دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست‌ودوم، شماره‌ی ۸۰
زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۱۴۹-۱۳۵

DOI:10.52547/GeoSpa.22.4.135

نوشین شاهین زاده[۱و۲]
*کامران محسنی‌فر[۲]
تیمور بابایی نژاد[۳]
نوید قنواتی[٤]

بررسی کارایی روش‌های زمین‌آماری در پایش و پهنه‌بندی تغییرات مکانی برخی خصوصیات شیمیایی خاک

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۸/۰٤

چکیده

پراکنش خصوصیات شیمیایی خاک و میزان تغییرات آن‌ها، از عواملی هستند که در تولید پایدار، اهمیت ویژه‌ای دارند. روش‌های اندازه‌گیری این ویژگی‌ها که عمدتا از طریق آزمون خاک امکان‌پذیر می‌باشد، آن هم در سطحی وسیع، بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. یکی از روش‌هایی که به منظور پایش وضعیت این ویژگی‌ها و نیز کاهش هزینه‌های نمونه‌برداری در سطح وسیع استفاده می‌شود، درون‌یابی است. درون‌یابی روش‌های متعددی دارد که هر روش در شرایطی خاص دقت متفاوتی دارد. در این تحقیق دقت سه روش معمول درون‌یابی به منظور درون‌یابی برخی فاکتورهای شیمیایی خاک‌های اراضی کشاورزی استان خوزستان بررسی شده‌اند. متغیرهای مورد نظر در این تحقیق شامل نیتروژن کل (TN)، پتاسیم قابل جذب (AK)، فسفر قابل جذب (AP)، کربنات کلسیم (CaCO3)، درصد کربن آلی (OC)، هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) می‌باشند که در ۲۷۰ نمونه خاک اندازه‌گیری شدند. روش‌های میان‌یابی به‌کار رفته نیز شامل کریجینگ معمولی (OK)، میانگین متحرک وزن‌دار (IDW) و توابع شعاعی (RBF) بوده است. برای انتخاب روش مناسب، از معیارهای آماری دقت (MAE)، انحراف (MBE) و مجذور میانگین خطا (RMSE) استفاده شد. بررسی نتایج واریوگرافی نشان داد که ساختار مکانی (نسبت همبستگی) فسفر (۰/۲٤۳) و پتاسیم (۰/۱۵۹) قابل جذب، قوی، نیتروژن کل ضعیف (خطای اندازه‌گیری ۰/۸۱٦) و بقیه پارامترها

۱- گروه خاکشناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی،اهواز، ایران. اهواز، ایران.
*۲- گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. (نویسنده مسئول). E-Mail: mohsenifar@live.com
۳- گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
٤- گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ساختار مکانی متوسطی داشتند. بر اساس نتایج این جدول می‌توان روش کریجینگ معمولی با مدل نمایی را بهترین و دقیق‌ترین روش (MAE=۰/۰۷۱۵ و RMSE=۰/۰۸۹۰ و MBE=-۰/۰۰۰۶ و R2=۰/۹۱۲) برای درون‌یابی نیتروژن کل دانست. این در حالی‌است که بهترین روش برای درون‌یابی کربن آلی، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، کربنات کلسیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک به ترتیب RBF، کرجینگ معمولی (با مدل کروی)، کرجینگ معمولی (با مدل کروی)، RBF، کرجینگ معمولی (با مدل نمایی) و RBF بوده است. نتایج نشان داد که روش IDW روش مناسبی برای درون‌یابی هیچکدام از پارامترها نبود. از نقشه‌های تهیه شده به وضوح می‌توان عدم یکنواختی کوددهی‌ها را مشاهده نمود به نحوی که میزان فسفر قابل جذب در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه بیش‌تر ولی میزان پتاسیم قابل جذب در بخش‌های شمالی و مرکزی منطقه مورد مطالعه بیش‌تر بوده است. در حالی که در بخش شرقی و غربی منطقه مورد مطالعه و در جاهایی که میزان pH بالای ۷/۷ است، میزان کربنات کلسیم خاک‌ها در بالاترین حد خود یعنی ٤٦ الی ٤٩ درصد می‌باشد. تهیه نقشه‌های با دقت مناسب به وسیله روش‌های زمین‌آماری برای پارامترهایی که وابستگی مکانی خوبی دارند، روشی مناسب برای پایش و مدیریت اراضی در سطح کلان می‌باشد.

کلید واژه‌ها: پراکنش مکانی، پهنه‌بندی، خصوصیات شیمیایی خاک، درون‌یابی، زمین آمار.

مقدمه

بررسی پراکنش مکانی خصوصیات شیمیایی خاک‌ها، در اراضی کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. بررسی این خصوصیات در مباحث کشاورزی دقیق و مسائل مربوط به مدیریت و برنامه‌ریزی کلان در کشاورزی اهمیت به‌سزایی دارد (Quine and Zhang, 2002). تغییرپذیری خصوصیات خاک‌ها در مقیاس‌های مختلف، فرآیندی کاملا طبیعی است (Lamsal et al., 2009) و بررسی کمی این تغییرات به منظور مدیریت کودی و تغذیه‌ای، کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی (Bosun and Qiguo, 2003; Yemefack et al., 2005)، بالا بردن بازده تولیدات کشاورزی و نیل به کشاورزی پایدار، امری ضروری است (Yamagishi et al., 2003). به منظور مدیریت بهینه تغذیه خاک نیاز به دانستن این خصوصیات می‌باشد، لیکن از آن‌جا که اندازه‌گیری این ویژگی‌ها در آزمایشگاه و آن هم برای یک سطح وسیع، بسیار هزینه‌بر است، نیاز به برآورد توزیع مکانی آن‌ها می‌باشد (Panagopoulos et al., 200). یکی از مهم‌ترین ابزارها به منظور پیش‌بینی مکانی خصوصیات خاک‌های کشاورزی، زمین‌آمار (Geostatistic) است (Robinson and Metternicht, 2006). در این راستا درگذشته تحقیقات نسبتا خوبی انجام گرفته است. Jafarinia and Akbarinia (2014) تغییرات مکانی چند ویژگی آب و خاک را بررسی نمودند و نهایتا مشخص شد روش کریجینگ بهترین نتیجه را برای درون‌یابی و تهیه نقشه در این خصوص داشته است. Nourzadeh Haddad and Bybordi (2014) به منظور مدیریت عناصر ریزمغذی در سطح وسیع از روش‌های زمین‌آماری استفاده نمودند و اذعان داشتند که مدل‌های کروی و نمایی بهترین نتایج را برای برازش تغییرنمای عناصر مورد بررسی ارائه نمودند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

Bai et al (2018) با استفاده از تکنیک زمین‌آمار کیفیت آب‌های زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که پارامترهای سختی کل، منیزیم، کلسیم و اسیدیته با استفاده از روش تخمین‌گر توابع شعاعی و پارامتر سدیم با استفاده از روش عکس فاصله و پارامتر کل مواد جامد محلول با استفاده از کریجینگ نمایی و نیترات با استفاده از کریجینگ معمولی کم ترین مقدار ریشه دوم میانگین مربع خطا را داشته است. Gholami et al (2020) با بررسی خصوصیات خاک در اراضی شرق کارون به این نتیجه رسیدند که برای ترسیم واریوگرام‌های کریجینگ پارامترهای شن، سیلت، رس، کربنات کلسیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، نسبت جذب سدیم، مدل گوسی، برای کربن آلی، مدل نمایی، برای نیترون کل و فسفر قابل جذب، مدل کروی مناسب بوده است. Wang et al (2019) با استفاده از زمین‌آمار توزیع اندازه ذرات را در خاک‌های معدنی بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که این روش می‌تواند برآورد خوبی از توزیع اندازه ذرات در تمامی انواع خاک‌هایی که نمونه‌های کمی در آن‌ها مورد آزمایش قرار گرفته، داشته باشد لذا این مطالعه با هدف ارزیابی دقت سه روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی[5]، وزندهی معکوس فاصله[6] و توابع شعاعی[7]، به منظور تعیین توزیع مکانی و پهنه‌بندی برخی خصوصیات شیمیایی خاک در استان خوزستان انجام گردیده است. این خصوصیات شامل نیتروژن کل (TN)، پتاسیم قابل جذب (AK)، فسفر قابل جذب (AP)، کربنات کلسیم (CaCO3)، درصد کربن آلی (OC)، هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) بوده است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد نظر در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲ دقیقه و ٥٦ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۱٥ دقیقه و ٦ ثانیه عرض شمالی و ٤٨ درجه ٣٤ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ٤٨ درجه و ٤٥ دقیقه و ۲ ثانیه طول شرقی قرار دارد و وسعت آن ۲۳۸۰٤/۸٦ هکتار می‌باشد. این اراضی شامل اراضی کشاورزی بوده که با نمونه برداری تصادفی و مطالعات صحرایی ۲۷۰ نمونه خاک مرکب تهیه و فاکتورهای مورد نظر در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای تهیه هر نمونه مرکب، چهار نمونه ۱۰۰۰ گرمی تهیه و از ترکیب آنها یک نمونه ۱۰۰۰ گرمی تهیه شد. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه‌برداری شده را نمایش می‌دهد.

خصوصیات شیمیایی مورد نظر

خصوصیات شیمیایی مورد نظر در این تحقیق شامل خصوصیات شامل نیتروژن کل (TN)، پتاسیم قابل جذب (AK)،فسفر قابل جذب (AP)، کربنات کلسیم (CaCO3)، درصد کربن آلی (OC)، هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) بوده است. علاوه بر EC و pH که دو فاکتور مهم و تاثیرگذارند بر عملکرد گیاه هستند، نیتروژن، فسفر و پتاسیم از مهم‌ترین عناصر ضروری پرمصرف برای رشد گیاه به‌شمار می‌روند (Xing et al., 2007). این

5- Ordinary Kriging
6- Inverse Distance Weighted
7- Radials Basic Functions

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

خصوصیات به عنوان متغیرهای مستقل لحاظ و در نقاط نمونه‌برداری شده اندازه‌گیری شدند. همچنین به منظور بررسی بیش‌تر خصوصیات خاک‌های مدنظر، درصد مواد آلی و آهک نیز اندازه‌گیری شد. دراین راستا پتانسیل قابل تبادل به روش فلیم فتومتری، نیتروژن کل با روش کجلدال، درصد کربن آلی با روش و الکی–بلک، فسفر قابل جذب با روش اولسون و آهک با روش تیتراسیون در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از روش‌های زمین‌آماری انتخاب شده، خصوصیات یادشده برای تمام سطح منطقه موردمطالعه درون‌یابی شده‌اند.

آنالیزهای آماری و زمین‌آماری

نیم‌تغییرنما اساسی‌ترین مبحث در زمین‌آمار است که برای توصیف ارتباط مکانی یک متغیر به‌کار می‌رود. نیم‌تغییرنما، کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را بر حسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله آن نشان می‌دهد (Goovaerts, 2000):

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

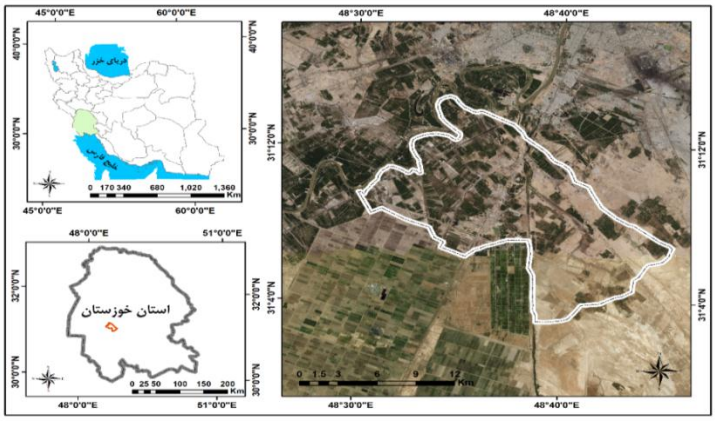
که در آن: N (h)، تعداد جفت نمونه‌های به‌کار رفته در محاسبه γ (h) که در فاصله h از هم قرار دارند، Z (xi)، مقدار مشاهده شده، Z (xi+h)، مقدار مشاهده شده که به فاصله h از Z (xi) قرار دارد. در یک شبکه منظم، فاصله مورد نظر برای محاسبه نیم‌تغییرنما، فاصله بین نمونه‌ها می‌باشد. چهار مدلی که در این تحقیق برای تعیین بهترین مدل تئوری نیم‌تغییرنما بررسی شد شامل کروی[8]، نمائی[9]، دایره‌ای[10] و گوسی[11] می‌باشد. روش‌های زمین‌آماری که در این تحقیق مدنظر قرار گرفت شامل میانگین متحرک وزندار، توابع شعاعی، کریجینگ معمولی بود. روش میانگین متحرک وزن‌دار روشی ساده برای تخمین داده‌ها است. در این روش، برای برآورد یک متغیر در یک نقطه مشخص، به داده‌های معلوم اطراف، وزن‌های مختلفی که متناسب با عکس فاصله آن‌ها تا داده مجهول است، لحاظ می‌گردد. معادله زیر چگونگی برآورد متغیر مجهول را نشان می‌دهد (Robinson and Metternicht, 2005):

رابطه (۲)
$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Z_i}{d_i^{\alpha}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^{\alpha}}}$$

که در آن:*Z، مقدار برآورد شده، Z_i، مقدار متغیر مشاهده شده در اطراف نقطه مورد نظر، di، فاصله بین نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین، α، توان معادله است که می تواند صحیح و یا غیر صحیح باشد و n، تعداد نقاط مشاهده شده می‌باشد. در این روش، به نقاط نزدیک‌تر وزن بیش‌تری داده می‌شود. در واقع هر چه مقدار مشاهده شده به نقطه مجهول نزدیک‌تر باشد، نقش بیش‌تری در برآورد ایفا می‌کند.

8- Spherical
9- Exponential
10- Circular
11- Gaussian

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه‌برداری شده

Figure 1: Map of the study area and sampling point distribution

اساس درون‌یابی با توابع شعاعی در واقع، در حداقل بودن مقدار انحنا است که تحت شرایط ۱) سطح منحنی باید دقیقا از درون نقاط مورد نظر بگذرد و ۲) مجموع مربعات خطا برای تمامی نقاطی که منحنی از آن‌ها گذشته، حداقل باشد، شرط آن هم این است که خطای درون‌یابی برای هر یک از این نقاط حداقل باشد، به‌دست می‌آید. یعنی فاصله خط منحنی تا نقاط در کم ترین مقدارش باشد. در این تحقیق از روش کششی استفاده شد که از رابطه زیر به‌دست می‌آید (Taboada et al., 2008):

رابطه (۳) $$R(r) = \frac{1}{2\pi\varphi^2}\left[\ln\left(\frac{r\varphi}{2}\right) + c + k_0(r\varphi)\right]$$

که در آن: φ^2، پارامتری که خط منحنی از آن می‌گذرد، r ، فاصله بین نقطه و نمونه، k_0، تابع Bessel تغییرداده شده و C مقدار ثابت(۰/۵۷۷۲۱۵) می‌باشد.

کریجینگ به عنوان تابعی خطی از مجموع مشاهدات واقع در همسایگی نقطه مورد تخمین، می‌باشد. کریجینگ یک تخمینگر خطی نااریب با کم ترین واریانس به صورت زیر است:

رابطه (٤) $$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i . z(x_i)$$

که در آن: Z*(Xi)، مقدار تخمینی متغیر، λi، وزن نمونه iام، n، تعداد مشاهدات و Z(Xi)، مقدار مشاهده شده متغیر می‌باشد. یکی از روش‌هایی که به طور معمول برای ارزیابی دقت روش‌های زمین‌آماری به‌کار می‌رود، ارزیابی متقابل[۱۲] است. در این روش، یکی از داده‌ها حذف و از داده‌های باقی‌مانده برای برآورد مقدار داده‌های حذف شده، استفاده می‌شود. بر اساس روش ارزیابی متقابل در این تحقیق از معیار دقت[۱۳]، معیار انحراف MBE[۱٤] و مجذور میانگین خطا (RMSE[۱٥]) استفاده شد. روابط این شاخص‌ها به صورت زیر است (Mohamadzamani et al 2007):

12- Cross-Validation
13- Mean Absolute Error
14- Mean Bias Error
15- Root mean square error

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رابطه (٦)
$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|z^*(x_i) - z(x_i)|$$

رابطه (۷)
$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(z^*(x_i) - z(x_i))$$

رابطه (۸)
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\{z(x_i) - z'(x_i)\}^2}$$

که در آن‌ها: Z*(xi)، مقدار تخمین زده شده برای نقطه xi ، Z (xi)، مقدار مشاهده شده برای نقطه xi وN=n، تعداد داده‌ها می‌باشند. به منظور بررسی داده‌ها از نظر آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. همچنین برای بررسی ساختار مکانی داده‌های اندازه‌گیری شده، واریوگرام همه‌جهته مربوط به متغیرها با استفاده از نرم‌افزار +GS ترسیم شد.

بحث و یافته ها

با توجه به چولگی و کشیدگی این داده‌ها، مشخص شد که داده‌های مورد نظر دارای توزیع نرمال نیستند. به منظور نرمال‌سازی داده‌های مورد نظر، بعد از حذف داده‌های پرت از لگاریتم‌گیری و روش کاکس–باکس استفاده شد. ویژگی‌های آماری داده‌ها پس از نرمال شدن در جدول (۱) آمده است. همچنین دو تست نرمالیتی کولموگروف–اسمیرونوف و شاپیرو–ویلک روی داده‌ها انجام که نتایج آن حاکی از نرمال شدن داده‌ها در اثر لگاریتم‌گیری بود. همچنین واریوگرام مربوط به هر متغیر در شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- خلاصه آماری داده‌های مورد استفاده

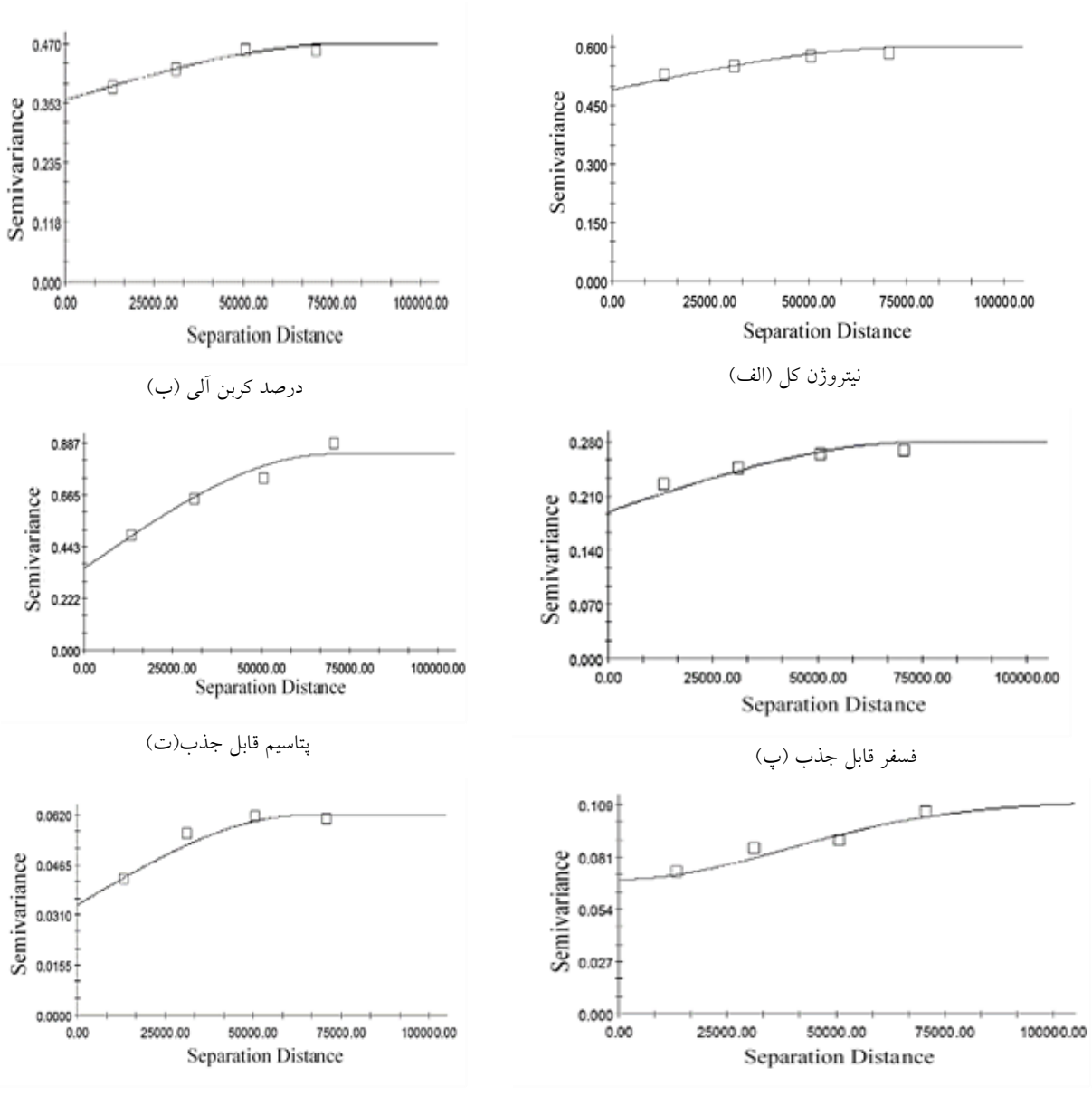
Table 1- Statistical summary of the data used

ویژگی	واحد	میانگین	میانه	واریانس	چولگی	کشیدگی	دامنه	ضریب تغییرات (٪)	کمینه	بیشینه
نیتروژن کل	%	۰/۳۷	۰/۳۳	۱۰/٦۵	۰/۱۱	−۱/۳۰	۰/۵۵	۲٦/۵۷	۰/۲۵	۰/۸۰
درصد کربن آلی	%	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۰۲	۰/۲۲	−۰/۵۸	۰/۷۲	۱٤/۷۳	۰/۲۲	۰/۹۰
فسفرقابل جذب	$Mg\ kg^{-}_{1}$	۸/۸۹	۸/۷۸	۰/۰۹	۰/۰٤	−۱/۰٦	٦/۲۰	۱۵/۵٤	۵/۹۰	۱۲/۱۰
پتاسیم قابل جذب	$Mg\ kg^{-}_{1}$	۲۰۹	۱۸۷	۱/٤۰	−۰/۹۸	۱/۳۲	۲۸۳	۱۲/٤۹	۱۱۲	۳۹۵
کربنات کلسیم	%	٤۷	٤۸	۱/۵۰	−۰/۲۱	۱/۰۲	۹	۲/٤۲	٤۲	۵۱
پی اچ	-	۷/٦۵	۷/۸۲	۱/۲۳	۰/۷۳	−۰/۳۲	۰/۹۲	۱/۸۵	۷/۳۰	۸/۲
هدایت الکتریکی	$Ds\ m^{-1}$	۷۱/۳۵	۸۹	۲۰۳/۹۷	۰/٤۷	۰/۳۳	۷۷/۱۲	۵۷/٤۷	٤۲	۱۲۹/۱۲

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۱) میزان نیتروژن کل در منطقه مورد مطالعه از ۰/۲۵ درصد تا ۰/۸۰ درصد متغیر بوده است و ضریب تغییرات نسبتا بالایی (۲٦/۵۷) داشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میزان پراکندگی داده‌ها در سطح منطقه نسبتا زیاد بوده است. این موضوع برای EC روندی شدیدتر داشته است و دامنه تغییرات هدایت الکتریکی از ٤۲ تا ۱۲۹ دسی زیمنس بر متر و ضریب تغییرات بیش از ۵۷ درصد گزارش شده

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

است. همچنین درصد کربن آلی در تمامی سطح منطقه مورد مطالعه بین ۰/۲۲ تا ۰/۹۰ درصد بوده است. با توجه به نوع کاربری منطقه مورد مطالعه ضریب تغییرات نسبتا مشابه برای پتاسیم قابل جذب (۱۲/٤۹)، فسفر قابل جذب (۱۵/٥٤) و درصد کربن آلی (۱٤/۷۳) منطقی به‌نظر می‌رسد. میزان اسیدیته و درصد کربنات کلسیم با ضریب پراکندگی به‌ترتیب با ۱/۸۵ و ۲/٤۲ درصد، کم‌ترین میزان پراکندگی داده‌ها را در سطح منطقه مورد مطالعه داشتند.



نیتروژن کل (الف)

درصد کربن آلی (ب)

فسفر قابل جذب (پ)

پتاسیم قابل جذب(ت)

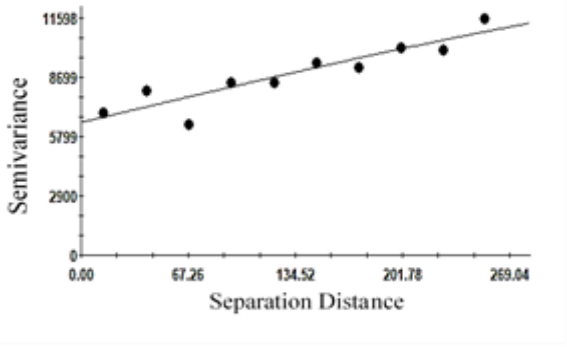
درصد کربنات کلسیم (ث)

اسیدیته (ج)

شکل ۲: واریوگرام ویژگی‌های خاک

Figure2: Variogeram of soil properties

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



ادامه شکل ۱: واریوگرام ویژگی‌های خاک

Continue of Figure 2: Variogeram of soil properties

جدول ۱- مشخصه‌های واریوگرام‌ها و مدل‌های برازش‌شده آن‌ها

Table 2- the characteristic of variogerams and fitted models

نوع ویژگی	مدل	شعاع تاثیر (Km)	آستانه (C_0+C)	اثر قطعه‌ای (C_0)	$\frac{C}{C_0+C}$	R^2	RSS[16]	خطای اندازه‌گیری[17]	نسبت همبستگی
(mg Kg^{-1}) TN	کروی	۷۸	۰/۶۰۰	۰/۴۹۰	۰/۱۸۳	۰/۹۹۴	۰/۰۰۰۲	۰/۸۱۶	ضعیف
(%)OC	کروی	۷۹	۰/۵۷۰	۰/۳۵۹	۰/۳۷۰	۰/۹۶۳	۰/۰۰۰۱	۰/۶۲۹	متوسط
(mg Kg^{-1}) AP	کروی	۷۵	۰/۷۸۰	۰/۱۹۰	۰/۷۵۶	۰/۹۹۴	۰/۰۰۰	۰/۲۴۳	قوی
(mg Kg^{-1}) AK	کروی	۷۰	۰/۹۴۰	۰/۱۵۰	۰/۸۴۰	۰/۹۴۳	۰/۰۰۰۴	۰/۱۵۹	قوی
$CaCO_3$	کروی	۵۵	۰/۰۶۲	۰/۰۳۴	۰/۴۵۲	۰/۹۴۹	۰/۰۰۰	۰/۵۴۸	متوسط
pH	گوسی	۶۵	۰/۱۱۰	۰/۰۷۰	۰/۳۶۴	۰/۹۴۱	۰/۰۰۰۴	۰/۳۶۶	متوسط
(dSm^{-1}) EC	کروی	۶۶	۰/۰۹۸	۰/۰۵۰	۰/۴۸۹	۰/۹۸۲	۰/۰۰۰۳	۰/۵۱۰	متوسط

دامنه تاثیر در جدول (۲) در واقع میانگینی از دو قطر یک بیضی مفروض در اطراف نقطه نمونه‌برداری شده می‌باشد. همان‌طور که از نتایج واریوگرافی مشخص است، دامنه تاثیر برای نیتروژن کل، درصد کربن آلی، فسفر قابل جذب، درصد کربنات کلسیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی به ترتیب ۷۸، ۷۹، ۷۵، ۷۰، ۵۵، ۶۵ و ۶۶ کیلومتر بوده است. خطای اندازه‌گیری که در واقع نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه واریوگرام است، نشان‌دهنده میزان ساختار مکانی پارامتر مورد نظر است. بر این اساس اگر این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، ساختار مکانی قوی، بین ۰/۷۵-۰/۲۵ ساختار مکانی متوسط و اگر بیش از ۰/۷۵ باشد، ساختار مکانی ضعیف تلقی می‌گردد (۱۷). براساس این طبقه‌بندی، ساختار مکانی (نسبت همبستگی) فسفر (۰/۲۴۳) و پتاسیم (۰/۱۵۹) قابل جذب، قوی، نیتروژن کل ضعیف (خطای اندازه-گیری ۰/۸۱۶) و بقیه پارامترها ساختار مکانی متوسطی داشتند. بر اساس نتایج این جدول، بهترین مدل‌های برازش شده برای نیتروژن کل، درصد کربن آلی، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، درصد کربنات کلسیم و هدایت الکتریکی مدل کروی و برای اسیدیته خاک مدل گوسی بوده است.

16- Root standard squre error
17- Nugget Effect/Sill

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۲- نتایج ارزیابی دقت روش‌های زمین‌آماری برای ویژگی‌های خاک

Table 3- The results of precision evaluation of interpolation method for soil properties

	روش	الگو - تابع	نتایج ارزیابی متقابل			
			MBE	MAE	RMSE	R2
TN	OK	خطی	-۰/۰۰۰۶	۰/۰۷۱۶	۰/۰۸۹۰	۰/۸۷۹
		کروی	-۰/۰۰۰۸	۰/۰۷۱۹	۰/۰۸۹۲	۰/۸۹۹
		نمایی	-۰/۰۰۰۶	۰/۰۷۱۵	۰/۰۸۹۷	۰/۹۱۲
		گوسین	-۰/۰۰۰۶	۰/۰۷۱۷	۰/۰۸۹۹	۰/۸۷۹
	IDW		-۰/۰۰۰٤	۰/۰۷٦۲	۰/۰۹٦٤	۰/۸۹۲
	RBF		-۰/۰۰۰۷	۰/۰۷۳۱	۰/۰۹۱۵	۰/۸۸۳
OC	روش	الگو - تابع	نتایج ارزیابی متقابل			
			MBE	MAE	RMSE	R2
	OK	خطی	۰/۰۰۳۰	۰/۱۵۵	۰/۱۸۸٦	۰/۸۹۰
		کروی	۰/۰۰۳۳	۰/۱۵٤۸	۰/۱۸۸۳	۰/۸۱۲
		نمایی	۰/۰۰۳۳	۰/۱۵٤۹	۰/۱۸۸۸	۰/۸۷۲
		گوسین	۰/۰۰۱۰	۰/۱۵۳۳	۰/۱۸۸۹	۰/۸۹۲
	IDW		۰/۰۰۰۳	۰/۱٦۳٤	۰/۲۰۰۹	۰/۸۷۹
	RBF		۰/۰۰۰۹	۰/۱۲۵۰	۰/۱٦۸۹	۰/۹۸۵
AP	روش	الگو - تابع	نتایج ارزیابی متقابل			
			MBE	MAE	RMSE	R2
	OK	خطی	-۰/۰۱۰	۱/۷٤٤	۹/۹۲۵	۰/۳۸
		کروی	-۰/۰۰۹	۱/٦۳۰	۹/۰۲۰	۰/۹۵
		نمایی	-۰/۰۰۳	۱/۷٤۰	۹/٦۱۳	۰/٦۲
		گوسین	-۰/۰۱۲	۱/۷۱۲	۹/٦۰۵	۰/۷۹
	IDW		-۰/۰۰٦	۱/۸۳۲	۹/۱۱	۰/۸٤
	RBF		-۰/۰۰۳	۱/۸۰۰	۹۲/٦۳	۰/۳۵٤
AK	روش	الگو - تابع	نتایج ارزیابی متقابل			
			MBE	MAE	RMSE	R2
	OK	خطی	-۰/۰۰۳	۱/۷٤٤	۲/۱۲۹	۰/۸٤٤
		کروی	-۰/۰۰٦	۱/٦٤۰	۲/۰۵۸	۰/۹۳۲
		نمایی	-۰/۰۱۲	۱/۷۳۰	۲/۱۳۰	۰/۸۳۷
		گوسین	-۰/۰۰۳	۱/۷۱۲	۲/۱۳۰	۰/۸۵٤
	IDW		-۰/۰۰۳	۱/۷٤٤	۲/۲۷۰	۰/٤۸
	RBF		-۰/۰۰۳	۱/۷۳۲	۲/۱٦۸	۰/٦۵
$CaCo_3$	روش	الگو - تابع	نتایج ارزیابی متقابل			
	OK		MBE	MAE	RMSE	R2
		خطی	-۰/۰۱۳	۱/۳٤۸	۱/٦۳۱	۰/۲۵

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

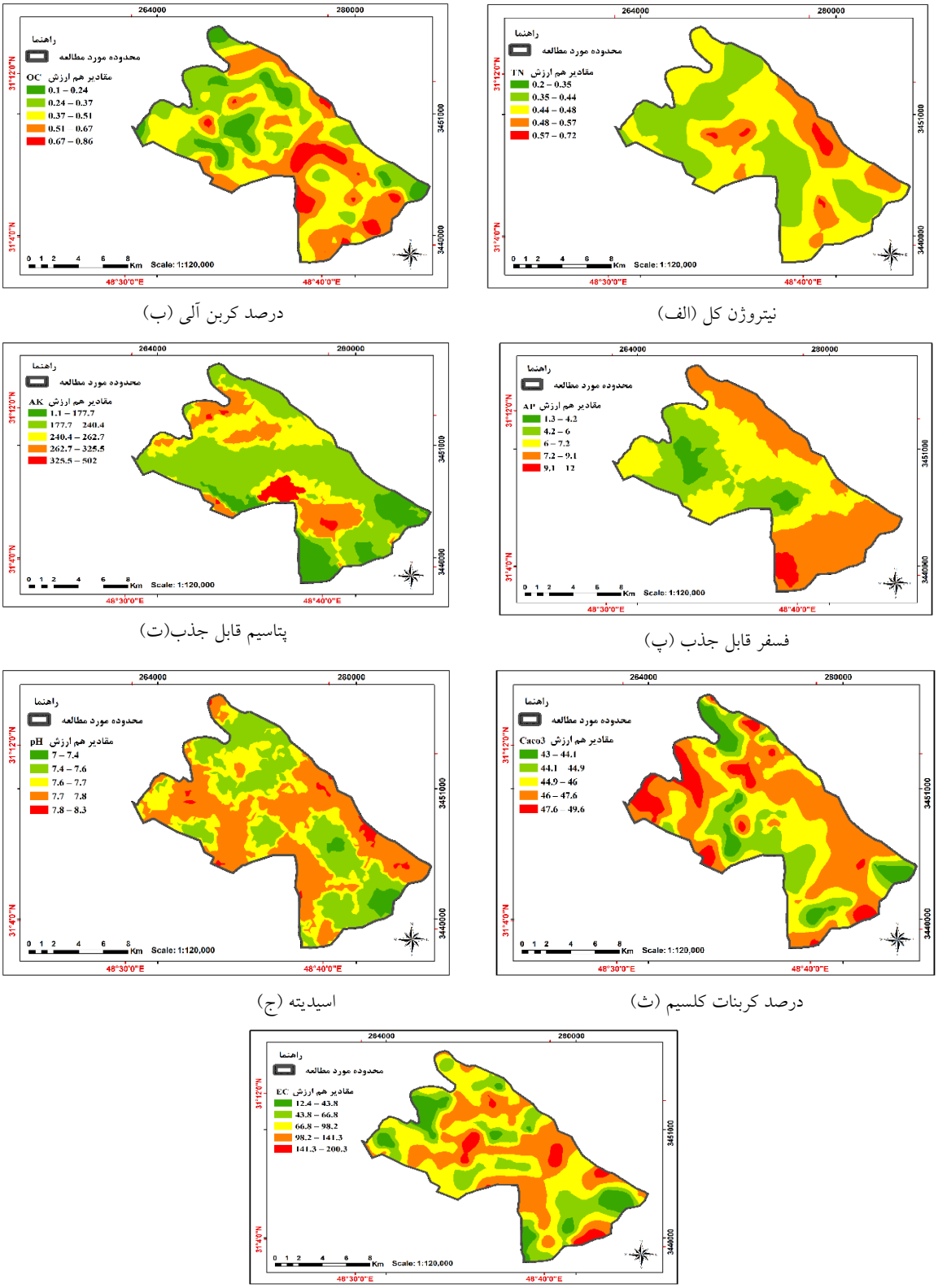
ادامه جدول ۳- نتایج ارزیابی دقت روش‌های زمین‌آماری برای ویژگی‌های خاک

Continue of table 3- The results of precision evaluation of interpolation method for soil properties

		کروی	-۰/۰۱۲۶	۱/۳۲۷	۱/۶۵۱	۰/۶۷
		نمایی	-۰/۰۱۰۵	۱/۳۲۹	۱/۶۵۳	۰/۳۶۵
		گوسین	-۰/۰۴۱۴	۱/۳۱۵	۱/۶۴۰	۰/۳۴۸
	IDW		-۰/۰۵۸۳	۱/۳۵۴	۱/۷۲۵	۰/۵۳۱
	RBF		-۰/۰۴۵۰	۱/۲۹۴	۱/۵۸۷	۰/۸۷
pH	روش	الگو - تابع	نتایج ارزیابی متقابل			
	OK		MBE	MAE	RMSE	R2
		خطی	-۰/۰۱	۰/۲۴۶	۰/۳۰۹	۰/۷۳
		کروی	-۰/۰۱۰۲	۰/۲۴۱	۰/۳۰۸	۰/۷۱
		نمایی	-۰/۰۰۸۹	۰/۲۳۳	۰/۲۹۵	۰/۸۷
		گوسین	-۰/۰۰۹۵	۰/۲۴۷	۰/۳۱	۰/۸۴
	IDW		-۰/۰۱۵۴	۰/۲۵۲	۰/۳۱۹	۰/۱
	RBF		-۰/۰۱۰۴	۰/۲۴۱	۰/۳۰۴	۰/۵
EC	روش	الگو - تابع	نتایج ارزیابی متقابل			
	OK		MBE	MAE	RMSE	R2
		خطی	-۰/۸۹۹	۳۵/۷۵	۴۴/۰۴	۰/۳۰
		کروی	-۰/۹۰۰	۳۵/۷۴	۴۴/۰۳	۰/۳۱
		نمایی	-۰/۷۲۰	۳۵/۶۲	۴۳/۹۲	۰/۳۱
		گوسین	-۰/۹۰۳	۳۵/۷۲	۴۴/۰۱	۰/۲۲
	IDW		-۰/۹۰۳	۳۷/۶۶	۴۶/۳۲	۰/۶۶
	RBF		-۰/۳۵۵	۳۳/۵۰	۴۳/۱۸	۰/۹۲

بر اساس نتایج نشان داده شده در جدول (۳) می‌توان روش‌های مختلف زمین‌آماری استفاده شده در این تحقیق را با هم مقایسه نمود. لازم به ذکر است که علاوه بر روش‌های ذکر شده، روش‌کوکریجینگ هم بررسی شد ولی به دلیل میزان همبستگی کم پارامترها با هم و عدم امکان استفاده از متغیر کمکی، نتایج این روش در این تحقیق ارائه نشد. بر اساس نتایج این جدول می‌توان روش کریجینگ معمولی با مدل نمایی را بهترین و دقیق‌ترین روش (MAE=۰/۰۷۱۵ و RMSE=۰/۰۸۹۰ و MBE=-۰/۰۰۰۶ و R2=۰/۹۱۲) برای درون‌یابی نیتروژن کل دانست. این در حالی‌است که بهترین روش برای درون‌یابی کربن آلی، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، کربنات کلسیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک به‌ترتیب RBF، کرجینگ معمولی (با مدل کروی)، کرجینگ معمولی (با مدل کروی)، RBF، کرجینگ معمولی (با مدل نمایی) و RBF بوده است. بنابراین روش IDW در هیچ‌کدام از پارامترهای خاک روش برتر جهت درون‌یابی و تهیه نقشه پهنه‌بندی انتخاب نشد. بر اساس نتایج این جدول، نقشه‌های پهنه‌بندی هر کدام از پارامترهای مورد بررسی با استفاده از دقیق‌ترین روش درون‌یابی تهیه شد (شکل ۳).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



نیتروژن کل (الف)

درصد کربن آلی (ب)

فسفر قابل جذب (پ)

پتاسیم قابل جذب(ت)

درصد کربنات کلسیم (ث)

اسیدیته (ج)

هدایت الکتریکی (چ)

شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه

Figure 3: Zonning map of soil properties in study area

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در شکل (۳) نقشه‌های پهنه‌بندی هر کدام از پارامترهای خاک ارائه شده است. بر این اساس میتوان مشاهده نمود که در بخش شرقی و غربی منطقه مورد مطالعه و در جاهایی که میزان pH بالای ۷/۷ است، میزان کربنات کلسیم خاک‌ها در بالاترین حد خود یعنی ٤٦ الی ٤٩ درصد می‌باشد. همچنین بخش‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه EC بیش‌تری نسبت به سایر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه دارد. با توجه به اینکه عمده اراضی مورد بررسی در این منطقه شامل زمین‌های کشاورزی بوده است، از نقشه‌های تهیه شده به وضوح می‌توان عدم یکنواختی کوددهی‌ها را مشاهده نمود. بر این اساس میزان فسفر قابل جذب در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه بیش‌تر ولی میزان پتاسیم قابل جذب در بخش‌های شمالی و مرکزی منطقه مورد مطالعه بیش‌تر بوده است.

بحث و یافته‌ها

از بررسی نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات هر کدام از پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح خاک منطقه مورد مطالعه رفتار بسیار متفاوتی داشته است. این روند تغییرات را می‌توان به مدیریت اراضی، نوع کشت، مدیریت کوددهی و ویژگی‌های ذاتی خاک منطقه مرتبط دانست. از نظر طبقه‌بندی، می‌توان خاک‌های تمام منطقه را بواسطه داشتن درصد بالای کربنات کلسیم، آهکی دانست. براساس مطالعات واریوگرافی صورت گرفته، ساختار مکانی (نسبت همبستگی) فسفر و پتاسیم قابل جذب، قوی، نیتروژن کل ضعیف و بقیه پارامترها ساختار مکانی متوسطی داشتند. خطای اندازه‌گیری کم که می‌تواند به دلیل ضریب تغییرات پایین داده‌های مربوط به آن پارامتر در سطح خاک منطقه باشد، کارایی نقشه زمین‌آماری تهیه شده آن را برای تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی قوت می‌بخشد. بنابراین پارامترهایی که دارای ساختار مکانی قوی، ضریب پراکندگی بالا و ضرایب خطای RMSE، MAE و MBE کم‌تری داشته باشند، نقشه‌های دقیق‌تر و قابل اعتمادتری خواهند داشت. بر این اساس پارامترهایی مثل فسفر و پتاسیم قابل جذب بهترین ساختار مکانی و دقیق‌ترین نقشه‌ها را در سطح منطقه مورد مطالعه داشته‌اند.

از بررسی و مقایسه نتایج نهایی این تحقیق با تحقیقات مشابه می‌توان نتیجه گرفت که در برخی موارد نتایج با تحقیقات دیگر تشابه و در برخی دیگر تفاوت‌هایی وجود داشته است. به عنوان مثال Gholami et al (2020) به این نتیجه رسیدند که برای ترسیم واریوگرام‌های کریجینگ پارامترهای کربنات کلسیم، مدل گوسی، برای کربن آلی، مدل نمایی و برای نیترون کل و فسفر قابل جذب، مدل کروی مناسب بوده و برای تهیه نقشه روش کریجینگ بهترین نتایج را داشته است. این در حالی است که در تحقیق حاضر بهترین مدل‌ها برای نیتروژن کل و فسفر به‌ترتیب نمایی و کروی بوده و بهترین روش برای درون‌یابی آن‌ها روش کریجینگ بوده است. همچنین بهترین روش درون‌یابی برای درصد کربن آلی و کربنات کلسیم، RBF بوده است.

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر گوناگون در خاک یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت کلان اراضی محسوب می‌گردد. بدیهی است هرچه دقت تهیه اینگونه نقشه‌ها بیش‌تر باشد، نتایج تصمیم‌گیری‌ها دقیق‌تر خواهد بود. مطالعات زمین‌آماری کمک شایانی به تهیه نقشه‌های با دقت مشخص می‌کند و می‌تواند تکنیکی بسیار مهم در مدیریت کلان اراضی تلقی گردد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

سپاسگزاری

بدین وسیله از سازمان آب و برق خوزستان که نهایت همکاری را در این پژوهش داشتند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Bai, M., Haghizade, A., tahmasebipour, N., (2018), "Spatial Variations of quality Groundwater use Geostatistical Method", ***Geographic Space Journal***, 18 (63): 147-164. [In Persian].
- Bosun, S. Z., Qiguo, Z., (2003), "Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical, China", ***Geoderma***, 115: 85-99.
- Gholami, A., Valipour, P., NourzadeHadad, M., (2020), "Performance Evaluation of geostatistics methods on the zoning of soil chemical properties (Case study: Karun East area)", ***Geographic Space Journal***, 20 (69): 1-15. [In Persian].
- Goovaerts, P., (2000), "Estimation or simulation of soil properties? An optimization problem with conflicting criteria", ***Geoderma***, 97 (3-4): 165-186.
- Lamsal, S., Bliss, C. M., Graetz, D. A., (2009), "Geospatial Mapping of Soil Nitrate-Nitrogen Distribution Under a Mixed-Land Use System", ***Pedosphere***, 19 (4): 434-445.
- Mohammad Zamani, S., Ayoubi, Sh., Khormali, F., (2007), "Spatial Variability of Wheat Yield and Soil Properties in a Selected Agricultural Land of Sorkhankalateh", ***JWSS***, 11 (40): 79-92. [In Persian].
- Panagopoulos, T., Jesus, J., Antunes, M. D. C., Beltr, J., (2006), "Analysis of spatial interpolation for optimizing management of a stalinized field cultivated with lettuce", ***Europ. J. Agronomy***, 24: 1-10.
- Quine, T. A., Zhang, Y., (2002), "An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties and crop production within an agricultural field in Devon, U. K.", ***Journal of Soil and Water Conservation***, 57: 50-60.
- Robinson, T. P., Metternicht, G., (2005), "Comparing the performance of techniques to improve the quality of yield maps", ***Agricultural Systems***, 85: 19-41.
- Robinson, T. P., Metternicht, G., (2006), "Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties", ***Computers and Electronics in Agriculture***, 50: 97-108.
- Shi, W., Liu, J., Du, Z., Song, Y., Chen, C., Yue, T., (2009), "Surface modelling of soil pH", ***Geoderma***, 150:13-119.
- Sun, B., Zhou, SL., and Zhao, QG., (2003), "Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China", ***Geoderma***, 115 (1): 85-99.
- Taboada, J., Rivas, T., Saavedra, A., Ordóñez, C., Bastante, F., and Giráldez, E., (2008), Evaluation of the reserve of a granite deposit by fuzzy kriging, ***Engineering Geology***, 99: 23-30.
- Wang, J., Zhang, J., Feng, Y., (2019), "Characterizing the spatial variability of soil particle size distribution in an underground coal mining area: An approach combining multi-fractal theory and geostatistics", ***Geoderma***, 176: 94-103.
- Xing-Yi, Z., Yue-Yu, S., Xu-Dong, Z., Kai, M., Herbert, SJ., (2007), "Spatial variability of nutrient properties in black soil of Northeast China", ***Pedosphere***, 17 (1): 19-29.
- Yamagishi, J., Nakamoto, T., Richner. W., (2003), "Stability of spatial variability of wheat and maize biomass in a small field managed under two contrasting tillage systems over 3 years", ***Field Crop Res***, 81: 95-108.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Yemefack, M., Rossiter, D. G., Njomgang, R., (2005), "Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon", ***Geoderma*** 125: 117-143.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]