مجله تحقیقات آب و خاک ایران (۴۰) ۲، ۱۳۸۸ (۱۶۵-۱۵۷)

مقایسه روش‌های درون‌یابی جهت تهیه نقشه خصوصیات کیفی خاک مطالعه موردی (مزرعه دانشکده کشاورزی)

فریدون سرمدیان[۱] و روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی[۲*]

[۱]دانشیار و [۲]دانشجوی دکتری مهندسی علوم خاک گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

افزایش سریع جمعیت و نیاز روز افزون به مواد غذایی و بالا رفتن احتیاجات بشر به محیط زیست و منابع طبیعی، بررسی و شناخت بیشتر عوامل تولید، بخصوص منابع آب و خاک را ایجاب می‌نماید. در این راستا یکی از پایه‌ای‌ترین اطلاعات منابع اراضی، نقشه خصوصیات خاک می‌باشد. لذا در این تحقیق برای تهیه نقشه برخی از خصوصیات کیفی خاک مزرعه دانشکده، واقع در جنوب شهرستان کرج، اقدام به نمونه‌برداری به صورت شبکه‌های ۵۰۰ متری گردید. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل درصد رس، سیلت، آهک، کربن آلی و غلظت عناصر میکرو از قبیل آهن، مس، روی، سرب و منگنز و همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها می‌باشند. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها اقدام به ترسیم واریوگرام تجربی گردید. برای درون‌یابی پارامترهای اندازه‌گیری شده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و روش معکوس فاصله با توان‌های متفاوت استفاده گردید. سپس با استفاده از تکنیک ارزشیابی متقابل و استفاده از شاخص RMSE مناسب‌ترین روش میان‌یابی انتخاب شد. نتایج نشان داد که به منظور تخمین برخی از خصوصیات خاک (مس، روی، منگنز، سرب، کربن آلی و آهک) روش کوکریجینگ بر دو روش دیگر ارجحیت داشت زیرا شرایط استفاده از کوکریجینگ در زمانی می‌باشد که تعداد نمونه کمی در دست است و برای تخمین سایر پارامترهای خاک روش معکوس فاصله با توان‌های مختلف دارای کمترین خطا می‌باشد و به عنوان بهترین روش درون‌یابی انتخاب گردید. در نهایت با در نظر گرفتن بهترین روش میان‌یابی، نقشه‌های پهنه‌بندی خصوصیات خاک در محیط GIS تهیه گردید.

واژه‌های کلیدی: کیفیت خاک، درون‌یابی، زمین آمار، معکوس فاصله، ارزش‌یابی متقابل

مقدمه

با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه مناطق صنعتی و مسکونی که عامل موثری در محدود شدن اراضی برای کشاورزی به شمار می‌آیند، نیاز به استفاده از اراضی موجود احساس می‌شود (Ayoubi and Jalalian, 2006.). کشاورزی پایدار در صورتی تحقق می‌یابد که اراضی بر حسب تناسب برای انواع مختلف کاربری‌ها طبقه‌بندی شوند. بنابراین به منظور عدم گسترش آثار ناشی از بهره‌برداری غلط از اراضی، لزوم یک برنامه‌ریزی صحیح و طولانی مدت در زمینه استفاده از اراضی بر اساس استعدادشان و نوع احتیاجات جامعه امروز انسانی مشهود است (Sys et al 1991). در این راستا یکی از پایه‌ای‌ترین اطلاعات منابع اراضی، نقشه خصوصیات خاک می‌باشد (Webster and Oliver, 2001).

در گذشته برای تهیه نقشه خاک و بررسی تغییرات خصوصیات خاک در مزرعه اغلب به وسیله روش‌های آماری معمول و با فرض اینکه تغییرات ویژگی‌های خاک در داخل واحدهای نقشه به صورت تصادفی است، صورت می‌گرفت. ولی امروزه مشخص شده که دقت روش‌های زمین آماری در برآورد توزیع مکانی داده‌های اندازه‌گیری شده به علت درنظر گرفتن پیوستگی مکانی داده‌ها نسبت به روش‌های معمول آماری بیشتر است (Hosseini et al 1994). در دهه اخیر، داده‌های بدست آمده از طریق GPS، GIS و زمین آمار نقش مهمی در مطالعه توزیع مکانی ویژگی‌های خاک داشته‌اند و نتایج حاصله اغلب حاکی از این است که تغییرات ویژگی‌های خاک می‌تواند در فواصل بسیار کوچک (در حد چند میلیمتر) تا فواصل طولانی (چندین کیلومتر) صورت گیرد (Shao et al., 2006). در زمین آمار می‌توان بین مقادیر یک کمیت، فاصله و جهت قرار گرفتن نمونه‌ها نسبت به یکدیگر ارتباط برقرار کرد. بنابراین در این روش ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده‌ها پرداخته می‌شود و در صورت وجود ساختار مکانی تحلیل داده‌ها انجام می‌شود. بنابراین تخمین زمین آماری شامل دو مرحله است: مرحله اول شناخت و مدلسازی ساختار فضایی متغیر است که بوسیله آنالیز واریوگرام قابل بررسی است و

* پست الکترونیک مکاتبه کننده: Taghizadeh@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مرحله دوم تخمین متغیر مورد نظر توسط توابع زمین آماری از جمله کریجینگ و کوکریجینگ می باشد (Davis, 1987).

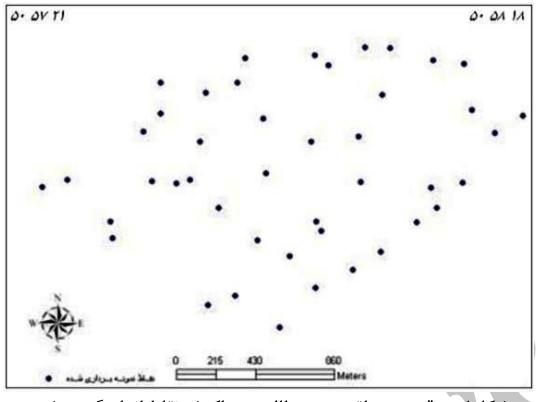
روش‌های زمین آماری در علوم خاک توسط محققین مختلفی بکار گرفته شده است. Amini et al. (۲۰۰۲) میزان کلر موجود در خاک را با استفاده از روشهای زمین آماری برای منطقه‌ای در جنوب شرق اصفهان مدلسازی کردند. ایشان همچنین از میزان شوری به عنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که استفاده از متغیر کمکی دقت برآوردها را به طور قابل ملاحظه‌ای بالابرده است. Mohammadi (۲۰۰۰) با استفاده از تخمین‌گرهای زمین‌آماری و با کمک گرفتن از اطلاعات رقومی سنجنده TM به عنوان متغیر ثانویه، برخی از خصوصیات خاک سطحی، شامل شوری، درصد رطوبت اشباع، نسبت جذب سدیم و درصد آهک را برآورد نموده است. نتایج نشان داد که تخمین‌گرهای زمین‌آماری نسبت به روابط همبستگی خطی از برتری نسبی برخوردار بوده و روش کریجینگ به عنوان روش برتر نسبت به روش‌های معمولی برآورد داده‌های مکانی خاک معرفی گردید. Joanna et al. (۲۰۰۶) با استفاده از روش کریجینگ فعالیت میکروبی و خصوصیات کلونی آن‌ها را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مورد مطالعه قرار دادند و نتایج ایشان نشان داد که در صورتی که عملیات نمونه‌برداری به دقت انجام گیرد، این روش‌ها می‌توانند در برآورد این دسته از ویژگی‌های خاک بسیار مفید باشند. Meul and Van Meirvenne (۲۰۰۳) روش‌های کریجینگ معمولی، کریجینگ جامع، کریجینگ ساده و کوکریجینگ را برای برآورد میزان سیلت در بلژیک استفاده نمود. همچنین این تحقیق مدل رقومی ارتفاع (DEM) به عنوان متغیر ثانویه استفاده کرد. نتایج نشان داد که روش کریجینگ جامع دارای کمترین خطای برآورد می‌باشد. Alison et al. (۲۰۰۵) قابلیت دو روش کریجینگ معمولی و کوکریجینگ را برای برآورد برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نظیرماده آلی، رطوبت، فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک و pH مورد مقایسه قرار دادند نتایج ایشان نشان داد که روش کوکریجینگ به همراه متغیر کمکیEC نسبت به روش کریجینگ معمولی در برآورد ویژگی‌های ذکر شده از دقت بالاتری برخوردار است.

هدف از این مطالعه بررسی و مقایسه کارایی برخی از روش‌های زمین‌آماری نظیر کریجینگ، و کوکریجینگ و همچنین روش (inverse distance weighing, IDW) با توان‌های مختلف برای بررسی تغییرات مکانی و در نهایت تهیه نقشه خصوصیات کیفیت خاک مزرعه دانشکده از قبیل درصد کربن آلی، آهک، رس و سیلت و غلظت عناصر میکرو از قبیل روی، منگنز، مس، سرب و آهن و همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۱۰۰۰ هکتار در جنوب کرج و از لحاظ مختصات جغرافیایی ۳۱ ۴۸ ۳۵ تا ۵۱ ۴۸ ۳۵ شمالی و طول ۱۸ ۵۸ ۵۰ تا ۲۱ ۵۷ ۵۰ شرقی واقع گردیده است. ارتفاع متوسط، گودترین و بلندترین نقطه مورد تحقیق به ترتیب ۱۳۱۸/۵، ۱۲۷۹ و ۱۳۵۲ متر می‌باشد.



شکل۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط اندازه‌گیری شده

نمونه‌برداری و آنالیز فیزیکی- شیمیایی خاک

ابتدا منطقه مورد مطالعه شبکه‌بندی گردید (۵۰۰×۵۰۰ متر) و با در نظر گرفتن واحدهای مختلف خاک و اراضی تفکیک شده برروی نقشه، جمعا ۴۵ نمونه از عمق ۲۰-۰ سانتیمتری سطح خاک در فصل تابستان جمع‌آوری گردید شکل (۱). لازم به ذکر می‌باشد که همه نقاط بر روی گره‌های شبکه قرار نداشته و بعضی از نقاط از داخل شبکه نمونه‌برداری شدند. آزمایشات زیر برروی نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلیمتری انجام گرفت (Sparks et al., 1996).

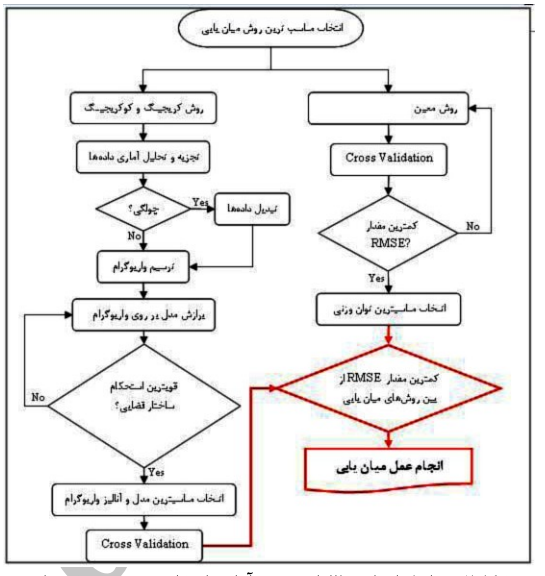
کربن آلی (Walkley and Black)، بافت خاک (روش هیدرومتر)، کربنات کلسیم (کلسیمتری)، ظرفیت تبادل کاتیونی (جانشین کردن کاتیونهای قابل تبادل با یون سدیم در اسیدیته ۸/۲)، آهن، روی، منگنز، مس و سرب (عصاره گیری با DTPA و دستگاه جذب اتمی)(Sparks et al., 1996).

روش تحقیق

در این تحقیق جهت پیش‌بینی پراکنش مکانی خصوصیات خاک، روش های IDW و کریجینگ و کوکریجینگ مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت با استفاده از آزمون برازندگی، مناسبترین روش میانیابی انتخاب گردید (Davis, 1987 ;Wei,

Archive of SID
www.SID.ir

2006;Jiachun, 2007)که براساس میانیابی حاصل و به کار گیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام به تهیه نقشه‌های خصوصیات خاک شد. شکل(۲) مراحل انجام مطالعه که در نهایت منجر به انتخاب بهترین روش میان‌یابی می‌شود را نشان می‌دهد.



شکل۲- مراحل انجام مطالعات زمین آمار و انتخاب بهترین روش برای تخمین کمیت مورد نظر (Zareian-jahromi, 2007)

نرمال سازی داده‌ها

اولین گام در استفاده از روش‌های زمین‌آماری بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها توسط آنالیز واریوگرام می‌باشد. شرط استفاده از این آنالیز نرمال بودن داده‌ها ست. یکی از روش‌های ارزیابی نرمال‌بودن داده‌ها استفاده از ضریب چولگی می‌باشد، هنگامیکه این ضریب کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها احتیاجی به تبدیل نخواهند داشت ولی اگر بین ۰/۵ تا ۱ و بیشتر از ۱ باشد بایستی بترتیب از ریشه دوم و لگاریتم جهت نرمال‌سازی داده‌ها استفاده گردد (Bregt et al. 2006; Wei,1992 ; Shao, 2006).

روش‌های میان‌یابی

در روش IDW برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، طوریکه توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش داده و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همجوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آنها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه تخمین هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند (Davis, 1987).

مقدار فاکتور وزنی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-\alpha}} \qquad (۲)$$

که در آن : λ_i= وزن ایستگاه iام، D_i= فاصله ایستگاه iام تا نقطه مجهول، α= توان وزن دهی

کریجینگ عبارت از یک روش تخمین زمین آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن دار استوار است. به طوریکه می توان گفت این روش بهترین تخمینگر خطی نا اریب (best linear unbiased estimator, BLUE) می‌باشد. این تخمین‌گر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i z(x_i) \qquad (۳)$$

که در آن $Z^*(x)$ عیار تخمینی، λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه iام و $Z(x)$ مقدار متغییر اندازه‌گیری شده می‌باشد. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند زیرا ترکیب خطی از n داده است که شرط استفاده از این تخمینگر این است که، متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت یا باید از کریجینگ غیر خطی استفاده کرد و یا اینکه به نحوی توزیع متغیرها را به نرمال تبدیل نمود (Davis, 1987).

مهمترین قسمت کریجینگ تعیین وزنهای آماری λi می‌باشد که جهت نااریب بودن تخمین‌ها، این اوزان بایستی به نحوی تعیین گردند که مجموع آنها برابر یک باشد ($\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1$) همچنین جهت استفاده از این تخمینگر بایستی واریانس تخمین را محاسبه و سپس تابع حاصل را به حداقل رساند (Hassani-pak, 1998) به عبارتی دیگر:

$$\text{var}\,[z\times(x)] = [(z\times(x) - z(x))^2] = \text{Min} \qquad (۴)$$

همانطور که در آمار کلاسیک نیز روش‌های چند متغیره وجود دارد، در زمین آمار نیز می‌توان از روش کوکریجینگ و بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف، برای تخمین استفاده کرد. معادله کوکریجینگ به شرح زیر می‌باشد(Davis, 1987).

$$Z^*(x_i) = \sum_{e'=1}^{n} \lambda_{e'i} x_i \sum_{k=1}^{n} \lambda_k y(xk) \qquad (۵)$$

که در آن: $Z^*(x_i)$= مقدار تخمین زده شده برای نقطه x_i می باشد، λ_i= وزن مربوط به متغیر Z، λ_k = وزن مربوط به متغیر کمکی y، $Z(x_i)$ = مقدار مشاهده شده متغیر اصلی و $y(x_i)$ = مقدار مشاهده شده متغیر کمکی است(Mohammadi, 2006).

برای تخمین با این روش و برای محاسبه اوزان مربوطه، نیاز به محاسبه واریوگرام متقابل به صورت زیر می‌باشد:

$$\gamma(zy)h = \tfrac{1}{2}[z(x_i + h) - z(x_i)][y(x_k - y(x_k)] \qquad (۶)$$

Archive of SID
www.SID.ir

که در آن : $\gamma(zy)h$ = واریوگرام متقابل بین متغیر y و Z، $Z(x_i)$ = متغیر مشاهده شده و $y(k_i)$ = متغییر کمکی می‌باشد.

تعیین مناسبترین روش میان یابی

پس از رسم واریوگرام و برازش مدل مناسب، عملیات میان‌یابی بوسیله روش کریجینگ، کوکریجینگ و تابع معکوس فاصله با توان‌های مختلف بررسی گردید. برای این منظور می‌توان از شیوه‌های مختلفی استفاده نمود که یکی از مناسبترین آن‌ها استفاده از نتایج ارزشیابی متقابل می‌باشد (Hassani-pak, 1998).

در این تحقیق به منظور آزمون برازندگی روش‌های میانیابی، از روش میانگین مربعات باقیمانده (root mean square error, RMSE) استفاده شد. که فرمول محاسبه آن به شرح زیر می‌باشد:

$$R.M.S.E = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Z(x_i) - Z^*(x_i))^2} \qquad (۷)$$

که در آن: $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر، $Z(x_i)$: مقدار اندازه گیری شده متغیر مورد نظر (مقدار مشاهده ای) و N: تعداد مشاهدات می‌باشد.

نتایج

خلاصه آماری داده‌های مربوط به ۱۰ پارامتر خاک در جدول (۱) آورده شده است. داده‌هایی که چولگی بالایی داشتند، غیرنرمال تشخیص داده شده و برای نرمال‌سازی آن‌ها از روش لگاریتم‌گیری استفاده شد. به عنوان مثال در مورد پارامتر غلظت سرب که دارای چولگی ۱/۱۶ می‌باشد و غیرنرمال است، لذا برای نرمال سازی این پارامتر از روش لگاریتم استفاده گردیدکه چولگی آن به ۰/۶۱ کاهش پیدا کرد.

جدول ۱- نتایج تجزیه آماری خصوصیات خاک

خصوصیات خاک	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	کشیدگی	چولگی
مس(ppm)	۱/۴۷	۲/۶۱	۱/۸۸	۰/۳۱	-۰/۴۵	۰/۸۱
روی(ppm)	/۵۱	۲/۲۷	۰/۹۶	۰/۴۲	۲/۲۹	۱/۵۷
روی*	-۰/۶۷	۰/۸۲	-۰/۱۱	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۵۴
منگنز(ppm)	۱۲/۷۵	۲۰/۱۱	۱۷/۱۲	۱/۸	۰/۲۸	-۰/۹۳
آهن(ppm)	۶/۷۵	۲۸/۳۸	۱۰/۲۵	۴/۳	۷/۹۵	۲/۸۴
سرب(ppm)	۱/۳۸	۳/۸۶	۲/۰۷	۰/۵۴	۱/۲	۱/۱۶
سرب*	۰/۳۲	۱/۳۵	۰/۷	۰/۲	-۰/۲۸	۰/۶۱
رس(%)	۲	۳۷/۴	۲۹/۶۶	۵/۰۶	۱۸/۵۴	-۳/۷
رس*	۰/۶۹	۳/۶۲	۳/۳۵	۰/۴۲	۳۵/۲۹	-۵/۹۵
سیلت(%)	۲/۲۸	۴۸	۳۶/۲۳	۶/۵	۱۴/۸۱	-۳/۰۷
سیلت*	۰/۸۲	۳/۸۷	۳/۵۴	۰/۴۳	۳۴/۲۴	-۵/۸۲
کربن آلی(%)	۰/۶	۱/۷۲	۱/۲۲	۲/۴۵	۳۸/۷	۶/۳۷
کربن آلی*	-۰/۵۱	۰/۲۸	-۰/۱۱	۰/۴۸	۲۹/۱۳	۵/۱۹
آهک(%)	۶/۶	۱۴/۲۷	۸/۵۹	۱/۵۵	۴/۷۳	۲/۱۶
آهک*	۱/۸۹	۲/۶۶	۲/۱۴	۰/۱۵	۲/۹۳	۱/۶۵
ظرفیت تبادل کاتیونی(Cmol/Kg)	۲/۴۱	۱۸/۵	۱۳/۸۸	۲/۱۷	۱۶/۰۳	-۳/۱۱

* استفاده از لگاریتم برای نرمال سازی

اولین گام در استفاده از روشهای کریجینگ و کوکریجینگ بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها توسط آنالیز واریوگرام می‌باشد، بدین منظور اقدام به ترسیم واریوگرام با استفاده از داده‌های نرمال گردید. شکل(۳) واریوگرام‌های مربوط به روش کریجینگ را نشان می‌دهد. بعد از تست مدل های مختلف با استفاده از شاخص RMSE و در نظر گرفتن ساختار فضائی هر یک از مدل‌های برازش داده شده، مدل مناسب برای برازش برروی واریوگرام تجربی انتخاب گردید. در جدول (۲) بهترین مدل به همراه پارامترهای واریوگرام آورده شده است.

نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه را می‌توان برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها مورد بررسی قرار داد. وقتی این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد، بین ۰/۲۵-۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط بوده و هنگامیکه بزرگتر از ۰/۷۵ باشد ساختار مکانی ضعیف می‌باشد(Robinson and Metternicht, 2006).

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به اینکه نسبت اثر قطعه‌ای برآستانه(C_O/C_O+C) برای بعضی از خصوصیات (مس، روی، منگنز، آهن، سرب و ظرفیت تبادل کاتیونی) کمتر از ۰/۲۵ می‌باشد، این پارامترها دارای پیوستگی مکانی قوی می‌باشند. همچنین پارامترهای (رس، سیلت، کربن آلی و آهک) دارای ساختار مکانی ضعیف تر هستند. همچنین شعاع تاثیر داده‌ها رنجی بین ۶۳۷ تا ۱۳۸۱ متر می‌باشد.

در روش کوکریجینگ، پس از تشکیل ماتریس همبستگی، برای پیش‌بینی خصوصیات خاک از پارامتری به عنوان متغیر کمکی استفاده شد که دارای بیشترین ضریب همبستگی با متغیر مورد نظر می‌باشد(جدول۳). لذا برای برآورد مس، روی، منگنز، آهن، سرب، رس، کربن آلی، سیلت، آهک و ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب از پارامترهای روی، مس، سرب، سرب، مس، مس، واکنش خاک، رس، رس و آهن به عنوان متغیر کمکی استفاده گردید.واریوگرام‌های متقابل مربوطه در شکل(۴) ارائه شده است.

پس از مدل‌سازی واریوگرام، از سه روش IDW، کریجینگ و کوکریجینگ برای پیش‌بینی تغییرات مکانی خصوصیات خاک استفاده شد. برای ارزیابی سه روش مذکور از پارامتر RMSE استفاده گردید. مطابق جدول(۴) به منظور تخمین برخی از خصوصیات خاک (مس، روی، منگنز، سرب، کربن آلی و آهک) روش کوکریجینگ بر دو روش دیگر ارجحیت داشت. زیرا شرایط استفاده از کوکریجینگ در زمانی می‌باشد که تعداد نمونه کمی در دست است. محل‌هایی که در آن‌ها کمبود نمونه وجود دارد به کمک متغیرهای ثانوی و با استفاده از همبستگی متقابل بین متغیرهای اصلی و ثانوی، تخمین زده می‌شوند. وقتی تعدادی متغیر همبسته با هم تخمین زده می‌شوند، از نظر تئوری کوکریجینگ نسبت به کریجینگ معمولی ارجحیت دارد، حتی وقتی از همه متغیرها به اندازه کافی نمونه در دسترس باشد. برای تخمین سایر پارامترهای خاک روش IDW با توان‌های مختلف دارای کمترین خطا می‌باشد. پس از انتخاب مناسبترین روش میانیابی برای هر خصوصیت خاک اقدام به میانیابی گردید و در نهایت با استفاده از تکنیک GIS نقشه پهنه بندی خصوصیات خاک تهیه گردید (شکل۵).

شکل۳- واریوگرام‌های مربوط به خصوصیات خاک با توجه به روش کریجینگ

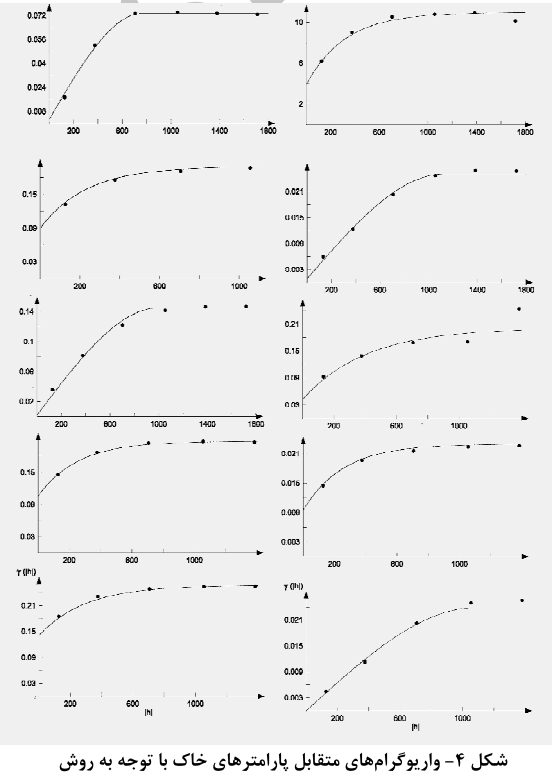
جدول۲- بهترین مدل برازش داده شده به واریوگرام و پارامترهای مربوط به آن

خصوصیات خاک	مدل	اثر قطعه‌ای (C_o)	آستانه (C_O+C)	شعاع تاثیر(m)	اثر قطعه ای برآستانه(C_O/C_O+C)
مس	کروی	۰/۰۰۲۱	۰/۰۲۳	۱۲۰۳	۰/۰۹
روی	کروی	۰/۰۱۶	۰/۱۲	۱۰۷۷	۰/۱۳
منگنز	نمایی	۰/۶۸	۲/۸۶	۱۳۸۱	۰/۲۳
آهن	کروی	۰/۰۰۳۶	۰/۰۷	۷۵۱	۰/۰۵۱
سرب	کروی	۰/۰۱۳	۰/۰۵۲	۱۱۵۰	۰/۲۵
رس	نمایی	۰/۰۹۱	۰/۱۰۲	۶۳۷	۰/۸۹
سیلت	نمایی	۰/۱۱	۰/۰۹۸	۷۳۲	۱/۱۲
کربن آلی	نمایی	۰/۱۴	۰/۱۱	۷۶۵	۱/۱۸
آهک	نمایی	۰/۰۰۶	۰/۰۱۳	۷۱۴	۰/۴۶
ظرفیت تبادل کاتیونی	کروی	۰/۸۶	۳/۶۴	۸۸۰	۰/۲۳

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۳- ضرایب همبستگی بین خصوصیات خاک

	مس	روی	منگنز	آهن	سرب	رس	سیلت	شن	کربن‌آلی	آهک	ظ.ت.ک	واکنش خاک
مس	۱											
روی	۰/۸۵	۱										
منگنز	۰/۳۲	۰/۳۵	۱									
آهن	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۰۷	۱								
سرب	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۴۰	۰/۶۲	۱							
رس	۰/۴۴	۰/۳۶	۰/۱۱	۰/۰۰۱	۰/۱۶	۱						
سیلت	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱۴	۱					
شن	-۰/۲۴	-۰/۲۴	-۰/۱۵	-۰/۰۴	-۰/۱۳	-۰/۶۳	-۰/۸۵	۱				
کربن آلی	۰/۱۹	۰/۲۲	-۰/۰۲	-۰/۰۳	-۰/۰۴	۰/۱۱	-۰/۱۲	۰/۰۴	۱			
آهک	۰/۲۳	۰/۲۰	-۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۲۴	-۰/۰۱	-۰/۱۲	-۰/۱۱	۱		
ظ.ت.ک	-۰/۱۷	-۰/۱	-۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۱	۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۱۶	۱	
واکنش خاک	-۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۰۱	-۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۰۴	-۰/۱۶	۰/۳۳	-۰/۰۲	۰/۰۷	۱



شکل ۴- واریوگرام‌های متقابل پارامترهای خاک با توجه به روش کوکریجینگ

بحث

نتایج نشان داد که اکثر خصوصیات مورد مطالعه دارای چولگی بالایی بودند. که دلیل آن می‌تواند کم بودن تعداد نمونه‌ها می‌باشد. البته استفاده از لگاریتم، داده‌ها را تا حد زیادی نرمال ساخت. پس از ترسیم واریوگرام و برازش مدل مناسب بر روی آن، پارامترهای مربوطه استخراج شد. مطابق جدول(۵) به منظور تخمین برخی از خصوصیات خاک (مس، روی، منگنز، سرب، کربن آلی و آهک) روش کوکریجینگ بر دو روش دیگر ارجحیت داشت. زیرا شرایط استفاده از کوکریجینگ در زمانی می‌باشد که تعداد نمونه کمی در دست است. محل‌هایی که در آن‌ها کمبود نمونه وجود دارد به کمک متغیرهای ثانوی و با استفاده از همبستگی متقابل بین متغیرهای اصلی و ثانوی، تخمین زده می‌شوند. وقتی تعدادی متغیر همبسته با هم تخمین زده می‌شوند، از نظر تئوری کوکریجینگ نسبت به کریجینگ معمولی ارجحیت دارد، حتی وقتی از همه متغیرها به اندازه کافی نمونه در دسترس باشد. نتایج این تحقیق در راستای تحقیقی است که Amini et al. (۲۰۰۲) انجام دادند. ایشان از میزان شوری خاک به عنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که استفاده از متغیر کمکی دقت برآوردها را به طور قابل ملاحظه‌ای بالابرده است. همچنین Mohammadi (۲۰۰۰) نشان داد که تخمین‌گرهای زمین‌آماری نسبت به روابط همبستگی خطی از برتری نسبی برخوردار بوده و روش کریجینگ به عنوان روش برتر برآورد داده‌ها مکانی خاک معرفی گردید. Alison et al. (۲۰۰۵) برای برآورد برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر ماده آلی، رطوبت، فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک و واکنش خاک مورد مقایسه قرار دادند نتایج ایشان نشان داد که روش کوکریجینگ به همراه متغیر کمکی شوری خاک نسبت به روش کریجینگ معمولی در برآورد ویژگی‌های ذکر شده از دقت بالایی برخوردار است. علاوه بر این محققین دیگری نیز کارایی روش‌های زمین‌آماری را تایید کردند. Jiachun and Haizhen (۲۰۰۷) طی مطالعه‌ای که بر روی پراکنش مقدار ماده آلی در خاک‌های شمال‌شرق چین داشته‌اند به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ معمولی می‌تواند توزیع مکانی ماده آلی خاک را به دقت برآورد نماید. Xiaopeng, et al. (۲۰۰۸) برای برآورد

Archive of SID

www.SID.ir

مکانی آلودگی جیوه در خاک‌های منطقه باوجی چین از روش کریجینگ معمولی استفاده کردند و دقت بالای این روش را تایید کردند. Shao, et al. (۲۰۰۶) با استفاده از زمین آمار و بهره‌گیری از روش کریجینگ توزیع مکانی عناصر غذایی موجود در خاک‌های منطقه هبی چین را مشخص کردند. شی Shi, et al(۲۰۰۵) نقشه پراکنش شوری خاک را در مناطق ساحلی

شکل۵- نقشه پهنه‌بندی خصوصیات خاک با استفاده از کوکریجینگ و IDW

Archive of SID

www.SID.ir

بخشی از کشور چین با استفاده از روش‌های زمین‌آماری تهیه کردند. برای برآورد نسبت جذب سدیم و شوری خاک، روش کوکریجینگ بترتیب با پارامترهای کمکی سدیم و کلسیم- منیزیم مناسب تشخیص داده شدند. Hosseini, et al. (۱۹۹۴) نیز جهت برآورد مقدار SAR روش کوکریجینگ را مناسب تشخیص دادند. البته برای تخمین سایر پارامترهای خاک روش معکوس فاصله با توان‌های مختلف دارای کمترین خطا می‌باشد و به عنوان بهترین روش درون‌یابی معرفی می‌گردد. این مسئله نشان می‌دهد که برای تهیه نقشه خاک باید انواع روش‌های مختلف درون‌یابی را استفاده و تست نمود و با توجه به بهترین روش، اطلاعات پایه را برای تناسب اراضی ایجاد کرد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه مناطق صنعتی و مسکونی که عامل موثری در محدود شدن اراضی برای کشاورزی به شمار می‌آیند، نیاز به استفاده بهینه از اراضی موجود احساس می‌شود. کشاورزی پایدار در صورتی تحقق می‌یابد که اراضی بر حسب تناسب برای انواع مختلف کاربری‌ها طبقه‌بندی شوند. بنابراین به منظور عدم گسترش آثار ناشی از بهره‌برداری غلط از اراضی، لزوم یک برنامه‌ریزی صحیح و طولانی مدت در زمینه استفاده از اراضی بر اساس استعدادشان و نوع احتیاجات جامعه امروز انسانی مشهود است. در این راستا یکی از پایه‌ای‌ترین اطلاعات منابع اراضی، بدون شک نقشه خصوصیات خاک می‌باشد. لذا با کمک گرفتن از روش‌های نوین از جمله زمین‌آمار می‌توان با کمترین داده‌های ممکن اقدام به تهیه نقشه خصوصیات خاک کرد. در کل نتایج این تحقیق نیز نشان داد که روش‌های زمین‌آماری روش‌های مناسبی برای تخمین خصوصیات خاک می‌باشند. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده علاوه بر استفاده از سایر روش‌های میان‌یابی، از داده‌های ماهواره‌ای نیز به عنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ استفاده گردد.

جدول۴- نتایج خطای میانیابی برای تخمین خصوصیات خاک

خصوصیات خاک	کوکریجینگ	کریجینگ	میانگین متحرک وزن دار(IDW)				
			توان۱	توان۲	توان۳	توان۴	توان۵
مس	۰/۱۷۴	۰/۲۴۳	۰/۲۵۲	۰/۲۵۷	۰/۱۸۸	۰/۲۸۵	۰/۲۹۱
روی	۰/۲۵	۰/۳۲۳	۰/۳۲۷	۰/۳۲۴	۰/۳۳۶	۰/۳۴۵	۰/۳۵۱
منگنز	۱/۵۴۵	۱/۵۹۶	۱/۶۳۶	۱/۷۰۹	۱/۸۵۲	۱/۹۴۵	۱/۹۹۴
آهن	۲/۸۷۶	۲/۸۹۲	۳/۵۳۶	۲/۵۵۶	۲/۱۰۹	۲/۱۰۹	۲/۰۶
سرب	۰/۳۶۲	۰/۴۳	۰/۴۴۳	۰/۳۷۶	۰/۳۶۴	۰/۳۷۹	۰/۳۹۵
رس	۵/۹۲۶	۶/۷۷۲	۵/۱۵۱	۵/۶۴۹	۶/۳۶۷	۶/۹۷۴	۶/۹۷۴
سیلت	۸/۰۵۳	۹/۴۷۴	۶/۹۸۳	۷/۴۵۸	۸/۲۶۵	۸/۹۶۳	۹/۴۷۶
کربن آلی	۲/۴۵۲	۲/۴۶۶	۲/۵۹۴	۲/۸۳۴	۳/۲۳۷	۳/۵۸۶	۳/۸۴۱
آهک	۱/۵۷۴	۱/۵۷۵	۱/۶۰۱	۱/۷۶۹	۱/۹۶۹	۲/۱۰۹	۲/۲۰۴
ظرفیت تبادل کاتیونی	۲/۲۷۲	۲/۱۶۶	۲/۱۶۳	۲/۱۶۴	۲/۵۳۳	۲/۷۵۵	۲/۹۱۸

REFERENCES

Alison, B. T., Kenneth, J. M., Burras, C. L., Donald, G. B. and Philip, M. D. (2005). Improving map accuracy of soil variables using soil electrical conductivity as a covariate. Precision Agriculture. Vol (6): 255–270.

Amini, M., H. Khademi and N. Fathiyanpoor. (2002). Capmarison between kriging and cokriging for determining of chlore in soil solution. Iranian journal of agricultural sciences. Vol (33), 741-747. In Persian.

Ayoubi, Sh. and A. Jalalian. (2006) Land evaluation (Agriculture and Natural Resources). Isfahan: Isfahan University of Technology. In Persian.

Bregt, A. K., Stoorvogel, J.J., Bounma, J. and Stein, A. (1992). Mapping Ordinal Data in Soil Survey: a Costa Rican Example. Soil Sci Soc Am J. Vol (56):525–531.

Davis, B.M. (1987).Uses and abuses of cross-validation in geostatistics .Math. Geol.Vol (19), 241–248.

Hassani-pak, A. 1998. Geostatistics. Tehran: University of Tehran. In Persian.

Hosseini. E, Gallichand and Marcotte, D. (1994). Theoretical and experimental performance of spatial Interpolation methods for soil salinity analysis. Transactions of the ASAE 37. Vol (6): 1799-1807.

Jiachun Shi, Haizhen Wang, Jianming Xu, Jianjun Wu, Xingmei Liu and Haiping Z. C. Y. (2007). Spatial distribution of heavy metals in soils:a case study of changxing, china, Environ Geol. Vol (52):1-10.

Joanna, M. B., Tim, P., Cindy, H. N., Jayson, D. W. and Allan, K. (2006). Bacterial Activity, Community Structure, and Centimeter-Scale Spatial Heterogeneity in Contaminated Soil. Microbial

Archive of SID
www.SID.ir

Ecology. Vol (51): 220–231.

Meul. M, Van Meirvenne. M. (2003). Kriging soil texture under different types of nonstationarity, Geoderma. Vol (112): 217-233.

Mohammadi, J. (2000). Evaluation and maping of soil salinity hazard in Ramhormoz area (Khuzestan) using disjungtive kriging. Journal of Agricultural Reasearch. Vol (6):45-57.

Mohammadi, J. (2006) Pedometrics. Tehran: Pelk press. In Persian.

Robinson,T.P and Metternicht, G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties, Computer and Electronics in Agriculture. Vol (50):97-108.

Shao, W. H., Ji, Y. J., Li, P. Y. and You, L. B. (2006). Spatial Variability of Soil Nutrients and Influencing Factors in a Vegetable Production Area of Hebei Province in China. Nutr Cycl Agroecosyst. Vol (75):201–212.

Shi, Z., Li, Y., Makeschine, F. and Wang, R. C. (2005). Assessment of temporal and spatial variability of soil salinity in a coastal saline field. Environ. Geol. Vol (48): 171–178.

Sparks, D.L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Leoppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, G. T. Johnston and summer, M. E. (1996) Methods of soil analysis. Madison: Soil Sci. Soc. of America.

Sys, Ir.C., E. Van Ranst and Ir. J. Debaveye. (1991). Land evaluation Part I. Principal Land evaluation and Crop production calculation general administration for development. Cooperation agric.

Webster, R., Oliver, M.A. (2001). Geostatistics for Environmental Scientists. Australia: Wiley.

Wei, J. B., Xiao, D. N., Zhang, X. Y., Li, X. Z. and Li, X. Y. (2006). Spatial Variability of Soil Organic Carbon in Relation to Environmental Factors of a Typical Small Watershedin the Black Soil Region, Northeast China. Environmental Monitoring and Assessment. Vol (121): 597–613.

Xiaopeng, Y. and Lingqing, W. (2008). Spatial Analysis and Hazard Assessment of Mercury in Soil around the Coal-Fired Power Plant: A Case Study from the City of Baoji, China. Environ Geol. Vol (53):1381–1388

Zareian-jahromi, M. (2007). An investigation on morphometric of sand dune in south of Iran. MSc thesis. University of Tehran. In Persian.

Archive of SID

www.SID.ir