



تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۱

## مقایسه روش‌های درونیابی در مطالعه خاک جامعه گیاهی

### قره‌داغ در مناطق خشک

❖ حمید ترنج‌زور: استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه مدیریت مناطق بیابانی، اراک  
❖ اصغر زارع چاهوکی\*: دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه یزد

#### چکیده

روش‌های زمین‌آماری، به دلیل در نظر گرفتن همبستگی مکانی داده‌ها، از اهمیت زیادی در بررسی‌های مربوط به پراکنش داده‌های زمینی برخوردارند. در این تحقیق ارزیابی کارایی روش‌های زمین‌آمار و ارائه قابلیت‌های آن در مطالعه برخی خصوصیات خاک (مقدار شن، مقدار سولفات، و هدایت الکتریکی) در جامعه مهم گیاهی قره‌داغ در منطقه کویر میقان اراک مطالعه شد. نخست بر روی نقشه منطقه در جامعه گیاهی قره‌داغ، با توجه به وسعت آن، ۹۸ نقطه شبکه‌بندی شد، به طوری که نقاط برداشت پوشش گیاهی هم در قالب این شبکه گنجانده شود. پس از پیدا کردن نقاط به وسیله GPS، در هر نقطه از خاک در عمق‌های ۲۰-، ۱۰۰- و ۲۰۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات مورد مطالعه آن‌ها بررسی شد. سپس، با استفاده از تحلیل نیم‌تغییرنما، مدل گوسن با ضریب تشخیص بالاتر از ۰/۹۵ بهترین مدل تجربی برای ویژگی‌های خاک انتخاب شد. از بین روش‌های کریجینگ معمولی، ساده، و IDW روش کریجینگ معمولی بهترین نتایج را در معیارهای ارزیابی متقاطع (خطای مربعات میانگین و خطای متوسط) نشان داد. روش کریجینگ از صحت پیش‌بینی بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است. در نهایت، تخمین مکانی ویژگی‌های خاک با کاربرد روش کریجینگ معمولی انجام شد.

واژگان کلیدی: جامعه گیاهی قره‌داغ، درونیابی، کویر میقان، ویژگی‌های خاک

## مقدمه

خاک مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده پوشش گیاهی است و پراکنش آن به صورت کیفی و کمی بررسی شده است و دلیل آن این است که خاک در نتیجه عوامل اقلیمی، موجودات زنده، توپوگرافی، و زمان حاصل شده است. خاک عامل تعیین‌کننده پوشش گیاهی منطقه و بخش ضروری برای پیش‌بینی عکس‌العمل مدیریت صحیح و پایدار در مرتع است [۷].

در حدود سی سال قبل، از زمین‌آمار برای حل برخی از مشکلات روش‌های قدیمی تهیه نقشه خاک استفاده شد. به‌طور خاص، زمین‌آمار پیوستگی طبیعی خاک را تشخیص می‌دهد و همچنین می‌تواند واریانس تصادفی در هنگام مدل‌سازی مکانی خاک را در همبستگی با سایر خصوصیات خاک نشان دهد [۱۱]. روش‌های زمین‌آمار برای تولید نقشه‌های همتراز ویژگی‌های خاک از شبکه نمونه‌برداری نیز به‌کار می‌رود و، به‌طور کلی، این روش منادی برخی تصمیمات مدیریتی است [۳، ۶].

مدل پیش‌بینی گونه‌های گیاهی اراضی پست فلمیش<sup>۱</sup> بلژیک با کاربرد روش زمین‌آمار تعیین شد. در این تحقیق خصوصیات خاک و آب زیرزمینی، از قبیل pH، املاح کلسیم، منیزیم، سولفات، کلر، نترات، آمونیوم، فسفات، آهن، و پتاسیم، اندازه‌گیری شد. سپس، با استفاده از روش‌های زمین‌آمار نقشه خصوصیات مذکور تهیه گردید [۱].

در بررسی آنالیز GIS و زمین‌آمار در گراسلند جنوب شرقی ایرلند در برداشت نمونه در دوره زمانی ۱۹۶۴ و ۱۹۹۶ در مقایسه آمار کلاسیک و زمین‌آمار مشخص شد که ترکیب زمین‌آمار و GIS ابزار خوبی برای آزمون تغییرات مکانی و زمانی در علوم محیطی

است، که ممکن است این جنبه‌های مکانی خصوصیات عوامل محیطی در آمار کلاسیک، تفکیک‌پذیر نباشد [۲].

در منطقه‌ای در جنوب غرب استرالیا، روش‌های میانگین متحرک وزن‌دار، کریجینگ معمولی، لگاریتم کریجینگ معمولی برای پیش‌بینی خصوصیات خاک (اسیدیته، هدایت الکتریکی، و ماده آلی در دو عمق) مقایسه و مطالعه شد و روش‌های کریجینگ بر اساس پنج معیار ارزیابی متقاطع برای پیش‌بینی مناسب تشخیص داده شد [۸].

پراکنش مکانی افق‌های خاک با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آمار بررسی شد و مدل کریجینگ معمولی مناسب‌ترین مدل شناخته شد [۹].

صحت روش‌های کریجینگ معمولی و رگرسیون کریجینگ برای دو کاربری جنگل و کشاورزی مقایسه شد. نتایج نشان داد که وقتی بین ویژگی‌های مورد مطالعه با متغیرهای کمکی رابطه‌ای قوی وجود دارد (ضریب تعیین بیشتر از ۰/۶)، روش رگرسیون کریجینگ از صحت بالاتری در هر دو کاربری برخوردار است، در غیر این صورت روش کریجینگ معمولی بهتر است [۱۳].

در شوره‌زارهای کویر میقان اراک، که مطالعه حاضر در آن انجام شد، به واسطه تغییراتی نظیر سبکی خاک و تغییر نوع نمک (کاهش نمک طعام و افزایش سولفات) در شرق منطقه جامعه *Nitraria schoberi* استقرار یافته است. با توجه به بازدهی‌های صحرایی و تحقیقات پیشین، عوامل شن، سولفات، و هدایت الکتریکی عوامل مهم استقرار گونه مورد نظر شناخته شد. در این تحقیق، پس از ایجاد شبکه نمونه‌برداری در جامعه گیاهی، ویژگی‌های خاک (شن، مقدار سولفات، و هدایت الکتریکی) از دو

1. Flemish

(شکل ۱). منطقه مورد مطالعه، از لحاظ زمین‌شناسی، در زون ایران مرکزی در آبرفت‌های کواترنری، که از رسوبات اخیر است، تشکیل یافته که در شمال کویر میقان به صورت یک گودی نمایان است.

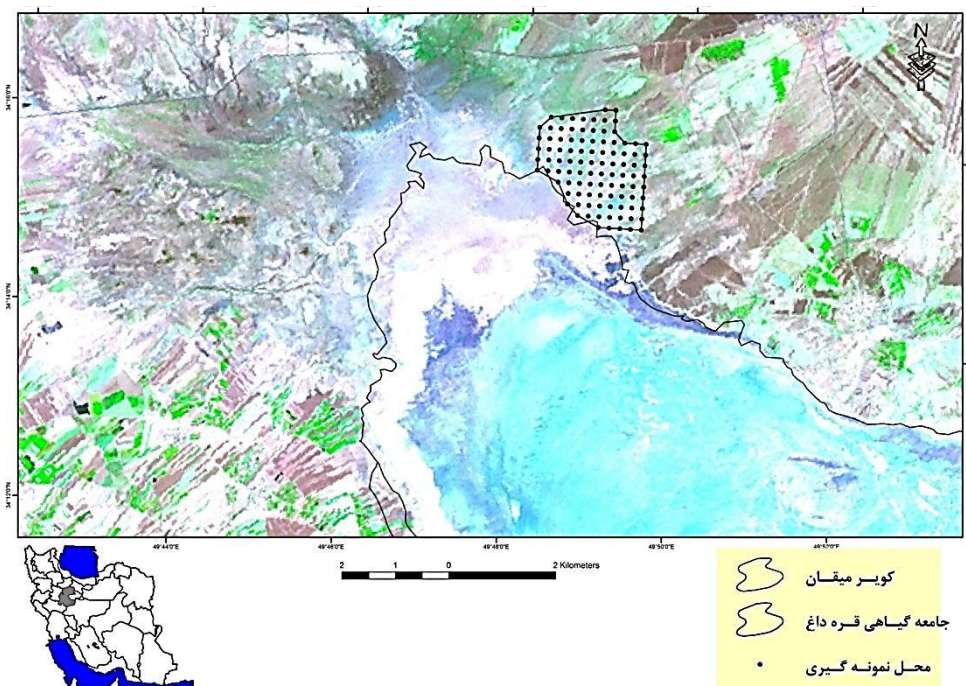
متوسط بارش و تبخیر سالیانه بیست‌ساله ایستگاه سینوپتیک اراک به ترتیب حدود ۲۰۰ میلی‌متر و ۱۴۴۶ میلی‌متر (حدود هفت برابر بارندگی) است. میکروکلیمای خاص ایجادشده توسط کویر اختلاف دمای ۶۹ درجه سانتی‌گراد را بین حداقل و حداکثر درجه حرارت منطقه ایجاد کرده است. همچنین، بر اساس نقشه بیوکلیماتیک ایران (بر اساس روش آمبرژه)، این منطقه در اقلیم نیمه‌خشک سرد واقع می‌شود.

عمق مختلف در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. سپس، ضمن مقایسه سه روش، روش درون‌یابی بهترین روش برای پیش‌بینی خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد.

## روش شناسی

### منطقه مورد مطالعه

کویر میقان اراک، همانند سایر کویرها، عارضه مناطق خشک است که به واسطه وضعیت خاص ژئومورفولوژیکی منطقه به وجود آمده است، به طوری که این منطقه در پست‌ترین نقطه حوزه آبخیز داخلی منطقه اراک با ارتفاع ۱۶۵۳ متر از سطح دریا و در دشتی کاملاً مسطح در شمال شهرستان اراک و شمال تا شمال غرب کویر میقان واقع گردیده است



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (جامعه گیاهی قره‌داغ و نقاط نمونه‌برداری خاک) در استان اراک و کشور

## نمونه‌برداری

برای انجام دادن مطالعات میدانی و نمونه‌برداری، پس از تفسیر مقدماتی عکس‌های هوایی منطقه و جداسازی واحدهای مقدماتی خاک و پوشش گیاهی و تهیه نقشه پوشش گیاهی به حفر پروفیل‌های خاک به روش شبکه‌بندی اقدام گردید. کاربرد روش‌های نظام‌دار برای نمونه‌برداری، به‌ویژه هنگامی که هدف تخمین مقدار متغیر با استفاده از روش‌های زمین‌آماري است، به علت همگن‌تر شدن خطای تخمین، ترجیح داده می‌شود [۱۲]. همچنین، در این حالت بررسی روند تغییرات ساده‌تر و امکان‌پذیرتر است. منابع مختلف تأکید می‌کنند که حداقل ۱۰۰-۱۵۰ نمونه برای دست‌یافتن به یک واریوگرام (تغییرنما) معتبر از لحاظ نتیجه لازم است [۸، ۱۰].

در جامعه گیاهی *Nitraria schoberi* به مساحت ۳۳۲ هکتار ۹۸ نقطه بر روی نقشه با فواصل ۲۰۰\*۲۰۰ متری علامت‌گذاری شد. پس از پیدا کردن نقاط به وسیله GPS، در هر نقطه از خاک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۱۰۰-۲۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات مورد مطالعه آن‌ها بررسی شد. پس از انتقال نمونه‌های خاک و خشک‌شدن آن‌ها در آزمایشگاه، عوامل هدایت الکتریکی، اسیدیته، و سولفات با استفاده از روش‌های مربوطه تعیین گردید.

## تجزیه و تحلیل زمین‌آماري

در این بخش به اختصار روش‌های زمین‌آماري مورد استفاده و مراحل تهیه نقشه پیش‌بینی بیان می‌شود. در کارهای زمین‌آمار سه مرحله برای تهیه نقشه پیش‌بینی طی می‌شود: مرحله اول شامل مطالعه آماری و نموداری داده‌ها بدون در نظر گرفتن توزیع جغرافیایی

آن‌هاست. بررسی داده‌ها، حذف داده‌های پرت، و تعیین ویژگی‌های آماری داده‌ها نیز در این مرحله قرار می‌گیرد. مرحله دوم دربرگیرنده تحلیل ساختار مکانی داده‌هاست. در این مرحله توزیع مکانی داده‌ها بررسی می‌شود. بررسی مکانی داده‌ها با استفاده از نیم‌تغییرنما<sup>۱</sup> صورت می‌گیرد. نیم‌تغییرنما نشان‌دهنده سیر کاهش همبستگی مکانی بین دو نقطه از فضاست در زمانی که فاصله بین این دو نقطه در حال زیاد شدن است. اجزای نیم‌تغییرنما عبارت‌اند از اثر قطعه‌ای<sup>۲</sup> که در واقع عرض از مبدأ منحنی است؛ دامنه تأثیر<sup>۳</sup> که عبارت است از فاصله مکانی یا زمانی بین نمونه‌ها که پس از آن متغیر ناحیه‌ای در نقاط مجاور هم تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند و مقداری نسبتاً ثابت است که تغییرات آن تصادفی است و آستانه<sup>۴</sup> نام دارد که معادل با واریانس کلی متغیر مورد بررسی است [۵].

برای تعیین وابستگی مکانی از نسبت آستانه ( $C_1$ ) به اثر قطعه‌ای ( $C_0$ ) نسبت وابستگی<sup>۵</sup> ( $DR$ ) استفاده می‌شود که فرمول آن به قرار زیر است:

$$DR = \frac{C_1}{C_0 + C_1} \times 100 \quad (1)$$

نسبت وابستگی نشان‌دهنده تناسب ساختار نیم‌تغییرنما برای داده‌هاست. کمترین مقدار  $DR$  نشان‌دهنده ضعیف‌ترین وابستگی مکانی است.

مرحله سوم مطالعه روش‌های زمین‌آماري پیش‌بینی است. زمین‌آمار روش‌های بسیار متنوعی برای منطقه‌ای کردن دارد. عمده‌ترین این روش‌ها کریجینگ است. در این تحقیق روش‌های درون‌یابی

1. semivariogram
2. nugget
3. range
4. sill
5. dependence ratio

خطای متوسط برای مقایسه نتایج مدل پیش‌بینی با داده‌های مشاهداتی استفاده شد. معیار RMSE بر اساس خطای تخمین و انحراف معیار داده‌های مشاهداتی  $s$  است:

$$RMSE = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

خطای متوسط برای آزمون قابلیت پیش‌بینی مدل استفاده شده است:

$$\varepsilon = Z o_i - Z p_i \quad (4)$$

هر چه معیار مربع میانگین خطا کوچک‌تر باشد و همچنین هر چه میانگین خطا نزدیک به صفر باشد، صحت پیش‌بینی بالاتر است. بر این اساس، روش زمین‌آماري کريجينگ معمولي براي تمام خصوصيات خاک و در هر دو عمق RMSE کمتر و AE آن‌ها به صفر نزدیک‌تر است. بنابراین، برای پیش‌بینی خصوصیات خاک از روش کريجينگ معمولي استفاده شد.

میانگین متحرک وزن‌دار<sup>۱</sup>، کريجينگ معمولي<sup>۲</sup>، و کريجينگ ساده<sup>۳</sup> مقایسه شد و با استفاده از فن ارزیابی مقاطع<sup>۴</sup> درون‌یابی بهترین روش تعیین شد. بر اساس نتایج دو معیار ارزیابی مقاطع، خصوصیات خاک پیش‌بینی شد و نقشه آن تهیه گردید.

برای انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی از میان سه روش مطرح‌شده از دو معیار ریشه دوم میانگین مربعات خطا<sup>۵</sup> (RMSE) و خطای متوسط<sup>۶</sup> (AE) برای ارزیابی مقاطع استفاده شد. روش‌های مختلف درون‌یابی، مثل رگرسیون خطی، کريجينگ، کوکريجينگ، با روش ارزیابی مقاطع مقایسه و ارزیابی می‌شوند. در این روش داده‌های مشاهداتی  $Z(o_i)$  برای  $n$  پروفیل حذف و دوباره با روش‌های پیشنهادی متغیر  $Z(p_i)$  تخمین زده می‌شود. خطای تجربی با معادله ۲ برآورد می‌شود:

$$\varepsilon = Z o_i - Z p_i \quad (2)$$

از معیارهای ریشه دوم میانگین مربعات خطا و

جدول ۱. خلاصه آماری داده‌ها در تپ *Nitrarietum schoberi*

آماره‌ها	شن (درصد)		هدایت الکتریکی ( $-\text{Log}(H^+)$ )		سولفات (میلی‌اکی‌ولان در لیتر)	
	۲۰-۱۰۰Cm	۰-۲۰Cm	۲۰-۱۰۰Cm	۰-۲۰Cm	۲۰-۱۰۰Cm	۰-۲۰Cm
دامنه تغییرات	۶،۰۰	۲۴،۰۰	۱۱،۲۰	۱۳،۲۰	۵۸،۰۰	۶۷،۰۰
حداقل	۴۵،۰۰	۳۵،۰۰	۱۷،۰۰	۱۰،۰۰	۱۱۷،۰۰	۸۳،۰۰
حداکثر	۵۱،۰۰	۵۹،۰۰	۲۸،۲۰	۲۳،۲۰	۱۷۵،۰۰	۱۵۰،۰۰
میانگین	۴۷،۹۱	۴۴،۹۶	۲۲،۱۰	۱۵،۰۰	۱۴۰،۰۵	۱۱۴،۳۹
میانه	۴۸،۰۰	۴۴،۵۰	۲۲،۰۵	۱۴،۵۰	۱۳۸،۵۰	۱۱۳،۵۰
انحراف معیار	۱،۵۱	۵،۷۴	۲،۷۵	۳،۰۴	۱۴،۴۷	۲۰،۱۹
واریانس	۲،۲۹	۳۲،۹۱	۷،۵۴	۹،۲۶	۲۰۹،۲۹	۴۰۷،۸۱
چولگی	۰،۰۳	۰،۴۰	۰،۰۴	۰،۶۷	۰،۴۰	۰،۱۳

1. Inverse Distance Waiting  
3. Simple Kriging  
5. Root Mean Square Error

2. Ordinary Kriging  
4. cross validation  
6. Average Error

## نتایج

در این تیپ ۹۸ پروفیل خاک در محل‌های از قبل تعیین شده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی با فواصل معین برای مدل‌سازی مکانی متغیرها حفر گردید. جدول ۱ ویژگی‌های آماری ویژگی‌های خاک را نشان می‌دهد.

پس از تحلیل آماری داده‌ها، تغییرنمای (واریوگرام) مستقیم تجربی برای ویژگی‌های خاک در

دو عمق مختلف در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار  $GS^+$  تهیه شد. واریوگرام مناسب به داده‌های عامل‌های مؤثر در هر تیپ از بین مدل‌های خطی، کروی، نمایی، و گوسی برازش گردید و بهترین برازش برای داده‌ها تعیین شد (جدول ۲). وابستگی مکانی (DR) مدل واریوگرام گوسن برای همه پارامترها قوی ارزیابی شد.

جدول ۲. اجزای مربوط به تغییرنمای (واریوگرام) خصوصیات خاک انتخاب شده در تیپ گیاهی *Nitraria schoberi*

وابستگی مکانی (درصد)	ضریب تشخیص	شعاع تأثیر (متر)	آستانه (درصد)	اثر قطعه‌ای (درصد)	مدل تغییرنما	خصوصیت
۹۶	۰٫۹۸	۱۱۲۸	۶۱٫۸۸	۲٫۵	گوسن	درصد شن (۰-۲۰Cm)
۸۷	۰٫۹۹	۱۲۰۵	۴٫۰۷۹	۰٫۵۵	گوسن	درصد شن (۲۰-۱۰۰Cm)
۹۷	۰٫۹۹	۱۲۷۴	۸۵۴٫۹	۲۲	گوسن	سولفات (۰-۲۰Cm)
۹۸	۰٫۹۹	۱۲۱۲	۴۲۶٫۹	۸	گوسن	سولفات (۲۰-۱۰۰Cm)
۹۹	۰٫۹۷	۱۹۶۳	۳۱٫۵۷	۰٫۲۹	گوسن	هدایت الکتریکی (۰-۲۰Cm)
۹۷	۰٫۹۹	۱۴۱۵	۱۷٫۹۲	۰٫۵۸	گوسن	هدایت الکتریکی (۲۰-۱۰۰Cm)

کریجینگ معمولی مناسب‌ترین روش برای تعیین پارامترهای مکانی تیپ گیاهی مورد مطالعه تشخیص داده شد (جدول ۳).

با انتخاب بهترین مدل واریوگرام، روش‌های زمین‌آماری با روش میانگین متحرک وزن‌دار مقایسه شد و، با توجه به معیارهای AE و RMSE، روش

جدول ۳. نتایج ارزیابی متقاطع برای سه روش درون‌یابی مورد مطالعه

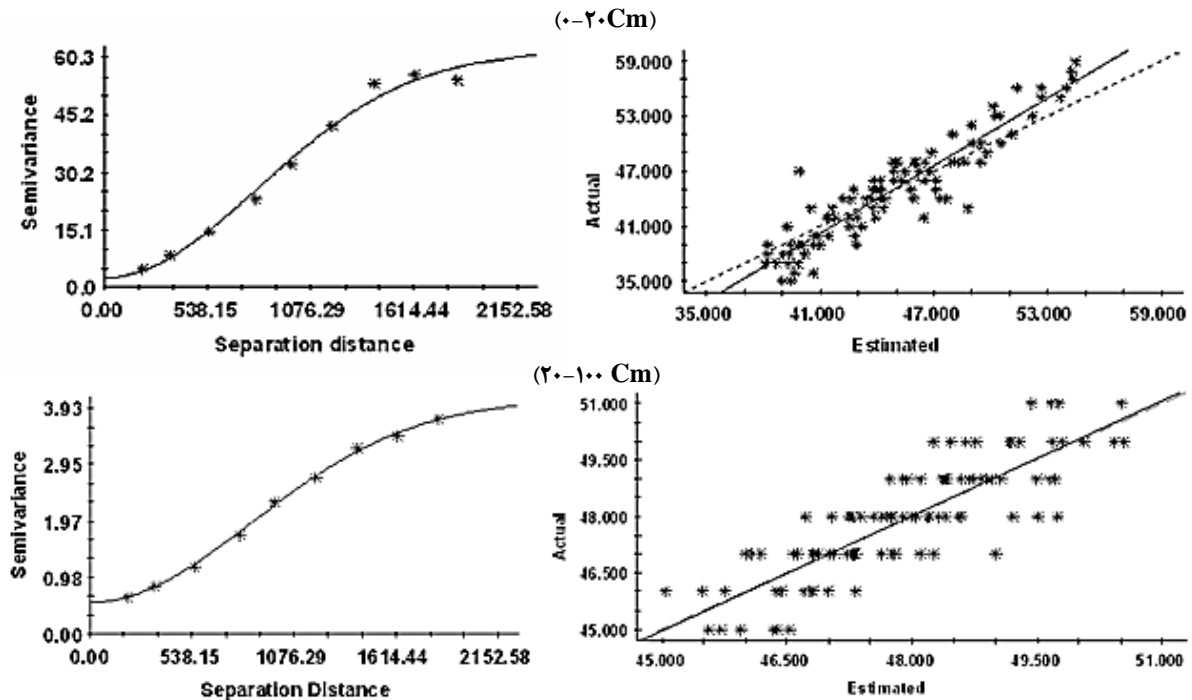
روش کریجینگ معمولی		روش کریجینگ ساده		روش میانگین متحرک وزن‌دار		
آماره‌ها		آماره‌ها		آماره‌ها		
RMSE	AE	RMSE	AE	RMSE	AE	
۱٫۹۰۲	۰٫۰۰۳	۱٫۹۳۶	۰٫۰۰۲	۲٫۱۸۰	-۰٫۰۰۹	درصد شن ۱
۰٫۸۳۰	-۰٫۰۰۱	۰٫۸۴۳	۰٫۰۰۰۴	۰٫۸۲۰	-۰٫۰۰۴	درصد شن ۲
۰٫۹۴۱	-۰٫۰۰۱	۰٫۹۴۱	-۰٫۰۰۳	۱٫۰۱۶	-۰٫۰۱۲	هدایت الکتریکی ۱
۰٫۷۲۹	۰٫۰۰۳	۰٫۷۴۸	-۰٫۰۰۶	۰٫۹۱۱	-۰٫۰۱۸	هدایت الکتریکی ۲
۴٫۹۹۳	-۰٫۰۰۷	۵٫۱۷۶	-۰٫۰۰۹	۶٫۲۰۲	-۰٫۰۲۰	سولفات ۱
۳٫۱۳۳	-۰٫۰۰۴	۳٫۲۵۴	-۰٫۰۰۷	۴٫۰۱	-۰٫۰۱	سولفات ۲

ویژگی‌های خاک (شن، هدایت الکتریکی، و

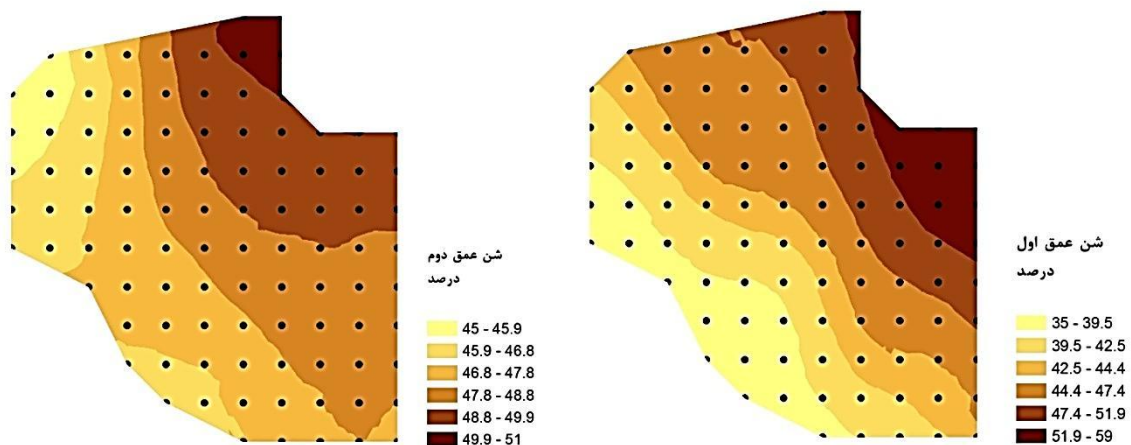
شکل‌های ۲، ۴، و ۶ به ترتیب نیم‌تغییرنمای

اقدام شد (شکل‌های ۳، ۵، و ۷ به ترتیب برای نقشه‌های شن، هدایت الکتریکی، و سولفات در دو عمق مختلف).

سولفات) را در دو عمق مختلف نشان می‌دهند. در مرحله نهایی مطالعات زمین‌آماری و پس از انتخاب بهترین روش درونیابی، به تهیه نقشه پیش‌بینی خصوصیات خاک بر اساس روش کریجینگ معمولی

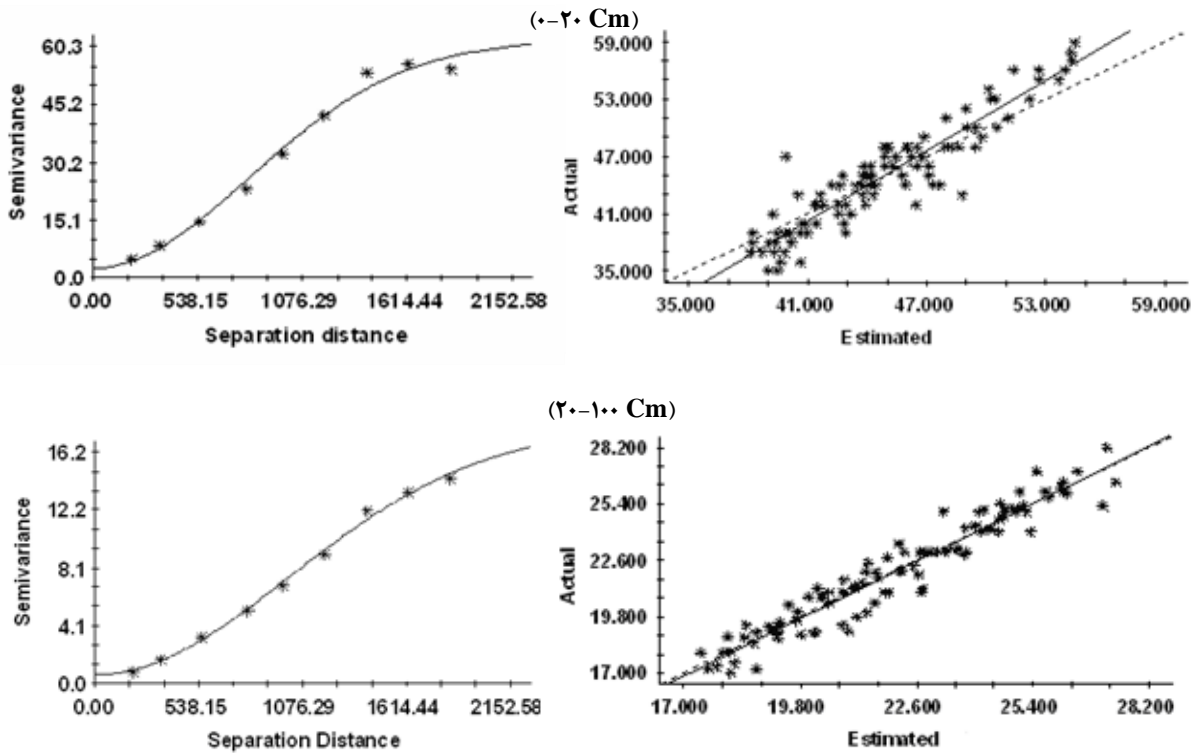


شکل ۲. واریوگرام برازش داده شده به درصد شن عمق‌های اول و دوم خاک در جامعه گیاهی قره‌داغ

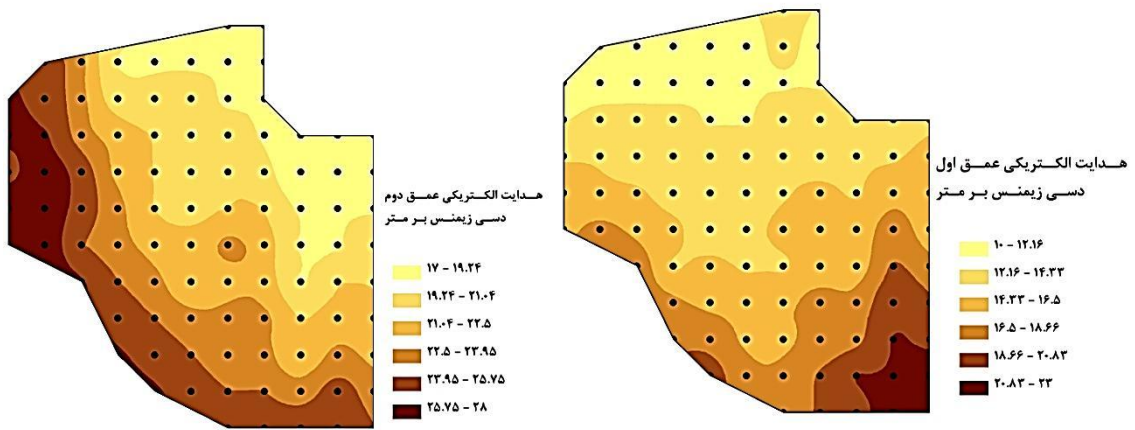


شکل ۳. نقشه درصد شن عمق‌های اول و دوم خاک با استفاده از روش کریجینگ معمولی در جامعه گیاهی قره‌داغ





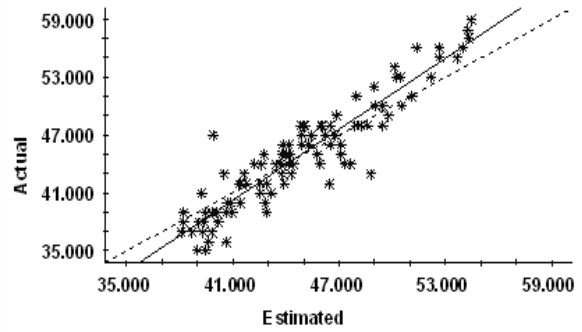
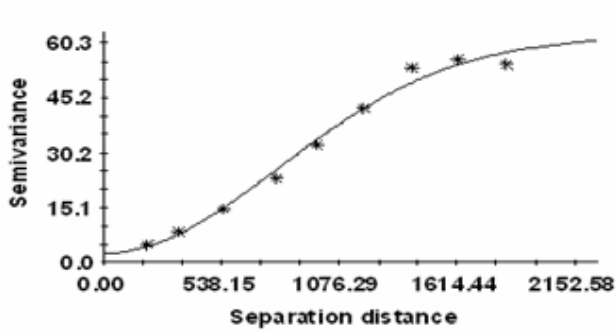
شکل ۴. واریوگرام برازش داده شده به مقدار هدایت الکتریکی عمق‌های اول و دوم خاک در جامعه گیاهی قره‌داغ



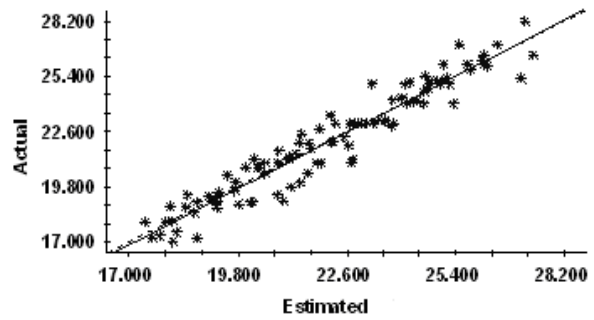
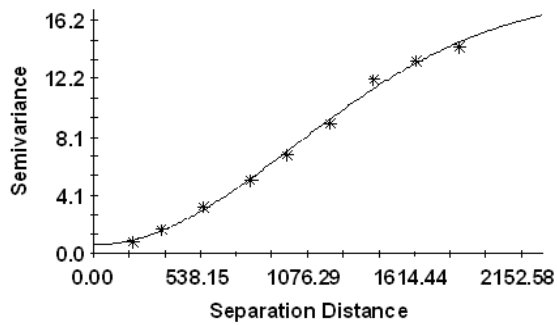
شکل ۵. نقشه هدایت الکتریکی عمق‌های اول و دوم خاک با استفاده از روش کریجینگ معمولی در جامعه گیاهی قره‌داغ



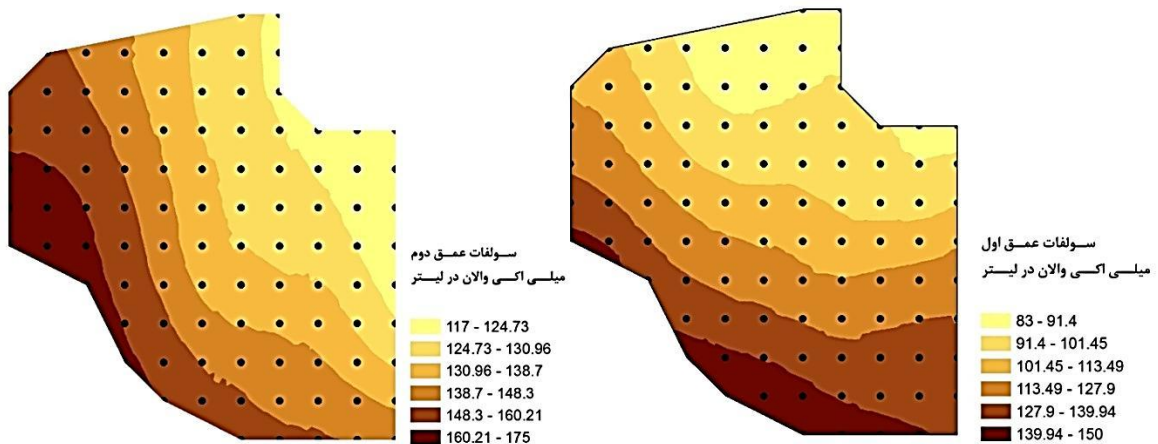
(۰-۲۰ Cm)



(۲۰-۱۰۰ Cm)



شکل ۶. واریوگرام برازش داده شده به مقدار سولفات عمق های اول و دوم خاک در جامعه گیاهی قره داغ



شکل ۷. نقشه سولفات عمق های اول و دوم خاک با استفاده از روش کریجینگ معمولی در جامعه گیاهی قره داغ

## بحث و نتیجه‌گیری

تفاوت عمده مطالعه حاضر و وجه تمایز آن با سایر مطالعات، به‌ویژه تحقیقاتی که درباره تغییرات مکانی خاک در کشور انجام گرفته، نحوه نمونه‌برداری منظم آن و ارائه روشی است گام به گام برای مطالعات زمین‌آماری، که در این‌گونه تحقیقات بسیار مهم است.

جامعه *Nitraria schoberi* لایه دورتر از برخی تیپ‌های شورپسند نسبت به دریاچه میقان است که درصد شن در عمق اول و دوم دارای ساختار مکانی قوی و دامنه تأثیر تقریباً زیاد است. اصولاً گونه *Nitraria schoberi* یک گونه شن‌دوست است که در خاک‌های سبک رشد می‌کند. همچنین، با توجه به نقشه‌های حاصل از کریجینگ، قسمت‌های شرق تیپ دارای ساختار مکانی قوی‌تری نسبت به نقاط منطقه است. این امر کاملاً در منطقه پذیرفتنی است، زیرا در جنوب این تیپ اکوتونی مرکب از گونه‌های *Ha st* و *Ni sc* وجود دارد. به عبارتی، هر چه از اکوتون ذکرشده به طرف شمال تیپ حرکت می‌کنیم ساختار فضای شن خاک قوی‌تر می‌شود.

با توجه به اینکه معیارهای RMSE و AE مقادیر کمی را نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که کریجینگ معمولی بر اساس مدل برازش‌شده می‌تواند برآورد صحیحی انجام دهد. در این تحقیق نیز، همانند سایر پژوهش‌ها [۸]، روش کریجینگ معمولی در مقایسه با روش کریجینگ ساده و روش میانگین متحرک وزن‌دار توصیه شد.

سولفات در عمق اول و دوم نیز ساختار مکانی بالایی را در دامنه تأثیر همانند تشکیل می‌دهند. تراکم این ماده در جنوب تیپ- یعنی جایی که نزدیک‌ترین حد به دریاچه شور است- بیشتر است. به عبارتی، در

منطقه مورد مطالعه از طرف دریاچه میقان به سمت شمال و شمال غربی منطقه تا حد معینی ساختار مکانی محکمی از سولفات وجود دارد.

هدایت الکتریکی دارای ساختار مکانی بالایی است، اما دامنه تأثیر آن کاهش می‌یابد که گویای کاهش شوری خاک از سمت دریاچه شور به سمت تیپ‌های گیاهی شمالی‌تر است. با توجه به نقشه به‌دست‌آمده، تراکم آن همانند سولفات در جنوبی‌ترین قسمت تیپ، یعنی نزدیک به تیپ *Ha st* بیشتر است.

تغییرپذیری ویژگی‌های مکانی خاک در دو جامعه علفزار و بوته‌زار بررسی شد [۴]. در این تحقیق نیز مدل واریوگرام گوسن در برخی عوامل مشاهده شد. در تحقیق [۴] مدل واریوگرام خطی (برای اسیدیت و هدایت الکتریکی در جامعه علفزار) و اثر قطعه‌ای خالص (برای رطوبت و آهک در جامعه علفزار) نیز مشاهده شد که مدل خطی داده‌ها نشان‌دهنده وجود روند است. در حالی که در تحقیق حاضر همه این مدل مشاهده نشد و وابستگی مکانی قوی برای بهترین مدل به‌دست آمد.

در مطالعه [۴] فقط از یک روش زمین‌آماری استفاده کرده‌اند و به نوع آن به‌طور مستقیم اشاره ننموده‌اند، اما از مراحل تحقیق می‌توان دریافت که از روش کریجینگ معمولی استفاده کرده‌اند. این در حالی است که در تحقیق حاضر به مقایسه دو روش زمین‌آماری و یک روش حسابی میانگین متحرک وزن‌دار پرداخته و روش کریجینگ معمولی بهترین روش شناخته شد.

در مطالعه [۴] ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و واقعی را از صفر تا ۰/۴۳ برای هر دو جامعه مورد مطالعه گزارش کردند، در حالی که در

[۴] چولگی هدایت الکتریکی علفزار بیشتر از یک و در چند مورد دیگر بزرگ‌تر از ۸/ است و برای تبدیل روی آن‌ها اقدامی صورت نگرفته است. در تحقیق حاضر چولگی همه داده‌ها به جز هدایت الکتریکی عمق اول (۰/۶۷) دارای چولگی کمتر یا مساوی ۰/۴ بود.

تحقیق حاضر نمودار مقادیر واقعی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده تأییدکننده انتخاب مناسب مدل واریوگرام و روش مدل‌سازی زمین‌آماری است. اگر چولگی داده‌ها نزدیک به یک باشد، باید از تبدیل لگاریتمی استفاده کرد تا داده‌ها به صورت نرمال درآید [۱۲]، این در حالی است که در مطالعه

## References

- [1]. Bio, A. (2000). Does Vegetation Suit Our Models? Data and Model Assumptions and the Assessment of Species Distribution in Space. PhD thesis, published. Thesis. Utrecht University, Netherlands, Utrecht, Netherlands. 195 pp.
- [2]. Chaosheng, Z. (2004). Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods. *Geoderma*, 119, 261-275.
- [3]. Goovaerts, P. (1999). Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89, 1-45.
- [4]. Jafarian, Z., kargar, M., Ghorbani, J. (2011). Spatial variability of soil properties in two plant communities of grassland and scrubland (case study: Vavasar kiasar rangeland). *Journal of range and watershed management*, 64(1), 13-24.
- [5]. Johnston, K., Ver Hoef, K., Krivoruchko, N. (2001). Using ArcGis Geostatistical Analyst. *ESRI*, 48 pp.
- [6]. Larka, F. (2004). Mapping risk of soil nutrient deficiency or excess by disjunctive and indicator kriging. *Geoderma*, 118, 39-53.
- [7]. Leonard, S.G., Burkhart, J.W. (1989). Vegetation– soil relationship of arid and semi arid rangeland. 25 pp.
- [8]. 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
- [9]. Vanwalleghem, T., Poesen J., Bratney A., Deckers J. (2010). Spatial variability of soil horizon depth in natural loess-derived soils. *Geoderma*, 157, 37-45.
- [10]. Voltz, M., Webster, R. (1990). A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. *European Journal of Soil Science*, 41(3), 473-490.
- [11]. Watt, M., David, J. (2010). Use of regression kriging to develop a Carbon:Nitrogen ratio surface for New Zealand. *Geoderma*, 183-184, 49-57.
- [12]. Webster, R., Oliver, M. (2001). *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley, Chichester. 271 pp.
- [13]. Zhu, Q., Lin, H. (2010). Comparing Ordinary Kriging and Regression Kriging for Soil Properties in Contrasting Landscapes. *Pedosphere*, 20(5), 594-606.