



Spatial distribution of some soil physico-chemical properties in agricultural soils of Isfahan province

Parisa Mashayekhi¹ | Ali Reza Marjovvi²

1. Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran, E-mail: mashayekhi_enj@yahoo.com

2. Corresponding Author, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran, E-mail amarjovvi@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Dec. 18, 2022

Revised: March. 14, 2023

Accepted: Apr. 3, 2023

Published online: Apr. 21, 2023

Keywords:

GS+ software,
Nutrient elements,
Semi-variable,
Spatial distribution.

ABSTRACT

Knowing about the spatial dependence of different soil characteristics in farms is important to achieve more production and better management. The aim of this study was to evaluate the spatial variability and frequency distribution of some physical and chemical properties, including pH, EC, organic carbon, phosphorus and potassium that can be used by plants, texture and cation exchange capacity, within the various landforms of Isfahan province. The study was conducted on 118 soil samples. The spatial correlation of each variable with a specific semi-variable and the best fitting model for each variable were selected using GS+ version 9 software. Interpolation was done using normal Kriging, Cokriging, and Inverse Distance Weighting with powers of 1 to 3. The accuracy of the distribution maps of these variables were evaluated by the mean deviation of error (MBE) and the root mean square error (RMSE). The results of the geostatistical analysis showed that potassium, sand percentage and pH had strong spatial dependent and the other characteristics had moderate spatial dependent. The exponential model was the most accurate to predict phosphorus, EC, CEC, clay and silt variables while potassium, pH, sand and organic carbon percentage were best fitted with an spherical model. Also, EC had the smallest effective range (14.86 km) and pH had the largest effective range (around 71 km). For potassium, pH and EC variables, the Inverse Distance Weighting with the power of 1 (IDW-1) and for other variables the normal kriging method were recognized as the best interpolation methods.

Cite this article: Mashayekhi, P., Marjovvi, A. R., (2023). Spatial distribution of some soil physico-chemical properties in agricultural soils of Isfahan province, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(2), 389-405. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352609.669414>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352609.669414>



توزیع مکانی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در برخی از اراضی زراعی استان اصفهان

پریسا مشایخی^۱ | علیرضا مرجوی^۲^۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: mashayekhi_enj@yahoo.com^۲. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: amarjovvi@yahoo.comترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: amarjovvi@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

آگاهی از ساختار وابستگی مکانی ویژگی‌های مختلف خاک در مزارع برای دستیابی به تولید بیشتر و مدیریت بهتر حائز اهمیت است. این پژوهش در سال ۱۳۹۵ بر روی تعداد ۱۱۸ نمونه خاک از اراضی مناطق مختلف استان اصفهان، باهدف بررسی تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های شیمیایی در خاک انجام شد. همبستگی مکانی هر متغیر با نیم‌تغییرنما مشخص و بهترین مدل برازش داده‌شده برای هر متغیر، با استفاده از نرم‌افزار GS+ نسخه ۹، انتخاب شد. با استفاده از روش‌های درون‌یابی، کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و روش وزن دهی عکس فاصله با توان‌های ۱ تا ۳ درون‌یابی انجام شد و میزان دقت نقشه پراکنش این متغیرها به کمک معیارهای آماری میانگین انحراف خطا (MBE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید. نتایج تجزیه زمین‌آمار نشان داد که پتاسیم، درصد شن و pH دارای همبستگی مکانی قوی و سایر ویژگی‌های موردبررسی از همبستگی مکانی متوسطی در سطح منطقه برخوردار بودند. بهترین مدل ساختار مکانی برای متغیرهای فسفر، EC، CEC، درصد رس و سیلت مدل نمایی و برای پتاسیم، pH، درصد شن و کربن آلی مدل کروی بوده است. همچنین EC خاک کمترین شعاع تأثیر (۱۴/۸۶ کیلومتر) و pH بیشترین شعاع تأثیر (حدود ۷۱ کیلومتر) را داشتند. بر اساس نتایج، برای متغیرهای پتاسیم، pH و EC روش وزن دهی عکس فاصله با توان ۱ (IDW-1) به ترتیب با مقادیر RMSE معادل ۰/۱۷۱، ۰/۱۵۲ و ۰/۱۷۱ و برای سایر متغیرهای کربن آلی، فسفر، بافت، CEC به ترتیب با مقادیر RMSE ۰/۱۱، ۰/۱۹۹، ۰/۱۵۵ و ۰/۱۵۶ روش کریجینگ معمولی به‌عنوان بهترین روش‌های درون‌یابی شناخته شدند.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۱۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۲/۱

واژه‌های کلیدی:

تغییرات مکانی،

تغییرنما،

عناصر غذایی،

نرم‌افزار GS+.

استناد: مشایخی؛ پریسا، مرجوی؛ علیرضا، (۱۴۰۲). توزیع مکانی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در برخی از اراضی زراعی استان اصفهان، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۲)، ۴۰۵-۳۸۹. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352609.669414>خاک ایران، ۵۴ (۲)، ۴۰۵-۳۸۹. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352609.669414>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352609.669414>

مقدمه

بهبود استانداردهای زندگی جمعیت در حال رشد، بدون تخریب محیط‌زیست از چالش‌های اساسی جهانی است. برای آگاهی از چگونگی و وسعت اثرات فعالیت‌های بشری بر روی خاک به‌عنوان یکی از منابع پایه، نیاز به استفاده از داده‌های کمی این تغییرات است. پایش ویژگی‌های شیمیایی خاک از جمله میزان عناصر غذایی و مواد آلی سهم بسزایی در شناسایی و کاهش اثرات مضر مدیریت‌های نامناسب حاصلخیزی خاک دارد. البته ویژگی‌های خاک به‌صورت مکانی و زمانی از سطح یک مزرعه تا منطقه با مقیاس وسیع‌تر تغییر می‌نماید. این ویژگی‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی (عوامل خاک‌سازی همانند مواد مادری) و عوامل بیرونی (همانند مدیریت خاک، کود دهی و تناوب زراعی) است (mulder et al., 2016). برای به‌کارگیری شیوه‌های مدیریت پایدار خاک، دانستن توزیع مکانی ویژگی‌های خاک ضروری است. ناهمگونی و تغییرات ویژگی‌های خاک بایستی پایش شده تا منجر به درک بهتری از اثرات عوامل مدیریتی در رسیدن به کشاورزی پایدار گردد (Bogunovic et al., 2017). از سوی دیگر مدیریت مزرعه بر اساس مجموعه‌ای از نقاط گسسته نمونه‌برداری، امکان‌پذیر نبوده و بایستی این داده‌ها در قالبی پیوسته از اطلاعات تبدیل گردند. بدین منظور، به‌کارگیری ابزارهای تجزیه و تحلیل و پردازش ریاضی و آماری، که توانایی به‌کارگیری هم‌زمان اطلاعات کمی و عددی متغیر موردنظر و اطلاعات مربوط به موقعیت نسبی جغرافیایی داده‌ها را دارند، ضروری است. امروزه روش‌های زمین‌آماری به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی توزیع مکانی ویژگی‌های مختلف خاک در مناطق کشاورزی به‌منظور مدیریت بهتر کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Liu et al., 2016).

در بین انواع روش‌های برآورد کننده زمین‌آماری، روش کریجینگ معمولی به لحاظ سهولت و سرعت عمل زیاد، از دقت بیشتری برخوردار است. با این حال کاربرد این روش برای متغیرهای دارای توزیع فراوانی غیر نرمال، به‌طور معمول نتایج رضایت بخشی ارائه نمی‌دهد. یکی از راه‌های مقابله با این مشکل نرمال‌سازی توزیع داده‌ها است. از طرف دیگر، استفاده از متغیرهای کمکی یا ثانویه موجود (در صورت داشتن همبستگی خوب با متغیر اولیه) در روش‌های زمین‌آماری چند متغیره مانند کوکریجینگ می‌تواند باعث افزایش دقت برآورد متغیر اولیه گردد، به‌ویژه زمانی که داده‌های متغیر اصلی به دلایلی از جمله پرهزینه و مشکل بودن نمونه‌برداری و اندازه‌گیری، کمتر باشد (دلبری و جهانی، ۱۳۹۲).

Seyed Jalili et al. (2019) در بررسی توزیع مکانی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نشان دادند که روش کوکریجینگ با استفاده از مقادیر رس به‌عنوان داده‌های کمکی در برآورد CEC از دقت بسیار بیشتری نسبت به کریجینگ معمولی برخوردار بوده است. در پژوهش انجام‌شده توسط افضلی و همکاران (۱۳۹۷) به‌منظور نمایش تغییرات مکانی، از روش کریجینگ استفاده شد. با توجه به نتایج شاخص‌های ارزیابی، مدل کریجینگ از کارایی قابل قبولی در پهنه‌بندی تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک برخوردار بود. از طرفی شدت همبستگی مکانی زیاد بود و در همه مدل‌ها کمتر از ۰/۲۵ به دست آمد.

Najafian et al. (2012) به‌منظور بررسی اهمیت الگوهای مکانی ویژگی‌های حاصلخیزی خاک و سایر عوامل بیرونی برای توسعه فعالیت‌های کشاورزی، مطالعه‌ای را در ۱۳۲ هکتار از اراضی مرودشت در مرکز ایران انجام دادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده توسط این محققین، نیتروژن و پتاسیم همبستگی مکانی متوسط داشتند. دامنه ساختار مکانی برای سفر قابل‌دسترس بیشترین مقدار و برابر ۴۸۰ متر و برای نیتروژن کل ۴۲۹ متر بود. نتایج پژوهش Qiu et al. (2011) نشان داد با وجود مدیریت یکنواخت و مسطح بودن منطقه از لحاظ توپوگرافی، سطوح مواد مغذی طی سال‌های متمادی، تغییرات قابل‌توجهی داشتند. برای نمونه مقادیر سفر کل در منطقه از ۱۴ تا ۵۳ میکروگرم در گرم متغیر بود. همچنین دامنه همبستگی مکانی برای ویژگی‌های مختلف، از ۲۶۸ متر برای نیتروژن تا ۷۰۰ متر برای فسفر متفاوت بود. (Jaiver et al. (2011) به‌منظور ارزیابی تأثیر خصوصیات شیمیایی خاک بر روی عملکرد محصول ذرت در راستای توصیه‌های مدیریتی و حاصلخیزی در مکان‌های خاص، تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های شیمیایی خاک از جمله نیتروژن، پتاسیم و فسفر را در منطقه‌ای از کشور کلمبیا مورد مطالعه قرار دادند. تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه این متغیرها توسط فن زمین‌آمار نشان داد که توزیع مکانی و همبستگی این ویژگی‌ها با عملکرد محصول رابطه مستقیم دارد.

نتایج تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری انجام‌گرفته توسط شبانی و دلاور (۱۳۹۵) بر روی اراضی کشاورزی زنجان، گویای تناسب مدل نمایی برای توصیف ساختار تغییرات مکانی عناصر غذایی پرمصرف بود. در لایه‌های خاک مورد مطالعه کمترین دامنه تأثیر برای عنصر پتاسیم با مقادیر ۳۲۸/۱ و ۵۵۳/۷ متر برآورد شد. نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر پرمصرف نشان داد پراکنش این عناصر در منطقه تصادفی نبوده و از یک الگوی مکانی تبعیت می‌کند. در بررسی انجام‌شده توسط پیری صحراگرد و پیری (۱۳۹۵) بر روی خاک‌های مرتعی واقع در شهرستان خاش، بیشتر ویژگی‌های مورد بررسی در هر دو لایه سطحی و عمقی خاک دارای مدل‌های کروی و نمایی بودند. بر اساس نتایج،



خصوصیاتی مانند آهک، آب قابل دسترس و خصوصیات مرتبط با بافت خاک (درصد شن، رس و سیلت) دارای ساختار مکانی قوی بودند اما برای برخی از خصوصیات مانند گچ، رطوبت اشباع، و سنگریزه هم در لایه سطحی خاک و هم در لایه عمقی، ساختار مکانی قوی مشاهده نشد.

در بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های شوری و سدیمی خاک‌های منطقه چات در استان گلستان مشخص شد که بهترین مدل ساختار مکانی برای برآورد پارامتر EC، مدل نمایی و برای ESP^۱ و pH مدل کروی بود. در این پژوهش در مجموع روش کریجینگ معمولی به‌عنوان مناسب‌ترین روش برآورد این پارامترها معرفی شد (دلبری و جهانی، ۱۳۹۲).

استان اصفهان با وسعت بیش از ۱۰۷ هزار کیلومتر مربع از نظر سهم، حدود ۶/۶ درصد از کل کشور است و پس از کرمان، سیستان و بلوچستان و فارس چهارمین استان پهناور کشور محسوب می‌شود. این استان یکی از مراکز اقتصادی و از قطب‌های صنعتی و کشاورزی کشور است، که با دارا بودن شرایط اقلیمی متنوع و قابلیت‌های بالقوه منابع طبیعی و منابع انسانی به‌عنوان یکی از استان‌های مهم کشور در زمینه تولید محصولات کشاورزی، دامی و پروتئینی است. از آنجایی که مطالعه‌های صورت گرفته در مناطق مختلف نتایج متفاوتی دارد و نمی‌توان این نتایج را به سایر مناطق تعمیم داد، نیاز است که الگوی پراکنش مکانی متغیرهای خاک در مزارع مورد بررسی قرار گیرد و روش‌های مختلف زمین‌آماری باهم مقایسه شود تا بهترین روش برای هر متغیر در آن منطقه به دست آید. این تحقیق، باهدف بررسی تغییرات مکانی عناصر حاصلخیزی خاک شامل ازت، فسفر و پتاسیم، و تهیه نقشه‌های پراکنش مکانی این عناصر در نقاط مختلف اصفهان انجام شد. علت انتخاب عوامل مورد بررسی، اهمیت آن‌ها در حاصلخیزی خاک و مدیریت کود دهی بوده است که کمبود آن‌ها اغلب رشد و کیفیت گیاه را در این منطقه محدود می‌سازند.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در سال ۱۳۹۵ در اراضی کشاورزی استان اصفهان به انجام رسید. استان اصفهان با مساحتی حدود ۱۰۶۷۸۶ کیلومتر مربع بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی، واقع شده است که از شمال به استانهای مرکزی، قم و سمنان، از شرق به استان یزد، از جنوب به استانهای فارس و کهگیلویه و بویراحمد و از غرب به استان های لرستان و چهارمحال و بختیاری محدود شده است. ارتفاع متوسط استان اصفهان از میانگین سطح دریا ۱۷۱۴ متر است. بخش وسیعی از استان اصفهان را اقلیم خشک در بر گرفته است. مقدار بارش در این استان از غرب به شرق و از جنوب به شمال کاهش می‌یابد. استان اصفهان با ظرفیت تولید کشاورزی با سطح زیر کشت آبی سالیانه ۲۶۲۵۷۷ هکتار، دیم سالیانه ۳۰۵۳۱، باغات ۵۸۵۴۲ هکتار، ۵/۶ میلیون هکتار مرتع و حدود ۱۰۰ هزار هکتار جنگل، یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی در ایران محسوب می‌شود. بر اساس مطالعات خاکشناسی، افق سطحی خاک‌های محدوده مطالعاتی عمدتاً ochric و افق‌های مشخصه تحت‌الارضی شامل افق تجمع آهک ۲، افق شور ۳ و افق‌های تجمع رس ۴ می‌باشد. همچنین بر اساس طبقه‌بندی خاک ۵، خاک‌های محدوده مطالعاتی در دو رده Entisols و Aridisols قرار می‌گیرند. برای تعیین نقاط نمونه‌برداری، از اطلاعات موجود مختلفی نظیر نوع کاربری اراضی، نقشه رقومی استان، نقشه رقومی کاربری اراضی، نقشه رقومی خاک و اطلاعات و نظر کارشناسان مطلع از وضعیت کشت و خاک منطقه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به پراکندگی اراضی زیر کشت در بسیاری از مناطق استان، انجام شبکه‌بندی جهت انتخاب پایگاه‌های مطالعاتی نمی‌توانست همه اراضی و مناطق تحت کشت را پوشش دهد، لذا نقاط نمونه‌برداری به‌گونه‌ای انتخاب شد که تقریباً در هر ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ هکتار سطح زیر کشت در استان یک نمونه از مزارع شاخص هر منطقه تهیه گردد. به همین منظور ۱۱۱ پایگاه مطالعاتی در کل اراضی کشاورزی استان انتخاب شد. این نقاط به صورتی تعیین گردید که کل اراضی آبی، دیم و آیش را پوشش دهد. انتخاب هر پایگاه به‌گونه‌ای انجام شد که حتی‌الامکان قطعه ۱ تا ۳ هکتاری با مدیریت واحد باشد و تغییرات شدید همانند تغییر کاربری، تسطیح اراضی و ... در طول مطالعه انجام نگردد. پس از انتخاب پایگاه‌های مطالعاتی، و ثبت موقعیت جغرافیایی آن، نمونه‌برداری به‌صورت مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر انجام گرفت. نقاط مختلف

1 Exchangeable sodium percentage

2 . Calcic

3 . Salic

4 . Argilic

5 . Soil Taxonomy

نمونه‌برداری شده در مناطق مختلف استان در شکل ۱ مشخص شده است.



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی استان اصفهان

در دو شهرستان نائین و خور و بیابانک در شرق استان علی‌رغم وسعت زیاد آن به دلیل عدم وجود منابع آب کافی، کشاورزی در سطح محدود انجام می‌گردد و لذا نمونه‌برداری انجام نگردید.

تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا هوا خشک و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری (Klute, 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به روش هدایت سنجی و pH در گل اشباع اندازه‌گیری شدند (Page et al., 1992). ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در $pH=8/2$ (Rhodes, 1996)، فسفر قابل جذب به وسیله عصاره گیری با بی‌کربنات سدیم در $pH=8/5$ (Olsen and Sommer, 1982) و اندازه‌گیری کربن آلی به روش والکلی بلاک (Walkley and Black, 1934) و پتاسیم قابل استفاده گیاه از طریق عصاره‌گیری با استات آمونیوم و قرائت با دستگاه فلیم فتومتر (Page et al., 1992) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه‌های آماری و زمین‌آماري

به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری هر ویژگی، توزیع فراوانی با کمک ویژگی‌های آن شامل میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی توسط نرم‌افزار SAS مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که برای محاسبه نیم تغییرنا، لازم است متغیرها از توزیع فراوانی نرمال برخوردار باشند، آزمون کولموگراف-اسمیرنوف برای تعیین نرمال بودن توزیع متغیرها مورد استفاده قرار گرفت (Bogunovic et al., 2017). برای بررسی و تشریح ارتباط و ساختار فضایی از تجزیه و تحلیل تغییرنا یا واریوگرام از نرم‌افزار GS+ نسخه ۹ استفاده شد. تغییرنا کمیته برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را برحسب مربع تفاضل مقدار دونقطه و با توجه به جهت و فاصله آن‌ها نشان می‌دهد. اگر یک ویژگی به طور مداوم در ابعاد مکانی تغییر کند آن را می‌توان با تغییرنا نشان داد. تغییرناها تغییرات فاصله‌ای یا تغییرپذیری ساختاری متغیرها را نشان می‌دهند. این روش به طور گسترده در تجزیه اکولوژیکی ناهمگنی خاک از طریق محاسبه نیمه واریانس‌ها برای ورود داده‌ها به نرم‌افزار، به کار می‌رود (پیری صحرگرد و پیری، ۱۳۹۵). فایلی شامل طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری و مقادیر ویژگی‌های مورد نظر تهیه شد. معادله نیم‌تغییرنا به صورت رابطه ۱ است:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه بالا، $\gamma(h)$ نیم‌تغییر نمای تجربی، $N(h)$ تعداد کل جفت نقاطی که به فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند و $Z(x_i+h)$ و $Z(x_i)$ به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر Z در نقاط x_i+h و x_i است.

نیم‌تغییرنا در حقیقت سنجش گر میانگین عدم شباهت داده‌ها در دو موقعیت مکانی X و $X+h$ به عنوان تابعی از فاصله بین آن‌ها است (Yong et al., 2005). در این بررسی با استفاده از نرم‌افزار GS+ مدلی که دارای کمترین مجموع مربعات باقیمانده (RSS) و

بیشترین ضریب تبیین R^2 بود، از میان مدل‌های کروی، نمایی، گوسی و خطی و غیره بر واریوگرام تجربی برازش داده شد (Sharma et al., 2002). پارامترهای تغییرنا شامل اثر قطعه‌ای ۱، دامنه تأثیر ۲ و آستانه ۳ می‌باشند (Utset et al., 2000). مقدار نیم تغییرنا به ازای $h=0$ اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود. اثر قطعه‌ای معمولاً ناشی از خطاهای نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تجزیه داده‌ها و یا تغییرات کوچک مقیاس یعنی تغییراتی که در فواصلی کمتر از کوچک‌ترین فاصله نمونه‌برداری رخ می‌دهد، است. با افزایش h مقدار نیم‌تغییرنا تا فاصله معینی که دامنه یا شعاع تأثیر می‌نامند، افزایش می‌یابد و پس از آن به حد ثابتی می‌رسد که آستانه گفته می‌شود. برای تعیین وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک از طریق نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه بعلاوه اثر قطعه‌ای استفاده شد (Wu et al., 2008)، چنانچه این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی است و اگر این نسبت بین ۲۵ و ۷۵ درصد قرار گیرد بیانگر وابستگی مکانی متوسط و چنانچه این نسبت بزرگ‌تر از ۷۵ درصد گردد نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (Bogunovic et al., 2017). همچنین در صورتی که نسبت همبستگی در مورد ویژگی‌ها برابر ۱۰۰ درصد گردد و یا اینکه شیب منحنی تغییرنا نزدیک به صفر باشد ویژگی مربوطه فاقد وابستگی مکانی خواهد بود و اگر نسبت همبستگی برای ویژگی صفر شود بیانگر یک پیوستگی در وابستگی مکانی است (Vieira and Gonzalez, 2003).

تغییرپذیری ویژگی‌های خاک ممکن است تحت تأثیر عوامل داخلی مانند عوامل تشکیل خاک و عوامل خارجی مانند کوددهی باشد. غالباً وابستگی مکانی قوی در اثر فرآیندهای داخلی (ذاتی) و وابستگی‌های مکانی ضعیف در اثر فرآیندهای خارجی (مدیریتی) حاصل می‌شود (Zhang et al., 2009). لذا فرآیندهای داخلی مانند مواد مادری تأثیر بیشتری روی تغییرپذیری این متغیرها در منطقه داشته است. قابل ذکر است که در اراضی کشاورزی تحت کشت، تأثیر فرآیندهای مدیریتی مانند کود دهی را باید در نظر داشت که این فرآیندها به مرور می‌توانند همبستگی مکانی متغیرهای خاک را تحت تأثیر قرار دهند (جلالی و همکاران، ۱۳۹۲).

پس از محاسبه نیم‌تغییرنا لازم است که بهترین مدل تئوری برای کاربرد در سیستم کریجینگ، بر آن برازش شود. مدل‌های تئوری مختلفی در این زمینه وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به مدل‌های خطی ۴، کروی ۵، نمایی ۶ و گوسی ۷ و ... اشاره کرد.

روش‌های درون‌یابی

به‌منظور برآورد مقادیر متغیرهای خاک در نقاط نمونه‌برداری نشده از روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله، کوکریجینگ و کریجینگ استفاده گردید.

کریجینگ معمولی

در روش کریجینگ معمولی (OK)، مقدار متغیر در هر نقطه نمونه‌برداری نشده با استفاده از یک متوسط‌گیری متحرک وزنی خطی مقادیر اندازه‌گیری شده در همسایگی نقطه موردنظر برآورد می‌شود (Isaaks and Srivastava, 1989).

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z(X_i) \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در رابطه بالا $Z(X_0)$ مقدار برآورد زده شده Z در نقطه X_0 ، λ_i وزن نسبت داده‌شده به متغیر Z در نقطه X_i و n تعداد نقاط همسایگی است.

کوکریجینگ

کوکریجینگ (COK) یک حالت چند متغیره از کریجینگ برای موقعیتی است که علاوه بر متغیر اصلی، یک یا چند متغیر کمکی که دارای همبستگی خوبی با متغیر اصلی است، موجود باشد. روش برآوردی کوکریجینگ با فرض وجود یک متغیر کمکی به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Isaaks and Srivastava, 1989).

$$Z_V(X_0) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot Z_V X_i \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot Z_W(X_j) \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن $Z_V(X_0)$ مقدار برآورد شده متغیر اصلی Z_V در نقطه x_0 ، α_i و β_j به ترتیب وزن نسبت داده شده به مقادیر مشاهده شده متغیر اصلی Z_V در نقطه x_i و متغیر کمکی Z_W در نقطه x_j و n و m به ترتیب تعداد مشاهدات متغیر اصلی و کمکی می‌باشند.

وزن دهی عکس فاصله

در این روش نیز مانند روش کریجینگ، مقدار یک متغیر در نقطه‌ای که نمونه برداری نشده باشد، از روی نقاط مجاورش با استفاده از فرمول (۴) برآورد می‌شود. با این تفاوت که در این روش وزن‌ها تنها با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به نحوه پراکندگی نقاط حول نقطه مورد برآورد، تعیین می‌شوند. بدین ترتیب به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص داده می‌شود (Isaaks and Srivastava, 1989). مقدار وزن λ_i در این روش از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\pi}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\pi}} \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه بالا D_i فاصله آمین نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد برآورد، π توان وزن دهی فاصله و n تعداد نقاط همسایگی است.

ارزیابی روش‌ها

در این تحقیق از معیارهای آماری ریشه مربعات خطا (RMSE) میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین انحراف خطا MBE برای ارزیابی دقت روش‌ها استفاده گردید که در آن $Z^*(x_i)$ و $Z(x_i)$ به ترتیب مقادیر برآورد زده شده و واقعی متغیر Z در نقطه x_i و n تعداد کل مشاهدات است. معمولاً هر چه مقدار MAE و RMSE کمتر و مقدار MBE به صفر نزدیک‌تر باشد، دقت روش بیشتر است (Nourzadeh et al., 2010). علاوه بر معیارهای ذکر شده، ضریب همبستگی (R) بین مقادیر برآورد شده و واقعی نیز محاسبه گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^* (X_i) - Z(X_i))^2} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^* (X_i) - Z(X_i)| \quad \text{رابطه ۶}$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^* (X_i) - Z(X_i)) \quad \text{رابطه ۷}$$

بحث و نتیجه گیری

خلاصه آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج آزمون کولموگراف-اسمیرنوف، داده‌های اندازه‌گیری شده در مورد فسفر، پتاسیم، شن، شوری، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی از توزیع نرمال برخوردار نبودند. برای نرمال‌سازی این داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده شد که ویژگی‌های آماری این داده‌ها نیز در جدول ۱ ارائه شده است. در بین ویژگی‌های مورد مطالعه شوری زیادترین ضریب تغییرات (۸۶/۰۷) و pH کمترین ضریب تغییرات (۲/۷۵) را داشت. ضریب تغییرات معیاری از تغییرپذیری نسبی است. ضریب تغییرات زیاد می‌تواند ناشی از اثر ترکیبی عوامل مدیریتی (مانند مصرف کود و کاربری‌های متفاوت از اراضی) و عوامل ذاتی (مانند پستی و بلندی، تغییرات شدید بافتی و وضعیت زهکشی منطقه مورد مطالعه باشد. درحالی‌که کم بودن ضریب تغییرات pH ناشی از اثر عوامل ذاتی مانند مواد مادری در رفتار این متغیر است (فروغی فر و همکاران، ۱۳۹۰). در بیشتر موارد متغیرهای با ضریب تغییرات زیاد (بیشتر از ۵۰ درصد) از توزیع فراوانی غیر نرمال برخوردار بودند. تبدیل لگاریتمی داده‌ها علاوه بر کاهش چولگی و بهبود نرمالیتی، ضریب تغییرات داده‌ها را نیز کاهش داد (جدول ۱). این نتیجه با نتایج گزارش شده توسط فروغی فر و همکاران (۱۳۹۰) همخوانی دارد. (Brejda et al. (2000 نیز بیان داشتند که تبدیل داده‌ها در کاهش چولگی، نزدیک شدن داده‌ها به توزیع نرمال و کاهش ضریب تغییرات مؤثر است.

جدول ۱- آمار توصیفی خصوصیات خاک مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه

ویژگی	واحد	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	کشیدگی	چولگی
فسفر	mg kg-1	۲۶/۶۵	۲۲/۵۶	۲/۶	۷۷/۵	۱۷/۱۱	۶۴/۲۲	۰/۱۲	۰/۸۳
Log P	-	۱/۳۲	۱/۳۵	-۰/۴۱	۱/۸۸	۰/۳۲	۲۴/۱۷	-۰/۱۴	-۰/۵۳
پتاسیم	mg kg-1	۲۹۴/۰۴	۲۷۵	۷۰	۸۰۰	۱۵۳/۳۶	۵۲/۱۵	۱/۰۳	۱/۰۶
Log K	-	۲/۴۱	۲/۴۴	۱/۸۴	۲/۹۰	۰/۲۲	۹/۳۸	-۰/۴۱	-۰/۱۱
رس	%	۳۲/۱۵	۳۴	۶	۶۰	۱۱/۴۵	۳۵/۶	-۰/۵۵	-۰/۳۴
سیلت	%	۳۴/۶۱	۳۶/۵	۸	۵۴	۱۰/۷۶	۳۱/۱۱	-۰/۱۲	-۰/۷۲
شن	%	۳۳/۲۴	۲۷/۴	۸	۸۲	۱۹/۸۸	۵۹/۸۳	-۰/۳	۰/۸۴
Log S	-	۱/۴۴	۱/۴۴	-۰/۹۰	۱/۹۱	۰/۲۵	۱۷/۹۵	-۱/۱	۰/۱۱
شوری	dSm-1	۳/۲۲	۲/۳۵	-۰/۲۷	۱۴/۳	۲/۷۷	۸۶/۰۷	۲/۹۸	۱/۶۶
Log EC	-	۰/۳۵	۰/۳۷	-۰/۵۶	۱/۱۵	۰/۳۷	۱۰/۴۱	-۰/۶۸	-۰/۰۷
اسیدیته	-	۷/۴۷	۷/۵	۶/۹	۸/۰۴	۰/۲۰	۲/۷۵	۰/۵۵	-۰/۳۱
کربن آلی	%	۰/۹۲	۰/۸۲	-۰/۷۸	۳/۲	۰/۵۲	۵۷/۱۳	۳/۹۷	۱/۶۱
Log OC	-	-۰/۱	-۰/۰۹	-۱/۱۰	۰/۵۰	۰/۲۵	-۲۴/۹۴	۱/۷۳	-۰/۷
ظرفیت تبادل کاتیونی	Meq100g-1 soil-1	۱۳/۳۳	۱۲/۵	۴/۶	۳۴/۱	۵/۷۹	۴۳/۴۶	۱/۰۴	۰/۹۱
LOG CEC	-	۱/۰۸	۱/۱	۰/۶۶	۱/۵۳	۰/۱۹۲	۱۷/۷۷	۰/۸۵	-۰/۴۱

ضریب همبستگی بین ویژگی‌های خاک

به منظور بررسی وجود یا عدم وجود همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه، میزان ضریب همبستگی بین زوج پارامترها محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه

متغیر	فسفر	پتاسیم	رس	سیلت	شن	EC	pH	کربن آلی	CEC
فسفر	۱								
پتاسیم	۰/۳۵**	۱							
رس	۰/۴۲**	۰/۴۹**	۱						
سیلت	۰/۲۹**	۰/۴۵**	۰/۶**	۱					
شن	-۰/۳۹**	-۰/۵۲**	-۰/۹۰**	۰/۸۹**	۱				
EC	-۰/۱۸*	-۰/۲۶**	-۰/۲۷**	-۰/۲۵**	-۰/۲۹**	۱			
pH	-۰/۱۳	-۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۰۸	-۰/۱۴۸	-۰/۰۰۴	۱		
کربن آلی	۰/۵۰**	۰/۳۶**	۰/۴۴**	۰/۲۵**	-۰/۳۹**	۰/۲۳*	-۰/۱۸۹	۱	
CEC	۰/۳۲**	۰/۴۵**	۰/۵۴**	۰/۴۵**	-۰/۵۵**	-۰/۳۸**	-۰/۰۲۱	۰/۴۲**	۱

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطوح ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشخص است، به غیر از pH که با هیچ کدام از ویژگی‌های دیگر خاک همبستگی نداشته است، بقیه ویژگی‌های خاک دارای سطوح مختلفی از همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد بوده‌اند. متغیرهایی که دارای سطوح همبستگی زیادی هستند، بهترین انتخاب برای کمک به برآورد بهتر خصوصیات مورد مطالعه توسط روش کوکریجینگ به نظر می‌رسند.

تحلیل همبستگی مکانی

برای تشخیص پدیده همسان‌گردی ۱ یا ناهمسان‌گردی ۲ در تحقیق حاضر از تغییرنمای سطحی در محیط GS+ استفاده شد. با توجه به وجود تقارن مشاهده شده در تغییرنمای سطحی، تمامی متغیرها همسان‌گرد تشخیص داده شدند (فروغی‌فر و همکاران، ۱۳۹۰). این بدان معناست که تغییرپذیری این متغیرها در جهات مختلف یکسان بوده است و تغییرات عمدتاً تابع فاصله بین جفت نقاط است، بنابراین از

نیم‌تغییرنمای همسانگرد برای مراحل بعدی تحقیق استفاده گردید. نتایج مربوط به انتخاب بهترین تابع نیم‌تغییرنما برای برازش بر روی داده‌ها، در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مشخصات مدل‌های برازش شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی ویژگی‌های مورد مطالعه

متغیر	مدل واریوگرام	اثر قطعه‌ای	آستانه	دامنه تأثیر (متر)	وابستگی مکانی	کلاس وابستگی مکانی	R ²	RSS
فسفر	نمایی	۰/۴۳	۱/۰۵	۶۳۳۰۰	۵۹/۴	متوسط	۰/۷۳	۰/۰۱۷
پتاسیم	کروی	۰/۱۲	۰/۶۲	۶۱۱۰۰	۸۰/۶	قوی	۰/۹۵	۰/۰۰۴
pH	کروی	۰/۱۴	۰/۹۵	۷۱۱۰۰	۸۵/۶	قوی	۰/۸۹	۰/۰۱۹
کربن آلی	کروی	۰/۰۳۳	۰/۰۶۷	۵۱۱۰۰	۵۱	متوسط	۰/۷۶	۰/۰۰۰
EC	نمایی	۰/۲۴	۰/۶۱۵	۱۴۸۶۰	۶۱	متوسط	۰/۷۶	۰/۰۱۰
CEC	نمایی	۰/۰۸	۰/۳۳	۶۰۶۸۰	۶۳/۳	متوسط	۰/۸۳	۰/۰۰۳
شن	کروی	۰/۱۵	۰/۹۳	۳۲۴۸۰	۸۳/۸	قوی	۰/۸۵	۰/۰۸۸
رس	نمایی	۶۸/۱	۱۸۱	۲۹۲۵۰	۶۲/۴	متوسط	۰/۸۲	۱۲۷۵
سیلت	نمایی	۶۶/۱	۲۰۳/۸	۲۶۹۳۰	۶۷/۶	متوسط	۰/۸۴	۱۰۳۴

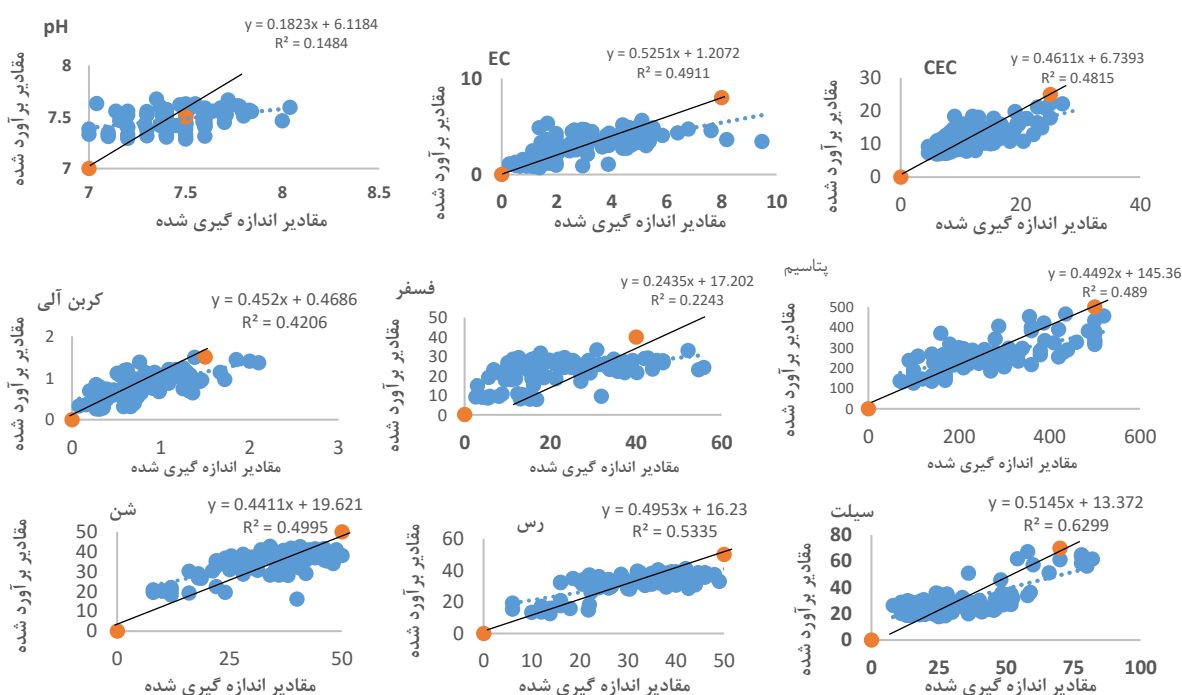
همان‌طور که مشخص است بهترین مدل ساختار مکانی برای متغیرهای فسفر، EC، CEC، درصد رس و سیلت مدل نمایی و برای پتاسیم، pH، درصد شن و کربن آلی مدل کروی بوده است. همچنین متغیرهای پتاسیم، pH و درصد شن از وابستگی مکانی قوی و سایر متغیرها از وابستگی مکانی متوسط برخوردار بوده‌اند. نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از پژوهش‌های Wang et al. (2009) همخوانی دارد. Cambardella et al. (1994) و Zhang et al. (2008) نیز گزارش کردند که وابستگی مکانی قوی ممکن است به وسیله تغییرات ذاتی خاک و وابستگی مکانی ضعیف‌تر به وسیله تغییرات غیر ذاتی خاک (مدیریتی) کنترل شود. از این رو به طور کلی می‌توان گفت تفاوت در تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و محصول گیاه به تأثیر فرآیندهای خاک‌سازی و مدیریت اراضی در هر منطقه برمی‌گردد. از سوی دیگر همبستگی مکانی، به شدت تحت اثر مقیاس در هر تحقیق است و در این تحقیق ویژگی‌هایی که وابستگی مکانی متوسطی دارند ممکن است در مقیاس‌های کوچک‌تر از مقیاس به کاررفته وابستگی مکانی قوی‌تری نشان دهند (فروغی فر و همکاران، ۱۳۹۰).

دامنه تأثیر ویژگی‌های خاک، تابعی از مقیاس مورد مطالعه و فاصله نمونه‌برداری است. کمتر بودن دامنه تأثیر نشان‌دهنده تغییر و ناهمگونی بیشتر آن در منطقه مورد مطالعه است (فروغی فر و همکاران، ۱۳۹۰). از بین ویژگی‌های مورد مطالعه در این تحقیق، EC کمترین مقدار دامنه تأثیر را داشته است. کم بودن دامنه تأثیر را می‌توان به عوامل مدیریتی (تغییر کاربری، مدیریت آبیاری، شخم، کود دهی و ...) ارتباط داد. از طرفی داده‌های EC خاک تا فاصله حدود ۱۴/۸۶ کیلومتر بر هم اثر داشتند، و شعاع تأثیر برای pH حدود ۷۱ کیلومتر بوده است. دامنه تأثیر زیاد این پارامتر نشان‌دهنده پایداری pH در خاک‌های مورد مطالعه است (فروغی فر و همکاران، ۱۳۹۰). اکثر خاک‌های اصفهان آهکی بوده و pH موجود در این خاک‌ها عمدتاً در محدوده ۷ تا ۸ واقع شده و از تغییرپذیری زیادی برخوردار نیست. بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول ۳، ساختار مکانی EC و pH از مدل کروی تبعیت کرد. Jordán et al. (2004) مدل کروی را برای لگاریتم EC با شعاع تأثیر ۲۶ کیلومتر و مدل گوسی را برای pH با شعاع تأثیر ۱۸/۶ کیلومتر مناسب معرفی کرد. در تحقیق Kilic and Kilic (2007) برای خاک سطحی، EC و pH دارای ساختار کروی بودند.

در این بررسی توزیع فسفر در خاک از مدل نمایی و پتاسیم از مدل کروی تبعیت نمودند. (فاتحی، ۱۳۹۱) نیز در پژوهشی در استان کرمانشاه مدل نمایی را به عنوان بهترین مدل برای توصیف مکانی توزیع فسفر در خاک و کلاس همبستگی مکانی این متغیر را قوی گزارش نمود. در مورد عنصر پتاسیم نیز Weindorf and Zhu (2010) و Dalchiavon et al. (2012) مدل نمایی را برای توصیف تغییرات مکانی پتاسیم مناسب دانستند. همچنین Bogunovic et al. (2017) مدل نمایی را برای توصیف چگونگی توزیع مقادیر فسفر و پتاسیم قابل استفاده در خاک و همچنین ماده آلی خاک، مدل کروی برای pH و مدل گوسی را برای داده‌های EC مناسب گزارش نمودند. مقادیر نسبتاً زیاد دامنه تأثیر فسفر و پتاسیم خاک به دلیل تحرک کم این عناصر در خاک است. در پژوهش انجام شده توسط Cahn et al. (1994)، فسفر و پتاسیم از دامنه تأثیر متوسطی برخوردار بودند که علت این امر را ناشی از میزان تحرک یون‌ها و عوامل مدیریتی مانند کود دهی و آبیاری معرفی کردند Wang et al. (2009) نیز تغییرات نیتروژن و فسفر را به تغییر در نوع کاربری نسبت دادند. حبشی و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهش خود در رانشستان‌های گرگان نشان داد که تغییرنمای مناسب برای داده‌های اسیدیته و ماده آلی خاک مدل

-	-	۰/۱۶۱	۰/۴۵۴	۰/۱۶۵	۰/۷۱۷	۰/۱۶۶	-۰/۰۴۶	COK-CEC
۰/۱۶۱	-۰/۱۴۸	۰/۱۵۲	-۲/۰۳۶	۰/۱۶۱	۰/۷۴۶	۰/۱۵۲	۰/۴۷۵	IDW-1
۰/۱۵۸	-۰/۰۶۸	۰/۱۴۵	-۲/۲۳۳	۰/۱۵۷	۱/۱۲	۰/۱۵۲	۰/۶۹۹	IDW-2
۰/۱۶۵	-۰/۰۲۳	۰/۱۴۹	-۲/۱۱۲	۰/۱۶۴	۱/۳۴۱	۰/۱۵۹	۰/۷۵۷	IDW-3

با توجه به مشخص شدن بهترین روش‌های درون‌یابی برای برآورد ویژگی‌های مورد مطالعه، شکل ۲ مقادیر متغیرهای اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر برآورد شده آن‌ها شامل CEC، کربن آلی، شن، رس، سیلت و فسفر به روش کریجینگ و پتاسیم و pH و EC به روش وزن دهی عکس فاصله با توان ۱ (IDW-1) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است به‌جز pH و پتاسیم در سایر موارد نقاط اندازه‌گیری شده و برآورد شده از پراکندگی نسبتاً قابل قبولی در اطراف خط یک‌به‌یک برخوردار بوده‌اند. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد pH و پتاسیم قابل استفاده در خاک دارای کلاس وابستگی مکانی قوی بودند و بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های ذاتی خاک بودند تا مدیریت، و این امر احتمالاً با آهکی بودن خاک‌های استان اصفهان و ماهیت رس‌ها در این مناطق ارتباط دارد. در مورد ویژگی‌های دیگر از قبیل EC، فسفر قابل استفاده، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی عوامل خارجی مانند عوامل مدیریتی، کود دهی و اقلیم تأثیرگذارتر بوده است.



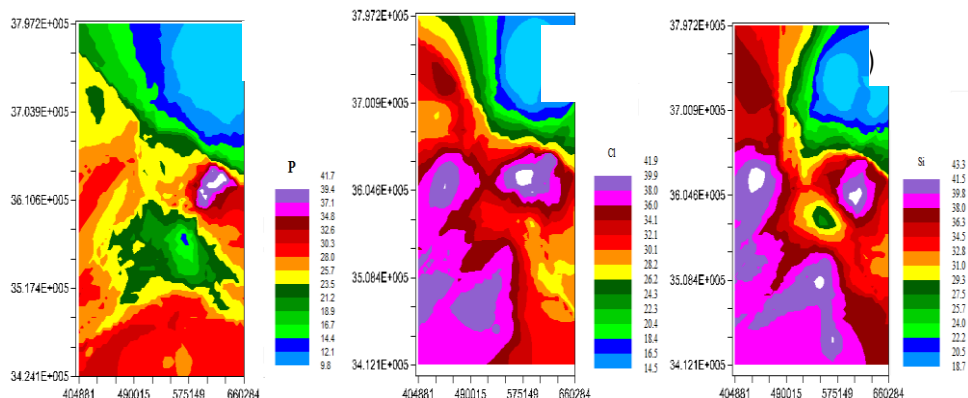
شکل ۲- مقادیر متغیرهای اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر برآورد شده آن‌ها با روش‌های مختلف درون‌یابی: CEC، کربن آلی، شن، رس، سیلت و فسفر به روش کریجینگ و پتاسیم و pH و EC به روش IDW-1

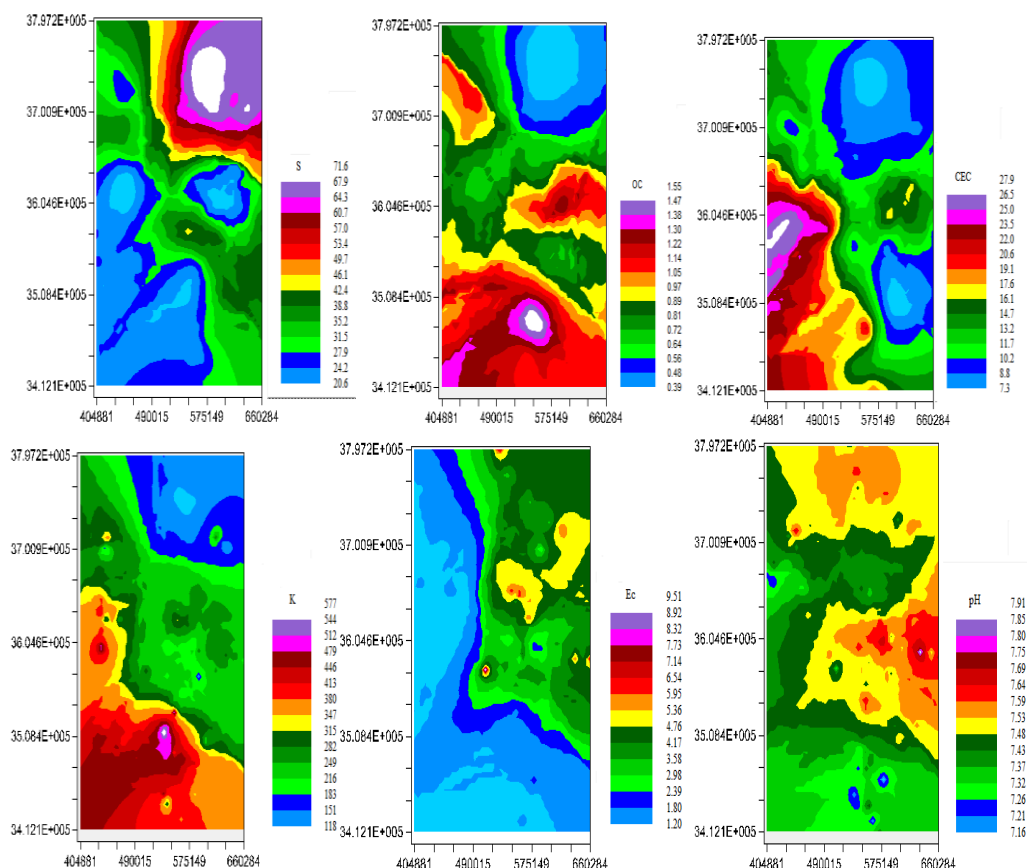
شکل ۳ نقشه پراکنش و در اصل پهنه‌بندی ویژگی‌های مورد مطالعه بر اساس بهترین روش درون‌یابی آن‌ها را نشان می‌دهد که شامل متغیرهای فسفر، رس، سیلت، شن، کربن آلی و CEC به روش کریجینگ (۶-۱) و متغیرهای پتاسیم، EC و pH به روش وزن دهی عکس فاصله با توان ۱ (IDW-1 (۶ و ۷) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ فسفر و پتاسیم قابل استفاده در خاک از سمت جنوب استان به سمت شمال و به‌ویژه شمال شرق، روند کاهشی را دنبال می‌کند. با توجه به شکل ۳ بیشترین مقادیر فسفر قابل استفاده خاک در جنوب استان مشاهده شد که مربوط به منطقه سمیرم بود. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده میانگین فسفر قابل استفاده اندازه‌گیری شده در این منطقه معادل ۳۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. همچنین کمترین مقدار فسفر قابل استفاده در قسمت شمال شرقی مشاهده شد که بر اساس نقشه استان در مناطق اردستان و تا حدودی آران و بیدگل واقع شده است. میانگین فسفر اندازه‌گیری شده در این مناطق در حدود ۱۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بوده است. بر اساس شکل ۲، پتاسیم قابل استفاده در خاک نیز تقریباً از همین روند پیروی نموده است. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده بیشترین میزان پتاسیم در منطقه سمیرم با میانگین ۵۰۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و کمترین میزان آن در شهرستان آران و بیدگل و با میانگین در حدود ۱۶۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. در مورد بافت خاک، روند تغییرات کمی

پیچیده‌تر از فسفر و پتاسیم بوده ولی در کل سبک‌ترین بافت خاک در قسمت شمال شرق و در مناطق اردستان و آران و بیدگل مشاهده شد.

کمترین مقادیر شوری خاک در قسمت‌های جنوبی و غربی استان بوده و بیشترین مقادیر شوری اندازه‌گیری شده در خاک در شمال شرق استان مشاهده می‌شود. این امر به دلیل وجود شن‌زارها و همچنین اقلیم خشک این منطقه و بارش بسیار کمتر نسبت به سایر مناطق استان است. اما با توجه به اینکه در غرب استان و به‌ویژه جنوب استان (سمیرم)، میزان بارش بیشتر بوده و نیز کیفیت آب چاه‌ها بهتر است، شوری خاک کمتر بوده است. مقادیر pH در کل از دامنه تغییرات بسیار وسیعی در استان برخوردار نبوده و همان‌طور که در جدول ذکر شد، در محدوده ۶/۹ تا ۸ متغیر بوده است، با این حال روند کلی تغییرات آن از سمت جنوب و غرب به سمت شمال و شرق افزایش داشته است. دلیل این امر بیشتر اقلیم مناطق و میزان بارش در مناطق موردنظر بوده است. 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 در قسمت شرق شهرستان اصفهان است که به احتمال زیاد به دلیل ماهیت آهکی بودن خاک این منطقه است. در رابطه با کربن آلی نیز بیشترین مقادیر کربن آلی در منطقه سمیرم (جنوب استان) اندازه‌گیری شد و میزان آن به سمت شمال شرق روند کاهشی داشته است (شکل ۳). 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 شرق و شمال شرق، اقلیم سردتر منطقه نیز به تجمع مواد آلی و کندتر شدن فرآیند تجزیه کمک کرده است. همچنین بر اساس شکل ۳، مناطقی از شمال غرب اصفهان نیز دارای مقادیر کربن آلی زیاد بوده است. با توجه به شکل ۳ دقیقاً در همین منطقه میزان فسفر قابل‌اندازه‌گیری در خاک هم زیادترین مقدار خود را داشته است. قبلاً در جدول ۲ مشاهده شد که همبستگی نسبتاً زیادی بین میزان ماده آلی و فسفر قابل استفاده خاک موجود است. این امر هم به دلیل وجود فسفر در ترکیبات آلی بوده و هم می‌تواند به دلیل تأثیر مثبت ترکیبات آلی بر فعالیت‌های بیولوژیکی در خاک و بهبود اسیدیته خاک به واسطه آزاد نمودن اسیدهای آلی در حین تجزیه باشد. کمتر شدن pH باعث حلالیت بیشتر ترکیبات فسفره در خاک از جمله فسفات‌های کلسیم شده و میزان فسفر قابل استفاده در خاک را افزایش می‌دهد.

مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی نیز از سمت جنوب و غرب به طرف شمال و شرق روند کاهشی دارد. یکی از نکات مهم در نقشه‌های تهیه‌شده وابستگی مکانی توأم بعضی از متغیرها با یکدیگر بوده و به‌عنوان مثال الگوی توزیع مکانی ظرفیت تبادل کاتیونی با درصد رس و ماده آلی تطابق دارد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی با درصد رس و ماده آلی همبستگی زیادی دارد و به همین دلیل روند تغییرات این پارامترها تقریباً در یک راستا بوده است. ضمن اینکه عوامل مدیریتی مانند کود دهی و نیز آبیاری هم به شدت بر روی عوامل مورد مطالعه تأثیرگذار است. این نتیجه با نتایج ارائه‌شده توسط Seyed Jalili et al. (2019) همخوانی دارد.





شکل ۳- نقشه پراکنش ویژگی‌های مورد مطالعه بر اساس بهترین روش درون‌یابی آن‌ها: فسفر، رس، سیلت، شن، کربن آلی و CEC کریچینگ (۶-۱)، پتاسیم، EC و pH روش IDW-1 (۷-۹)

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های استان اصفهان انجام شد. نتایج آنالیزهای آماری و زمین آماری حاصل از این پژوهش نشان داد که از بین ویژگی‌های مورد بررسی، پتاسیم، درصد شن و pH دارای همبستگی مکانی قوی و سایر ویژگی‌ها از همبستگی مکانی متوسطی در سطح منطقه برخوردار بودند. بر اساس منابع وابستگی مکانی قوی ممکن است به‌وسیله تغییرات ذاتی خاک و وابستگی مکانی ضعیف‌تر به‌وسیله تغییرات غیر ذاتی خاک (مدیریتی) کنترل شود. بنابراین پراکنش متغیرهای pH و پتاسیم به ماهیت آهکی خاک‌های اکثر مناطق اصفهان و نیز ماهیت رس‌ها در مناطق تحت مطالعه وابسته است. بهترین مدل ساختار مکانی برای متغیرهای فسفر، EC، CEC، درصد رس و سیلت مدل نمایی و برای پتاسیم، pH، درصد شن و کربن آلی مدل کروی بوده است. همچنین EC خاک کمترین شعاع تأثیر (۱۴/۸۶ کیلومتر) و pH بیشترین شعاع تأثیر (حدود ۷۱ کیلومتر) را داشتند. دامنه تأثیر زیاد این پارامتر نشان‌دهنده پایداری pH در خاک‌های مورد مطالعه است. به نظر می‌رسد از آنجایی که اکثر خاک‌های اصفهان آهکی بوده و pH موجود در این خاک‌ها عمدتاً در محدوده ۷ تا ۸ واقع شده است، این متغیر از تغییرپذیری زیادی برخوردار نیست. بر اساس نتایج، برای متغیرهای پتاسیم، pH و EC روش وزن دهی عکس فاصله با توان ۱ (IDW-1) و برای سایر متغیرها روش کریچینگ معمولی به‌عنوان بهترین روش‌های درون‌یابی شناخته شدند. چگونگی پراکنش ویژگی‌های مورد مطالعه و نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که وضعیت حاصلخیزی خاک در قسمت‌های جنوبی و غربی استان بهتر بوده و هر چه به سمت شمال و به‌ویژه شمال شرق میزان شوری خاک و درصد شن افزایش و میزان عناصر غذایی و کربن آلی خاک کاهش پیدا می‌کند. این امر علاوه بر عوامل مدیریتی از قبیل کود دهی و آبیاری و ... به دلیل اقلیم و میزان بارش بیشتر در مناطق جنوبی و غربی و نیز کیفیت بهتر آب آبیاری در این مناطق بوده است. در کل با توجه به نتایجی که حاصل گردید، مشخص شد که مدل‌سازی زمین‌آماري به‌خوبی می‌تواند تغییرات پیوسته پارامترهای خاک را به نمایش درآورد. با توجه به پژوهش‌های میدانی مشخص شد که تغییرات کیفی و کمی خاک در ارتباط با نوع مواد مادری، اقلیم و کاربری پایه بوده که این عوامل می‌تواند وسیله‌ای کارا برای طراحی شبکه‌های نمونه‌برداری و شناسایی نواحی مدیریتی در کشاورزی دقیق و نیز برای صرفه‌جویی



در مصرف نهاده‌های کشاورزی و حفظ محیط‌زیست باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- افضلی، علی؛ وروانی، جواد و جعفری نیا، رضا (۱۳۹۷). کاربرد تکنیک زمین آمار در پیش بینی تغییرات مکانی بافت خاک (مطالعه موردی: دشت فراهان استان مرکزی). فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۱۵(۵۸)، ۱۶-۱.
- پیری صحراگرد، حسین و پیری جمشید (۱۳۹۵). تحلیل ساختار مکانی برخی از خصوصیات خاک با استفاده از روش زمین‌آمار (مطالعه موردی: مراتع غرب تفتان، شهرستان خاش). نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۰(۲)، ۲۳۶-۲۲۴.
- جلالی، قباد؛ طهرانی، محمدمهدی؛ برومند، ناصر و سنجر، صالح. ۱۳۹۲. مقایسه روش‌های زمین آمار در تهیه نقشه پراکنش مکانی برخی عناصر غذایی در شرق استان مازندران. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۷(۲)، ۱۹۵-۲۰۴.
- حبشی، هاشم؛ حسینی، سیدمحسن؛ محمدی، جهانگرد و رحمانی، رامین (۱۳۸۶). کاربرد تکنیک زمین آمار در مطالعات خاک های مناطق جنگلی. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴، ۲۷-۱۸.
- دلبری، معصومه و جهانی، سمانه (۱۳۹۳). بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های شوری و سدیمی خاک‌های منطقه چات در استان گلستان، نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۸(۲)، ۴۴۶-۴۳۳.
- زارع چاهوکی، محمدعلی؛ زارع ارنانی، محمد؛ زارع چاهوکی، اصغر، خلاصی اهواری، لیلا (۱۳۸۹). کاربرد روش های آمار مکانی در مدل های پیش بینی رویشگاه گونه های گیاهی، خشک بوم، ۱۱(۱)، ۲۴-۱۳.
- شعبانی، حدیثه و دلاور، محمد امیر (۱۳۹۵). ارزیابی تغییرات مکانی عناصر غذایی پرمصرف در اراضی دانشگاه زنجان. نشریه زراعت، ۱۰، ۸۳-۷۵.
- فاتحی، شاهرخ (۱۳۹۱). تغییرپذیری مکانی کربن آلی، پتاسیم و فسفر قابل جذب در مزارع ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام آباد غرب، استان کرمانشاه. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی)، ۹۷، ۳۸-۲۹.
- فروغی فر، حامد؛ جعفرزاده، علی اصغر؛ ترابی گلسفیدی، حسین؛ علی اصغرزاد، ناصر؛ تومانیان، نورایر و داوتگر، ناصر (۱۳۹۰). تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی در شکل‌های اراضی مختلف دشت تبریز. نشریه دانش آب و خاک، ۲۱(۳)، ۲۱-۱.

REFERENCES

- Afzali, A., Varwani, V. & Jafarinia, R. (2018). Application of geostatistics technique in predicting spatial changes of soil texture (Case study: Farahan Plain, Central Province) Geographical Quarterly, 15(58), 1-16. (In Persian)
- Bogunovic, I., Paulo Pereira, P. & Brevik, C. (2017). Spatial distribution of soil chemical properties in an organic farm in Croatia. Science of the Total Environment, 584-58, 535-545.
- Brejda, J. I., Moorman, T. B., Karlen, D. L. & Dao, T. H. 2000. Identification of Regional Soil Quality Factors and Indicators. I. Central and Southern High Plains. Soil Science Society of America Journal, 64, 2115-2124.
- Cahn, M. D., Hummel J.W. & Brouer, B. H. (1994). Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. Soil Science Society of America Journal, 58, 1240-1248.
- Dalchiavon, F. C., Carvalho, M. P., Andreotti, M. & Montanari, R. (2012). Spatial variability of the fertility attributes of dystrophic red latosol under a no-tillage system. Journal of Revista Ciencia Agronomica. 43, 453-461.
- Delbari, M. & Jahani, S. (2014). Investigating the spatial changes of salinity and sodium characteristics of the soils of Chat region in Golestan province. Soil Research (Soil and Water Sciences), 28 (2), 433-446. (In Persian).
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F. & Konopka, A.E. (1994). Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 58, 1501-1511.
- Fatehi, Sh. 2011. Spatial variability of organic carbon, absorbable potassium and phosphorus in the fields of Islamabad West Agricultural Research Station, Kermanshah Province. Agronomy, 97,29-38. (In Persian).
- 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. Soil and water science, 21 (3), 1-21. (In Persian).
- Gotway, C. A., Ferguson, R. B., Herget, G. W. & Peterson, T. A. (1996). Comparison of kriging and Inverse-

- Distance methods for mapping soil parameters. *Soil Science Society of America Journal*, 60, 1237-1247.
- Habashi, H., Hoseini, M., Mohammadi, J. and Rahmani, R. 2007. Application of geostatistics technique in soil studies of forest areas. *Agricultural sciences and natural resources*, 14, 17-28. (In Persian).
- Isaaks, E.H. & Srivastava, R.M. (1989). An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. New York. P. 561.
- Jaiver, D., Sanchez, T., Gustavo, A., Ligarreto, M. & Fabio, R. L. (2011). Spatial variability of soil chemical properties and its effect on crop yield. A case study in maize (*zea mays L.*) on the Bogota plateau. *Journal of Agronomia colombiana*. 29, 265- 274.
- Jalali, Gh., Tehrani, M. M., Broumand, N. & Senjari, S. (2016). Comparison of geostatistical methods in preparing the spatial distribution map of some food elements in the east of Mazandaran province. *Soil Research Journal (Soil and Water Sciences)*, 27(2), 195-204. (In Persian)
- Jianbing, W., Boucher, A. & Zhang, T. (2008). A SGeMS code for pattern simulation of continuous and categorical variables: FILTERSIM. *Computers & Geosciences*, 4(12), 1863-1876.
- Jordán, M.M., Navarro-Pedreño, J., García – sánchez, E., Mateu, J. & Juan. P. (2004). Spatial dynamics of soil salinity under arid and semi-arid conditions: geological and environmental. *Environmental Geology*, 45, 448–456.
- Kilic, K. & Kilic, S. (2007). Spatial variability of salinity and alkalinity of a field having salination risk in semi –arid climate in northern Turkey. *Environmental Monitoring Assessment*, 127, 55–65.
- Klute, A. (1986). *Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. 2nd American Society of Agronomy, Agronomy Monographs 9(1), Madison, Wisconsin, 1188 pp
- Kravchenko, A. & Bullock, D.G. (1999). A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agronomy Journal*, 91, 393–400.
- Liu, R., Xu, F., Yu, W., Shi, J., Zhang, P. & Shen, Z. (2016). Analysis of field-scale spatial correlations and variations of soil nutrients using geostatistics. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*. 188 (2):1–10.
- Mulder, V.L., Lacoste, M., Richer-de-Forsges, A.C. & Arrouays, D. (2016). Global Soil Map.France: high resolution spatial modelling the soils of France up to two meter depth *Advances in Soil Science*, 573 (1), 1352–1369.
- Najafian, A., Dayani, M., Motaghian, H. & Nadian, H. (2012). Geostatistical assessment of the spatial distribution of some chemical properties in calcareous soils. *Journal of Integrative Agriculture*, 11, 1729-1737.
- Nourzadeh, M., Mahdian, M. H. & Malakouti, M. J. (2010). Investigation and prediction spatial variability in chemical of agricultural soil using geostatistics. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-15.
- Olsen, S. R. & Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. PP. 403-430. In: A. L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Agron. No. 9, Part 2, Chemical and microbiological properties*, 2nd ed., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 403-430.
- Page, A.L., R. H. Miller & M. Keeney. (1992). *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy. In Soil Science Society of America, Vol. 1159.
- Piri sahragard, H. & Zare Chahouki, M.A. (2015). An evaluation of predictive habitat models performance of plant species in Hoze soltan rangelands of Qom province. *Ecological Modelling*, 309, 310: 64-71.
- Piri Sahragord, H. & Piri, J. (2016). Analysis of the spatial structure of some soil properties using the geostatistical method (Case study: West Taftan pastures, Khash city). *Pasture Scientific Research Journal*, 10 (2), 224-236. (In Persian).
- Qiu, W., Curtin, D. & Beare, M. (2011). Spatial variability of available nutrients and soil carbon under arable cropping in Canterbury. The New Zealand Institute for plant and food research limited. 7 pp.
- Rhodes, J.D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. PP: 417 – 435. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*. SSSA Book Series No. 5. ASA, Madison, WI.
- Seyed Jalali, S.A.R., Sarmadian, F., Mohammad Esmailc, Z. & Navidia, V. (2019). Assessment of spatial variability of cation exchange capacity with kriging and cokriging. *Desert*, 24(1), 99-108.
- Shaabani, H. & Delavar, M. A. (2016). Evaluation of the spatial changes of highly consumed food elements in the lands of Zanjan University. *Journal of agriculture*, 110, 75-83. (In Persian)
- Sharma, B. D., Aggarwal, V. K., Mukhopadhyay, S. S. & Arora, H. (2002). Micronutrient distribution and their association whit soil properties in Entisol of Punjab, India. *Journal of Agricultural*, 7, 315-322.
- Utset, A., Lopez, T. & Diaz, M. (2000). A comparison of soil maps, kriging and a combined method for



- spatially prediction bulk density and field capacity of Ferralsols in the Havana-Matanaz Plain. *Geoderma*, 96, 199-213.
- Vieira, S.R. & Gonzalez, A. (2003). Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia*, 62, 127-138.
- Walkley, A.J. & Black, I.A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Wang, Y., Zhang, X. & Huang, C. (2009). Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 150, 141-149.
- Weindorf, D. C. & Zhu, Y. (2010). Spatial Variability of Soil Properties at Capulin Volcano, New Mexico. USA. *Journal of Soil Science Society of China*, 20, 185-197.
- Wollenhaupt, N. C., Wolkowski, R. P. & Clayton, M. K. (1994). Mapping soil test phosphorus and potassium for variable rate fertilizer application. *Journal of Production Agriculture*, 7, 441-448.
- Wu, W., Xiu, D. T. & Liu, H. B. (2008). Spatial variability of soil heavy metals in the three gorges area, Multivariate and Geostatistical analysis. *Journal of Environmental Monitoring Assessment*, 157, 63-71.
- Yong, J., Liang, W., Wen, D., Zhang, Y., & Chen, W. (2005). Spatial heterogeneity of DTPA-extractable zinc in cultivated soils induced by city pollution and land use. *Science in China Series C: Life Sciences*, 48(1), 82-91.
- Xing-Yi, Z., Yue-Yu', S., Xu Dong, Z., Kai, M. & Herbert, S.J. (2007). Spatial Variability of Nutrient Properties in Black Soil of Northeast China. *Pedosphere*, 17(1), 19-29.
- Zare Chahouki, M.A., Zare Ernani, M., Zare Chahouki, A. & Khalasi Ahvazi, L. (2010). Application of spatial statistical methods in predictive models of plant species habitat. *Journal of Arid Biom Scientific and Research*, 1(1), 13-24. (In Persian)
- Zhang, X., Lin, F., Jiang, Y., Wang, K., & Feng, X. L. (2009). Variability of total and available copper concentrations in relation to land use and soil properties in Yangtze River Delta of China. *Environmental monitoring and assessment*, 155(1), 205-213.

Spatial distribution of some soil physico-chemical properties in agricultural soils of Isfahan province

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Knowing about the spatial dependence of different soil characteristics in farms is important to achieve more production and better management. Soil pH, Electrical Conductivity (EC), organic matter, available phosphorus, potassium, Cation Exchange Capacity (CEC), and soil structure are some of the most important indicators of soil fertility. These soil parameters are highly variable in space and time, especially in agricultural areas, with implications for crop production. The aim of this study was to evaluate the spatial variability and frequency distribution of some physical and chemical properties, including pH, EC, organic carbon, soil available phosphorus and potassium, texture and cation exchange capacity.

Methods

The study was conducted on 118 soil samples, in agricultural lands of different regions of Isfahan province in 2016. The spatial correlation of each variable with a specific semi-variable and the best fitting model for each variable were selected using GS+ version 9 software. Interpolation was done using normal Kriging, Cokriging, and Inverse Distance Weighting with powers of 1 to 3 methods. The accuracy of the distribution maps of these variables were evaluated by the Mean bias error (MBE) and the root mean square error (RMSE).

Results and Discussion

The results of the geostatistical analysis showed that potassium, sand percentage and pH had strong spatial dependent and the other characteristics had moderate spatial dependent. The strong spatial dependence due to the effect of intrinsic factors such as parent material, relief and soil types. The moderate spatial dependence could result from variation in environmental factors such as flood water, irrigation, fertilizer addition, high water table level or agriculture practices and different agricultural managements. The exponential model was the most accurate to predict phosphorus, EC, CEC, clay and silt variables while potassium, pH, sand and organic carbon percentage were best fitted with an spherical model. Also, EC had the smallest effective range (14.86 km) and pH had the largest effective range (around 71 km). For potassium, pH and EC variables, the Inverse Distance Weighting with the power of 1 (IDW-1), RMSE equal to 0.171, 0.152, and 0.171 respectively, and for organic carbon, Phosphorus, texture and CEC, RMSE equal to 0.11, 0.199, 0.155, and 0.156, respectively, the normal kriging method were recognized as the best interpolation methods. Spatial distribution maps according to the most accurate techniques showed that the greatest soil salinity and the sand percentage were measured in north and especially the northeast parts (in the cities of Ardestan and Aran and Bidgol in Isfahan province), also the amount of nutrient elements and soil organic carbon reduced in these areas. The soil fertility was better in the southern and western parts of the province. In addition to management factors such as fertilization and irrigation, this is due to the climate and more rainfall in these areas, as well as the higher quality of irrigation water in these areas. In general, according to the obtained results, it was found that the geostatistical modeling can show continuous changes of soil parameters with acceptable accuracy.

Keywords: GS+ software, Nutrient elements, Semi-variable, Spatial distribution.