

## بررسی پراکنش مکانی برخی ویژگی‌های کیفی بخشی از خاک‌های زراعی منطقه کهریزک شهرستان تهران با استفاده از زمین آمار

سپیده محتشمی<sup>۱</sup>، اکبر حسنی<sup>۱\*</sup>، یونس خسروی<sup>۲</sup>، علیرضا واعظی<sup>۱</sup>، محمد بابااکبری ساری<sup>۱</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. گروه علوم محیط زیست خاک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [akbar.hassani@znu.ac.ir](mailto:akbar.hassani@znu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱

DOI: [10.30470/jsp.2025.735365](https://doi.org/10.30470/jsp.2025.735365)

### چکیده

منطقه کهریزک به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی شهرستان ری مطرح می‌باشد. هدف از مطالعه حاضر شناخت ویژگی‌های خاک‌های منطقه مورد مطالعه، تهیه نقشه‌ها و استخراج اطلاعات از روش‌های زمین آماری می‌باشد. بدین منظور مجموع ۱۱۰ نمونه از خاک سطحی (۳۰ - ۰ سانتیمتری) از منطقه‌ای به وسعت ۳۰۰۰ هکتار تهیه شد و در آن برخی ویژگی‌های مرتبط با کیفیت خاک اندازه‌گیری شد. برای درون‌یابی داده‌ها در تهیه نقشه از روش‌های زمین آماری کریجینگ معمولی، وزن‌دهی معکوس و توابع پایه شعاعی استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده مقدار کربنات کلسیم معادل آن از ۹ تا ۲۵ درصد تغییر می‌کرد. بر همین اساس مقدار pH نیز بین ۷/۲۴ تا ۷/۸۹ در تغییر بود. از نظر شوری نیز اغلب خاک‌ها کمتر از حد مجاز بوده ولی بیشترین شوری ۱۶/۶۸ دسی زیمنس بر متر بود. از نظر بافت و دانه‌بندی، مقدار سیلت در اغلب خاک‌ها بیشتر از رس و شن بود. از بین روش‌های مختلف زمین آماری برای تهیه نقشه‌ها، در مورد کربن آلی، نیتروژن کل، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد شن و رس روش کریجینگ، در مورد کربن و نیتروژن بیوماس میکروبی و سهم میکروبی کربن روش وزن‌دهی معکوس و در مورد مقدار pH و آهک معادل نیز روش توابع پایه شعاعی برآورد دقیق‌تری از ویژگی‌های ذکر شده در مناطق فاقد داده داشتند. بیشترین مقدار کربن آلی در نواحی جنوب شرقی منطقه دیده شد و کمترین مقادیر نیز در نواحی شمالی و مرکزی مشاهده شد. الگوی توزیع مکانی کربن بیوماس میکروبی و سهم میکروبی کربن نیز تا حد زیادی از الگوی کربن آلی تبعیت می‌نمود.

واژه‌های کلیدی: توابع پایه شعاعی، سهم کربن میکروبی، کربن بیوماس میکروبی، کریجینگ، وزن‌دهی معکوس

## Studying the spatial distribution of some qualitative characteristics of agricultural soils in Kahrizak region of Tehran city using geostatistics

S. Mohtashami<sup>1\*</sup>, A. Hassni<sup>1</sup>, Y. Khosravi<sup>2</sup>, A.R. Vaezi<sup>1</sup>, M. Babaakbari Sari<sup>1</sup>

*1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran*

*2. Department of Environmental Science, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran*

*3. \*Corresponding Author, Email: [akbar.hassani@znu.ac.ir](mailto:akbar.hassani@znu.ac.ir)*

Received: August 2025 Accepted: November 2026

### Abstract

Kahrizak region is considered as one of the agricultural poles of Rey city in Iran. The purpose of the present study is to know the characteristics of the soils of the studied area, prepare maps and extract information from geostatistical methods. For this purpose, a total of 110 surface soil samples (0-30 cm) were prepared from an area of 3000 hectares and some characteristics related to soil quality were measured. To interpolate the data in the preparation of the map, geostatistical methods of Ordinary Kriging (OK), inverse distance weighted (IDW) and radial basis functions (RBF) were used. Based on the obtained results, the calcium carbonate equivalent varied from 9 to 25%. Accordingly, the pH value was changing between 7.24 and 7.89. In terms of salinity, most of the soils were less than the permissible limit, but the highest salinity was 16.68 dS/m. In terms of soil texture, the amount of silt in most soils was higher than that of clay and sand. Among the various geostatistical methods for preparing maps, in the case of organic carbon, total nitrogen, electrical conductivity, percentage of sand and clay, the OK method, in the case of carbon and nitrogen, microbial biomass and the microbial share of carbon, the IDW method and in the case of pH value and equivalent lime, RBF method had a more accurate estimate of the mentioned characteristics in the areas without data. The highest amount of organic carbon was found in the southeastern areas of the region, and the lowest amount was observed in the northern and central areas. The pattern of spatial distribution of microbial biomass carbon and the microbial share of carbon also largely followed the pattern of organic carbon.

**Keywords:** microbial biomass carbon, microbial carbon contribution, IDW, kriging, RBF

## مقدمه

تعیین مناسب‌ترین روش‌های درون‌یابی در سطح یک منطقه و چگونگی توزیع فضایی و مکانی آن، امری ضروری جهت توزیع مکانی ویژگی‌های کیفی خاک آن منطقه می‌باشد. روش‌های مختلفی برای برآورد و تخمین متغیرهای خاک وجود دارد که می‌توان به روش‌های کلاسیک، نظیر تیسسن<sup>۱</sup> و میانگین حسابی اشاره کرد. این روش‌ها گرچه همگی از نظر محاسبات سریع و آسان می‌باشند، ولی به دلایلی از جمله در نظر نگرفتن موقعیت، آرایش و همبستگی بین آن‌ها، از دقت خوبی برخوردار نمی‌باشند. روش‌های دیگری نیز وجود دارد که به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها از اهمیت زیادی برخوردار هستند که از آن جمله روش زمین‌آمار<sup>۲</sup> می‌باشد (Lark, 2012).

در سال‌های اخیر زمین‌آمار به عنوان ابزاری مؤثر در بررسی تغییرات مکانی، درون‌یابی و تهیه نقشه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قرار گرفته است. در این رابطه شعبانی و همکاران (Shabani, et al, 2020) تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک با استفاده از تکنیک زمین‌آمار را در خاک‌های دانشگاه زنجان مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که به جز pH خاک و آهک معادل که مناسب‌ترین مدل برای توصیف تغییرات مکانی آن‌ها کروی به دست آمد، در مورد سایر ویژگی‌ها مدل نمایی مناسب‌تر بود. ایشان همچنین اعلام کردند تغییرات ویژگی‌های خاک در منطقه تصادفی نبوده و از یک الگوی پراکنش مکانی تبعیت می‌کند. دواتگر و همکاران (Davatgar et al, 2015) در بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های استان گیلان دریافتند که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل pH، هدایت الکتریکی، ماده آلی و رس در اراضی خاک‌های این استان از نظر توزیع جغرافیایی یکسان نمی‌باشد. این محققین برای پهنه‌بندی از دو روش کریجینگ بلوکی (در صورت وجود تغییرات نظام‌دار و

امروزه کاربرد علم زمین‌آمار اهمیت زیادی در علوم آب و خاک پیدا کرده است و پژوهش‌های فراوانی در رابطه با تغییرات مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از این تکنیک انجام شده است (Chen et al., 2020; Gozdowski et al., 2015). توجه به ویژگی‌های بیولوژیکی خاک در سال‌های اخیر افزایش یافته است. حساسیت بالای ویژگی‌های بیولوژیکی به تغییرات مدیریتی و نوع کاربری زمین سبب شده است تا از این ویژگی‌ها نیز در ارزیابی کیفیت خاک استفاده شود. در همه زیستگاه‌ها، ریزجاندارن خاک نقش زیادی در تجزیه مواد آلی و چرخه مواد غذایی دارند. با استفاده از علم زمین‌آمار می‌توان تغییرات مکانی ویژگی‌های بیولوژیکی خاک را نیز مورد بررسی قرار داده و ارتباط آن با سایر ویژگی‌ها و نوع کاربری ارضی را مشخص نمود.

تغییرات مکانی در خاک شامل هر تغییری در ویژگی‌های خاک و تابعی از موقعیت جغرافیایی است. یکی از خصوصیات مشترک علوم محیطی، ماهیت داده‌های آن است. اغلب ویژگی‌های محیطی دارای پراکنش پیوسته در مکان بوده و از سوی دیگر نمونه‌برداری و اندازه‌گیری آن‌ها در تمامی نقاط واقع در محدوده مطالعاتی غیرممکن است. بدین ترتیب برای توصیف و نمایش تغییرات مکانی متغیرهای مورد نظر، مقادیر آن‌ها را می‌توان در نقاطی که نمونه‌برداری نشده است، با در نظر گرفتن اطلاعات موجود از نقاط نمونه‌برداری شده و به کمک الگوریتم‌ها و روش‌های متقن فضایی، برآورد نمود (Robinson and Metternicht, 2006). صرف اعمال یک الگوریتم درون‌یابی جهت دستیابی به نقشه‌های پهنه‌بندی یک پارامتر محیطی، قطعاً موجب بروز خطا در برنامه‌ریزی‌های مرتبط با آن پارامتر خواهد شد. لذا اعمال روش‌های آزمون خطای درون‌یابی پیش از ترسیم نقشه نهایی امری ضروری به شمار می‌آید.

<sup>2</sup> Geostatistics<sup>1</sup> Thissen

سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. طی مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته مشاهده شد که بررسی ویژگی‌های کیفی خاک‌های زراعی منطقه کهریزک شهرستان تهران انجام نشده و تغییرات مکانی ویژگی‌های بیولوژیکی خاک و همبستگی آن با سایر ویژگی‌های خاک نیاز به بررسی بیشتری دارد. پژوهش حاضر می‌کوشد تا با پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی خاک، به مشکل کیفی خاک‌های منطقه مزبور دست یابد تا بر این اساس توصیه‌های مدیریتی بهینه انجام گردد.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده به نظر می‌رسد تحقیقات انجام شده در مورد توزیع مکانی ویژگی‌های کیفی خاک در استان تهران انجام نشده است و نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. از این رو پژوهش حاضر تلاشی است تا از روش‌های کریجینگ<sup>۱</sup>، وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW<sup>۲</sup>) و روش تابع شعاعی پایه (RBF<sup>۳</sup>) به عنوان روش‌های زمین‌آمار تک متغیره برای تحلیل مکانی و فضایی برخی ویژگی‌های کیفی خاک‌های زراعی شهرستان کهریزک واقع در استان تهران استفاده شود.

### مواد و روش‌ها

#### ویژگی‌های منطقه مطالعاتی

استان تهران با مساحت ۱۴۷۱۱ کیلومتر مربع به عنوان پایتخت ایران مطرح می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در منطقه کهریزک و در بخشی از اراضی کشاورزی حد فاصل بین روستاهای کهریزک، مهران آباد و قیصرآباد می‌باشد (شکل ۱). این محدوده به وسعت ۳۰۰۰ هکتار در جنوب غربی شهرستان تهران و بین شهرستان تهران و اسلامشهر واقع شده است. متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۰۰۶ متر و کاربری منطقه عمدتاً کشاورزی و اندکی نیز زمین‌های بایر می‌باشد. حدود ۲۴۰۰ هکتار آن را اراضی کشاورزی تشکیل داده است. این منطقه از پتانسیل بالایی برای تولیدات کشاورزی برخوردار بوده و اخیراً به دلیل تأثیر

همبستگی مکانی) و وزن‌دهی عکس فاصله (در شرایط استقلال مکانی) استفاده نمودند. نتایج پهنه‌بندی ایشان، مطلوب بودن خاک‌های استان را از نظر اسیدیته و هدایت الکتریکی نشان داد.

در روش زمین آمار ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده‌ها پرداخته شده و سپس در صورت وجود ساختار مکانی، تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد. البته ممکن است نمونه‌های مجاور با فاصله‌ی معینی در قالب ساختار مکانی به هم وابسته باشند، در این حالت بدیهی است که میزان تشابه بین مقدارهای مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر بیشتر است، زیرا در صورت وجود ساختار مکانی، تغییرات ایجاد شده در یک فضای معین شانس بیشتری برای تأثیرگذاری روی فضاهاى نزدیک به خود را نسبت به فضاهاى دورتر از خود دارند (Khosravi et al, 2018). پژوهش‌گران در بررسی تغییرات مکانی خاک‌های شمال شرق چین دریافتند که روش کریجینگ برای درون‌یابی ماده آلی روش قابل قبولی است (Xing et al., 2007).

منطقه کهریزک به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی شهرستان ری مطرح بوده و کاشت گندم، ذرت، انواع سبزی و صیفی جات در این منطقه رایج می‌باشد. در سال‌های اخیر به دلیل کشت متراکم و فشرده محصولات کشاورزی، کاربرد نامتعادل و نامتوازن کودهای شیمیایی در زمین‌ها، روش‌های نامناسب و نادرست آبیاری، کاربرد آب‌های شور حاصلخیزی خاک‌ها را با نوعی عدم تعادل مواجه نموده است. زمین‌ها دیگر قابلیت محصول‌دهی قبلی را ندارند. از آنجا که شناخت چگونگی توزیع مکانی خصوصیات خاک در یک عرصه کمک شایانی به مدیریت هر چه بهتر آن می‌نماید، به همین منظور هدف مطالعه حاضر شناخت خصوصیات خاک‌های منطقه مورد مطالعه و تهیه نقشه‌ها و استخراج اطلاعات، از روش‌های زمین آماری در نرم افزار

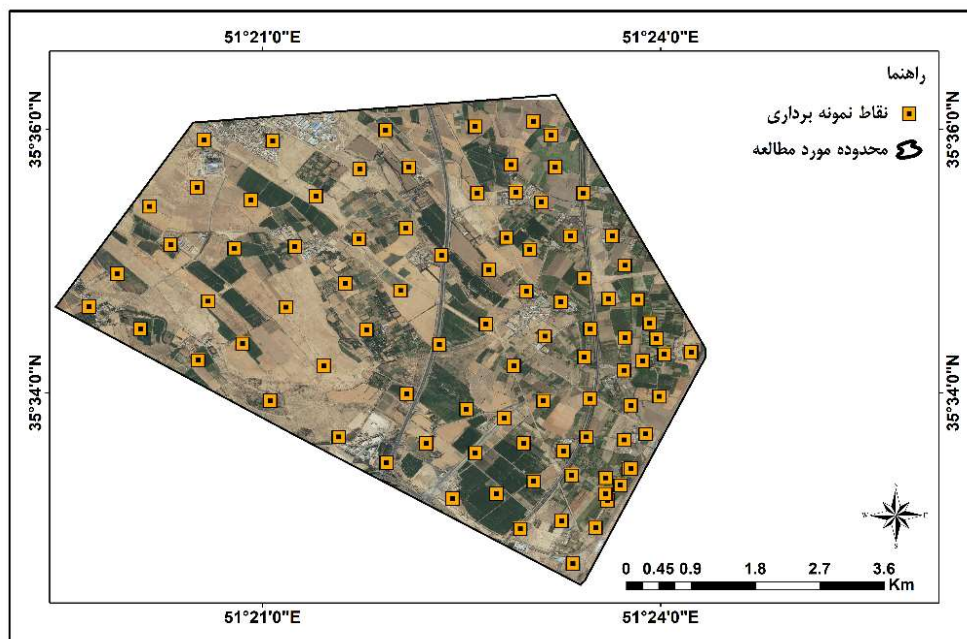
<sup>3</sup> Radial Basis Functions

<sup>1</sup> Kriging

<sup>2</sup> Inverse Distance Weighting

از اینگونه فعالیت‌ها در خاک سطحی، بیش از پیش آشکار می‌شود

فعالیت‌های کشاورزی، نظیر استفاده از کودهای شیمیایی مختلف بر روی کیفیت خاک، نیاز به بررسی برخی ویژگی‌های کیفی به عنوان یکی از فاکتورهای مهم ناشی



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

شدند. پس از این مدت، خلأ داخل دسیکاتور حذف و بعد از خروج کلروفورم، نمونه‌ها از دستگاه خارج شدند. به هریک از نمونه‌ها ۲۵ میلی‌لیتر محلول سولفات پتاسیم ۲ مولار اضافه شد و پس از شیک شدن به مدت ۴۰ دقیقه سوسپانسیون به دست آمده صاف گردید. pH عصاره‌ها در محدوده‌ی ۶/۵ تا ۸ تنظیم و کربن بیوماس میکروبی آن‌ها به روش دی‌کرومات پتاسیم اندازه‌گیری شد. تمام مراحل ذکر شده برای نمونه‌های بدون تدخین نیز انجام شد. کربن زی‌توده میکروبی عصاره‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Joergensen, 1996):

$$\text{MBC} = (S-C)/0.35 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن MBC میلی‌گرم کربن بیوماس میکروبی در ۱۰۰ گرم خاک خشک، S میلی‌گرم کربن آلی در ۱۰۰ گرم خاک خشک تدخین شده، C میلی‌گرم کربن آلی در ۱۰۰ گرم خاک خشک تدخین نشده و ۰/۳۵ نیز ضریب تبدیل

با توجه به کشت غالب زراعی در منطقه، نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری سطح خاک انجام شد. الگوی نمونه‌برداری از خاک سطحی به شکل تصادفی و بر مبنای نظر کارشناس با استفاده از نرم افزار GIS ۱۰.۱۰ Arc طراحی گردید. موقعیت نمونه‌های خاک در منطقه مورد نظر تعیین و به دستگاه GPS انتقال داده شد. در مجموع ۱۱۰ نمونه از خاک سطحی (۰ - ۳۰ سانتیمتری) برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، ابتدا نمونه‌ها هوا خشک و سپس از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد.

#### اندازه‌گیری ویژگی‌های بیولوژیکی

اندازه‌گیری کربن بیوماس میکروبی به روش تدخین- استخراج انجام شد. پنج گرم از نمونه‌ها توزین و در یک پتری دیش ریخته شده و به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه دسیکاتور قرار گرفته و با کلروفورم تحت خلأ تدخین

هدایت الکتریکی آن با دستگاه EC متر شرکت Jenway اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری آهک معادل از روش تیتراسیون با هیدروکلریک اسید استفاده شد. کربن آلی موجود در نمونه‌ها به روش والکی بلک اندازه‌گیری شد (Nelson and Sommers, 1982). بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نیتروژن کل از روش کجلال استفاده شد.

### توصیف آماری و زمین‌آماري داده‌ها

توصیف آماری داده‌های به دست آمده شامل بررسی نرمال بودن توزیع هرکدام از متغیرها، میانگین، میانه، حداقل، حداکثر و واریانس با استفاده از نرم افزار SPSS 14.0 مورد بررسی قرار گرفت. داده‌هایی که فاقد توزیع نرمال بودند در صورت امکان با استفاده از تبدیلگر باکس کاکس، نرمال شدند و سپس بررسی‌های زمین‌آماري روی آنها انجام شد. در مرحله بعد از روش‌های مختلف زمین‌آماري از جمله روش کریجینک معمولی، روش وزن‌دهی فاصله معکوس، روش توابع پایه شعاعی برای تحلیل مکانی آن‌ها و رسم نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده و عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت پس از تعیین بهترین روش پهنه‌بندی، با ارائه آن به صورت پیوسته پهنه‌بندی مقدار هر کدام از ویژگی‌ها در خاک‌های نمونه‌برداری شده انجام پذیرفت. برای انجام این پژوهش از نرم‌افزارهای EXCEL، ArcGIS 10.2، GS+ و SPSS و همچنین نرم‌افزارهای مشابه بسته به نیاز مورد استفاده قرار گرفت.

### ارزیابی روش‌ها

برای بررسی دقت هر روش از دو معیار دقت (MAE<sup>1</sup>) و انحراف (MBE<sup>2</sup>) استفاده شد (رابطه ۴ و ۵)

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad \text{رابطه ۴}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن‌ها  $Z^*(x_i)$ : مقدار برآورد شده‌ی متغیر مورد

کربن آلی به کربن میکروبی است.

برای اندازه‌گیری نیتروژن بیوماس میکروبی نمونه‌های تدخین شده با کلروفورم و تدخین نشده با استفاده از محلول کلرید پتاسیم یک مولار عصاره‌گیری و میزان نیتروژن معدنی شده طی ۱۰ روز انکوباسیون (آمونیم و نترات) آنها به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری گردید، تفاوت بین مقدار نیتروژن معدنی شده در دو خاک تدخین شده و نشده با اعمال ضریب ۰/۵۴ به نیتروژن بیوماس میکروبی تبدیل شد (Voroney et al., 1993).

با تقسیم نمودن مقدار کربن بیوماس میکروبی به کربن آلی کل، ضریب یا سهم میکروبی از کربن آلی خاک (Microbial quotient) بر مبنای رابطه ۲ محاسبه گردید (Schinner et al., 2012).

$$Mq = \frac{MBC}{C_{org}} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن  $Mq$  میلی‌گرم کربن زیست توده میکروبی بر گرم کربن آلی کل،  $MBC$  مقدار کربن بیوماس میکروبی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک،  $C_{org}$  مقدار کربن آلی کل بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد. به طور مشابه با تقسیم کردن نیتروژن بیوماس میکروبی بر نیتروژن کل، مقدار سهم نیتروژن میکروبی از نیتروژن کل بر مبنای رابطه ۳ محاسبه گردید.

$$Nq = \frac{NBC}{N_t} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن  $Nq$  میلی‌گرم نیتروژن زیست توده میکروبی بر گرم نیتروژن کل،  $NBC$  مقدار نیتروژن بیوماس میکروبی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و  $N_t$  مقدار نیتروژن کل بر حسب گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد.

### اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی

برای اندازه‌گیری مقدار pH و EC گل اشباع تهیه شد. قبل از عصاره‌گیری، مقدار pH آن توسط دستگاه pH متر شرکت Meterohm مورد سنجش قرار گرفت. سپس عصاره‌گیری از گل اشباع با پمپ خلا انجام شده و مقدار

<sup>2</sup> Mean Bias Error

<sup>1</sup> Mean Absolute Error

مقدار آهک معادل آن از ۹ تا ۲۵ درصد تغییر می‌کند. بر همین اساس مقدار pH نیز در این خاک‌ها بازی بوده و مقدار آن بین ۷/۲۴ تا ۷/۸۹ در تغییر بود. از آنجایی که pH خاک داده‌ای تبدیل شده و لگاریتم از تغییرات pH است، همواره کمترین پراکندگی و انحراف معیار در مقایسه با سایر ویژگی‌های خاک در این متغیر دیده می‌شود. بیشترین انحراف معیار نیز در کربن بیوماس میکروبی قابل جذب دیده شد. از نظر شوری نیز اغلب خاک‌ها کمتر از حد مجاز (۴ دسی زیمنس بر متر) بوده و میانگین هدایت الکتریکی خاک‌ها ۴/۱۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. بیشترین شوری نیز ۱۶/۶۸ دسی زیمنس بر متر بود. از نظر بافت و دانه‌بندی ذرات نیز مقدار سیلت در اغلب خاک‌ها بیشتر از رس و شن بود

نظر؛  $Z(x_i)$ : مقدار اندازه‌گیری شده‌ی متغیر مورد نظر؛ N: تعداد داده‌ها؛ MAE: میانگین مطلق خطا و MBE: میانگین خطای انحراف می‌باشد. هر اندازه دو معیار MAE و MBE به صفر نزدیکتر باشد نشان‌دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است. در این مطالعه مقایسه بر اساس معیار اصلی MAE صورت گرفته است و در شرایطی که نتوان به کمک MAE قضاوت کرد، از معیار MBE به عنوان معیار کمکی استفاده شده است.

### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های کلی خاک‌های منطقه مطالعاتی

آمار توصیفی برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک‌ها در جدول ۱ دیده می‌شود. بر اساس نتایج این جدول خاک‌های منطقه کهریزک از نوع آهکی بوده و

جدول ۱- آمار توصیفی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها

بیشینه	کمینه	انحراف معیار	میانه	میانگین	ویژگی خاک
۷/۸۹	۷/۲۴	۰/۱۴	۷/۵۹	۷/۵۸	pH
۱۶/۶۸	۰/۸۲	۳/۴۲	۲/۸۲	۴/۱۴	EC (dSm <sup>-1</sup> )
۱/۹۳	۰/۱۱	۰/۳۷	۱/۰۷	۱/۰۵	نیترژن کل (g kg <sup>-1</sup> )
۲۱/۴۵	۴/۰۹	۳/۰۵	۹/۷۵	۱۰/۱۴	کربن آلی (g kg <sup>-1</sup> )
۱۱/۷۰	۲/۴۳	۱/۸۸	۵/۳۲	۵/۶۳	نیترژن بیوماس میکروبی (mg kg <sup>-1</sup> )
۶۴۵/۳	۲۱/۱۵	۱۰۵/۷	۱۹۰/۷۷	۲۰۴/۶۴	کربن بیوماس میکروبی (mg kg <sup>-1</sup> )
۲۰/۶۳	۴/۹۳	۸/۸۷	۲۰/۸۱	۲۰/۲۷	سهم میکروبی کربن (mg C mic/g C org)
۵/۸۹	۱/۸۸	۳/۵۸	۵/۵۲	۵/۸۹	سهم میکروبی نیترژن (mg N mic/g Nt)
۴۶	۱۴	۹/۰۳	۲۷	۲۹/۷۴	شن (درصد)
۷۰	۸	۱۳/۰	۴۰	۴۰/۸۲	سیلت (درصد)
۴۶	۱۴	۹/۵۴	۲۹	۲۹/۴۴	رس (درصد)
۲۵	۹	۳/۱۵	۱۷	۱۶/۸۴	آهک معادل (درصد)

معیار را دارد. بررسی هدایت الکتریکی نمونه‌ها نیز نشان داد که میزان شوری در اغلب نمونه‌های خاک کمتر از حد مجاز برای شور بودن خاک بود. به طوری که، میانگین هدایت الکتریکی در نمونه‌ها برابر با ۹۷۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود. در بین نمونه‌های بررسی شده، بیشترین مقدار هدایت الکتریکی برابر با ۸۶۷۸

بر اساس نتایج بدست آمده، مقدار pH در نمونه‌های خاک در محدوده بین ۷/۳ تا ۸/۵ بود که نشان‌دهنده وجود خاصیت قلیایی در خاک‌های اطراف منطقه مطالعه شده است. با توجه به اینکه، pH خاک، داده‌ای تبدیل شده و لگاریتمی از تغییرات pH است، لذا در مقایسه با سایر ویژگی‌های خاک، همواره کمترین پراکندگی و انحراف

کیلوگرم خاک دیده شد.

### ویژگی‌های بیولوژیکی خاک

نتایج ارزیابی روش‌های درونیابی برای برآورد مقدار کربن آلی خاک در جدول ۲ دیده می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده در میان الگوهای مختلف روش کریجینگ معمولی نسبت به روش RBF و IDW برآورد بهتری از کربن آلی خاک داشت و در میان توابع مختلف روش کریجینگ معمولی نیز تابع دایره‌ای نسبت به سایر توابع درونیابی بهتری ارائه نمود. در تطابق با نتایج این پژوهش، بهنام و همکاران (Behnam et al, 2019) به بررسی توزیع مکانی کربن آلی خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار در مسیر زابل به زاهدان پرداخته و گزارش نمودند که کریجینگ معمولی نسبت به وزن دهی معکوس برآورد بهتری از کربن آلی خاک داشت. لکزیان و همکاران (Lakzian et al, 2013) گزارش دادند که در بین تکنیک‌های استفاده شده برای تخمین کربن آلی روش کریجینگ با داشتن بالاترین ضریب تبیین معادل ۰/۶۷ و کمترین مقدار میانگین خطای مطلق MAE برابر با ۰/۱۸ بالاترین کارایی را داشته است. پس از تعیین بهترین مدل برای درونیابی کربن آلی، نقشه برآورد مقادیر آن با استفاده از روش کریجینگ معمولی تهیه شد که در شکل ۲ ارائه شده است. نقشه در این شکل دارای شکل‌های بسته و به فرم محدب و مقعر می‌باشد که این مورد بیانگر تراکم خوب و ایده‌آل نمونه‌های خاک از سطح منطقه مورد مطالعه برای برآورد با جزئیات بیشتر است. اگر حد مطلوب کربن آلی خاک را حدود ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک در نظر بگیریم، همه خاک‌ها مقدار کربن کمتر از حد مطلوب دارند. بیشترین مقدار کربن آلی در نواحی جنوب شرقی منطقه دیده شد و کمترین مقادیر نیز در نواحی شمالی و مرکزی مشاهده شد. کمبود کربن آلی در نواحی مرکزی و شمالی منطقه مطالعاتی ممکن است یکی از دلایل کاهش محصول در این نواحی باشد. کربن بیوماس میکروبی از جمله شاخص‌های زیستی

میکروزیمنس بر متر بود که دلیل بالا بودن آن در برخی نقاط احتمالاً می‌تواند مربوط به کاربرد کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی باشد. نتایج اندازه‌گیری بافت خاک نیز نشان داد که در محدوده اطراف لندفیل، مقدار شن در مقایسه با ذرات رس و سیلت بیشتر بود که نشان می‌دهد بافت اغلب خاک‌ها سبک است.

### روی کل و قابل جذب

به طور معمول استانداردهای یکپارچه بین المللی برای اشکال کل و قابل جذب روی و نیکل در دسترس نیست، بر همین اساس، برخی محققین مقادیری را گزارش کرده‌اند. همانطور که در جدول ۲، نشان داده شده است، مقدار حد مجاز روی کل و قابل جذب به ترتیب ۵۰۰ و ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شده است (Yang et al., 2018). در این پژوهش بر اساس نتایج به دست آمده، غلظت روی کل در خاک‌های اطراف لندفیل در محدوده بین ۳۲ تا ۱۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و میانگین غلظت آن برابر با ۶۸/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. مطابق با مقدار حد مجاز روی کل (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ارائه شده توسط سازمان محیط زیست ایران، میزان روی کل اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک کمتر از حد مجاز بود (شکل ۴). بیشترین غلظت روی کل در محدوده جنوب و شمال غربی لندفیل با دامنه ۱۰۰ تا ۱۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک دیده شد. غلظت روی قابل جذب در خاک‌ها بین ۱/۲۶ تا ۶/۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و میانگین غلظت آن ۱/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. برای روی قابل جذب هیچ‌گونه استاندارد بین المللی و یا منطقه‌ای به عنوان حد مجاز وجود ندارد، اما در برخی منابع حد مجاز آن ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تعیین شده است (Kaur and Rani, 2006)، بر اساس نقشه تهیه شده برای روی قابل جذب (شکل ۳) دیده می‌شود که در همه نمونه‌های خاک، مقدار روی قابل جذب کمتر از حد مجاز است. بیشترین غلظت روی قابل جذب در محدوده مرکزی داخل لندفیل با دامنه ۵ تا ۶/۶۹ میلی‌گرم بر

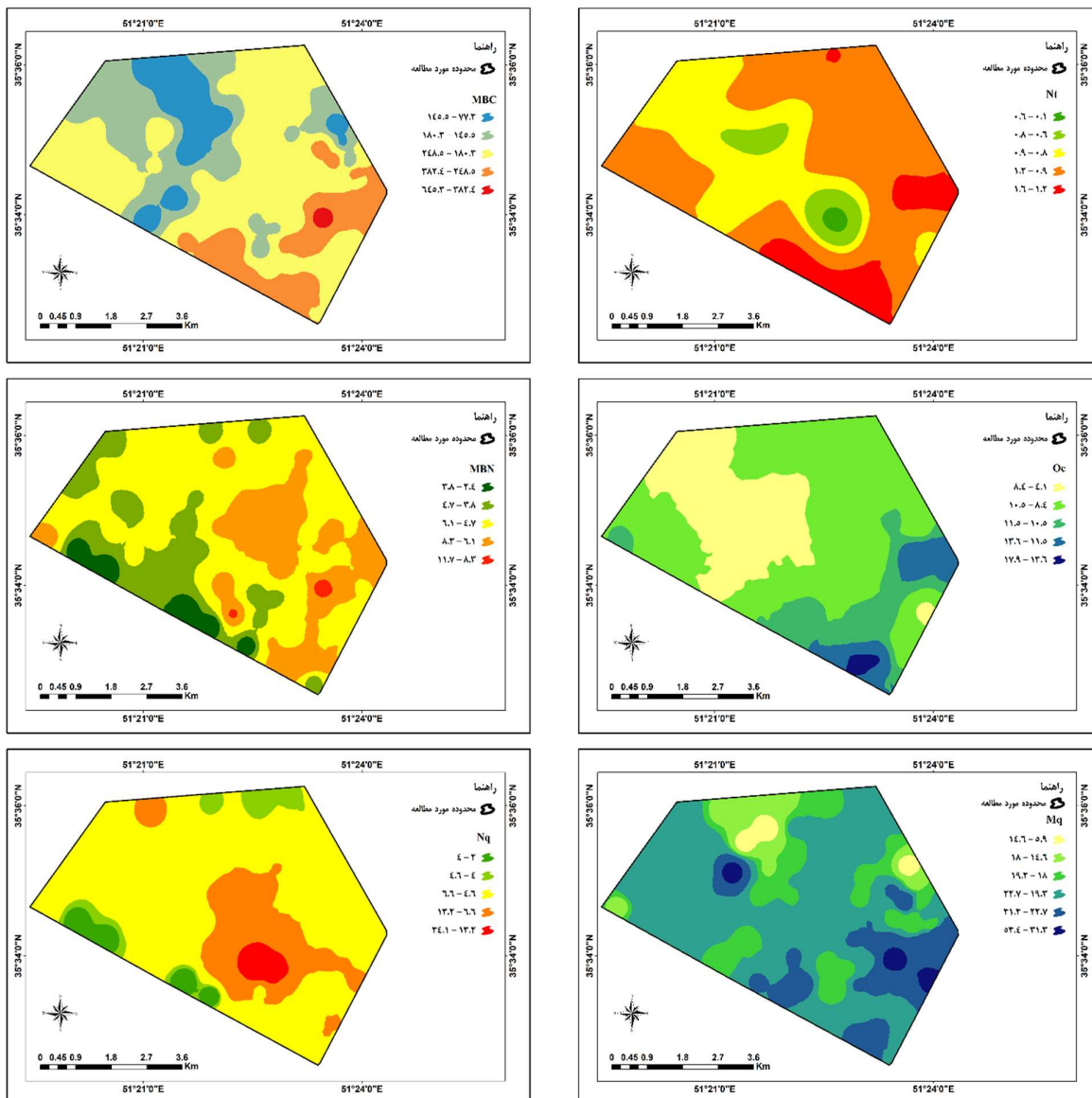
نتایج ارزیابی روش‌های درونیابی برای برآورد مقدار سهم میکروبی کربن آلی خاک در جدول ۲ دیده می‌شود. نسبت کربن بیوماس به کربن آلی خاک شاخص مناسبی از وضعیت توزیع کربن فعال خاک بین بخش زنده و غیرزنده بوده و کیفیت کربن خاک را بیان می‌کند. اندرسون (Anderson, 2003) معتقد است که خاک‌های با نسبت کمتر از دو درصد کربن بیوماس به کربن آلی در ناحیه بحرانی قرار دارند، ولی مقدار کربن بیوماس خاک به‌طور قابل ملاحظه به روش اندازه‌گیری وابسته است که توسط محققان مختلف مقادیر کمتر از دو درصد نیز گزارش شده است (Islam and Weil, 2000). بر اساس نتایج به دست آمده در میان الگوهای مختلف روش وزن‌دهی معکوس نسبت به سایر روش‌ها برآورد بهتری از سهم میکروبی کربن آلی خاک داشت. در میان توابع مختلف روش کریجینگ معمولی نیز تابع دایره‌ای نسبت به سایر توابع، درونیابی بهتری ارائه نمود. در تضاد با این نتایج، جهان‌دیده مهجن آبادی و همکاران (jahandideh mahjan abadi et al, 2017) گزارش نمودند که روش کریجینگ برآورد بهتری نسبت به روش وزن‌دهی معکوس از سهم میکروبی کربن در خاک‌های دشت پاسارگاد داشت. فروغی فر و همکاران (Froughifar et al, 2011) در بررسی تأثیر واحدهای لندفرم بر توزیع فراوانی و تغییرات مکانی ویژگی‌های بیولوژیکی خاک در دشت تبریز گزارش نمودند که پارامتر سهم میکروبی وابستگی مکانی نداشت.

پس از تعیین بهترین مدل برای درونیابی کربن بیوماس میکروبی خاک، نقشه برآورد مقادیر آن با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس تهیه شد که در شکل ۲ ارائه شده است. در این نقشه دیده می‌شود که در مناطقی که مقدار کربن آلی بالاست، این نسبت نیز افزایش یافته است. کاربرد مواد آلی در خاک ممکن است یکی از عوامل افزایش این نسبت باشد. گزارش شده است که افزایش نسبت کربن بیوماس میکروبی به کربن آلی خاک رابطه مستقیمی با کیفیت مواد افزوده شده به خاک دارد

مفید برای ارزیابی کیفیت خاک تلقی می‌شود، زیرا این بخش در تجزیه مواد گیاهی و جانوری، معدنی شدن و آلی شدن عناصر غذایی، چرخه بیوشیمیایی عناصر و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ نقش میزان کل کربن زیست کلیدی دارد (Shahbazi et al., 2013). کربن بیوماس میکروبی خاک در حقیقت یک منبع فعال برای ذخیره عناصر غذایی قابل جذب گیاه محسوب می‌شود و مسیر اصلی تجزیه کلیه ترکیبات آلی موجود در خاک است (Ye et al., 2019). جدول ۲ بیانگر نتایج ارزیابی روش‌های درونیابی برای برآورد مقدار کربن بیوماس میکروبی خاک می‌باشد. براساس نتایج به دست آمده در میان الگوهای مختلف روش وزن‌دهی معکوس نسبت به روش‌های دیگر با مقدار MAE برابر با ۰/۱۶ برآورد بهتری از مقدار کربن بیوماس میکروبی خاک داشت. در پژوهشی در بررسی پراکنش مکانی شاخص‌های بیولوژیک کیفیت خاک در مزارع گندم دشت پاسارگاد گزارش شد که روش کریجینگ نسبت به روش وزن‌دهی معکوس درونیابی دقیق‌تری در برآورد کربن بیوماس میکروبی خاک داشت که با نتایج این پژوهش در تضاد می‌باشد (Jahandideh mahjan abadi et al., 2017). در پژوهشی در بررسی تأثیر کود نیتروژنی بر ناهمسانگردی کربن بیوماس میکروبی خاک گزارش نمودند که روش وزن‌دهی معکوس با دقت خوبی قادر به تخمین کربن بیوماس میکروبی در نقاط بدون داده بود که در تطابق با نتایج این پژوهش بود (Li et al., 2018). پس از تعیین بهترین مدل برای درونیابی کربن بیوماس میکروبی خاک، نقشه برآورد مقادیر آن با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس تهیه شد که در شکل ۲ ارائه شده است. در این شکل دیده می‌شود که الگوی توزیع مکانی کربن بیوماس میکروبی تا حد زیادی از توزیع کربن آلی خاک تبعیت نموده است. یه و همکاران (Ye et al., 2019) گزارش نمودند که کاربرد کودهای آلی در خاک تغییرات کربن بیوماس میکروبی را کاهش می‌دهد اما وابستگی مکانی آن را افزایش می‌دهد.

می‌باشد که ممکن است به دلیل اضافه شدن مواد آلی تازه باشد. هر چه سهم میکروبی زیادت‌ر شود، احتمال اتلاف کربن آلی بیشتر است گرچه فعالیت میکروبی خاک افزایش می‌یابد. سهم میکروبی زیاد همچنین بیانگر حضور مواد آلی سهل الوصول در خاک است.

و این نسبت در مناطقی که مواد آلی تازه به مقدار کم افزوده شده باشد، کاهش می‌یابد و با بزرگ شدن نسبت کربن بیوماس میکروبی به کربن آلی، فراوانی مواد آلی سخت تجزیه شونده در خاک کاهش می‌یابد (Anderson and Domsch, 1989). اگرچه در برخی مناطق شمالی که مقدار کربن آلی پایین است، سهم کربن میکروبی بالا



شکل ۲- نقشه برآورد ویژگی‌های میکروبی خاک

کریجینگ معمولی نسبت به روش‌های دیگر برآورد بهتری از مقدار نیتروژن کل خاک داشت.؟ در میان توابع مختلف در روش کریجینگ معمولی نیز تابع نمایی نسبت

در جدول ۲ نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای برآورد مقدار نیتروژن کل خاک دیده می‌شود. براساس نتایج این جدول، در میان الگوهای مختلف، روش

مناطق با کربن آلی پایین مشاهده شد. بیش از ۹۵ درصد نیتروژن خاک به شکل آلی است؛ از این مقدار ۲۰ تا ۴۰ درصد به صورت ترکیبات پروتئینی (مشتقات اسیدهای آمینه) و ۵ تا ۱۰ درصد به صورت قندهای آمینه و به شکل ترکیبات گلوکز آمین می‌باشد. بقیه آن که هنوز چندان شناخته نشده، در قالب ترکیبات لیگنینی و ترکیبات آمونومی همراه با مواد کربنی یافت می‌شوند. فرض کلی بر آن است که قسمت عمده اسیدهای آمینه خاک به صورت پروتئین و یا پپتید می‌باشد. به‌هرحال، شکل آلی به هر صورتی که در خاک موجود باشد، می‌تواند با کمک موجودات ذره‌بینی، مقدار قابل توجهی نیتروژن را برای رشد و نمو گیاه عرضه کند. به عبارت دیگر، مواد آلی به منزله انباری برای این عنصر حیاتی گیاه به‌شمار می‌آیند. بیش از ۴۰ درصد نیتروژن خاک که به صورت ترکیبات اسیدی و قندهای آمینه، کمپلکس پورین و پریمیدین می‌باشند، به سرعت تجزیه می‌شود. درحالی‌که تجزیه مواد آلی خاک به دشواری و با مقاومت زیاد انجام می‌گیرد. علت تفاوت در مقابل پوسیدگی میکروبی می‌تواند وقوع واکنش‌های شیمیایی ترکیبات خاک با مواد آلی دیگر، یا تثبیت آلی به‌وسیله کانیهای رس و یا کمی تراکم موجودات ذره بینی خاک باشد. معدنی شدن، طی سه مرحله گام به گام یعنی آمینه شدن، آمونیاک سازی و نیترات‌سازی انجام می‌گیرد.

نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای برآورد مقدار نیتروژن بیوماس میکروبی خاک در جدول ۲ دیده می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده در میان الگوهای مختلف روش وزن‌دهی معکوس نسبت به سایر روش‌ها برآورد بهتری از نیتروژن بیوماس میکروبی خاک داشت. در میان توابع مختلف روش کریجینگ معمولی نیز تابع دایره‌ای نسبت به سایر توابع، درونیابی بهتری ارائه نمود. یه و همکاران (Ye, et al, 2019) گزارش نمودند که روش وزن‌دهی معکوس با دقت بالایی قادر به برآورد و پهنه‌بندی نیتروژن بیوماس میکروبی در خاک‌های منطقه یوانیانگ چین بود. لی و همکاران (Li et al., 2018) نیز

به سایر توابع، درون‌یابی بهتری ارائه نمود. در تطابق با نتایج این قسمت از پژوهش، چوکوا و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از کریجینگ معمولی اقدام به تهیه نقشه‌های توزیع مکانی نیتروژن در اراضی تحت کشت سیب‌زمینی شیرین در جنوب نیجریه نموده و دقت آن را قابل قبول گزارش نمودند (Chukwu et al., 2007). پانگوپولس و همکاران (Panagopoulos et al., 2006) روش کریجینگ را بهترین روش برای عناصر پرمصرف گزارش دادند. کاظمپشت مساری و همکاران (Kazemi Poshtmasari, et al 2012) نشان دادند که روش کریجینگ، بهترین الگو برای تخمین نیتروژن کل در برخی اراضی کشاورزی استان گلستان می‌باشد زیرا بالاترین صحت و کمترین خطا را دارا بود. بابازاده و همکاران (Babazadeh, et al 2012) تغییرات نیتروژن خاک در مزارع شالیزاری استان گیلان را بررسی نموده و گزارش کردند که روش کریجینگ با دقت و صحت قابل قبولی قادر به درون‌یابی نیتروژن کل بود. پس از تعیین بهترین مدل برای درونیابی نیتروژن کل خاک، نقشه برآورد مقادیر آن با استفاده از روش کریجینگ معمولی تهیه شد که در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به شکل ۲ دیده می‌شود که اغلب خاک‌ها دارای نیتروژن در دامنه بین ۰/۸ تا ۱/۲ گرم بر کیلوگرم می‌باشند که این مقدار نیتروژن قادر به تامین نیتروژن مورد نیاز گیاهان نیست و یکی از دلایل کاهش محصول در گیاهان نیز همین مورد می‌تواند باشد. خرابی و همکاران (Khazaie, et al, 2017) با تحقیق روی ۲۷۵ نمونه خاک از اراضی شرکت کشت و صنعت شریف آباد قزوین گزارش دادند که مقدار حداقل و حداکثر برای نیتروژن خاک به ترتیب ۰/۲۸ و ۸/۲ گرم بر کیلوگرم بوده و میانگین آن ۲/۶ گرم بر کیلوگرم بود. یکی از دلایل پایین بودن مقدار نیتروژن در خاک‌های این پژوهش ممکن است پایین بودن مواد آلی در خاک باشد. بابازاده و همکاران (Babazadeh, et al 2012) در بررسی تغییرات نیتروژن خاک در مزارع شالیزاری استان گیلان گزارش نمودند که کمترین مقدار نیتروژن خاک در

وابستگی مکانی قوی pH خاک می‌باشد. جعفریان جلودار و همکاران (Jafarian Jلودار et al., 2009) در بررسی توزیع مکانی خصوصیات خاک با روش های زمین آماری در مراتع رینه نشان دادند که در منطقه مورد مطالعه، ویژگی‌های مورد بررسی وابستگی مکانی داشته و بالاترین وابستگی مکانی در pH وجود داشت. کرمی و بصیرت (Karami and basirat, 2015) طی پژوهشی در دشت ارسنجان گزارش نمود که بهترین تخمین‌گر pH خاک روش وزن‌دهی معکوس می‌باشد. کاظمی پشت مساری و همکاران (Kazemi Poshtmasari et al., 2012) طی بررسی‌های خود در استان گلستان مدل کروی روش کریجینگ را با بالاترین دقت و کمترین خطا برای تخمین pH خاک مناسب دانستند. حداد (Haddad, 2013) نیز گزارش نمود که روش وزن‌دهی معکوس بهترین تخمین‌گر pH خاک در خاک‌های دشت قم بود. پس از تعیین بهترین مدل برای درون‌یابی pH خاک، نقشه برآورد مقادیر آن با استفاده از روش وزن دهی معکوس تهیه شد که در شکل ۳ ارائه شده است. در این شکل دیده می‌شود که همه خاک‌ها مقدار pH بالاتر از ۷/۲ داشته و بیشترین مقدار pH نیز در مناطق شمالی و جنوب شرقی دیده می‌شود. بالا بودن مقدار pH خاک سبب کاهش قابلیت جذب فسفر و عناصر غذایی کم مصرف آهن، روی، مس و منگنز می‌شود و از این رو اصلاح مقدار pH این مناطق با کاربرد گوگرد در خاک توصیه می‌شود (Barrow, 2017). نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای برآورد مقدار آهک معادل خاک در جدول ۳ دیده می‌شود. براساس نتایج به دست آمده در میان الگوهای مختلف روش توابع پایه شعاعی نسبت به سایر روش‌ها برآورد بهتری از مقدار آهک معادل خاک داشت. در میان توابع مختلف روش کریجینگ معمولی نیز تابع درجه دو منطقی نسبت به سایر توابع، درون‌یابی بهتری ارائه نمود. پس از تعیین بهترین مدل برای درون‌یابی مقدار آهک معادل خاک، نقشه برآورد مقادیر آن با استفاده از روش توابع پایه شعاعی تهیه شد که در شکل ۳ ارائه شده است. بافت

پهنه‌بندی نیتروژن بیوماس میکروبی را به روش وزن‌دهی معکوس انجام داده و دقت آن را قابل قبول گزارش نمودند. همچنین نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای برآورد مقدار سهم میکروبی نیتروژن خاک نیز در جدول ۲ دیده می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده در میان الگوهای مختلف روش وزن‌دهی معکوس نسبت به سایر روش‌ها برآورد بهتری از سهم میکروبی نیتروژن خاک داشت. در میان توابع مختلف روش کریجینگ معمولی نیز تابع دایره‌ای نسبت به سایر توابع، درون‌یابی بهتری ارائه نمود. پس از تعیین بهترین مدل برای درون‌یابی نیتروژن بیوماس میکروبی خاک و سهم میکروبی نیتروژن خاک نقشه برآورد مقادیر آنها با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس تهیه شد؟ که در شکل ۲ ارائه شده است. یه و همکاران (Ye, et al, 2019) گزارش نمودند که کاربرد کودهای آلی در خاک تغییرات نیتروژن بیوماس میکروبی را کاهش می‌دهد اما وابستگی مکانی آن را افزایش می‌دهد (Ye et al., 2019). آنان همچنین تاکید نمودند که شدت وابستگی مکانی سه متغیر به شکل  $MBC > MBN > MBC / MBN$  بود. این نشان می‌دهد که سرعت تغییرات نیتروژن بیوماس میکروبی از کربن بیوماس میکروبی بیشتر است. همچنین در پژوهشی دیگر لی و همکاران (Li et al., 2018) گزارش دادند که کاربرد کود نیتروژنی باعث افزایش ناهمگونی نیتروژن بیوماس میکروبی در خاک‌های زیر کشت چمن ترکه می‌شود.

#### ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای برآورد مقدار pH خاک در جدول ۳ دیده می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده در میان الگوهای مختلف روش توابع پایه شعاعی نسبت به سایر روش‌ها برآورد بهتری از مقدار pH خاک داشت؟. در میان توابع مختلف روش کریجینگ معمولی نیز تابع دایره‌ای نسبت به سایر توابع، درون‌یابی بهتری ارائه نمود؟. نتایج این جدول تا حد زیادی نشانگر

اصلی در تعیین مناطق مدیریتی در کشاورزی محسوب می‌شود. نتایج ارزیابی روش‌های درونیابی برای برآورد درصد رس، شن و سیلت خاک در جدول ۳ دیده می‌شود. براساس نتایج به دست آمده در میان الگوهای مختلف بهترین روش برای برآورد رس و شن کریجینگ معمولی با تابع دایره‌ای و برای سیلت روش وزن‌دهی تعیین شد.

خاک به درصد وزنی اجزاء کوچک تر از دو میلی‌متر (شن، سیلت و رس) در خاک اتلاق می‌شود. درصد شن، سیلت و رس در عملیات میدانی برآورد و برداشت شده و در آزمایشگاه به روش هیدرومتر یا پیپت اندازه‌گیری می‌شود و سپس با استفاده از مثلث بافت، کلاس‌های بافت تعیین می‌گردد. امروزه پیش‌بینی دقیق بافت خاک در کشاورزی دقیق بسیار مهم است زیرا بافت خاک تأثیر زیادی در بهره‌وری خاک داشته و لذا یکی از عوامل

جدول ۲- نتایج ارزیابی روش‌های درونیابی برای برآورد ویژگی‌های بیولوژیکی خاک

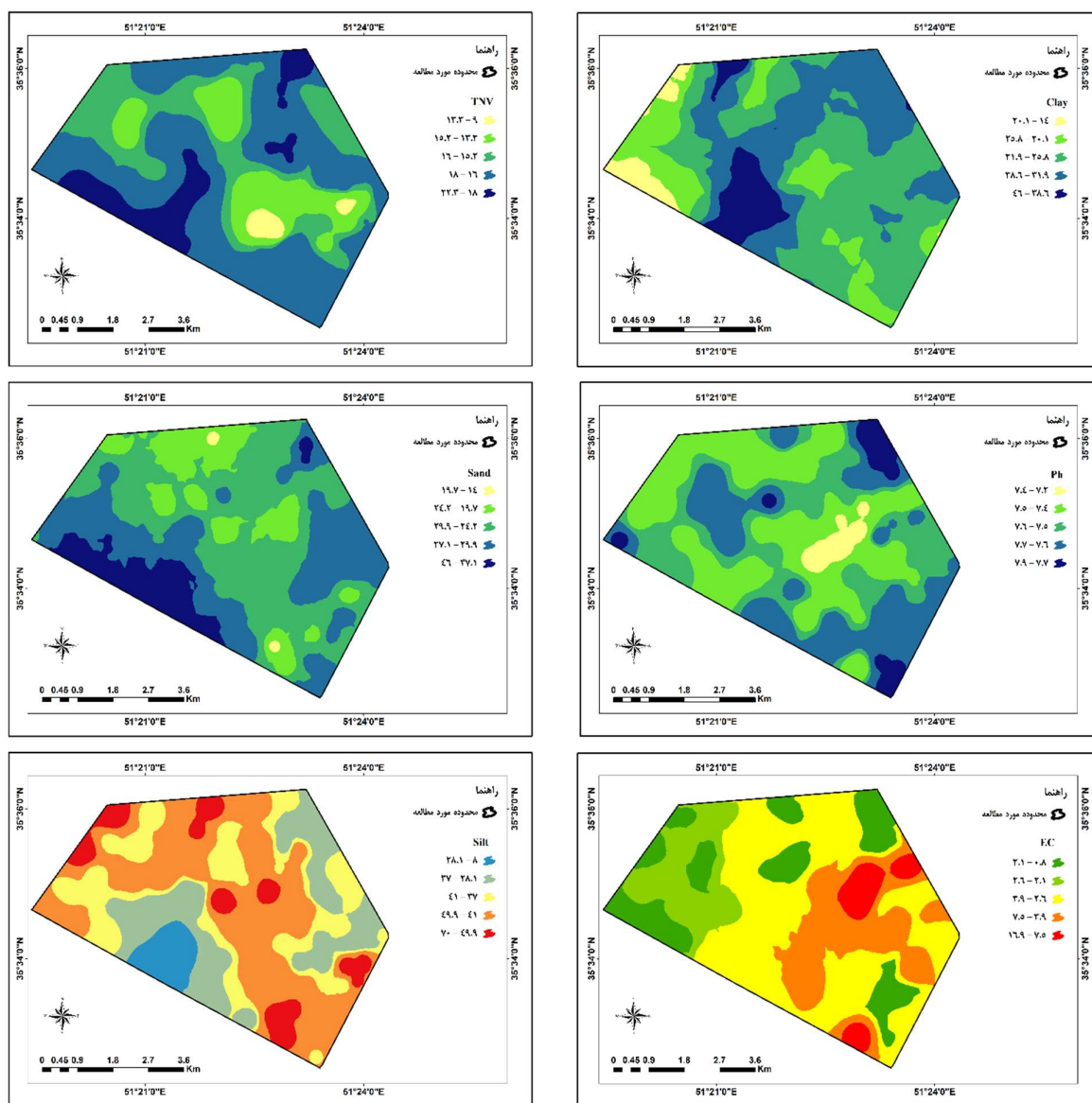
نتایج ارزیابی متقابل-MBC			روش	نتایج ارزیابی متقابل-OC			روش
MAE	MBE	الگو - تابع		MAE	MBE	الگو - تابع	
۰.۶۷	-۰.۲۹۸	دایره‌ای	OK	۰.۰۲	-۰.۱۵	دایره‌ای	
۰.۴۶	-۰.۲۶۴	کروی		۰.۰۵	-۰.۱۶	کروی	
۰.۳۴	-۰.۲۶۵	نمایی		۰.۴۵	-۰.۵۷	نمایی	
۰.۲۶	-۰.۲۳۵	گوسی		۰.۱۸	-۰.۱۸	گوسی	
۰.۳۶	-۰.۲۶۷	درجه دو منطقی	RBF	۰.۱۹	-۰.۲۷	درجه دو منطقی	
۰.۱۹	-۰.۲۲۵	-		۰.۴۱	-۰.۴۶	-	
۰.۱۶	-۰.۲۱۶	-		۰.۶۴	-۰.۷۸	-	
نتایج ارزیابی متقابل-MBN			روش	نتایج ارزیابی متقابل-N			روش
MAE	MBE	الگو - تابع		MAE	MBE	الگو - تابع	
۰.۲	-۰.۳۲۶	دایره‌ای	OK	۰.۴۷	-۰.۷۴	دایره‌ای	
۰.۴۹	-۰.۳۶۶	کروی		۰.۳۸	-۰.۳۴	کروی	
۰.۲۹	-۰.۳۴۹	نمایی		۰.۳۱	-۰.۱۵	نمایی	
۰.۵۹	-۰.۳۹۷	گوسی		۰.۷۹	-۰.۶۳	گوسی	
۰.۲۷	-۰.۳۳۹	درجه دو منطقی	RBF	۰.۷۱	-۰.۵۷	درجه دو منطقی	
۰.۶۱	-۰.۳۸۶	-		۰.۶۴	-۰.۴۵	-	
۰.۱۴	-۰.۳۲۲	-		۰.۸۹	-۰.۹۸	-	
نتایج ارزیابی متقابل-Qoc			روش	نتایج ارزیابی متقابل-QN			روش
MAE	MBE	الگو - تابع		MAE	MBE	الگو - تابع	
۱.۱۸	-۰.۲۴	دایره‌ای	OK	۱.۲۴	-۰.۵۴	دایره‌ای	
۱.۲۷	-۰.۳۶	کروی		۱.۲۸	-۰.۶۷	کروی	
۱.۳۶	-۰.۳۸	نمایی		۱.۳۲	-۰.۷۲	نمایی	
۱.۱۹	-۰.۳۰	گوسی		۱.۲۹	-۰.۶۷	گوسی	
۱.۴۲	-۰.۴۸	درجه دو منطقی	RBF	۱.۴۸	-۰.۸۷	درجه دو منطقی	
۱.۴۶	-۰.۶۷	-		۱.۵۶	-۰.۹۶	-	
۱.۰۱	-۰.۰۵	-		۱.۱۰	-۰.۳۲	-	

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های درونیابی برای برآورد ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

نتایج ارزیابی متقابل-pH			روش	نتایج ارزیابی متقابل-EC			روش
MAE	MBE	الگو - تابع		MAE	MBE	الگو - تابع	
۰/۲۱۶	- ۰/۳۹	دایره‌ای	OK	۱/۳۴	-۲/۴۵	دایره‌ای	OK
۰/۳۴۷	- ۰/۴۱	کروی		۱/۴۲	-۲/۶۵	کروی	
۰/۴۷۸	- ۰/۵۲	نمایی		۱/۰۹	-۲/۰۱	نمایی	
۰/۳۸۹	- ۰/۳۳	گوسی		۱/۲۱	-۲/۱۲	گوسی	
۰/۴۲۳	- ۰/۴۸	درجه دو منطقی		۱/۲۹	-۲/۳۲	درجه دو منطقی	
۰/۲۰۸	- ۰/۵۷		RBF	۱/۴۳	-۲/۷۲	RBF	RBF
۰/۱۶۴	- ۰/۱۴		IDW	۱/۴۷	-۲/۷۲	IDW	IDW
نتایج ارزیابی متقابل-Clay			روش	نتایج ارزیابی متقابل-TNV			روش
MAE	MBE	الگو - تابع		MAE	MBE	الگو - تابع	
۱/۲۳	-۲/۱۳	دایره‌ای	OK	۲/۶۹۴	-۳/۸۷	دایره‌ای	OK
۱/۲۹	-۲/۱۷	کروی		۲/۷۹۸	-۳/۹۱	کروی	
۱/۶۴	-۲/۹۵	نمایی		۲/۶۳۴	-۳/۷۶	نمایی	
۱/۳۵	-۲/۴۶	گوسی		۲/۵۹۸	-۳/۵۶	گوسی	
۱/۳۹	-۲/۵۲	درجه دو منطقی		۲/۵۹۷	-۳/۵۴	درجه دو منطقی	
۱/۴۱	-۲/۶۲	-	RBF	۲/۵۷۱	-۳/۱۲	RBF	RBF
۱/۴	-۲/۵۲	-	IDW	۲/۶۴	-۳/۱۳	IDW	IDW
نتایج ارزیابی متقابل-Silt			روش	نتایج ارزیابی متقابل-Sand			روش
MAE	MBE	الگو - تابع		MAE	MBE	الگو - تابع	
۱/۴۷	-۲/۴۶	دایره‌ای	OK	۱/۰۳	-۲/۲۶	دایره‌ای	OK
۱/۶۴	-۲/۷۶	کروی		۱/۰۵	-۲/۲۷	کروی	
۱/۴۹	-۲/۶۴	نمایی		۱/۱۶	-۲/۳۱	نمایی	
۱/۳۶	-۲/۴۶	گوسی		۱/۳۵	-۲/۶۴	گوسی	
۱/۴۸	-۲/۶۳	درجه دو منطقی		۱/۴۶	-۲/۵۹	درجه دو منطقی	
۱/۸۷	-۲/۹۶	-	RBF	۱/۶۵	-۲/۸۹	RBF	RBF
۱/۳۱	-۲/۳۱	-	IDW	۱/۷۵	-۲/۷۵	IDW	IDW

بالایی برای برآورد مقادیر ذرات رس، شن و سیلت در نقاط بدون اطلاعات برخوردار است که در مورد رس و شن با نتایج این پژوهش مطابقت داشت اما با نتایج سیلت تطابق نداشت. میول و مریون (Meul and Van, 2003).

نتایج این قسمت از پژوهش با برخی نتایج پژوهشگران پیشین قابل مقایسه است. سکوتی اسکویی و همکاران (Sokoti Eskoui, et al., 2005) پهنه‌بندی پراکنش بافت خاک در دشت ارومیه را بررسی نموده و گزارش کردند که روش کریجینگ با مدل گوسی از دقت



شکل ۳- نقشه برآورد ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

ژنگ و همکاران (Zhang et al., 2013). روشهای کرجینگ معمولی، کرجینگ رگرسیون و کوکرجینگ را

از بین روش‌های مختلف برآورد سیلت در خاک، روش کرجینگ را به عنوان بهترین روش معرفی نمود.

## نتیجه گیری

در این پژوهش خاک‌های سطحی منطقه کهریزک مورد آنالیز قرار گرفت و نقشه پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی خاک تهیه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که خاک‌های منطقه کهریزک از نوع آهکی بوده مقدار pH نیز در این خاک‌ها بین ۷/۲۴ تا ۷/۸۹ در تغییر بود. از نظر شوری نیز اغلب خاک‌ها کمتر از حد مجاز بوده از نظر بافت و دانه‌بندی، مقدار سیلت در اغلب خاک‌ها بیشتر از رس و شن بود. از بین روش‌های مختلف زمین آماری برای تهیه نقشه‌ها، در مورد کربن آلی، نیتروژن کل، هدایت الکتریکی، درصد شن و رس روش کریجینگ، در مورد کربن و نیتروژن بیوماس میکروبی، سهم میکروبی کربن و نیتروژن، روش وزن‌دهی معکوس و در مورد مقدار pH و آهک معادل نیز روش توابع پایه شعاعی برآورد دقیق‌تری از ویژگی‌های ذکر شده در مناطق فاقد داده داشتند.

برای برآورد توزیع ذرات خاک مورد استفاده قرار داده و گزارش نمودند که همه این روش‌ها به طور قابل قبولی می‌توانند درون یابی بافت خاک را با دقت مناسبی انجام دهند اما دقت پیش بینی کوکریجینگ بهتر بود گزدفسکی و همکاران (Gozdowski et al., 2015) دقت پیش‌بینی روش‌های درون‌یابی مکانی برای بافت خاک در مقیاس مزرعه در شمال لهستان را مورد بررسی قرار داده و گزارش دادند که دقت همه روش‌های کریجینگ معمولی، توابع پایه شعاعی و وزن‌دهی معکوس مناسب و نزدیک به هم بود اما نتایج روش کریجینگ اندکی بهتر بود. در شکل ۳ نیز نقشه برآورد درصد رس، شن و سیلت در محدوده نمونه‌برداری بر اساس بهترین روش درون‌یابی نشان داده شده است. بیشترین درصد رس در مناطق جنوبی محدوده مطالعاتی مشاهده شد. یکی از دلایل کاهش محصول در این محدوده ممکن است نفوذپذیری پایین آب در خاک‌های این محدوده و عدم تهویه مناسب در منطقه ریشه باشد. کمترین درصد رس نیز در محدوده غربی منطقه دیده شد.

## REFERENCES

- Anderson, T.H. (2003). Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98, 285-293.
- Anderson, T. H., & Domsch, K. H. (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil biology and biochemistry*, 21(4), 471-479.
- Babazadeh, S. H., Davatgar, N., Darighoftar, F., & Peykan, M. (2012). 'Spatial variability of some soil properties related to fertility in rice fields in Guilan Province', *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 2(1), 127-140. (In Persian).
- Barrow, N. J. (2017). The effects of pH on phosphate uptake from the soil. *Plant and soil*, 410(1), 401-410.
- 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). *Environment and Water Engineering*, 5(3), 251-263.
- Chen, S., Lin, B., Li, Y., & Zhou, S. (2020). Spatial and temporal changes of soil properties and soil fertility evaluation in a large grain-production area of subtropical plain, China. *Geoderma*, 357, 113937.
- Chukwu, G. O., Ezenwa, M. I. S., Osunde, A. O., & Asiedu, R. (2007). Spatial distribution of N, P and K in major yam soils of southeastern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 6(24).
- Davatgar, N., Zare, A., Rezaee, L., Kavooosi, M., Sheikholeslam, H., Shahnazari, M., & Ajililahiji, A. (2015). Fertility status of paddy soils in guilan province. *Land Management Journal*, 3(1), 1-13.
- Froughifar, H., Jafarzadah, A. A., Torabi Gelsefidi, H., & Aliasgharzadah, N. (2011). Effect of Different Landforms on Spatial Variability and Frequency Distribution of Soil Biological Properties in Tabriz Plain. *Water and Soil Science*, 21(4), 35-52. (In Persian)

- Gozdowski, D., Stepień, M., Samborski, S., Dobers, E. S., Szatyłowicz, J., & Chormański, J. (2015). Prediction accuracy of selected spatial interpolation methods for soil texture at farm field scale. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(3), 639-650.
- Haddad, M. N. (2013). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping electrical conductivity and acidity of soils: a case study of Qom Plain, Iran. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4, 2827-2832.
- Islam, K.R., & Weil, R., (2000). Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. *Journal of soil and water conservation*, 55, 69-78.
- Jafarian Jlodar, Z., Arzani, H., Jafari, M., Kalarstagh, A., Zahedi Amiri, GH., & Azarnivand, H. (2009). Spatial distribution of soil properties with geostatistical methods in Rineh pastures. *Pasture*, 3(1), 107-120. (In Persian)
- Jahandideh mahjan abadi, V. A., karami, A., mousavi, S. R., & Asadi Rahmani, H. (2017). Evaluation of Spatial Variability of Biological Indicators of Soil Quality in Wheat Farms of Pasargad Plain. *Water and Soil*, 31(4), 1247-1259. doi: 10.22067/jsw.v31i4.60472 (In Persian)
- Joergensen, R. G. (1996). The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the kEC value. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(1), 25-31.
- Karami, A., & Basirat, S. (2015). 'Geostatistical Assessment of Spatial Variability of Some Surface Soil Properties in Arsenjan Plain', *Iranian Journal of Soil Research*, 29(1), 59-69. doi: 10.22092/ijsr.2015.101393
- Kaur, R., & Rani, R. (2006). Spatial characterization and prioritization of heavy metal contaminated soil-water resources in peri-urban areas of National Capital Territory (NCT), Delhi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 123(1), 233-247.
- Kazemi Poshtmasari, H., Tahmasebi, Z., Kamkar, B., Shataei, S., & Sadeghi, S. (2012). Evaluation of Geostatistical Methods for Estimating and Zoning of Macronutrients in Agricultural Lands of Golestan Province, *Water and Soil Science*, 22(1), pp. 201-220. (In Persian)
- Khazaie, E., Bostani, A. A., & Davatgar, N. (2017). Geostatic and GIS Evaluation of Spatial Variability of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, and Cation Exchange Capacity in Agro-Industrial Land of Sharif Abad in Qazvin, *Iranian Journal of Soil Research*, 31(2), 195-213. doi: 10.22092/ijsr.2017.113101 (In Persian)
- Khosravi, Y., Zamani, A. A., Parizanganeh, A. H., & Yaftian, M. R. (2018). Distribution of heavy metals in soils around the lead and zinc production plant in Zanjan. *Iranian Journal of Soil Research*, 31(4), 627-639.
- Lakzian, A., Fazeli Sangani, M., Astaraei, A., & Fotovat, A. (2013). 'Estimation and Mapping Soil Organic Carbon content using Terrain Analysis (Case study: Mashhad, Iran)', *Water and Soil*, 27(1), 180-192. doi: 10.22067/jsw.v0i0.22228
- Lark, R.M. (2012). Towards soil geostatistics. *Spatial Statistics*, 1, 92-99.
- Li, J., Guo, C., Jian, S., Deng, Q., Yu, C.L., Dzantor, K.E., & Hui, D. (2018). Nitrogen fertilization elevated spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon and nitrogen in switchgrass and Gamagrass croplands. *Scientific Reports* 8, 1734.
- Meul, M., & Van Meirvenne, M. (2003). Kriging soil texture under different types of nonstationarity. *Goderma* 112, 217-233.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 539-579.
- Panagopoulos, T., Jesus, J., Antunes, M. D. C., & Beltrão, J. (2006). Analysis of spatial interpolation for optimizing management of a salinized field cultivated with lettuce. *European Journal of Agronomy*, 24(1), 1-10.
- Robinson, T. P., & Metternicht, G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and electronics in agriculture*, 50(2), 97-108.
- Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., & Margesin, R. (Eds.). (2012). *Methods in soil biology*. Springer Science & Business Media.
- Shabani, H., Delavar, M. A., Safari, Y., & Alamdari, P. (2020). Spatial variability of some soil characteristics in lands of Zanjan University. *Applied Soil Research*, 7(4), 164-178.
- Shahbazi, F., Aliasgharzad, N., Ebrahimzad, S. A., & Najafi, N. (2013). Geostatistical analysis for predicting soil biological maps under different scenarios of land use. *European Journal of Soil Biology*, 55, 20-27.

- Sokoti Eskoui R., Mahdian M. H., Mahmoudi S., Ghayoumian J., & Masihabadi M. H. (2005). Comparative application of geostatistical methods in investigating the spatial distribution of some soil factors in Urmia Plain. *Proceedings of the 9th Iran Congress of Soil Sciences*, 663-666.
- Voroney, R. P., Winter, J. P., & Beyaert, R. P. (1993). Soil microbial biomass C and N. *Soil sampling and methods of analysis*, 277-286.
- Xing, Z. Y., Yue, S. Y., Xu, Z. D., Kai, M., & Herbert, S. J. (2007). Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. *Pedosphere*, 17(1): 19- 29.
- Yang, Z., Jing, F., Chen, X., Liu, W., Guo, B., Lin, G., ... & Liu, W. (2018). Spatial distribution and sources of seven available heavy metals in the paddy soil of red region in Hunan Province of China. *Environmental monitoring and assessment*, 190(611), 1-10.
- Ye, H., Lu, C., & Lin, Q. (2019). Investigation of the spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon and nitrogen under long-term fertilizations in fluvo-aquic soil. *PLoS One*, 14(4), e0209635.
- Zhang, S. W., & HUANG, Y. F. (2013). Spatial interpolation of soil texture using compositional kriging and regression kriging with consideration of the characteristics of compositional data and environment variables. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(9), 1673-1683.