



## Case Study

## Investigation of Spatial Variation of Some Soil Properties Using Geostatistical Methods (Case study: Margon Town, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Iran)

Vali Behnam<sup>1</sup>, Ali Karami<sup>1</sup> and Sedigheh Safarzadeh Shirazi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Scholar, Department of Soil Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

<sup>2</sup>Assist. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

### Article information

Received: September 23, 2023

Revised: February 20, 2023

Accepted: February 21, 2023

### Keywords:

Inverse Distance

Weighting

GIS

Kriging

\*Corresponding author:

[safarzadeh@shirazu.ac.ir](mailto:safarzadeh@shirazu.ac.ir)



### Abstract

The aim of this study was to investigate the spatial variation of some soil properties such as soil texture, organic carbon content, soil pH and electrical conductivity (EC) using geostatistical methods in Margon town, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province, Iran. For this purpose, 58 surface soil samples (0-30 cm depth) were prepared from the studied area and some physical and chemical characteristics of the soils were measured. The studied properties were estimated by various interpolation methods including ordinary kriging, simple kriging, disjunctive kriging, co-kriging, and inverse distance weighting (IDW) using GIS software. The capability of these methods was evaluated by the mean absolute error (MAE), and the root mean square error (RMSE). Based on the absolute mean error and the squared mean squared error, the spherical model for pH, salinity, sand percentage and soil silt percentage and the exponential model for clay and organic carbon percentage had the highest accuracy. Moreover, the results indicated that conventional co-kriging method for organic carbon percentage content and soil pH, simple co-kriging method for clay and silt percentage, simple kriging method for soil EC, and conventional kriging method for sand percentage were the most suitable methods as compared to the other studied methods.

**How to cite this paper:** Behnam, V., Karami, A., & Safarzadeh Shirazi, S. (2024). Investigation of spatial variation of some soil properties using geostatistical methods (Case study: Margon city, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province, Iran). *Environ. Water Eng.*, 10(4), 558-571. <https://doi.org/10.22034/ewe.2024.418442.1893> (In Persian)



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** Journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Accurate knowledge and study of soil characteristics is of particular importance for sustainable exploitation of soil resources and sustainable agricultural management. Studying the spatial distribution of soil physicochemical characteristics is considered as the basic input of any sustainable agricultural system. Geostatistics and geographic information system methods are very important because of considering the spatial correlation of data in surveys related to the distribution of land data. The science of geostatistics, which is based on the spatial variable theory, is able to provide a wide set of statistical estimators in order to estimate the desired feature in a place that has not been sampled, using the information obtained from the sampling points. Due to the limitations of choosing the right number of samples to study and check soil characteristics in the traditional method, using the geostatistical method can be a good way to achieve the required accuracy and choose the right number of soil samples. Therefore, geostatistics and geographic information system can be used as useful tools in preparing maps of physical and chemical characteristics of soil based on a limited number of samples in agricultural lands. These methods can provide an accurate estimate of soil properties using available data for interpolation and preparation of soil properties maps. In these methods, the presence or absence of spatial structure between the data is important, and if there is a spatial structure, data analysis is

performed. According to the above, the present research was conducted in order to investigate the spatial distribution of some physical and chemical characteristics of the soil using geostatistical methods in the soils around the cement factory of Margon city.

### Material and Methods

In this research, regular grid method was used for soil sampling. A number of 58 surface soil samples (0 to 30 cm) were taken from the zero, 50 and 100 m distance of Margon cement factory. The samples were taken to the laboratory and after drying in the laboratory air, they were crushed and passed through a 2 mm sieve. The physicochemical characteristics of the studied soil samples include pH in saturated mud, electrical conductivity in saturated mud extract, texture by hydrometer method, percentage of calcium carbonate equivalent to calcium carbonate neutralization with hydrochloric acid. and excess acid titration with soda and organic carbon percentage were measured by oxidiser method.

### Results

To evaluate the interpolation methods, the mean absolute error (MAE) and root mean square error (RMSE) parameters were used. After the analysis of the variable, data interpolation was done with the help of Arc GIS software by the geostatistical methods of kriging and cokriging and the specific method of inverse distance weighting (Tables 1 and 2).

Table 1 Results of estimating soil properties using Kriging geostatistical methods

Soil Parameters	Validation Criteria	Disjunctive	Simple	Ordinary
OC (%)	MAE	0.001	0.002	-0.003
	RMSE	0.318	0.312	0.301
pH	MAE	0.011	0.011	0.002
	RMSE	0.224	0.224	0.220
EC (dSm <sup>-1</sup> )	MAE	-0.026	-0.036	0.031
	RMSE	0.883	0.873	0.984
Clay (%)	MAE	0.077	0.081	0.081
	RMSE	3.41	3.41	3.54
Silt (%)	MAE	-0.204	-0.226	-0.057
	RMSE	7.56	7.56	7.65
Sand (%)	MAE	0.123	0.123	0.041
	RMSE	6.59	6.59	6.58

To evaluate the mentioned methods, the features of AME and RMSE were considered. The results showed that by considering the absolute mean of the error and the square of the mean square of the error, the conventional cokriging method in the field of interpolation of the values of soil dispersion (AME = 0.002) and 0.211 (RMSE = and organic carbon AME = -0.008) and 0.140 (RMSE = ratio It has shown better performance than simple and discrete kriging and cokriging

(Tables 3 and 4). The simple kriging method for soil salinity zoning (AME = 0.036) and 0.873 (RMSE = compared to the inverse distance weighting method AME = 0.011) and 0. (RMSE=986) and Cokriging gave a better estimator. In addition, the simple Cokriging method was more suitable for zoning the percentage of clay and silt than the other two methods.

Table 2 Results of Kriging and IDW methods for estimating soil parameters in the studied area

Soil Parameters	Validation Criteria	IDW	Co-Kriging			Auxiliary variable
			Disjunctive	Simple	Ordinary	
pH	AME	-0.003	0.011	0.011	0.002	EC (dSm <sup>-1</sup> )
	RMSE	0.212	0.222	0.222	0.211	
EC (dSm <sup>-1</sup> )	AME	0.011	-0.026	-0.026	-0.032	Clay (%)
	RMSE	0.986	0.872	0.876	1.00	
Clay (%)	AME	0.341	0.014	0.014	0.088	OC (%)
	RMSE	3.66	3.44	3.40	3.55	
Silt (%)	AME	-0.142	-0.213	-0.236	-0.058	CaCO <sub>3</sub>
	RMSE	8.13	7.56	7.56	7.71	
OC (%)	AME	0.007	0.001	0.001	-0.008	Clay (%)
	RMSE	0.136	0.134	0.133	0.140	

**Conclusions**

1. The spatial distribution of some physical and chemical characteristics of the soil was investigated using geostatistical methods in the soils around the cement factory in Margon city.
2. Investigating the spatial distribution using geostatistical methods showed that soil salinity has the highest and soil pH has the lowest coefficient of variation in the region.
3. Regarding the variables of organic carbon and clay percentage, the semi-exponential variable model and for the other studied variables, the spherical model had the best fit compared to other methods and were chosen as the models used in the study of the mentioned characteristics.

4. Taking into account the statistical indicators of the normal cokriging method for organic carbon and pH, the simple cokriging method for clay and silt, the simple kriging method for soil salinity and the normal kriging method for sand are more suitable compared to other used methods. and provided more accurate estimates.

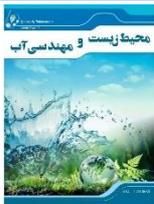
**Data Availability**

The data generated in this research is presented in the text of the article.

**Conflicts of interest**

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.





ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مطالعه موردی

## بررسی توزیع مکانی برخی ویژگی‌های خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: شهرستان مارگون، استان کهگیلویه و بویراحمد)

ولی بهنام<sup>۱</sup>، علی کرمی<sup>۱</sup> و صدیقه صفرزاده شیرازی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری، بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، شیراز، ایران  
<sup>۲</sup>آستادیار، بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۷/۰۶]	پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک، کربن آلی، pH و شوری خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار در منطقه شهرستان مارگون انجام شد. بدین منظور از منطقه مورد مطالعه تعداد ۵۸ نمونه خاک سطحی از عمق (cm) صفر تا ۳۰ (۳۰ cm) تهیه و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های مورد مطالعه با روش‌های مختلف میان‌یابی شامل کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، کریجینگ گسسته، کوکریجینگ، و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) و با استفاده از نرم افزار GIS تخمین زده شد. دقت این روش‌ها با استفاده از میانگین خطای مطلق (MAE)، و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) ارزیابی شد. بر اساس میانگین مطلق خطا و مجذور میانگین مربعات خطا، مدل کروی برای pH، شوری، درصد شن و درصد سیلت خاک و مدل نمایی برای درصد رس و کربن آلی خاک دارای بیشترین مقدار دقت بودند. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که روش کوکریجینگ معمولی برای کربن آلی و pH، روش کوکریجینگ ساده برای درصد رس و سیلت، روش کریجینگ ساده برای شوری خاک و روش کریجینگ معمولی برای درصد شن در مقایسه با سایر روش‌های مطالعه شده مناسب‌تر بودند.
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۱۲/۰۱]	
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۱۲/۰۲]	
واژه‌های کلیدی: کریجینگ سیستم اطلاعات جغرافیایی وزن‌دهی عکس فاصله	
*نویسنده مسئول: <a href="mailto:safarzadeh@shirazu.ac.ir">safarzadeh@shirazu.ac.ir</a>	

### نحوه استناد به این مقاله:

بهنام، ولی، کرمی، علی، و صفرزاده شیرازی، صدیقه. (۱۴۰۳). بررسی توزیع مکانی برخی ویژگی‌های خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: شهرستان مارگون، استان کهگیلویه و بویراحمد). محیط‌زیست و مهندسی آب. 10(4) 558-571

<https://doi.org/10.22034/ewe.2024.418442.1893>



## ۱- مقدمه

سدیم مدل گوسی و برای کربن آلی مدل نمایی بهترین برازش را داشتند. همچنین آنها نشان دادند که مدل گوسی کریجینگ بیشترین کاربرد را در تهیه نقشه رقومی متغیرهای مورد مطالعه خاک منطقه دارد. (MirKhani et al. 2021) به توزیع مکانی کیفیت خاک در اراضی زراعی منطقه ساوجبلاغ استان البرز پرداختند. نتایج آنان نشان داد که بهترین مدل برازش یافته برای شاخص کیفیت نمورو (NQI) مدل گوسی، و برای بقیه شاخص‌ها مدل نمایی بود. (Taati et al. 2020) به پهنه بندی برخی ویژگی‌های سطحی و عمقی پروفیل خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار در بخشی از اراضی دشت قزوین پرداختند. نتایج آنان نشان داد که بهترین مدل برای بررسی ویژگی‌های پهاش و سیلت در هر دو عمق، مدل نمایی و برای قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، رس و سیلت مدل گوسی می‌باشد. کلاس وابستگی مکانی نیز برای ویژگی‌های مطالعه شده متوسط تا قوی ارزیابی شد. پهنه بندی و بررسی شوری خاک با استفاده از روش زمین آمار در دشت سگری اصفهان انجام شده و نتایج نشان داده شده است که مدل کریجینگ معمولی با نیم تغییرنمای نمایی بهترین روش در مدل سازی و درون یابی شوری خاک می‌باشد (Yaquobi et al. 2021) در تحقیقی با بررسی پهنه‌بندی و تحلیل مکانی برخی ویژگی‌های خاک در اراضی دانشگاه زنجان نشان داده شد که برای متغیرهای درصد کربن آلی و کربنات کلسیم معادل، مدل کروی و برای سایر متغیرها، مدل نمایی بهترین برازش را داشتند (Shabani et al. 2020). همچنین بررسی توزیع مکانی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مسیر زابل به زاهدان با استفاده از روش‌های زمین آمار نشان داد که بهترین مدل برای پهاش، مدل کروی و برای سایر ویژگی‌های خاک اندازه گیری شده، مدل نمایی بود (Behnam et al. 2019). همچنین نشان دادند که روش کوکریجینگ معمولی برای رس، کربنات کلسیم و پهاش، روش وزن دهی معکوس فاصله برای سیلت و شوری خاک، و روش کریجینگ معمولی برای شن در مقایسه با سایر روش‌های به کار رفته مناسب‌تر بوده و تخمین‌های دقیق تری ارائه دادند.

شناخت و مطالعه دقیق ویژگی‌های خاک برای بهره برداری پایدار از منابع خاک و مدیریت پایدار کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مطالعه توزیع مکانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک به عنوان ورودی اساسی هر سامانه کشاورزی پایدار در نظر گرفته می‌شود (AbdelRahman et al. 2018). روش‌های زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل در نظر گرفتن همبستگی مکانی داده‌ها در بررسی‌های مربوط به پراکنش داده‌های زمینی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند. علم زمین آمار که بر پایه نظریه متغیر مکانی استوار بوده، قادر به ارائه مجموعه گسترده‌ای از تخمین‌گرهای آماری به منظور برآورد ویژگی مورد نظر در مکانی که نمونه برداری نشده، با استفاده از اطلاعات بدست آمده از نقاط نمونه برداری شده است (Metternicht and Zinck 1996). به دلیل محدودیت‌های انتخاب تعداد نمونه مناسب برای مطالعه و بررسی ویژگی‌های خاک در روش سنتی، استفاده از روش زمین آمار می‌تواند روش مناسبی برای رسیدن به دقت مورد نیاز و انتخاب تعداد نمونه مناسب در خاک باشد (Habashi 2007). بنابراین زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزارهایی مفید در تهیه نقشه‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر اساس تعداد محدودی نمونه در اراضی کشاورزی می‌توانند به کار روند (Emadi et al. 2016). این روش‌ها می‌توانند با استفاده از داده‌های در دسترس تخمین دقیقی از ویژگی‌های خاک برای درون‌یابی و تهیه نقشه ویژگی‌های خاک ارائه دهند (Habashi 2007). در این روش‌ها وجود یا عدم وجود ساختار فضایی بین داده‌ها مهم بوده و در صورت وجود ساختار فضایی، تحلیل داده‌ها انجام می‌شود (Hasani Pak 1998). آنالیزهای زمین آماری دو مرحله دارند: در مرحله اول شناخت و مدلسازی ساختار فضایی متغیر که به وسیله تجزیه و تحلیل واریوگرام بررسی می‌شود (Uyan 2016) و مرحله دوم تخمین متغیر مورد نظر بوسیله تخمین‌گرهای مختلف از جمله کریجینگ می‌باشد.

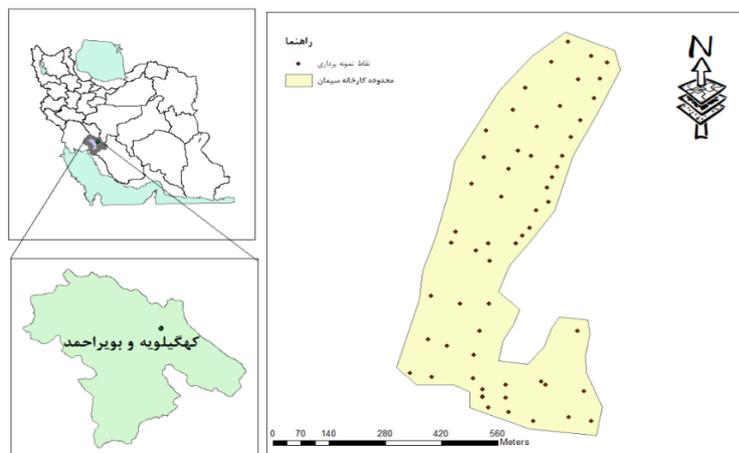
(Gholami et al. 2020) با بررسی کارایی روش‌های زمین آمار در پهنه بندی برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در اراضی شرق کارون گزارش کردند که برای ویژگی‌های شن، سیلت، رس، کربنات کلسیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، و نسبت جذب

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مارگون بین محدوده جغرافیایی  $23^{\circ} 59' 30''$  و  $53'' 57' 30''$  شمالی و  $51^{\circ} 4' 51''$  طول شرقی قرار دارد که در شمال غرب شهر یاسوج واقع شده است. حداقل ارتفاع از سطح دریا  $2200$  m و حداکثر آن  $2490$  m از سطح دریا می‌باشد. شیب متوسط منطقه  $22/4\%$  است که قسمت زیادی از منطقه دارای شیبی کم‌تر از  $30\%$  و بیش‌تر دارای جهت جنوبی است. رژیم بارندگی منطقه مدیترانه‌ای بوده و دارای متوسط بارندگی سالانه  $585$  mm می‌باشد که بخش اعظم آن در ماه‌های آذر تا فروردین نازل می‌شود (Karimi et al. 2009). از لحاظ صنعتی احداث کارخانه سیمان مارگون نشان از وجود معادن مختلف در این بخش را نوید می‌دهد که معادن سیلیس، آهک، سنگ گچ، سنگ‌های معدنی و معادن نفت و گاز در این منطقه وجود دارد که نیاز به سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و همت مسئولین دارد تا موجبات شکوفایی مقوله صنعت در این بخش فراهم گردد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه، قسمت عمده نزولات به‌صورت برف می‌باشد. رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک‌های منطقه به ترتیب ترمیک (Thermic) و زیریک (Xeric) می‌باشد. رده‌بندی خاک‌های منطقه انتی‌سول (Entisol)، این‌سپتیسول (Inceptisol) و آلفی‌سول (Alfisol) می‌باشد (Ramshani and Banayi, 1988)

(AbdelRahman et al. 2021) با بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک نشان دادند که روش وزن‌دهی معکوس فاصله، کارایی بالاتری برای تهیه پراکنش نقشه خاک نسبت به روش کریجینگ و کوکریجینگ دارد. غالب زمین‌های زراعی در اطراف کارخانه سیمان مارگون زیر کشت محصولات جو، گندم، باغ و یا به صورت مرتع است. وجود کارخانه سیمان در منطقه، باعث افزایش اشتغال ساکنان و نیز پیشرفت اقتصادی منطقه می‌شود. البته در این میان کارخانه سیمان تأثیرات سوئی دارد که می‌توان به مواردی همچون کاهش بهره‌وری کشاورزی، از بین رفتن بخش زیادی از اراضی زراعی اطراف روستاها، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، بیشتر شدن آمار بیماری‌های تنفسی و سرطان، افزایش آلودگی خاک منطقه، تخریب زمین‌های اطراف ناشی از برداشت‌های مختلف از زمین، گسترش آفات مزارع و بیماری، از بین رفتن مراتع و جنگل‌ها و کاهش سرسبزی سیمای منطقه اشاره کرد (Rahmanian et al, 2020). با توجه به اینکه زمین‌های منطقه مورد مطالعه کشاورزی و مرتع می‌باشد و تاکنون تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک این منطقه صورت نگرفته است. لذا بررسی تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های اطراف کارخانه سیمان ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به موارد فوق، پژوهش حاضر به منظور بررسی پراکنش مکانی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان شهرستان مارگون انجام شد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه با موقعیت‌های جغرافیایی نقاط نمونه برداری

Fig. 1 The studied area map with geographical locations of sampling points

روش‌های زمین آماری کریجینگ<sup>۱</sup> (معمولی، ساده و گسسته)، کوکریجینگ<sup>۲</sup> (معمولی، ساده و گسسته) و وزن دهی معکوس فاصله (IDW)<sup>۳</sup> برای میان‌یابی مکانی متغیرها استفاده شد. به‌منظور ارزیابی روش‌های میان‌یابی از فن ارزیابی متقابل<sup>۴</sup> و شاخص آماری میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد. میانگین خطای مطلق مشخص‌کننده خطای نتایج می‌باشد. در شرایطی که MAE برابر صفر یا نزدیک صفر باشد، نشان‌دهنده این است که روش استفاده شده واقعیت را خوب شبیه‌سازی می‌کند. همچنین هرچه مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق کمتر باشد، دقت روش ارزیابی افزایش می‌یابد. ویژگی‌های میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شوند:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_s - R_0|}{n} \quad (1)$$

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_s - R_0)^2} \quad (2)$$

که،  $R_s$  مقدار برآورد شده،  $R_0$  مقدار اندازه‌گیری شده و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد.

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- توصیف آماری داده‌ها

توصیف آماری شامل میانگین، واریانس، ضریب تغییرات، مقادیر حداکثر و حداقل، چولگی و کشیدگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی در جدول (۱) خلاصه شده است. حداقل و حداکثر درصد pH خاک به ترتیب ۶/۸۵ و ۸/۱۱ (میانگین ۷/۳۹) بود. حداقل و حداکثر شوری خاک به ترتیب ۰/۰۹ و ۷/۲۱ dS/m (میانگین ۰/۶۶ dS/m) بود. حداقل و حداکثر کربن آلی خاک به ترتیب ۰/۱۵ و ۱/۰۵٪ (میانگین ۰/۴۰٪) بود. حداقل و حداکثر درصد رس ۵/۱۴ و ۲۳/۳۶ (میانگین آن ۱۱/۶۱)٪، حداقل و حداکثر درصد سیلت ۲۴/۱۴ و ۶۳/۳۵ (میانگین ۴۱/۱۸)٪ و حداقل و حداکثر درصد شن ۲۷/۷۸ و ۶۵/۷۱ (میانگین ۴۷/۲۰)٪ بود.

#### ۲-۲- اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

در این پژوهش به‌منظور نمونه‌برداری خاک از روش شبکه‌ای منظم استفاده شد. تعداد ۵۸ نمونه خاک سطحی (۰ تا ۳۰ cm) از فاصله صفر، ۵۰ و ۱۰۰ m کارخانه سیمان شهرستان مارگون برداشت شد (شکل ۱). نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک شدن در هوای آزمایشگاه، کوبیده شده و از الک 2 mm عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک مورد بررسی شامل pH در گل اشباع (Rhoades 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (Rhoades 1986)، بافت به روش هیدرومتر (Gee and Bauder 1986)، درصد کربنات کلسیم معادل با روش خنثی‌کردن کربنات کلسیم با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود (Loeppert and Sparks 1996) و درصد کربن آلی به روش اکسایش تر (Nelson and Sommers 1996) اندازه‌گیری شد.

#### ۲-۳- تحلیل داده‌ها

آماره‌های توصیفی شامل میانگین، چولگی، کشیدگی، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای هر متغیر محاسبه شد. نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌ها با آماره‌های چولگی و کشیدگی بررسی گردید (Simmonds et al. 2013). برای بررسی نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌های مورد مطالعه از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. جهت نرمال سازی متغیرهای غیرنرمال از تبدیل لگاریتمی و ریشه مربعات استفاده شد. مقادیر ضریب تغییرات کمتر از ۱۵٪، بین ۱۵ تا ۳۵٪ و بالاتر از ۳۵٪ به ترتیب به‌عنوان تغییرات کم، تغییرات متوسط و تغییرات زیاد (تنوع بالا) در نظر گرفته شدند (Rizwan et al. 2016).

#### ۲-۴- تحلیل آمار مکانی و درون‌یابی

به‌منظور بررسی و تشریح ارتباط و ساختار مکانی از تجزیه و تحلیل تغییرنما یا واریوگرام از نرم افزارهای GIS و GS+ نسخه ۹ استفاده شد. برای محاسبه واریوگرام، تمام مدل‌هایی که نرم‌افزار امکان به‌کارگیری آنها را فراهم می‌کند، اعمال شد تا بهترین مدل انتخاب شود. این مدل‌ها شامل مدل‌های خطی، کروی، نمایی و گوسین می‌باشند. در پژوهش حاضر، از

<sup>3</sup>Inverse distance weighted

<sup>8</sup>Crossvalidation

<sup>1</sup>Kriging

<sup>2</sup>CoKriging

جدول ۱- توصیف آماری ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه

Table 1 Summary statistics of soil properties in the studied area

Soil Parameters	Minimum	Maximum	Average	Std. Deviation	Coefficient of Variation	Skewness	Kurtosis
pH	6.85	8.11	7.39	0.29	3.92	0.35	-0.34
EC (dS/m)	0.09	7.21	0.66	0.88	133.33	0.92	14.16
OC	0.15	1.05	0.40	0.14	35.00	1.61	4.82
Sand (%)	27.78	65.71	47.20	8.17	17.30	-0.16	-0.07
Silt (%)	24.14	63.35	41.18	8.61	20.90	0.35	-0.08
Clay (%)	5.14	23.36	11.61	3.47	29.88	0.54	0.95

تغییرات کم‌تر از ۵۰٪ که نشان دهنده عدم وجود تغییرات خیلی زیاد در این متغیرها است (Amini et al. 2006). مقدار کم ضریب تغییرات در بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن)، کربن آلی و pH ناشی از عوامل ذاتی مانند مواد مادری، توپوگرافی و یا اقلیم منطقه می‌باشد. مقادیر بالای ضریب تغییرات در شوری خاک می‌تواند ناشی از تأثیر همزمان عوامل ذاتی و مدیریتی مانند کوددهی و کاربری اراضی و سایر عوامل باشد (Foroughifar et al. 2011).

ضریب تغییرات (CV)، معیاری از تغییرپذیری نسبی است. اگر  $CV \leq 100$  باشد، نشان دهنده تغییرپذیری اندک،  $50 \leq CV < 100$  تغییرپذیر بالا است. در حالی که ضرایب تغییر بالاتر از ۱۰۰٪ نشان دهنده تغییرپذیری بی نهایت بالا است (Karimi Nezhad et al. 2015). ضریب تغییرات شوری خاک در نقاط اندازه‌گیری شده بالاتر از ۵۰٪ بوده که نشان دهنده تغییرات زیاد این متغیرها در خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن)، کربن آلی و پهاش دارای ضریب

جدول ۲- نتایج آنالیز همبستگی مکانی متغیرها و مدل‌های برازش داده شده به داده‌های مورد مطالعه

Table 2 Results of spatial correlation analysis of variables and models fitted to the studied data

Variable	Model	Nugget (C <sub>0</sub> )	Range (A <sub>0</sub> )	Sill (C <sub>0</sub> +C)	C/C <sub>0</sub> +C	Model evaluation feature	
						RMSE	MAE
pH	Spherical	0.045	1786	0.196	0.77	0.224	0.011
EC (dS/m)	Spherical	0.206	83	0.865	0.76	3.12	-0.017
OC	Exponential	0.017	6330	0.039	0.55	3.22	0.021
Sand	Spherical	38.00	1983	126.80	0.70	6.59	0.123
Silt (%)	Spherical	47.30	2110	141.70	0.66	7.65	-0.057
Clay (%)	Exponential	11.98	960300	38.43	0.66	3.42	0.064

Foroughifar et al به ترتیب بهترین مدل برای pH و درصد شن را مدل کروی گزارش کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

برای کربن آلی خاک و رس، مدل نمایی دارای بالاترین دقت بود (جدول ۲). در گزارش‌های سایر محققین مدل نمایی به عنوان بهترین مدل برای کمی کردن تغییرات مکانی کربن آلی

۲-۳- توزیع مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک برای ارزیابی روش‌های میان‌یابی از پارامترهای میانگین مطلق خطا (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید (جدول ۲) بر اساس این جدول برای ویژگی‌های pH، شوری خاک، سیلت و شن، مدل کروی دارای بالاترین دقت بود (جدول ۲). Yanai et al (2000) و (2011)

رس (Sarmadian et al. 2010) و وابستگی مکانی متوسط برای متغیرهای رس، سیلت و شن (Behnam et al. 2019) به‌وسیله سایر محققین مشاهده شده که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

در پژوهش حاضر، دامنه تأثیر به ترتیب برای pH، کربن آلی خاک، شوری، ذرات رس، شن، و ذرات سیلت در حدود ۱۷۸۶، ۶۳۳۰، ۸۳، ۹۶۰۳۰۰، ۱۹۸۳ و ۲۱۱۰ m به‌دست آمد (جدول ۲). دامنه تأثیر بالا در این پژوهش با نتایج (Jafarian et al, 2009) مطابقت دارد. به طور کلی دامنه تأثیر، فاصله‌ای است که در مقادیر بالاتر از آن، نمونه‌ها بر هم تأثیری نداشته و یا وابستگی کافی نشان نمی‌دهد و در واقع مستقل از یکدیگرند. چنین فاصله‌ای حد همبستگی ویژگی‌های مورد نظر را مشخص ساخته و اطلاعاتی در رابطه با حد مجاز فاصله نمونه‌برداری را ارائه می‌کند. دامنه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک، تابعی از مقیاس مورد مطالعه و فاصله نمونه‌برداری است (Pirysahragard and Piry 2016). بیش‌ترین دامنه تأثیر در پژوهش حاضر مربوط به رس (۹۶۰۳۰۰ m) بود که می‌تواند به دلیل توزیع مکانی گسترده آن باشد. همچنین کم‌ترین دامنه تأثیر مربوط به شوری خاک (۸۳ m) بود.

خاک (Liu et al. 2006) و تغییرات مکانی درصد رس خاک بیان شده است.

کم‌ترین اثر قطعه‌ای مربوط به کربن آلی (۰/۰۱۷)، pH (۰/۰۴۵)، و شوری خاک (۰/۲۰۶) بود. مقادیر کم یا صفر اثر قطعه‌ای، بیانگر پیوستگی مکانی بین نقاط همجوار و کوچکتر از فواصل نمونه برداری، خطاهای اندازه‌گیری و آزمایشگاهی و دیگر تغییرات غیرقابل پیش‌بینی است (Rezazadehshamkhal et al. 2016). بیش‌ترین اثر قطعه‌ای در سیلت (۴۷/۳۰)، شن (۳۸) و رس (۱۱/۹۸) مشاهده شد (جدول ۲). بالا بودن اثر قطعه‌ای در واقع معیاری از نامناسب بودن فواصل نمونه‌گیری است، زیرا اثر قطعه‌ای نشان دهنده تغییرات مکانی است که در فاصله‌های کمتر از فواصل نمونه‌گیری وجود دارد (Webster and Oliver 2007). با توجه به نتایج بدست آمده متغیرهای pH و شوری خاک از همبستگی ضعیفی برخوردار بودند. سایر ویژگی‌های خاک مورد مطالعه، همبستگی متوسطی داشتند. در مطالعه‌ای، به‌منظور تعیین پراکنش ویژگی‌های خاک در کرج، وابستگی مکانی ضعیف، متوسط و قوی به‌ترتیب برای رس، شن و سیلت گزارش شد (Zareian et al. 2015). وابستگی مکانی متوسط

جدول ۳- نتایج تخمین ویژگی‌های خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آماري کربجینگ

Table 3 Results of estimating soil properties using Kriging geostatistical methods

Soil Parameters	Validation Criteria	Disjunctive	Simple	Ordinary
OC (%)	MAE	0.001	0.002	-0.003
	RMSE	0.318	0.312	0.301
pH	MAE	0.011	0.011	0.002
	RMSE	0.224	0.224	0.220
EC (dSm <sup>-1</sup> )	MAE	-0.026	-0.036	0.031
	RMSE	0.883	0.873	0.984
Clay (%)	MAE	0.077	0.081	0.081
	RMSE	3.41	3.41	3.54
Silt (%)	MAE	-0.204	-0.226	-0.057
	RMSE	7.56	7.56	7.65
Sand (%)	MAE	0.123	0.123	0.041
	RMSE	6.59	6.59	6.58

گرفت (جدول ۳ و ۴). برای ارزیابی روش‌های مذکور ویژگی‌های میانگین مطلق خطا (AME) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با در نظر

پس از تحلیل تغییرنما، درون‌یابی داده‌ها به کمک نرم افزار Arc GIS به وسیله روش‌های زمین‌آماري کربجینگ و کوکربجینگ و روش معین وزن‌دهی معکوس فاصله انجام

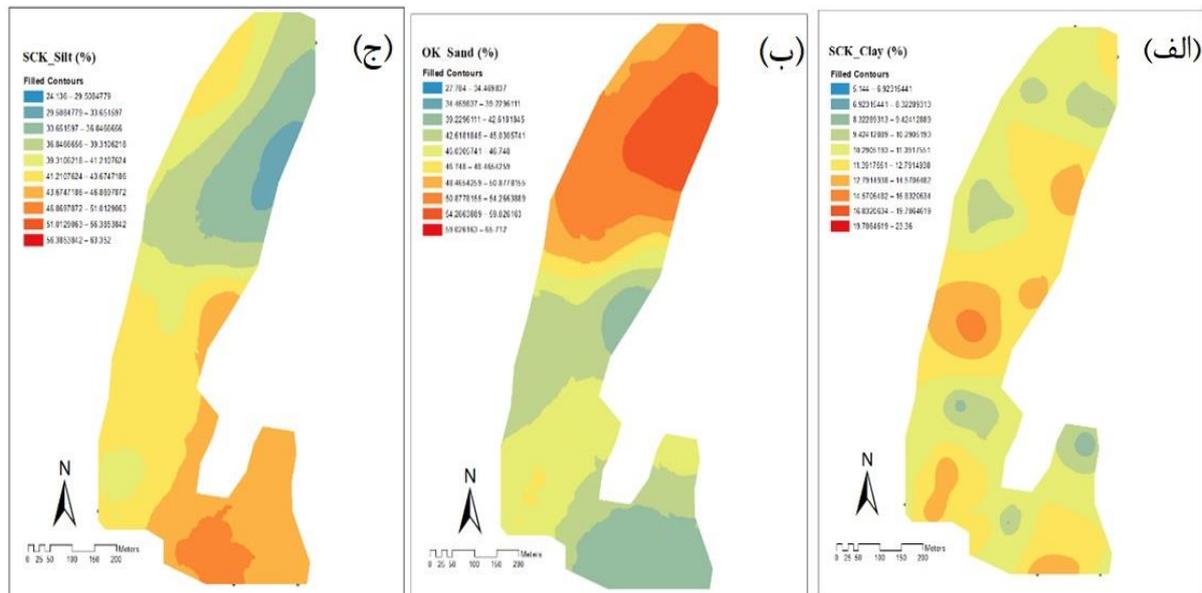
محتوای ذرات شن با استفاده از روش کریجینگ معمولی که دارای کمترین مجذور میانگین مربعات خطا نسبت به سایر روش‌های مورد ارزیابی بود، صورت گرفت. به دلیل اینکه محتوای ذرات شن با هیچکدام از ویژگی‌های دیگر خاک هیچ گونه همبستگی معنی‌داری نداشت به تخمین آن توسط کریجینگ بسنده شد. (Bameri et al. (2012 نیز در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب در اراضی شیب‌دار لسی استان گلستان گزارش دادند که در تخمین کربن آلی خاک در کل تپه ماهوری، روش کوکریجینگ معمولی نسبت به دو روش کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

گرفتن میانگین مطلق خطا و مجذور میانگین مربعات خطا، روش کوکریجینگ معمولی در زمینه درون‌یابی مقادیر پ‌هاش خاک (AME= 0.002 و RMSE= 0.211) و کربن آلی (AME= -0.008 و RMSE= 0.140) نسبت به کریجینگ و کوکریجینگ ساده و گسسته عملکرد بهتری نشان داده است (جدول ۳ و ۴). روش کریجینگ ساده به منظور پهنه‌بندی شوری خاک (AME= 0.036 و RMSE= ۰/۸۷۳) نسبت به روش وزن‌دهی معکوس فاصله (AME= 0.011 و RMSE= 0.986) و کوکریجینگ تخمین‌گر بهتری داد. همچنین روش کوکریجینگ ساده برای پهنه‌بندی درصد رس و سیلت نسبت به دو روش دیگر مناسب‌تر بود (جدول ۴). پهنه‌بندی

جدول ۴- نتایج روش‌های کوکریجینگ و IDW در تخمین ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه

Table 4 Results of Kriging and IDW methods for estimating soil parameters in the studied area

Soil Parameters	Validation Criteria	IDW	Co-Kriging			Auxiliary variable
			Disjunctive	Simple	Ordinary	
pH	AME	-0.003	0.011	0.011	0.002	EC (dS/m)
	RMSE	0.212	0.222	0.222	0.211	
EC (dS/m)	AME	0.011	-0.026	-0.026	-0.032	Clay (%)
	RMSE	0.986	0.872	0.876	1.00	
Clay (%)	AME	0.341	0.014	0.014	0.088	OC (%)
	RMSE	3.66	3.44	3.40	3.55	
Silt (%)	AME	-0.142	-0.213	-0.236	-0.058	CaCO <sub>3</sub>
	RMSE	8.13	7.56	7.56	7.71	
OC (%)	AME	0.007	0.001	0.001	-0.008	Clay (%)
	RMSE	0.136	0.134	0.133	0.140	

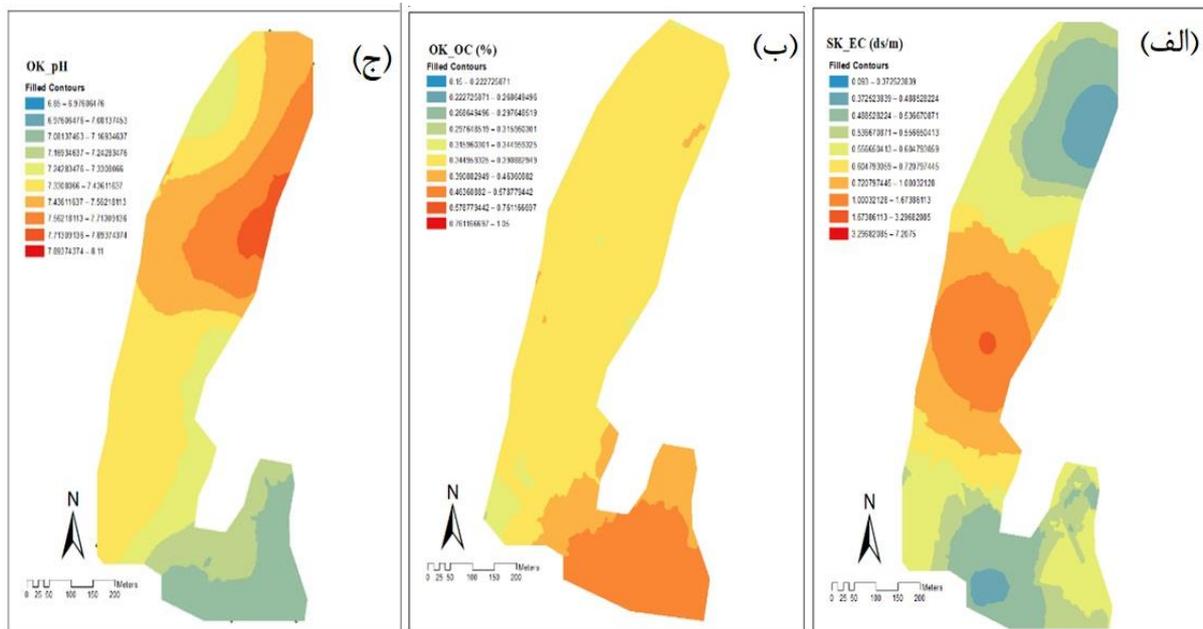


شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی: الف- درصد رس، ب- شن و ج- سیلت در منطقه مورد مطالعه  
Fig. 2 Zoning map of a) Clay, b) Sand and c) Silt percentage in the studied area

منطقه مورد مطالعه نسبت به بقیه بخش‌ها بیش‌تر بود که نشان دهنده بافت سبک خاک در این قسمت از منطقه می‌باشد (شکل ۲- ب).

pH خاک در ده کلاس طبقه بندی شد که در دامنه بین ۶/۸۵ تا ۸/۱۱ قرار داشت و بیشترین سطح منطقه در کلاس ۷/۳۳ تا ۷/۴۳ قرار گرفت (شکل ۳- ج) در قسمت‌های با بارش بیشتر میزان املاح حاوی کربنات کلسیم که عامل افزایش pH و قلیابیت خاک هست از پروفیل خاک شسته و خارج می‌شود. بیش‌ترین مقدار pH به صورت یک لکه کوچک در شکل نشان داده شده است که به احتمال زیاد به دلیل ماهیت آهکی بودن خاک این منطقه است. کربن آلی خاک نیز در ده کلاس طبقه بندی شد که در دامنه ۰/۱۵ تا ۰/۱۰۵ قرار گرفت (شکل ۳- ج).

در مرحله آخر نقشه پهنه‌بندی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک تهیه شد. نتایج نشان داد که درصد رس در ده کلاس قرار گرفته و بیش‌ترین سطح محدوده مطالعاتی را کلاس ۱۱/۳۹ تا ۱۲/۷۹٪ تشکیل می‌دهد (شکل ۲- الف) در مورد سیلت ده کلاس وجود داشت که مقادیر در دامنه ۲۴/۱۳ تا ۵۶/۳۸ درصد متغیر بوده و بیشتر سطح منطقه در کلاس ۴۱/۲۱ تا ۴۳/۶۷٪ سیلت بود (شکل ۲- ج). درصد رس و سیلت در قسمت میانی و پایین‌دست منطقه بیشتر از منطقه بالادست بود که نشان دهنده تفاوت در بافت خاک و نیز بافت سنگین قسمت میانی و پایین دست منطقه مورد مطالعه بود. همچنین درصد شن در ده کلاس طبقه بندی شد که در دامنه ۲۷/۷۸ تا ۶۵/۷۱٪ قرار داشته و بیش‌تر سطح منطقه در کلاس ۵۴/۲۶ تا ۵۹/۰۲٪ بود. درصد شن در قسمت بالادست



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی: الف). هدایت الکتریکی ب). کربن آلی ج). pH خاک در منطقه مورد مطالعه

Fig. 3 Zoning map of a).Ec, b) OC and c) pH percentage in the studied area

معمولی جهت تعیین پراکندگی کربن آلی خاک به روش نمونه‌برداری سیستماتیک انجام شد، مدل واریوگرام مناسب‌تر از نوع کروی تشخیص داده شد. نتایج آنها نشان داد که بیشترین تجمع کربن در مکان‌هایی که دارای ارتفاع کمتر و پوشش گیاهی بیش‌تری بودند، مشاهده شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شوری خاک در ده کلاس طبقه بندی شد که در دامنه بین ۰/۰۹۳ تا ۷/۲۰ قرار داشت و بیش‌ترین سطح شوری خاک در قسمت میانی منطقه قرار دارد (شکل ۳- الف).

در رابطه با کربن آلی نیز بیش‌ترین مقادیر کربن آلی در قسمت جنوب اندازه‌گیری شد. میزان آن به سمت شمال روند کاهشی داشته است. در جنوب علاوه بر زیادتر بودن میزان رس و بهتر بودن شرایط برای کشاورزی از جمله شوری کمتر خاک و انجام کشت و زرع بیش‌تر نسبت به قسمت‌های شمال اقلیم سردتر منطقه نیز به تجمع مواد آلی و کندتر شدن فرآیند تجزیه کمک کرده است. در تحقیقی که بوسیله Wang et al. (2009) در اراضی شمال شرق چین به کمک کریجینگ

## ۴- نتیجه‌گیری

۴- با در نظر گرفتن شاخص‌های آماری روش کوکریجینگ معمولی برای کربن آلی و pH، روش کوکریجینگ ساده برای رس و سیلت، روش کوریجینگ ساده برای شوری خاک و روش کوریجینگ معمولی برای شن در مقایسه با سایر روش‌های به کار رفته مناسب‌تر بوده و تخمین‌های دقیق‌تری ارائه دادند.

## دسترسی به داده‌ها

داده‌های تولید شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

## تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۱- توزیع مکانی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان شهرستان مارگون بررسی شد.

۲- بررسی توزیع مکانی با استفاده از روش‌های زمین آمار نشان داد که شوری خاک بیشترین و pH خاک کمترین ضریب تغییرات را در منطقه به خود اختصاص داده است.

۳- در مورد متغیرهای کربن آلی و درصد رس، مدل نیم تغییرنمای نمایی و در مورد سایر متغیرهای مورد مطالعه، مدل کروی نسبت به روش‌های دیگر، بهترین برازش را داشته و به‌عنوان مدل‌های مورد استفاده در مطالعه ویژگی‌های ذکر شده انتخاب شدند.

## References

- AbdelRahman, M. A. E. Shalaby, A. Aboelsoud, M. H., & Moghanm, F.S. (2018). GIS spatial model based for determining actual land degradation status in Kafr El-Sheikh Governorate, North Nile Delta. Model. *Earth Syst. Environ.*, 4, 359–372. DOI: [10.1007/s40808-017-0403-z](https://doi.org/10.1007/s40808-017-0403-z)
- Ammini, M., Afyoni, M., & Khademi, H. (2006). Modeling of mass balance of Cd and Pb in agricultural lands of Isfahan region. *J. Water Soil Sci.*, 10(4), 77-90. DOI: [20.1001.1.24763594.1385.10.4.6.7](https://doi.org/10.1007/s40808-017-0403-z). [In Persian].
- Bameri, A., Khormali, F., Kiani, F., & Dehghani, A. A. (2012). Spatial variability of soil organic carbon on different slope positions of loess hillslopes in Toshan area, Golestan Province. *J. Water Soil Conserv.* 19(2), 43-60. DOI: [20.1001.1.23222069.1391.19.2.3.6](https://doi.org/10.22034/WS.2021.45841.2414). [In Persian].
- Behnam, V., Gholamalizadeh Ahangar, A., Rahmanian M., & Bameri, A. (2019). Spatial distribution of some physical and chemical properties of soil using geostatistic methods (Case study: Zabol to Zahedan route). *J. Environ. Water Eng.*, 5(3), 251–263. <https://doi.org/10.22034/jewe.2019.200821.1330>
- Emadi, M., Shahriari, A. R., Sadeghzadeh, F., Shebardan, B. J., & Dindarlou, A. (2016). Geostatistics-based spatial distribution of soil moisture and temperature regime classes in Mazadaran province, Northern Iran. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 62, 502–522. DOI: [10.1080/03650340.2015.1065607](https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1065607)
- Foroughifar, H., Jafarzadah, A. A., Torabi Gelsefidi, H., Aliasgharzadah, N., Toomanian, N., & Davatgar, N. (2011). Spatial variations of surface soil physical and chemical properties on different landforms of Tabriz Plain. *Water Soil Sci.*, 21(3), 1-21 DoI: [10.22034/WS.2021.45841.2414](https://doi.org/10.22034/WS.2021.45841.2414). [In Persian].
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. p. 383-411. In Klute A. (ed), Methods of Soil Analysis. Part 1. 2<sup>nd</sup> edition. *Agron. Monogr.* 9. ASA and SSSA, Madison. DoI: [10.4236/ijg.2023.149047](https://doi.org/10.4236/ijg.2023.149047)
- Gholami, A., Valipour, P., & Noorzadeh Haddad, M. (2020). Performance evaluation of geostatistics methods on the zoning of soil chemical properties (Case study: Karun East area). 20 (69):1-15. DoI: [10.22034/WS.2021.45841.2414](https://doi.org/10.22034/WS.2021.45841.2414). [In Persian].
- Habashi, H. (2007). Relationship soil properties and spatial pattern of trees and groups of trees in mixed Beech in the Shastkalate mixed Fagetum o Gorgan. Ph.D. Thesis of Forestry. *Tarbiat Modarres University*. 139 Pp. DOI: [10.22067/JSW.V33I1.75236](https://doi.org/10.22067/JSW.V33I1.75236).
- Hasani Pak, A. A. (1998). Geostatistical. Tehran University Press. 180p. DOI: [10.22092/IJMAPR.2016.107129](https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2016.107129). [In Persian].

- Jafarian, Z., Arzani, H., Jafari, M., Kalarestaghi, A., Zahedi, G. & Azarnivand, H. (2009). Spatial distribution of soil properties using geostatistical methods in Rineh Rangelands. *J. Iran. Range.*, 3(1), 107-120. DOI: [10.22124/CJES.2023.6195](https://doi.org/10.22124/CJES.2023.6195) [In Persian].
- Karimi Nezhad, M. T., Tabatabaai S. M., & Gholami, A. (2015). Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. *J. Geochem. Explor.*, 152, 91-109. DOI: [10.1016/j.gexplo.2015.02.005](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.02.005).
- Karimi, G., Mozafari, S., & Nikbakht, M. (2009). Effect of range and livestock management on vegetation of Margon station in Kohgiluyeh and Boyerahmad province, Iran. *Iran. J. Range Desert Res.*, 16(3), 353-361. DOI: [10.22092/ijrdr.2024.131554](https://doi.org/10.22092/ijrdr.2024.131554)
- Loeppert, R., H., & Sparks, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. p.437-474. In: Sparks D.L. (ed), Methods of soil analysis. Part 3: Chemical properties. *Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin*. DOI: [10.22092/SBJ.2022.354084.215](https://doi.org/10.22092/SBJ.2022.354084.215).
- Liu, N., Bond, G. M., Abel, A., McPherson, B. J., & Stringer, J. (2006). Biometric sequestration of CO<sub>2</sub> in carbonate forms: Role of produced waters and other brines. *Fuel Process. Technol.*, 86, 1615-1625. DOI: [10.1016/j.fuproc.2005.01.008](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2005.01.008)
- Metternicht, G., & Zinck, J. A. (1996). Modelling salinity- alkalinity classes for mapping saltaffected topsoils in the semiarid valleys of Cochabama (Bolivia). *Int. Tech. Cnter J.*, 2, 125-135. DOI: [10.22067/JSW.VO10.22782](https://doi.org/10.22067/JSW.VO10.22782)
- Mirkhani, R., Vaezi, A. R., & Rezaei, H. (2021). Spatial distribution of soil quality in Savojbolagh fields in Alborz province. *Appl. Soil Res.*, 9(2), 1-14. [In Persian].
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In Sparks D. L. (ed), Methods of Soil Analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin*. DOI: [10.4236/nr.2019.1012028](https://doi.org/10.4236/nr.2019.1012028).
- Pirysahragard, H., & Piry, J. (2016). Analysis of spatial structure of some soil properties using geostatistical methods (Case study: west rangelands of Taftan-Khash). *J. Range.*, 10, 224-236. DOI: [20.1001.1.20080891.1395.10.2.8.0](https://doi.org/20.1001.1.20080891.1395.10.2.8.0) [In Persian].
- Rahmanian, M., Jahantab, E., & Gholamzadeh, M. (2020) Evaluation of heavy metals contamination lead and manganese in the around soils of Yasouj Cement Factory. *J. Nat. Environ.*, 73(1), 37-48. DOI: [10.22059/JNE.2020.277160.1663](https://doi.org/10.22059/JNE.2020.277160.1663) [In Persian].
- Ramshani, K. H., & Banayi, M. (1988). Detailed and semi-detailed soil geological studies of Boyer Ahmad Sardisiri of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Provinces. 111pp. DOI: [10.3390/land9050154](https://doi.org/10.3390/land9050154)
- Rezazadehshamkhal, S., Gholamalizadeh Ahangar, A., Gazmeh, S., Froghifar, H., & Bameri, A. (2016). Evaluation of different interpolation methods in spatial estimation of soil properties in Sistan Plain. *Water Soil Sci.*, 26(2), 151-162. DOI: [10.22092/AJ.2018.116019.1206](https://doi.org/10.22092/AJ.2018.116019.1206). [In Persian].
- Rizwan, M., Siddique, M. T., Ahmed, H., Iqbal, M., & Ziad, T. (2016). Spatial variability of selected physico-chemical properties and macronutrients in the shale and sandstone derived soils. *Soil Environ.*, 35(1), 12-21. DOI: [10.22092/AJ.2018.116019.1206](https://doi.org/10.22092/AJ.2018.116019.1206)
- Rhoades, J. D. (1986). Soluble salts. In: Campbell, G. S., Nielsen, D.A., Jackson, R. D., Klute, A. & Mortland, M. M. (Eds). Methods of Soil Analysis. Part1. *Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI*, 167-179. DOI: [10.3390/land9050154](https://doi.org/10.3390/land9050154)
- Sarmadian, F., & Taghi Zadeh Mehrjerdi, R. (2010). A comparison of interpolation methods for preparing soil quality maps: Case study: (Agricultural Faculty Experimental Field). *Iran. J. Soil Water Res.*, 40(2), 157-165. DOI: [20.1001.1.2008479.1388.40.2.8.2](https://doi.org/20.1001.1.2008479.1388.40.2.8.2). [In Persian].
- Shabani H., Delavar M. A., Safari Y., & Alamdari P. (2020). Spatial variability of some soil characteristics in lands of Zanjan University. *Appl. Soil Res.*, 7(4), 164-178. DOI: [10.22067/JSW.V33I1.75236](https://doi.org/10.22067/JSW.V33I1.75236) [In Persian].
- Simmonds, M. B., Plant, R. E., Pena-Barragan J. M., van Kessel, C., Hill, J. & Linqvist, B. A. (2013). Underlying causes of yield spatial variability and potential for precision

- management in rice systems. *Precis. Agri.*, 14(5), 512–540. DOI: [10.1007/s11119-013-9313-x](https://doi.org/10.1007/s11119-013-9313-x)
- Taati, A., Sarmadian, F., Mottaqian, H., & Mousavi, R. (2020). Mapping features of surface and depth, soil profiles by using geostatistical techniques in part of Qazvin Plain. *Human Environ. Quart.*, 18(1), 67-81. DOI: [10.22067/JSW.2023.80369.1238](https://doi.org/10.22067/JSW.2023.80369.1238) [In Persian].
- Webster, R., & Oliver, M. A. (2007). *Geostatistics for environmental scientists* (Second Edition ed.). The Atrium, Southern Gate, Chichester, England: *John Wiley and Sons*. 330 p. DOI: [10.1002/9780470517277](https://doi.org/10.1002/9780470517277)
- Wang, Y., Zhang, X. C., Zhang, J. L., & Li, S. J. (2009). Spatial variability of soil organic carbon in a watershed on the loess plateau. *Pedosphere*, 19, 486-495. DOI: [10.1016/S1002-0160\(09\)60141-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(09)60141-7)
- Uyan, M., (2016). Determination of agricultural soil index using geostatistical analysis and GIS on land consolidation projects: A case study in Konya/Turkey. *Comput. Electron. Agri.*, 123, 40240. DOI: [10.1016/j.compag.2016.03.019](https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.019)
- Yaquobi, S. S., Bayram Komaki, C., & Karimzadeh, H. (2021). Zoning and studying of the soil salinity trend by using remote sensing data and land statistics (Case Study: Segzi Plain, Isfahan). *Destruct. Rehabilit. Nat. Land.*, 1(1), 92-104. DOI: [10.1007/s40808-020-01015-1](https://doi.org/10.1007/s40808-020-01015-1) [In Persian].
- Yanai, J., Lee, C. K., Umeda, M., & Kosaki, T. (2000). Spatial variability of soil chemical properties. *Soil Sci. Plant Nutrit.*, 46(2):473-482. DOI: [10.1080/00380768.2000.10408800](https://doi.org/10.1080/00380768.2000.10408800)
- Zareian F., Mahmoudi, J., & Javadi M. R. (2015). Predicating the spatial variability of some soil properties by using Geostatistic methods in Darreh Viseh, Karaj. *Iran. J. Soil Res.*, 28(3), 511-520 DOI: [10.22092/IJSR.2014.100020](https://doi.org/10.22092/IJSR.2014.100020) [In Persian].