

ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی در برآورد مکانی برخی ویژگی‌های خاک دشت سیستان

سهیلا رضازاده شمخال^{1*}، احمد غلامعلی زاده آهنگر²، سعید گزوه³، حامد فروغی فر⁴، ابوالفضل باهری⁵

تاریخ دریافت: 92/05/27

تاریخ پذیرش: 95/01/24

1- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

2- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

3- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

4- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

5- مربی گروه خاکشناسی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: soheyla_rezazadeh@yahoo.com

چکیده

خاک محیط ناهمگنی بوده و ویژگی‌های آن در زمان و مکان تغییر می‌کند. لذا بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک امری ضروری است. این تحقیق با هدف بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک مانند چگالی ظاهری، درصد آهک، شوری و pH خاک توسط روش‌های مختلف میان‌یابی و سپس انتخاب مناسب‌ترین روش برای برآورد ویژگی‌های مذکور در کل دشت سیستان انجام گرفت. به منظور بررسی روش‌های زمین‌آماری از قبیل کریجینگ، کوکریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک در اراضی دشت سیستان، تعداد 301 نمونه خاک به صورت سیستماتیک و منظم با فاصله 1500 متری از منطقه دشت سیستان تهیه شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. ویژگی‌های ذکر شده اندازه‌گیری گردید. با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و GS+ نیم تغییرنماهای این پارامترهای خاک تعیین و نقشه پهنه‌بندی هر کدام ترسیم گردید و تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار SPSS انجام شد. معیار ارزیابی روش‌های مختلف زمین‌آماری در این پژوهش، مقادیر میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل بود. نتایج نشان داد که روش وزن‌دهی معکوس فاصله با توان 2 برای چگالی ظاهری و روش کوکریجینگ برای شوری، آهک و pH خاک با کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا بیشترین دقت را داشت. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که بالا بودن درصد رس در قسمت‌های شمالی در میزان شوری مؤثر می‌باشد. همچنین میزان آهک و pH خاک‌های سیستان بالا بوده و آهکی و قلیایی هستند. چگالی ظاهری خاک‌های منطقه دارای تغییرات شدید و ناگهانی بود.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، تغییرات مکانی، درون‌یابی، دشت سیستان

Evaluation of Different Interpolation Methods in Spatial Estimation of Soil Properties in Sistan Plain

S Rezazadehshamkhal^{*1}, A Gholamalizadeh Ahangar², S Gazmeh³, H Froghifar⁴, A Bameri⁵

Received: 18 August 2013

Accepted: 12 April 2016

1- M.Sc. Student of Soil and Water Sci, Zabol Univ, Iran

2- Assist. Prof., Soil Sci, Dept., Soil and Water. Faculty, Univ. of Zabol, Iran

3- M.Sc. Student of Soil and Water Sci, Zabol Univ, Iran

4- Assist. Prof., Soil Sci, Dept., Agric. Faculty, Univ. of Birjand, Iran

5- Lecturer, Soil Sci, Dept., Soil and Water. Faculty, Univ. of Zabol, Iran

* Corresponding Author Email: soheyla_rezazadeh@yahoo.com

Abstract

Soil is a heterogeneous environment and its properties changes with space and time. Therefore, the investigation of spatial variation of soil properties is essential. This study aimed at investigating the spatial variation of soil parameters such as bulk density, salinity, lime percentage, and soil pH through application of different interpolation methods and choosing the most appropriate method for estimating the above parameters all over the plain. In order to apply geostatistical methods such as Kriging, co-Kriging and inverse distance weighting to determine the spatial variability of soil parameters, 301 soil samples were collected from the plain systematically and regularly, with the distance of 1500m between each two samples and then, soil samples were transferred to the laboratory. After that, the above-mentioned characteristics were measured. Using ArcGIS and GS+ softwares the variograms of these parameters were determined and the zoning maps for each parameter were drawn. Then, the data analysis was done in SPSS software. The criteria for evaluation of different geostatistical methods in this study was the mean and root mean square error by using cross validation technique. The results showed that squared inverse distance weighting method for bulk density and co-Kriging method for salinity, lime and soil pH had the lowest root mean square error and were the most accurate methods. Zoning maps showed a high percentage of clay in the soils of the northern part of the plain, which affect these soils salinity. In addition, the soil pH and amount of lime in Sistan's soils were high so this region had calcareous and alkaline soils. bulk density has sharp, sudden changes in the region.

Key words: Interpolation, Sistan Plain, Spatial Variation, Zoning

مقدمه

شناخت این تغییرات به‌ویژه در اراضی کشاورزی برای برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت زراعی اجتناب ناپذیر است (گودوین و میلر 2003). درک بهتر اثر عوامل مدیریتی مانند مصرف نهاده‌ها نیازمند تشخیص و کمی کردن غیریکنواختی و تغییرپذیری ویژگی‌های خاک است (بوسون و کویگوی 2003). روش‌های مختلفی برای برآورد داده‌های مکانی وجود دارد که از معمول‌ترین این روش‌ها می‌توان به میانگین حسابی، گرادیان، روش تیسن و روش هیپسومتریک اشاره نمود (حسینی و همکاران 1993). روش‌های زمین آماری مانند کریجینگ به دلیل اینکه بهترین برآورد نارایب خطی را برای تعیین مقادیر مجهول در مناطق نمونه‌برداری نشده به دست می‌دهند، در مطالعات خاک‌شناسی بسیار استفاده شده است (اوده و همکاران 1995). بررسی‌های مختلف

ویژگی‌های خاک یکی از عوامل عمده تغییرپذیری تولید در مزارع محسوب می‌شود. وجود تغییرات مکانی در ویژگی‌های خاک و اهمیت آن در تولید محصول امری بدیهی می‌باشد. با این وجود آگاهی از آن برای توسعه سودآوری و عملیات کشاورزی پایدار ضروری می‌باشد (یاماگیشی و همکاران 2003). عوامل مدیریتی مانند عملیات خاک‌ورزی، کاربرد کودهای شیمیایی یا مواد اصلاح کننده، حرکت ماشین‌آلات کشاورزی، ادوات مختلف و فشردگی خاک‌ها و یا عوامل طبیعی مانند اختلاف در غلظت یون‌های واقع در لایه مضاعف پخشیدگی، مواد مادری و هیدرولوژی باعث تغییر پذیری مکانی ویژگی‌های خاک می‌شوند (محمدی 1385).

فاصله و با استفاده از نرم‌افزار GS+ و ArcGIS10 انجام گردید.

مواد روش‌ها

ناحیه مورد مطالعه و الگوی نمونه‌برداری

منطقه مورد مطالعه تمامی اراضی دشت سیستان می‌باشد. این منطقه در طول جغرافیایی 61 درجه و 10 دقیقه تا 61 درجه و 49 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 29 درجه و 55 دقیقه تا 31 درجه و 20 دقیقه شمالی واقع شده است. متوسط بارندگی سالیانه منطقه 55 میلی‌متر و میزان تبخیر سالیانه 4500 تا 5000 میلی‌متر و ارتفاع از سطح دریا 489/2 متر می‌باشد (مربوط به 10 سال اخیر). شکل 1 موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. عمده خاک‌های این منطقه جز رده اریدیسول‌ها¹ و انتی‌سول‌ها² می‌باشند (بی‌نام 1375). برای ایجاد شبکه نمونه‌برداری، ابتدا بر روی نقشه‌های توپوگرافی منطقه شبکه منظمی با فواصل 1500 متر ایجاد شد و مختصات آنها بر اساس سیستم مختصات متریک (سیستم تصویر جهانی³) تعیین گردید. پس از ورود مختصات این نقاط به GPS، این نقاط در اراضی منطقه مشخص و برداشت نمونه‌ها از عمق 0-30 سانتی‌متری سطح خاک انجام شد. تعداد 301 نمونه خاک دست‌خورده از منطقه مورد مطالعه جهت اندازه‌گیری چگالی ظاهری جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه منتقل گردید.

تجزیه‌های آزمایشگاهی

پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه نمونه‌ها هوا خشک و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و ویژگی‌های آن از جمله pH خاک در گل اشباع (توماس 1996) و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به روش هدایت‌سنجی (ره‌دز 1996) کربنات

میان‌یابی در تخمین pH خاک نشان داده که کریجینگ مناسب‌ترین روش بوده است (لاسلت و همکاران 1987). همچنین در برآورد روش‌های مختلف برای تخمین شوری نتایج مشابه به دست آمده است (لی و یه 1999). بررسی روش‌های مختلف زمین‌آمار در برآورد شوری خاک در خاک‌های شور ساحل شانگیوی چین با استفاده از تعداد داده متفاوت، روش کوکریجینگ را نسبت به کریجینگ دارای دقت بیشتری اعلام نمود (یانل و همکاران 2007). طبق تحقیقی در داکوتای شمالی برای برآورد pH و کربن آلی، روش کوکریجینگ را روش مناسب‌تری نسبت به کریجینگ اعلام کردند (ویو و همکاران 2006). آنجل و همکاران (2000) تغییرات مکانی هدایت الکتریکی خاک را تحت شرایط قبل و بعد از زهکشی در زمینی به وسعت 33 هکتار مورد مطالعه قرار دادند. قبل از زهکشی داده‌های هدایت الکتریکی در عمق 0-20 سانتی‌متری از ساختار مکانی قوی‌تری برخوردار بودند، در حالی که تغییرناهمای عمق 40-60 سانتی‌متری خاک بعد از زهکشی ساختار مکانی بهتری از خود نشان دادند. این مطالعه نشان داد که شرایط زهکشی هم مقادیر هدایت الکتریکی و هم تغییرات مکانی آنها را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد. انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی برای یک متغیر مکانی بستگی به نوع متغیر، شبکه نمونه‌برداری، نحوه نمونه‌برداری و منطقه مورد مطالعه دارد و یک روش انتخاب شده را برای منطقه دیگر نمی‌توان بکار برد (احمدالی و همکاران 1388). بخش عمده‌ای از دشت سیستان با مشکل شوری مواجه است و نقشه مرتبط با ویژگی‌های خاک به‌صورت کامل از دشت سیستان موجود نیست، بنابراین، تهیه نقشه‌های ویژگی‌های خاک از اهمیت ویژه‌ای برای این منطقه برخوردار است. بدین منظور این تحقیق با هدف انتخاب مناسب‌ترین روش تخمین و پهنه‌بندی متغیرهای مکانی خاک (چگالی ظاهری، pH خاک، شوری و درصد آهک) با روش‌های زمین‌آمار کریجینگ، کوکریجینگ و وزن‌دهی معکوس

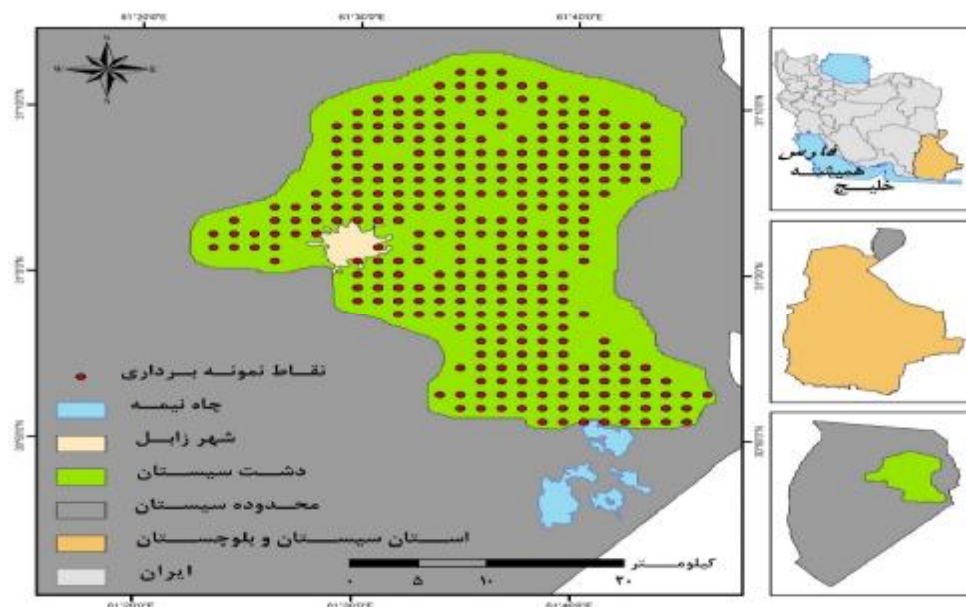
¹ Aridisols

² Entisols

³ Universal Transverse Mercator

ظاهری با روش کلوخه با پارافین (بلاک و هارتیج (1986) اندازه‌گیری شد.

کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتراسیون با سود (لوپرت و سوآرز (1996) و چگالی



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نمایی از شبکه نقاط نمونه‌برداری.

نیم‌تغییرنا نمایانگر همسانی یا تشابه بین متغیرهای اندازه‌گیری شده و متغیرهای همسایه آن می‌باشد (دیوتسچ و ژورنل 1998). انتخاب مناسب‌ترین مدل تغییرنا، بر اساس کمینه مجموع مربعات¹ و بیشینه میزان ضریب تبیین (R^2)² صورت گرفت.

$$R^2 = \frac{(\hat{a} (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))^2}{\hat{a} (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}$$

برای مقایسه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش و انتخاب مناسب‌ترین مدل برای برآورد ویژگی‌های خاک، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای همه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد

تجزیه‌های زمین‌آماری

ساختار تغییرات مکانی با استفاده از واریوگرام صورت می‌گیرد. واریوگرام تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییرپذیری یک متغیر خاص را نشان داده و از ابزارهای اساسی زمین‌آمار جهت بررسی تغییرات مکانی و ویژگی‌های خاک می‌باشد. در مطالعه حاضر از مدل‌های زمین‌آماری کریجینگ، کوکریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله³ استفاده شد. یکی از بهترین روش‌های زمین‌آماری برای تخمین و میان‌یابی متغیرهای مکانی، روش کریجینگ می‌باشد. برای استفاده از روش کریجینگ ابتدا باید مدل نیم‌تغییرنا برای متغیرها مشخص گردد. پس از به دست آوردن تغییرناهای تجربی، مدل نظری بر تغییرنا به کمک نرم‌افزار GS+ برازش داده شد و تغییرنا مناسب به داده‌های ویژگی‌های خاک از بین مدل‌های خطی⁴، خطی به سقف⁵، کروی⁶، نمایی⁷ و گوسی⁸ برازش داده شد.

⁴ Spherical
⁵ Exponential
⁶ Gaussian

¹ Inverse distance weighted (IDW)
² Linear
³ Linear to Sill

نتایج و بحث

توصیف متغیرها

بر اساس طبقه‌بندی ویلینگ و درس (1983)، متغیرهایی با ضریب تغییرات کمتر از 15 درصد دارای تغییرات کم، متغیرهایی با ضریب تغییرات بین 15 تا 35 درصد دارای تغییرات متوسط و متغیرهایی با ضریب تغییرات بالای 35 درصد دارای تغییرات زیاد می‌باشند. با توجه به جدول 1 می‌توان بیان کرد که شدت تغییرات ویژگی‌های pH خاک و چگالی ظاهری در منطقه مورد مطالعه کم می‌باشد. آهک خاک دارای تغییرات متوسط و شوری بیشترین تغییرات را داراست که علت این امر را می‌توان به املاح و مواد رسوبی که از دریاچه هامون صابری به‌جای مانده ربط داد که این دریاچه چندین سال است که خشک شده است.

داشت. در این مطالعه از شاخص آماری میانگین خطا³ و جذر میانگین مربعات خطا⁴ استفاده شد.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i) \quad [1]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2} \quad [2]$$

در معادلات فوق X_i مقدار برآوردی در نقطه i ام و Y_i مقدار مشاهده‌ای برای نقطه‌ی i ام، N تعداد نمونه، \bar{X} و \bar{Y} متوسط داده‌های X_i و Y_i می‌باشد. برای پهنه‌بندی و ارائه نقشه با توجه به مقادیر آماری بالا از روشی استفاده گردید که دارای کمترین میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS انجام گردید. همچنین از نرم‌افزار 10 ArcGIS برای تحلیل‌های زمین‌آماري و تهیه نقشه استفاده شد.

جدول 1- توصیف آماری ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه.

پارامتر	واحد	کمینه	بیشینه	میانه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
CaCO ₃ (درصد آهک)	(%)	12	30/25	20/50	20/68	3/19	15/50	0/33	3/38
ECe (شوری)	(dS m ⁻¹)	0/20	7/85	1/82	1/97	1/95	99/30	1/31	0/88
pH (اسیدیته)	-	7/60	10/60	8/66	8/72	0/48	5/50	0/80	4/61
Bd (چگالی ظاهری)	(g cm ⁻³)	1/01	2/27	1/53	1/53	0/20	13	0/14	0/76

استفاده شد. رینسون و مترنیچت (2006) اظهار می‌دارند چولگی متداول‌ترین فرم انحراف از توزیع نرمال می‌باشد و اگر متغیری دارای چولگی مثبت و بیشتر از یک باشد، واریانس‌های آن دارای اعتبار کمتری خواهند بود. همچنین در روش کوکریجینگ استفاده از متغیر کمکی لازم است، بدین منظور همبستگی چگالی ظاهری و سایر ویژگی‌ها با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفتند و از متغیر کمکی که همبستگی خوبی با ویژگی‌ها داشت استفاده شد. بنابراین همان‌طور که در جدول 2 ملاحظه می‌شود بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده رابطه همبستگی برقرار شد و ویژگی با ضریب همبستگی بالاتر به‌عنوان متغیر

در صورت نرمال بودن یا نزدیک به نرمال بودن توزیع داده‌ها، روش‌های تخمین مورد استفاده در زمین آمار از دقت بالایی برخوردار خواهند بود. مقادیر ضریب چولگی ارائه شده در جدول مؤید این مطلب است، تنها ویژگی هدایت الکتریکی از توزیع نرمال برخوردار نمی‌باشد و ضریب چولگی آن بین -1 و +1 قرار ندارد (بامری و همکاران 1391). در نتیجه برای تحلیل‌های واریوگرافی از تبدیل ریشه دوم ویژگی هدایت الکتریکی

¹ Residual sum of square (RSS)

² Coefficient of determination

³ Mean error (ME)

⁴ Root mean square error (RMSE)

کمکی در نظر گرفته شد. از میان ویژگی‌های مورد بررسی کربنات کلسیم معادل بیشترین همبستگی ($P \leq 0.01$) را با سیلت ($r=0/347$)، چگالی ظاهری با شن ($r=0/264$)، شوری با رس ($r=0/209$) و اسیدیته با چگالی ظاهری ($r=0/160$) در منطقه نشان می‌دهد.

جدول 2- ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه.

پارامتر	Bd	Sand	Silt	Clay	CaCO ₃	ECe	pH
Bd	1						
Sand	0/264**	1					
Silt	-0/250**	-0/876**	1				
Clay	-0/129*	-0/603**	0/144*	1			
CaCO ₃	-0/077	-0/426**	0/347**	0/302**	1		
ECe	-0/190**	-0/188**	0/107	0/209**	0/023	1	
pH	0/160**	-0/02	0/057	-0/054	0/106	-0/024	1

* و ** به ترتیب همبستگی معنی‌دار در سطح 5 و 1 درصد

تحلیل همبستگی مکانی

اثر قطعه‌ای (C0) مقدار تفاوت عمودی از نقطه صفر در شروع واریوگرام می‌باشد که عامل عدم پیوستگی واریوگرام در نقطه صفر می‌باشد. آستانه (C0+C) مقدار حداکثر واریوگرام می‌باشد. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه ($C0/(C0+C)$) شاخصی از قدرت ساختار مکانی متغیرها می‌باشد. هر قدر نسبت اثر قطعه‌ای به سقف از مقادیر بالاتری برخوردار بوده و به عدد 1 نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده ساختار و همبستگی مکانی قویتر برای ویژگی مورد بررسی می‌باشد (حبشی و همکاران 1386). بررسی تغییرنمای تجربی نشان داد که ویژگی‌های مورد ارزیابی دارای همبستگی متوسط تا بسیار قوی می‌باشند. ژنگ و همکاران (2007) در تحلیل زمین‌آماري خود نشان دادند که عوامل ساختمانی مثل مواد مادری، نوع خاک و سطح آب زیرزمینی مهمترین عوامل مؤثر بر وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک هستند. چانگ و همکاران (2009) یک بررسی زمین‌آماري بر روی برخی از خصوصیات شیمیایی خاک در اطراف دریای زرد در چین انجام

دادند. در این مطالعه برخی از خصوصیات از قبیل کلسیم، منیزیم، پتاسیم و بور دامنه وابستگی مکانی حدود 4 کیلومتر و pH، هدایت الکتریکی و مواد آلی دامنه وابستگی مکانی حدود 1/5 کیلومتر داشتند. بین این خصوصیات بور و منیزیم وابستگی مکانی قوی و بقیه خصوصیات ذکر شده وابستگی مکانی متوسطی داشتند. این محققان بیان داشتند که ارزیابی مکانی خصوصیات شیمیایی به خصوص در مورد خصوصیات دارای وابستگی مکانی قوی می‌تواند در مدیریت حاصل‌خیزی و ارائه طرحی برای کشاورزی دقیق مفید باشد. در همین راستا (کاتریگ نانو و همکاران 2000، شری و همکاران 2004، زینگ و همکاران 2007، سکوتی و همکاران 2007، زنگ و همکاران 2010) مطالعات گسترده‌ای را در زمینه کاربرد زمین‌آمار در بررسی تغییرات مکانی خصوصیات شیمیایی خاک انجام داده‌اند. ویژگی‌های تغییرنمای ویژگی‌های خاک و مدل‌های برازش شده به آنها به همراه کنترل اعتبار تغییرنما در جدول 3 خلاصه شده است.

جدول 3- بهترین مدل برازش داده شده به واریوگرام‌ها و عامل‌های مربوط به آن.

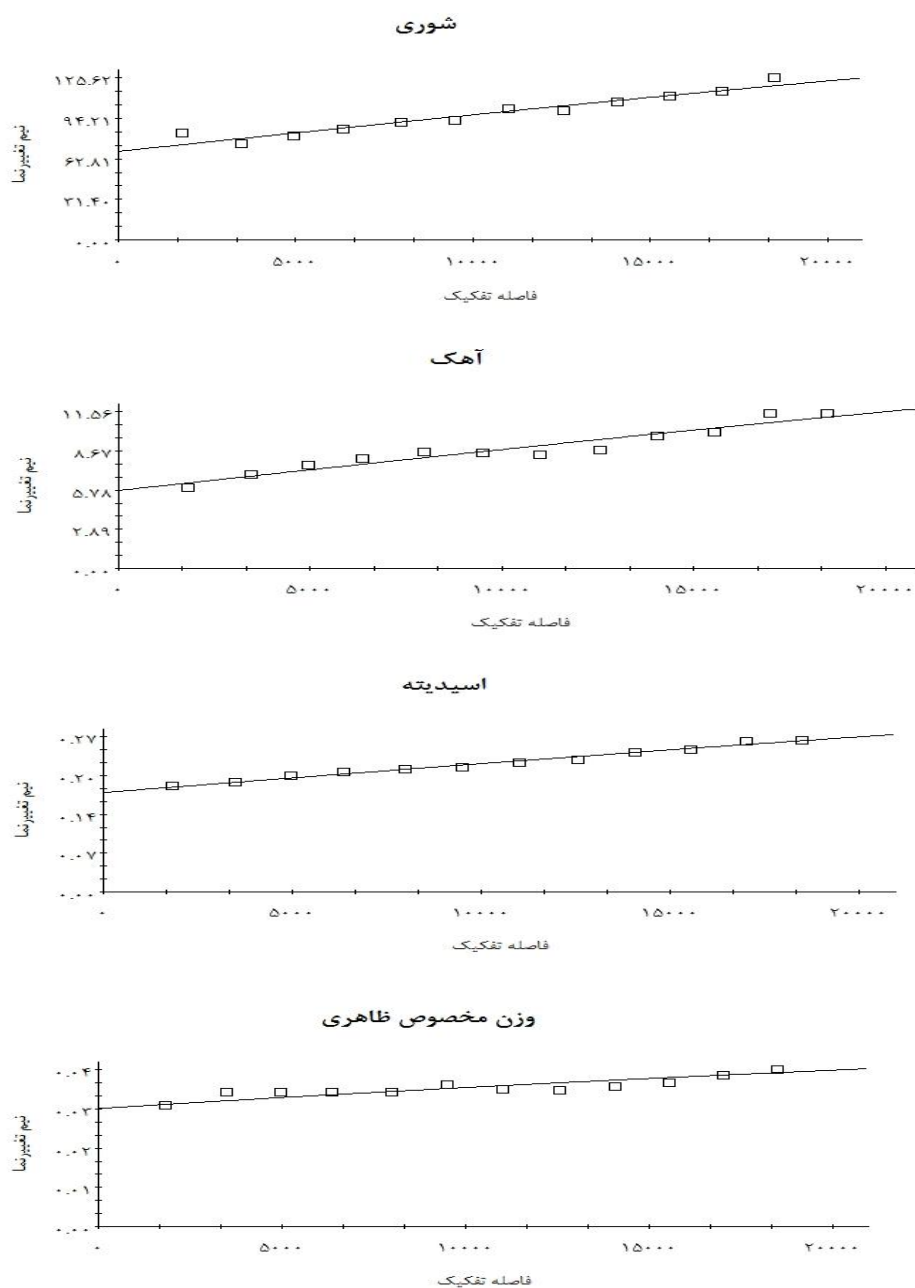
پارامتر	مدل	اثرقطعه‌ای C0	آستانه C0+C	دامنه تأثیر A0	تناسب مکانی C0/C0+C	ضریب تبیین R ²	مجموع مربعات باقی‌مانده RSS
CaCO ₃	خطی	5/820	11/210	18470	0/481	0/928	2/280
ECe	خطی	69/110	120/110	18470	0/425	0/943	152
pH	خطی	0/175	0/263	18470	0/335	0/985	0/036
Bd	خطی	0/035	0/042	18470	0/180	0/780	2/87E-04

همکاران (1390) در تحقیق دیگری در جنوب شهرستان مه ولات، مدل کروی را بهترین مدل برازش شده برای ویژگی شوری معرفی کردند. چانگ و همکاران (2009) در مطالعات خود بر تغییرنمای تجربی هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم مدل کروی را برازش دادند و (دیانی و همکاران 1391) در تحقیقی در استان خوزستان بهترین مدل کروی برای pH خاک را ارائه دادند.

پهنه‌بندی ویژگی‌های مورد مطالعه

پس از تجزیه و تحلیل تغییرنما، درون‌یابی چهار ویژگی به کمک نرم‌افزار GIS به وسیله روش‌های زمین‌آماری کریجینگ و کوکریجینگ و روش معین وزندهی معکوس فاصله انجام گرفت که نتایج آن در جدول 4 آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد روش کوکریجینگ معمولی برای شوری و درصد آهک، روش کوکریجینگ گسسته برای pH خاک و روش وزندهی عکس فاصله برای چگالی ظاهری دارای کمترین خطای تخمین برای پهنه‌بندی ویژگی‌های مذکور در منطقه بود و با استفاده از این روش‌ها نقشه پراکندگی مکانی ویژگی‌های فوق ایجاد گردید (شکل 4). بررسی‌های انجام شده (والتر و مک براتنی 2001) برای تهیه نقشه شوری خاک از روش کریجینگ استفاده کردند.

شکل 2 نیم تغییرنمای همه جته متغیرها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مدل برازش داده شده برای آهک، pH خاک، شوری و چگالی ظاهری مدل خطی می‌باشد. درصد آهک با توجه به جدول 3 نسبت همبستگی بیشتر نسبت به سایر ویژگی‌ها دارد و دامنه تأثیر آن 18470 متر می‌باشد. در مقابل چگالی ظاهری با داشتن مقادیر 0/18 دارای کمترین نسبت همبستگی در فواصل نمونه‌برداری می‌باشد. با این وجود این ویژگی با داشتن اثر قطعه‌ای 0/0348، دارای کمترین اثر قطعه‌ای نسبت به سایر ویژگی‌ها می‌باشد. در واقع اثر قطعه‌ای کوچک یا نزدیک به صفر بیان‌گر پیوستگی مکانی بین نقاط هم‌جوار و کوچکتر از فواصل نمونه‌برداری می‌باشد. در مورد چگالی ظاهری می‌توان گفت که هرچند درصد مؤلفه ساختاردار آن در مقایسه با سایر ویژگی‌ها کمتر است اما بررسی واریوگرافی آن نشان می‌دهد که تغییرات مکانی این ویژگی، توسط مدل خطی بهتر بیان می‌شود. با این حال نتایج حاصل از تحقیقات مختلف خلاف نتیجه حاصل از این تحقیق می‌باشد. در تحقیقی که در خاک‌های دشت تبریز انجام شده به این نتیجه رسیدند که چگالی ظاهری، شوری و pH خاک از مدل کروی و ویژگی آهک از مدل قطعه‌ای تبعیت کردند (فروغی‌فر و همکاران 1390). دائم‌پناه و



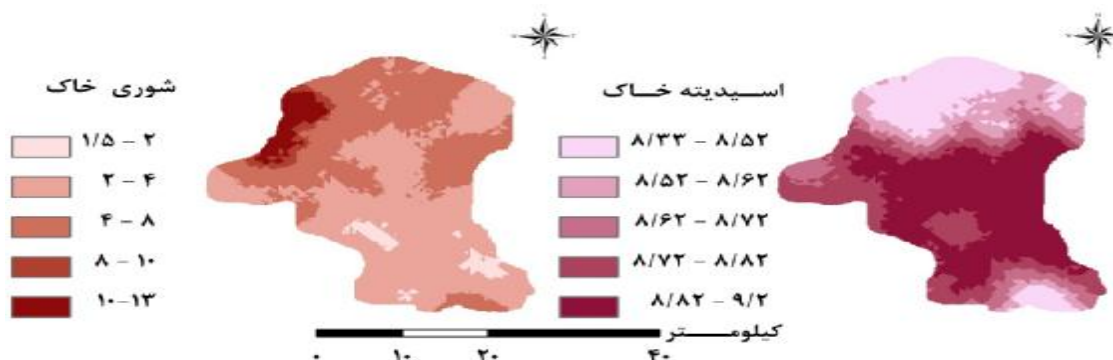
شکل 2- نیم تغییرنمای متغیرهای شوری، آهک، pH و چگالی ظاهری خاک.

داده‌های تصاویر ماهواره‌ای نظیر NDVI به‌عنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ استفاده شد. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (1391) در تحقیقات انجام شده در منطقه اردکان برای پهنه‌بندی شوری از روش کوکریجینگ با متغیر کمکی هدایت الکترومغناطیسی استفاده نمودند که از دقت بالایی برخوردار بود.

سکوتی و همکاران (2007) در تحقیقی به‌این نتیجه رسیدند که بین شوری و آهک همبستگی وجود دارد و در کوکریجینگ از آهک به‌عنوان متغیر کمکی استفاده کردند. دیوآیویی و همکاران (2006) نقشه شوری خاک را برای منطقه‌ای در الجزایر با استفاده از روش‌های زمین‌آماری تهیه کردند که در این مطالعه از

جدول 4- مقدار خطای برآورد شده در روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله.

IDW	کوکریجینگ			کریجینگ			خطای تخمین	پارامترها
	توان 2	گسسته	ساده	معمولی	گسسته	ساده		
	رس						متغیر کمکی	
	توان 2	گسسته	ساده	معمولی	گسسته	ساده	معمولی	شوری
	-0/1207	-0/0811	-0/1015	-0/0936	-0/0655	-0/0454	-0/1009	ME
	10/0300	9/9810	9/9300	9/8670	9/9660	9/0960	9/9080	RMSE
	سیلت						متغیر کمکی	
	توان 2	گسسته	ساده	معمولی	گسسته	ساده	معمولی	آهک
	-0/0150	0/1610	0/0155	0/0030	0/0110	0/0098	-0/0094	ME
	2/5390	2/5080	2/5090	2/5050	2/5560	2/5550	2/5550	RMSE
	شن						متغیر کمکی	
	توان 2	گسسته	ساده	معمولی	گسسته	ساده	معمولی	چگالی ظاهری
	0/0012	0/0006	0/0006	0/0013	0/0002	0/0007	0/0015	ME
	0/1912	0/1937	0/1939	0/1915	0/1953	0/1955	0/1923	RMSE
	چگالی ظاهری						متغیر کمکی	
	توان 2	گسسته	ساده	معمولی	گسسته	ساده	معمولی	pH
	-0/0010	0/0045	0/0049	0/0022	0/0043	0/0047	0/0024	ME
	0/4410	0/4318	0/4343	0/4330	0/4325	0/4345	0/4330	RMSE



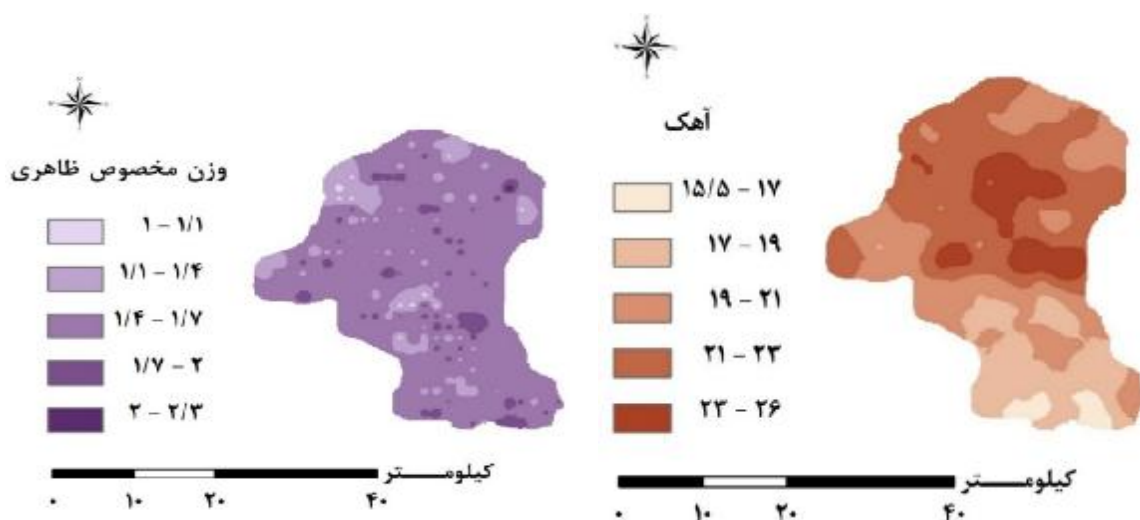
شکل 3- نقشه پهنه‌بندی pH و شوری خاک در منطقه سیستان.

مقدار رس از سمت جنوب به شمال منطقه افزایش یافته و عدم زهکشی مناسب در میزان شوری مؤثر بوده است. برخلاف آن مقدار شن از سمت شمال به جنوب افزایش یافته است که دلیل این امر می‌تواند به شرایط رسوب‌گذاری دریاچه هامون صابری در گذشته ارتباط داده شود هرچند که خشکسالی‌های پی در پی در سال‌های اخیر و افزایش بادهای 120 روزه، باعث افزایش تبخیر و تعرق شده و رسوب‌گذاری مانند قبل

با توجه به جدول 4 مقدار خطای پیش‌بینی شوری در روش کوکریجینگ کمتر می‌باشد. در نتیجه از این روش برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شوری خاک استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که شوری خاک در قسمت‌های شمال شرقی منطقه بیشتر می‌باشد (شکل 3)، یعنی میزان شوری از سمت جنوب به شمال منطقه افزایش یافته است. احتمالاً دلیل آن سنگین‌تر بودن بافت خاک در قسمت‌های شمالی این منطقه می‌باشد، یعنی

کاهش یافته است. نتایج کلی این نقشه‌ها حاکی از آن است که تغییرپذیری در ویژگی‌های خاک نتیجه تغییر در محیط‌های رسوب گذاری و یا اختلاف در مراحل خاکسازي مختلف می‌باشد (فروغی‌فر و همکاران 1390، یونگ و همکاران 1999، بریجدا و همکاران 2000، ممتاز و همکاران 2009). همچنین ویژگی‌های مورد مطالعه در این تحقیق می‌تواند تحت تأثیر عملیات کشاورزی مانند آبیاری و مصرف کود باشد (فروغی‌فر و همکاران 1390، ممتاز و همکاران 2009).

صورت نمی‌گیرد. همان‌طور که در جدول 4 مشاهده می‌شود این امر رابطه شوری با رس خاک را بیان می‌کند. مقایسه الگوی توزیع مکانی pH خاک (شکل 3) نشان می‌دهد که مقدار pH خاک در کل منطقه حالت قلیایی با pH خاک بیشتر از 7 دارد و در قسمت‌های میانی نقشه pH خاک به بالاترین مقدار خود می‌رسد که دلیل این امر را می‌توان وجود چاه‌نیمه‌های آب شیرین که آب منطقه دشت سیستان از این چاه‌ها تأمین می‌شود ربط داد، به علت اینکه شستشوی املاح در این قسمت توسط آب صورت گرفته و میزان pH خاک



شکل 4- نقشه پهنه‌بندی چگالی ظاهری خاک و درصد آهک در منطقه سیستان.

نتیجه‌گیری کلی

باتوجه به نتایج می‌توان بیان کرد که شوری بیشترین و pH خاک کمترین ضریب تغییرات را در منطقه به خود اختصاص داده است. امروزه به دلیل شرایط نامناسب شوری و مدیریت نامناسب حاصلخیزی خاک از بین رفته است و در صورت عدم پیشگیری با شرایط پیچیده‌ای در این منطقه روبرو خواهیم شد. بنابراین به دلیل شوری بالا و کیفیت پایین خاک به ویژه در این منطقه (شمال شرقی) برای کشت مناسب نمی‌باشد و تنها راه برای استفاده بهینه این مناطق اجرای سیستم زهکشی مناسب در این منطقه می‌باشد. این شرایط در منطقه سیستان به وجود آمده

نقشه پهنه‌بندی شده آهک (شکل 4) نشان می‌دهد که میزان آهک در این منطقه نسبتاً بالاست، با توجه به داده‌های مربوط به نقشه می‌توان دشت سیستان را جزء مناطق آهکی نام برد. توزیع مکانی چگالی ظاهری نشان می‌دهد که روند خاصی نداشته و در پهنه توزیع مکانی آن لکه‌های موزائیکی متعددی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تغییرات شدید و تصادفی است همچنین این ویژگی به احتمال قوی از مدل نیم‌تغیرنمای اثر قطعه‌ای پیروی می‌کند که شکل شماره 2 نیز تا حدودی این را نشان می‌دهد.

نشان داد که روش وزن‌دهی عکس فاصله با توان 2 برای چگالی ظاهری و روش کوکریجینگ برای شوری، آهک و pH خاک با کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا بیشترین دقت را داشت. همچنین نتایج نشان داد همه ویژگی‌های مورد بررسی دارای همبستگی مکانی متوسط می‌باشند که وابستگی مکانی متغیرها تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و اقلیم منطقه است. نقشه‌های تهیه شده نشان داد که تغییرات مکانی شوری با رس، آهک با سیلت و pH خاک با چگالی ظاهری مورد مطالعه می‌باشد.

که در زمان‌های گذشته انبار غلات ایران بوده است. در بررسی تغییرات ساختار مکانی متغیرهای مورد مطالعه، مدل‌های بهینه برازش شده مدل خطی برای آهک، pH خاک، هدایت الکتریکی و چگالی ظاهری می‌باشد. مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی با توجه به دو شاخص میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا برای هر متغیر انجام شد و با توجه به کمترین جذر میانگین مربعات خطا، نقشه شوری و آهک و pH خاک توسط یک متغیر کمکی با روش کوکریجینگ و چگالی ظاهری با روش وزن‌دهی معکوس فاصله تهیه گشت که نتایج

منابع مورد استفاده

- احمدآلی خ، نیک مهر س و لیاقت ع، 1388. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد مکانی در برآورد شوری، pH خاک و درصد آهک خاک (مطالعه موردی منطقه بوکان). مجله آب و خاک، جلد 23، شماره 2، صفحه‌های 46 تا 54.
- بامری ا، خرمالی ف، کیانی ف و دهقانی ا، 1391. تغییرات مکانی کربن آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب در اراضی شیبدار لسی منطقه توشن استان گلستان. مجله حفاظت آب و خاک، جلد 19، شماره 2، صفحه‌های 43 تا 60.
- بی‌نام، 1375. ارزیابی خاک‌های آهکی دشت سیستان. گزارش شرکت پارس کنسول. صفحه‌های 8 تا 10.
- تقی‌زاده مهرجردی ر، سرمدیان ف، امید م، ثواقبی غ، روستا م ج و رحیمیان م، 1391. پهنه‌بندی شوری خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار و دستگاه القاگر. مجله پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک)، جلد 26، شماره 4، صفحه‌های 370 تا 380.
- حبشی ه، حسینی س م، محمدی ج و، رحمانی ر، 1386. کاربرد تکنیک زمین آمار در مطالعات خاک‌های مناطق جنگلی. فصل‌نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 57، شماره 1، صفحه‌های 18 تا 27.
- دائم پناه ر، حق نیا غ، علیزاده ا و کریمی‌کارویه ع، 1390. تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی با روش‌های دورسنجی و زمین‌آماری در جنوب شهرستان مه‌ولات. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 25، شماره 3، صفحه‌های 498 تا 508.
- دیانی م، جعفری س، خلیل‌مقدم ب و دهقانی ا، 1391. پهنه‌بندی خطر شوری و سدیمی شدن خاک سطحی با استفاده از زمین آمار (مطالعه موردی: اراضی غرب رودخانه کارون در استان خوزستان). پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره 94، صفحه‌های 87 تا 95.
- فروغی فر ح، جعفرزاده ع، ترابی‌گلسفیدی ح، علی‌اصغرزاده ن، تومانیان ن و دواتگر ن، 1390. تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی در شکل‌های اراضی مختلف دشت تبریز. نشریه دانش آب و خاک، جلد 21، شماره 3، صفحه‌های 1 تا 21.
- محمدی ج، 1385. پدومتری - جلد دوم (آمار مکانی). انتشارات پلک، 453 صفحه.

- Angel U and Castellanos A, 2000. Drainage effecton spatial variability of soil electrical conductivity in a Vertisol. *Agricultural Water Management* 38: 22-213.
- Black GR and Hartage KH, 1986. Bulk density. Pp. 363-375. In: Compbell GS, Nielsen DA, Jackson RD, Klute A and Mortland MM (eds). *Methods of Soil Analysis. Part1*. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Bosun SZ and 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.

- Brejda JJ, Moorman TB, Smith JL, Karlen DL, Allen DL and Dao TH, 2000. Distribution and variability of surface soil properties at a regional scale. *Soil Science Society of America Journal* 64: 974-982.
- Catrignano A, Giugliarini L, Risaliti R and Martinelli K, 2005. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma* 97(1): 39 - 60.
- Cerri CEP, Bernoux M, Choplut V, Volkoff B, Victoria RL, Melillo JM and Paustian K, 2004. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. *Geoderma* 123(2): 51 - 68.
- Chang WE, You BA, Yun JN, Zang F and Xio LU, 2009. Spatial variability of soil chemical properties in the reclaiming marine foreland to Yellow sea of China. *Agricultural Sciences in China* 8(9): 1103 - 1111.
- Deutsch CV and Journel AG, 1998. *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. New York, Oxford University Press 351: 152-177.
- Douaoui AEK, Nicolas H and walter C, 2006. Detecting Salinity hazard within a semi arid context by means of combining soil and remote – sensing data. *Geoderma* 134: 217-230.
- Godwin RJ and Miller PCH, 2003. A review of the technologies for mapping within field variability. *Biosystem Engineering* 84: 393-407.
- Hosseini E, Gallichand J and Caron J, 1993. Comparison of several interpolators for smoothing hydraulic conductivity data in southwest Iran. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers* 36 (6): 1687- 1693.
- Laslett GM, Mcbratney P, Pahl J and Hutchinson MF, 1987. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *Soil Science* 38: 325-341.
- Li B and Yeh TCJ, 1999. Cokriging estimation of the conductivity field under variably saturated flow conditions. *Water Resources Research* 35(12): 3663-3674.
- Loeppert RH and Suarez DL, 1996. Carbonate and gypsum. Pp. 437-475. In: Sparks DL. ed. *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. Madison, WI.
- Momtaz HR, Jafarzadah AA, Torabi H, Oustan Sh, Samadi A, Davatgar N, and Gilkes RJ, 2009. An assessment of the variation in soil properties within and between landforms in Amol region, Iran. *Geoderma* 149:10-18.
- Odeh IOA, McBratney AB, Chittieborough DJ, 1995. Further results on prediction from terrain attributes: heterotopic co-kriging and regression kriging. *Geoderma* 67: 512 - 526.
- Rhodes JD, 1996. Electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-437. In: Sparks DL. ed. *Methods of Soil Analysis. Chemical Methods*. Madison, WI.
- Robinson TP and Metternicht G, 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture* 50(2): 97-108.
- Sokouti R, Mahdian MH, Mahmoodi S and Ghahremani A, 2007. Comparin the applicability of some geostatistics methods to predict the variability of soil salinity, a case study of Uromieh plain. *Pajauhsh & Sazendegi* 74: 90-98.
- Thomas GW, 1996. Soil pH and soil acidity. Pp. 457-491. In: Sparks DL. ed. *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. Madison, WI.
- Walter C, and Mc Bratney B, 2001. Spatial predication of topsoil salinity in the Chelif Valley, Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area varoigram. *Australian Journal of Soil Research* 39: 248-259.
- Wilding LP, and Dress LR, 1983. Spatial variability and pedology. Pp. 83-116. In: Wilding, LP, Smeckand, NE, and Hall, GF (eds). *Pedology and Soil taxonomy. I. Concepts and interactions*. Elsevier Science Pub.
- Wu J, Norvell WA and Welch RM, 2006. Kriging on highly skewed data for DTPA-extractable soil Zn with auxiliary information for pH and organic carbon. *Geoderma* 134: 187-199.
- Xing YZ, Yue YS, Xu DZ, Kai M and Herbert SJ, 2007. Spatial variability of nutrient properties in block soil of northeast China. *Pedospher* 17(1): 19-29.
- Yamagishi J, Nakamoto, T and 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.
- Yanl LI, Zhou-SHI, Ci-fang WU, Hong-yi LI and Feng LI, 2007. Improved prediction and Reduction of Sampling Density for soil Salinity by Different Geostatic Methods. *Agricultural Science in china* 6(7): 832-841.
- Young FJ, Hammer RD and Larsen D, 1999. Freqency distribution of soil properties on a loessmanted Missouri watershed. *Soil Science Society of America Journal* 63: 178-185.
- Zang MW, Bai Z, Kai SS and Dian WL, 2010. Spatial variability of soil organic carbon under maize monoculture in the song Nen plain northeast China. *Pedospher* 20(1): 80 - 89.
- Zhang XY, Sui YY, Zhang XD, Meng K and Herbert SA, 2007. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. *Pedosphere* 17:19-29.