطی وجود دارد. در گام نهایی مدل را با حداقل مربعات برازش کرده تا از آن طریق ضرایب مکان (u, v) را تخمین زده شود، وزن دهی به گونه است که داده‌های نزدیک به (u, v) اهمیت و وزن بیشتری نسبت به داده‌های دورتر دریافت می‌نمایند. برای ارزیابی میزان اعتبار و کارایی مدل‌های رگرسیونی شاخص‌های متعددی وجود دارد که به چند مورد که در این پژوهش از آن‌ها بهره گرفته شد اشاره می‌شود:

الف) ضریب تعیین (R^2): این ضریب میزان درصد واریانس متغیر وابسته که توسط متغیرهای مستقل تبیین می‌شود را بیان می‌کند. اگر میزان ضریب تعیین یک شود یعنی خط رگرسیون دقیقاً توانسته است تغییرات متغیر وابسته را به تغییرات متغیرهای مستقل نسبت دهد و اگر ضریب تعیین برابر صفر باشد نشان‌دهنده عدم توانایی رگرسیون در برآورد تغییرات متغیر وابسته از روی متغیرهای مستقل است (Asakereh, 2018) ضریب تعیین به‌صورت معادله زیر نوشته می‌شود:

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (X_{obsi} - \bar{X}_{obs})(X_{sim,i} - \bar{X}_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{obsi} - \bar{X}_{obs})^2 (X_{sim,i} - \bar{X}_{sim})^2}} \right)^2 \quad (۵)$$

ب) روش معیار آکائیک (AICc): این معیار، معیاری برای سنجش میزان کارایی نسبی است و نشان می‌دهد که استفاده از یک مدل آماری به چه میزان باعث از دست رفتن اطلاعات می‌شود. به عبارتی این معیار تعادلی بین دقت مدل و پیچیدگی آن برقرار می‌کند. مقدار کم این معیار بیانگر این

(Kerlinger, 2005). در بین مدل‌های رگرسیونی، روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی، مرسوم‌ترین و ساده‌ترین روش است. زیربنای فکری این روش این است که ضرایب مدل مقادیری اختیار کنند که برآوردهای مدل رگرسیونی علاوه بر بیش‌ترین نزدیکی به مشاهدات (کمترین خطای برآورد)، دارای بزرگ‌ترین R^2 نیز باشند در مدل‌سازی مکانی به روش OLS فرض بر این است که ضرایب یا پارامترهای مدل آماری نسبت به مکان (مختصات جغرافیایی) ثابت هستند؛ بنابراین مقدار متغیر وابسته که با این مدل تخمین زده می‌شود برای کل نقاط منطقه مقداری یکسان را تخمین می‌زند که به‌عنوان نقطه‌ضعف این روش در مدل‌سازی مکانی محسوب می‌شود. مدل آماری OLS و ماتریس تخمین ضرایب مدل، با استفاده از روابطی که ارائه می‌شود بیان می‌گردد (Erfanian et al., 2013).

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (۲)$$

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (۳)$$

که در آن T ترانهاده ماتریس، $(X^T X)^{-1}$ معکوس ماتریس واریانس-کواریانس و X ماتریس متغیرهای مستقل است. تکنیک‌های رگرسیونی محلی متعددی برای محاسبه نا ایستایی فضایی در روابط داده‌ها وجود دارد که یکی از آن‌ها رگرسیون موزون جغرافیایی است. نا ایستایی فضایی بیانگر این است که در هر نقطه رابطه‌ای متفاوت بین متغیر وابسته و مستقل وجود دارد. در این روش برای برآورد پارامترهای مدل در هر نقطه، از مشاهدات اطراف آن نقطه استفاده می‌شود. لذا مشاهدات نزدیک‌تر اثرگذاری بیشتری در برآورد محلی پارامترها نسبت به مشاهدات دورتر دارند این وزن‌دهی توسط تابعی بنام تابع وزنی کرنال انجام می‌شود (Lu et al., 2015). برای افزایش دقت مدل در این روش، پهنای باند برای محاسبه تابع وزن دهی $w_i(u, v)$ با پراکندگی مشاهدات حول نقطه مرجع تطبیق داده می‌شود و رگرسیون موزون جغرافیایی به‌صورت معادله زیر نوشته می‌شود:

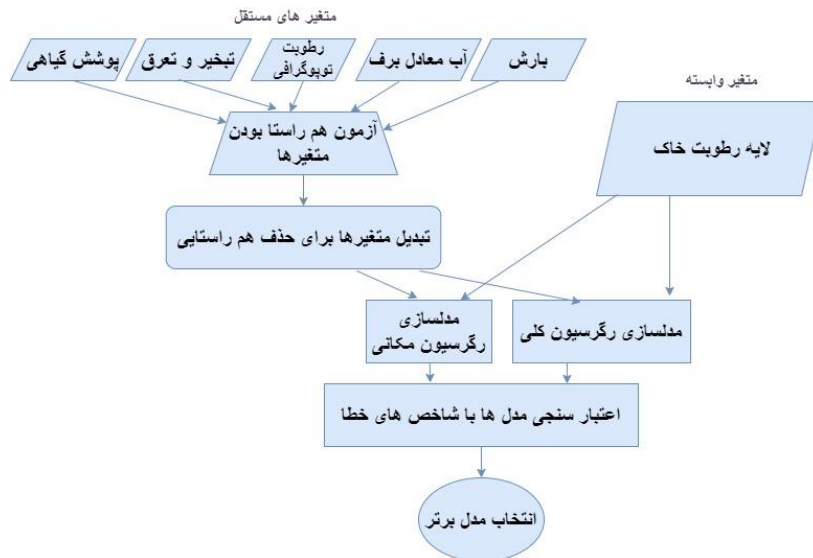
$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (۳)$$

در اینجا u_i, v_i بیانگر مختصات نقاط در مکان هستند.

$$AIC_C = 2n \log_e(\hat{\sigma}) + n \log_e(2\pi) + n \left\{ \frac{n + \text{tr}(S)}{n - 2 - \text{tr}(S)} \right\} \quad (6)$$

نمودار جریانی پژوهش در شکل دو آورده شده است.

است که مقدار تخمین زده شده توسط مدل، به مقدار مشاهده‌ای یا واقعیت زمینی نزدیک‌تر است. اگر n تعداد داده‌ها و $\hat{\sigma}$ انحراف استاندارد برآورد شده مقادیر خطا باشد، معیار تصحیح شده آکائیک از رابطه ۱۱ به دست می‌آید (Wang et al., 2005).

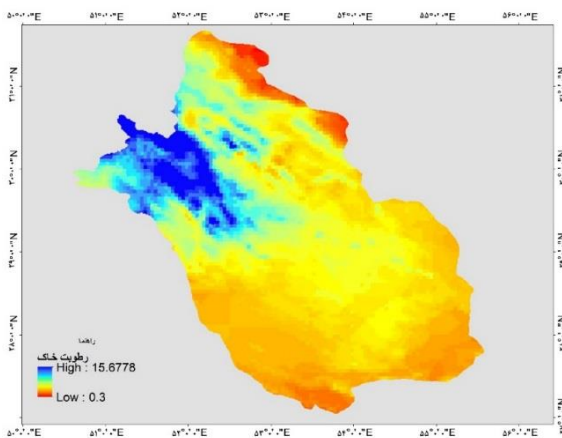


شکل ۲. نمودار جریانی تحقیق

اواسط پاییز تا اوایل بهار است و می‌تواند نشان‌دهنده بیشینه فراوانی سامانه‌های بارشی در این محدوده زمانی باشد. اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار رطوبت در محدوده مورد مطالعه تقریباً ۶ برابر است که در تأثیرگذاری بر حجم

نتایج

بازه زمانی مورد مطالعه در این تحقیق ۱۹۸۰-۲۰۲۱ است. ابتدا میان‌ه رطوبت خاک در بازه مورد مطالعه به‌عنوان متغیر وابسته در مدل‌سازی استخراج شد (شکل ۳). رطوبت خاک بین ۰/۳ تا ۱۵/۶ مترمکعب بر مترمکعب قرار در استان پراکندگی دارد. شمال غرب استان بیشتر در حالت مرطوب‌تر قرار داشته است مناطق مرکزی و جنوب، و قسمتی از شمال شرق در محدوده رطوبت خاک بسیار کمی دارند. این مناطق بیشتر در محدوده قسمت‌های کویری استان به دلیل کمبود بارش و تبخیر زیاد قرار گرفته‌اند. نکته قابل توجه لکه‌های کوچک با رطوبت خاک است که شامل دریاچه‌های بختگان و طشک است روند مکانی پراکندگی جهت کاهشی از شمال غرب به جنوب شرق را نشان داده است.



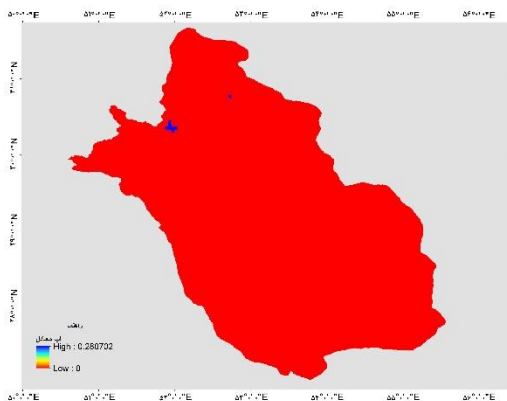
شکل ۳. پراکندگی رطوبت خاک استان فارس

رطوبت خاک تأثیر زیادی دارد. به دلیل کوهستانی بودن بعضی از مناطق محدوده مورد مطالعه آب معادل برف

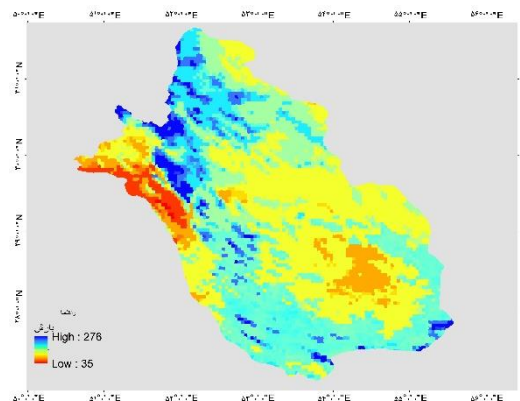
پراکندگی بارندگی به‌عنوان مهم‌ترین متغیر اقلیمی مستقل در توزیع رطوبت خاک در نقشه چهار آورده شده است. در محدوده مورد مطالعه نشان‌دهنده بیشترین بارش از

گیاهی نیز می‌توانند نشان‌دهنده رطوبت خاک باشند که در این تحقیق میانگین شاخص NDVI در بازه مورد مطالعه مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای لندست هشت با استفاده از سامانه گوگل ارث اینجین مطابق شکل هفت به دست آمد. پوشش گیاهی در استان به تبعیت از راستای بارش‌های استان شاخص پوشش گیاهی در غرب و شمال غرب بیشینه است و هر چه به سمت شرق و جنوب استان پیش می‌رود از میزان این شاخص کاسته می‌شود.

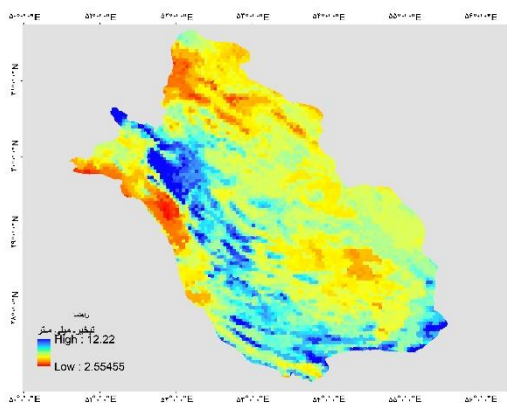
به‌عنوان یکی از متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گرفت که در شکل پنج پراکنده‌گی مکانی میزان آن آورده شده است. با توجه به مطالعات قبلی که ارتباط بین رطوبت خاک و شاخص توپوگرافی را اثبات کرده‌اند این شاخص از مدل رقومی محدوده مورد مطالعه استخراج شد که در شکل شش آورده شده است. بیشترین مقدار آن در شمال استان مناطق کوهستانی قرار دارد. میانگین تبخیر و تعرق نیز به‌عنوان متغیر مستقل در شکل هفت آورده شده است. شاخص‌های پوشش



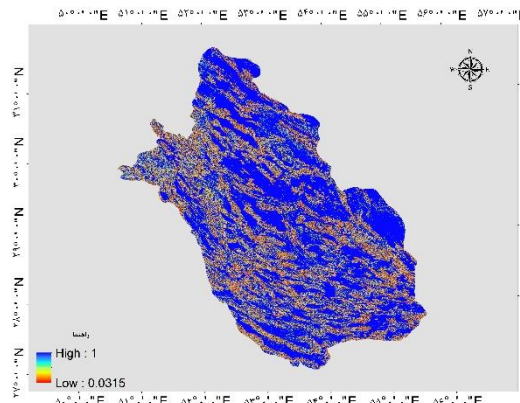
شکل ۵. پراکنده‌گی آب معادل برف



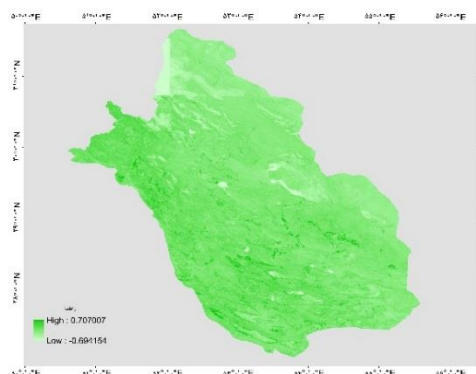
شکل ۴. پراکنده‌گی بارش



شکل ۷. پراکنده‌گی تبخیر و تعرق



شکل ۶. شاخص رطوبت توپوگرافی



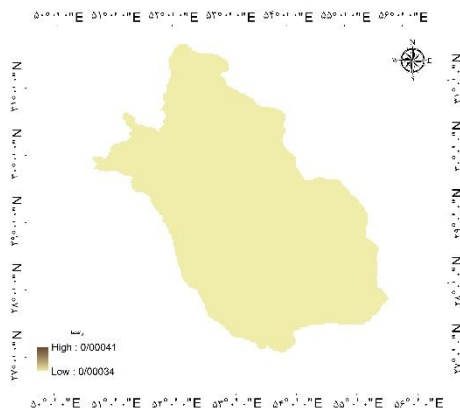
شکل ۸. میانگین شاخص پوشش گیاهی

(۷)

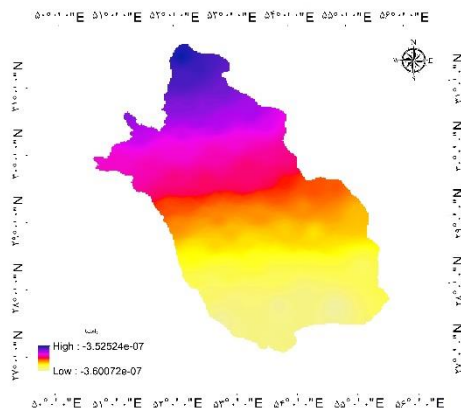
$$P - estimated = 1/75 + 0.024416WI + 0.3208 PR - 0.0164AET + 0.002811NDVI + 0.000724SWE$$

معادله هفت یک رابطه خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته است که بر اساس آن متغیرهای مستقل توانایی توجیه و تبیین ۶۶/۵۹ درصد از تغییرات رطوبت خاک را دارند (جدول دو). چون که مدل رگرسیون کلی تنها رفتار رطوبت خاک در محدوده مورد مطالعه را ارائه می‌دهد از رگرسیون موزون جغرافیایی برای مدل‌سازی محلی رطوبت خاک استفاده شد تا رفتار و تأثیر هر متغیر جداگانه در محدوده مورد مطالعه شناسایی شود. اشکال ۹ تا ۱۳ گستره تحت پوشش ضرایب و میزان اهمیت هر کدام از متغیرهای مورد نظر را نشان می‌دهد.

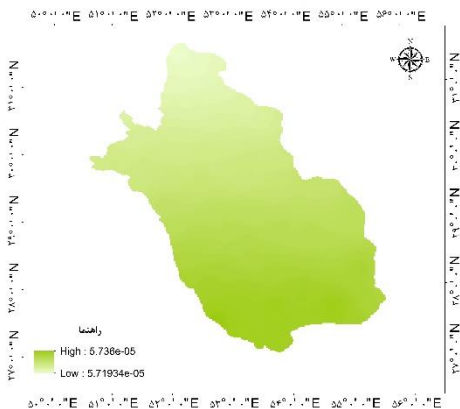
با آزمون هم‌راستا بودن متغیرهای مستقل از طریق گرفتن همبستگی بین پنج متغیر مستقل موجود و هم‌چنین بررسی میزان افزایش شاخص تورم واریانس VIF و بررسی میزان تغییر ضرایب رگرسیونی با حذف یا اضافه کردن تک‌تک متغیرهای مستقل در یک مدل رگرسیون چند متغیره، وجود هم‌راستایی محرز گردید. از آنجاکه هدف بررسی اثرات اکثریت عوامل مکانی بر روی میزان رطوبت خاک بود، از تبدیلات مشاهده به نمره‌های معیار بهره گرفته شد تا مقیاس مقادیر یکسان شده و همبستگی بین متغیرهای مستقل از بین برود. بدین منظور با انجام حدود ۶ تبدیل روی داده‌ها بهترین تبدیل لگاریتم طبیعی (ln(x)) تشخیص داده شد و استفاده گردید. سپس برآزش رگرسیون کلی کمترین مربعات خطا (OLS) بر روی داده‌ها انجام گرفت.



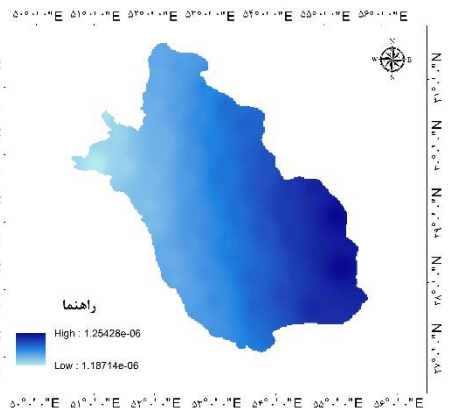
شکل ۱۰. ضرایب برآورد معادل برف



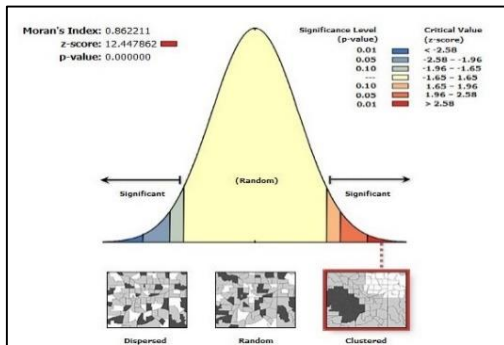
شکل ۹. ضرایب برآوردی تبخیر



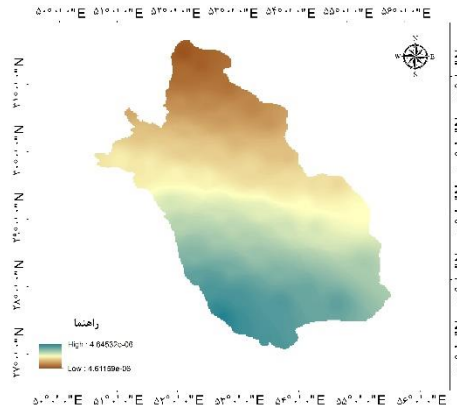
شکل ۱۲. ضرایب برآورد پوشش گیاهی



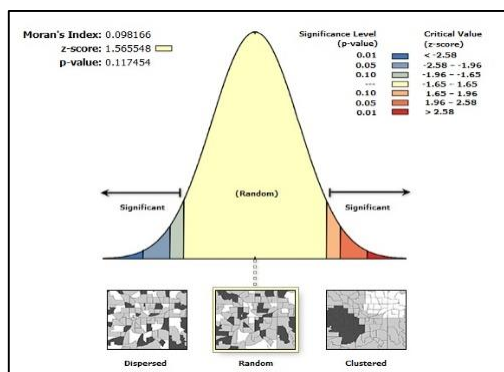
شکل ۱۱. ضرایب برآوردی بارندگی



شکل ۱۴. نتایج خودهمبستگی باقیمانده رگرسیون وزنی مکانی



شکل ۱۳. ضرایب برآورد شاخص رطوبت توپوگرافی



شکل ۱۵. نتایج خودهمبستگی باقیمانده رگرسیون کلی

از جمله راه‌های ارزیابی اعتبار مدل بررسی خود همبستگی خطاهاست. در اشکال (۱۴-۱۵) نتایج خودهمبستگی باقیمانده‌های دو مدل ترسیم شده است.

جدول ۱. ارزیابی مدل‌های رگرسیون کلی و رگرسیون مکانی

| مدل | | شاخص خطا |
|---------------|-------------|-----------------------|
| رگرسیون مکانی | رگرسیون کلی | |
| ۰/۵۷ | -۰/۵۲ | NSE |
| ۱/۰۷ | ۱/۳۸ | RMSE |
| ۰/۷۱ | ۰/۶۶ | R² |
| ۴۲۷۴/۱۹ | ۶۳۴۵/۰۸ | AICc |
| ۰/۰۱۳۲ | ۰/۰۰ | مدل P_value باقیمانده |

بحث و نتیجه‌گیری

غرب و شمال غرب استان از رطوبت بالادست که شیب بیشتری دارند تغذیه می‌شوند درحالی‌که مناطق با رطوبت کم‌تر شرق و شمال شرق استان در نتیجه بارش‌های نزول کرده به آنجاها را به سمت پایین دست هدایت می‌کنند. تبخیر و تعرق اثر کاهشی بر رطوبت خاک دارد از آنجاکه یکی از راه‌های خروج آب از خاک به‌وسیله مصرف گیاهان تحت عنوان تعرق و مصرف آب به‌صورت تبخیر از سطح خاک است. متغیر بعدی آب معادل برف است تأثیر این متغیر به دلیل برف‌گیر بودن مناطق غربی و شمالی استان بیشتر خود

با توجه به رگرسیون کلی می‌توان بیان کرد لایه متغیر باران بیش‌ترین اثر را در بین ۵ متغیر مورد استفاده شده در مدل‌سازی بر رطوبت خاک دارد. به عبارتی با هر یک میلی‌متر افزایش بارندگی، ممکن است به‌طور میانگین ۰/۳۲ مترمکعب بر مترمکعب رطوبت خاک در استان افزایش یابد. دومین متغیر اثرگذار شاخص رطوبت توپوگرافی استخراج شد که محدوده بین یک تا ۰/۰۳ داشته و با مقایسه این لایه با شیب می‌توان فهمید که مناطق مرطوب‌تر خاک بیشتر در

شیب کم دارد نتایج متفاوتی حاصل شود. نتایج تحقیقات سایر محققان نظیر Sharma و همکاران (۲۰۱۱)، Brown و همکاران (۲۰۱۲)، Usman و همکاران (۲۰۱۵)، Asakereh و SeifiPour (۲۰۱۶)، Asakereh و razmi (۲۰۱۸) نیز نشان‌دهنده کارایی بهتر مدل *GWR* نسبت به مدل *OLS* است. توزیع متفاوت مکانی بارش‌ها و همچنین تأثیر متفاوت عنصر اقلیمی و متغیرهای محیطی باعث تفاوت مکانی رطوبت خاک شده است. مدل‌سازی تأثیر این عوامل می‌تواند در شناخت رفتار و پراکندگی رطوبت خاک جهت ارزیابی‌های خشک‌سالی بسیار مؤثر باشد. در تحقیق حاضر جهت شناخت روابط بین عوامل مکانی و پراکندگی رطوبت خاک، با استفاده از اطلاعات تولیدشده یعنی میانگین هر عامل در هر یاخته و با توجه به مشخصه‌های مکانی هر یاخته، با استفاده از تکنیک‌های رگرسیون معمولی (*OLS*) و رگرسیون موزون جغرافیایی (*GWR*) مدل‌سازی گردید. ابتدا جهت حذف هم‌راستایی و کاهش شاخص تورم واریانس تبدیل لگاریتمی بر روی داده‌ها انجام شده و سپس معادله رگرسیون کلی بر داده‌ها برازش داده شد. در تحقیق حاضر نتایج مدل رگرسیون موزون جغرافیایی نشان داد که بیش‌ترین رطوبت خاک در نواحی شمال غرب دیده می‌شود. بیش‌ترین تأثیر منفی تبخیر و تعرق نیز شرق و جنوب شرقی چشم می‌خورد. بر اساس نقشه پراکندگی خطا مدل رگرسیون مکانی توانست در بیش از ۶۸/۰۴ درصد پهنه بیش از ۵۰ درصد تغییرات رطوبت خاک را توجیه کند. نقشه‌های مانده‌های مدل نیز حاکی از کاهش دامنه باقیمانده‌های مدل *GWR* نسبت به باقیمانده‌های مدل *OLS* است. از طرف دیگر میزان خطاها نیز بسیار کم‌تر شده است. در شکل ۱۲ دیده می‌شود که باقیمانده‌های مدل *GWR* فاقد خودهمبستگی مکانی هستند و رفتار خاصی ندارند اما در مورد باقیمانده‌های مدل رگرسیون کلی شکل (۱۳) رفتارهای نوسانی منظم و وجود خودهمبستگی مکانی کاملاً مشهود است. همچنین از طریق شاخص‌های ارائه شده، میزان کارایی دو مدل مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس این اشکال

را نشان داده است. متغیر پوشش گیاهی به دلیل رشد آرام و عکس‌العمل تأخیری، تأخیر رشد گیاه نسبت به بارندگی کمترین ضریب را در معادله رگرسیون کلی گرفته است. یکی از مهم‌ترین عوامل نفوذ آب در خاک و ایجاد رطوبت در آن بافت خاک یعنی اجزای تشکیل‌دهنده آن از رس، لوم و شن است و هرچه بافت خاک سنگین‌تر باشد شدت نفوذ آب ریشه گیاهان باعث در خاک کمتر و در نتیجه رطوبت سطحی خاک بیشتر خواهد شد. در این تحقیق بسیار سعی شد لایه بافت خاک ایجاد گردد ولی به دلیل وسعت محدوده مورد مطالعه و به دلیل نیاز به نمونه‌های به تعداد زیاد جهت آزمایش، این لایه در نظر گرفته نشد. در مورد لایه پوشش گیاهی در این تحقیق میانگین بازه مورد مطالعه در نظر گرفته شد؛ اما از آنجایی که ممکن است تصاویر برداشت‌شده هم‌زمان با بارندگی اخذ شده باشد و به دلیل اینکه در زمان بارندگی و روزهای بعد از آن به شدت افزایش رطوبت خاک می‌شوند پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی روزهای خشک مشخص شود و متغیر لایه پوشش گیاهی برای روزهای خشک ایجاد گردد. شاخص رطوبت توپوگرافی برخلاف تحقیقات Luca و همکاران (۲۰۰۷) که مهم‌ترین عامل در رطوبت خاک معرفی شده بود در این تحقیق دومین عامل مهم شناسایی شد. در این شاخص دو عامل مهم قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع و الگوریتم روند یابی جریان مهم است که الگوریتم‌های جهت جریان در مناطق مرتفع کارایی بیشتری دارند اما این الگوریتم در مناطق مسطح به طور دقیق نمی‌تواند جهت جریان آب را مشخص کند. با توجه به اینکه حدود پنجاه درصد محدوده مورد مطالعه دارای شیب‌های کمتر از پنج درجه بوده و مسطح است (که از محدودیت‌های این مطالعه را می‌توان ذکر نمود). نتایج این تحقیق برخلاف Luca و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد توپوگرافی نمی‌تواند عامل اصلی کنترل‌کننده رطوبت خاک باشد البته این تحقیق در محدوده اکثراً کوهستانی و در مسیر سیکلون‌های بارشی قرار گرفته و ممکن است در محدوده‌های که در مسیر اصلی سامانه‌های بارش زا قرار نگرفته‌اند و یا

پیشنهاد می‌شود نقشه بافت و نوع خاک به‌عنوان لایه مستقل در مدل‌سازی استفاده شود و همچنین به‌جای علاوه بر در نظر گرفتن نقشه بارش، از متغیر نقشه‌ای بارش مؤثر (بخشی از بارندگی که به داخل خاک (عمق ۱۰-۱۲ سانتی‌متر) نفوذ می‌کند) به‌عنوان متغیر مستقل استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد برای بررسی دقیق‌تر از تصاویر راداری که قدرت تفکیک بالایی دارند برای استخراج لایه رطوبت با قدرت تفکیک بالا استفاده شود.

یادداشت‌ها

1. Snow water equivalent
2. Acaike information criterion

و جدول سه مدل GWR با R^2 بالاتر، کمترین میزان $AICC$ ، بالاترین میزان NSE ، و کمترین $RMSE$ ، نسبت به مدل OLS بهترین برازش را داشته است. برتری عمده روش رگرسیون وزن‌دار مکانی در مقابل روش رگرسیون معمولی توانایی آن در بررسی اثر مکانی متغیرهاست. در نهایت می‌توان بیان داشت با استفاده از نقشه‌های پیش‌بینی GWR می‌توان مناطق در معرض کاهش یا افزایش شدید معناداری رطوبت خاک را در استان فارس شناسایی کرده و در راستای بهبود فرآیند تصمیم‌گیری و پیش‌بینی نیازهای خدماتی ارگان‌های زیربسط بکار برد.

پیشنهادها

جهت بهتر نمودن این‌گونه مدل‌سازی رطوبت خاک،

فهرست منابع

- Amani, M., S. Parsian, S. MirMazloumi and O. Aieneh. 2016. Two new soil moisture indices based on the NIR-red triangle space of Landsat-8 data. International journal of applied earth observation and geoinformation. 73: 176-186(in Persian).
- Asakereh, H. 2004. Spatial change modeling of climatic data a case study: annual precipitation of esfahan province. Geographical research. 19(74): 213_ 232 (in Persian).
- Asakereh H. and R. razmi. 2018. Spatial modeling of summer precipitation in North-west of Iran. Researches in Geographical Sciences, 18 (50):155-178 (in Persian).
- Asakereh, H. 2011. Fundamentals of Statistical Climatology. Zanjan University Press. 545 pages.
- Asakereh, H. and Z. SeifiPour. 2013. Spatial Modeling of Annual Precipitation in Iran. Geography and Development Iranian Journal.10 (29): 15-30 (in Persian).
- Babaeian, E., M. Homae and A. Norouzi. 2013. Estimation of surface soil moisture using ENVISAT ASAR radar images. Water Research in Agriculture.27 (4):622-611 (in Persian).
- Brown, S., L.Versace.V. Laurenson. D. Ierodiaconou. J. Fawcett and S. Salzman. 2012. Assessment of spatiotemporal varying relationships between rainfall, land cover and surface water area using geographically weighted regression. Environmental Modeling and Assessment.17 (3): 241-254.
- Erfanian, m. Alijanpour, A. and M. Hosseink. 2013. An Introduction to Multiple Regression Methods (GWR and OLS) for Modeling the Land Use Effects on Water Quality. Extension and Development of watershed management, 1:18-29 (in Persian).
- Falloon, P., D. Bebbber. J. Bryant. M. Bushell. A. Challinor. J. Dessai and A. K. Koehler. 2015. Using climate information to support crop breeding decisions and adaptation in agriculture. World Agriculture. 5(1): 25-43.
- Gao, L., M. Shao. X. Peng and D. Shey. 2015. Spatio-temporal variability and temporal stability of water contents distributed within soil profiles at a hillslope scale. Catena. 132: 29-36.
- Kerlinger, p. 2005. Multiple regressions in behavioral research. Translated by hassan sarai. Samt Press. 534 pages.
- Khanmohammadi, F., M. Homae and A. Noroozi. 2015. Soil moisture estimating with NDVI and land surface temperature and normalized moisture index using MODIS images. Journal of Soil and Water Resources Conservation. 4: 37-45 (in Persian).

- Koohbanani, H. and R., Yazdani. 2019. Mapping the Moisture of Surface Soil Using Landsat 8 Imagery (Case Study: Suburb of Semnan City). *Geography and Sustainability of Environment*, 8 (3): 65-77 (in Persian).
- Lai, X., Q. Zhu. Z. Zhou and K. Liao. 2017. Influences of sampling size and pattern on the uncertainty of correlation estimation between soil water content and its influencing factors. *Journal of hydrology*. 555: 41-50.
- Lee, Y., C. Jung and S. Kim. 2019. Spatial distribution of soil moisture estimates using a multiple linear regression model and Korean geostationary satellite (COMS) data. *Agricultural water management*, 213:580-593.
- Lu, B., P. Harris. M. Charlton and C. Brunson. 2015. Calibrating a geographically weighted regression model with parameter-specific distance metrics. *Procedia Environmental Sciences*. 26:109-114.
- Luca, C., B. Si and R. Farrell. 2007. Upslope length improves spatial estimation of soil organic carbon content. *Canadian journal of soil science*. 87(3): 291-300.
- Mekonnen, F. 2009. Satellite remote sensing for soil moisture estimation: Gumara catchment. Ethiopia. Thesis of Geo-information Science and Earth Observation, Specialisation: (Integrated Watershed Modelling and Management). WREM Department of ITC. Enschede, the Netherlands. 127 pages.
- Saghafian, B. A. Shokoohi and T. Razi. 2003. Drought spatial analysis and development of severity-duration-frequency curves for an arid region. *International Association of Hydrological Sciences, Publication*, 278: 305-311.
- Sharma, V., A. Irmak. I. Kabenge and S. Irmak. 2011. Application of GIS and geographically weighted regression to evaluate the spatial non-stationarity relationships between precipitations vs. irrigated and rainfed maize and soybean yields. *Transactions of the ASABE*. 54(3): 953-972.
- Tabatabaenejad, A., M. Burgin. X. Duan and M. Moghaddam. 2014. P-band radar retrieval of subsurface soil moisture profile as a second-order polynomial: First AirMOSS results. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 53(2): 645-658.
- Tu, L. 2019. Downscaling SMAP Soil Moisture Data Using MODIS Data. Department of Geography and Anthropology. Master of Science (MS). 219 pages.
- Usman, U., L. Aliyu and M. K. Aminu. 2015. Study of the Geographically Weighted Regression Application on Climate Data. *Mathematical Theory and Modeling*. 5:8-21.
- Van Loon, F., K. Stahl. G. Baldassarre. J. Clark .S. Rangelcroft. N. Wanders and R. Uijlenhoet. 2016. Drought in a human-modified world: reframing drought definitions understanding and analysis approaches. *Hydrol. Earth Syst.* 20(9): 3631-3650.
- Vereecken, H., A. Huisman. Y. Pachepsky. C. Montzka. J. Van Der Kruk. H. Boga and J. Vanderborght. 2014. on the spatio-temporal dynamics of soil moisture at the field scale. *Journal of Hydrology*. 516: 76-96.
- Wang, Q., J. Ni and J. Tenhunen. 2005. Application of geographically-weighted regression analysis to estimate net primary production of Chinese forest ecosystems. *Global ecology and biogeography*. 14(4): 379-393.
- Xu, G., T. Zhang. Z. Li. P. Cheng and S. Cheng. 2017. Temporal and spatial characteristics of soil water content in diverse soil layers on land terraces of the Loess Plateau. China. *Catena*. 158: 20-29.
- Yagci, L., L. Di and M. Deng. 2013. The effect of land-cover change on vegetation greenness-based satellite agricultural drought indicators: a case study in the southwest climate division of Indiana. USA. *International journal of remote sensing*. 34(20): 6947-6968.
- Yoshioka, M., S. Takakura. T. Ishizawa and N. Sakai. 2015. Temporal changes of soil temperature with soil water content in an embankment slope during controlled artificial rainfall experiments. *Journal of Applied Geophysics*. 114: 134-145.