نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۸، شماره۴ ، مهر - آبان ۱۳۸۹، ص ۷۰۷-۶۹۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 8, No. 4, Sep. – Oct. 2010, p. 698-707

شبیه‌سازی تغییرات کوتاه دامنه خاک و قابلیت اعمال آن درتیمارکرت‌های آزمایشی با نرخ متغیر

عزیز مؤمنی[۱] - احمد مساواتی[۲]

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۱۶

چکیده

در ایران، مدیریت کرتها و مزارع آزمایشی بر پایه اعمال یکنواخت نهاده‌های کشاورزی و بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی کوتاه–دامنه متغیرهای کنترل کننده رشد گیاه انجام می‌شود. این امر می‌تواند منجر به حصول نتایج اریب[۳] در کرتهای آزمایشی و در نتیجه از دست رفتن بخش قابل توجهی ازتلاش محققین و اثربخشی فعالیت آنان گردد. این تحقیق به منظور بررسی تغییرات مکانی خصوصیات ذاتی و تابع-مدیریتی خاک در سطح درون کرتی و امکان تیمار کرتهای آزمایشی با نرخ متغیر در یک سایت انتخابی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد انجام شد. نمونه برداری از خاک بصورت سیستماتیک و در یک شبکه منظم انجام شد. سایت انتخابی به شبکه‌های ۵×۵ متر تقسیم و تعداد یکصد نمونه در محل گوشه مربعات شبکه از خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی متر) تهیه شد. نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و توزیع داده‌های هر متغیر تعیین گردید. با اعمال تکنیک‌های زمین آماری (ژئواستاتیستیکی)، ساختار مکانی متغیرهای خاکی کنترل کننده رشد گیاه تعیین شد. تکنیک‌های میان یابی بر پایه پارامترهای نیم پراش‌نگار هر متغیر اعمال و نقشه تغییرات کوتاه–دامنه متغیرهای خاکی شامل کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، رس، فسفر قابل دسترس گیاه، پتاسیم قابل دسترس گیاه، آهن، مس، روی ومنیزیم در سایت آزمایشی تهیه گردید. نتایج حاصل نشان داد که اکثر متغیرهای کنترل کننده رشد گیاه که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند، در فواصل۵×۵ مترکه معادل اندازه متعارف کرتهای آزمایشی است دارای تغییرات کوتاه–دامنه ای هستند که پهنه گسترش آنها امکان تیمار کرتهای آزمایشی با نرخ متغیر را ممکن میسازد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کوتاه دامنه خاک، تغییرات درون مزرعه ای خاک، میان یابی، کشاورزی دقیق، زمین آمار

مقدمه

مدیریت متعارف کشاورزی بر پایه تیمار یکنواخت مزارع پایه‌ریزی شده است و در آن تغییرات کوتاه–دامنه متغیرهای کنترل‌کننده حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه نادیده گرفته شده و در نتیجه سطوح زیادی از مزارع مقدار نهاده‌های کشاورزی را بیشتر و بخش هایی کمتر از حد مورد نیاز گیاه دریافت می‌نمایند و این علاوه بر اینکه می‌تواند باعث کاهش بهره‌وری کشاورزی شود، اثرات منفی بر محیط زیست نیز خواهد گذاشت. در چنین شیوه مدیریتی، اراضی کشاورزی به عنوان یک موجودیت یکپارچه و دارای خاک یکنواخت در نظر گرفته می‌شوند که لاجرم مدیریتی ثابت را طلب میکند. چنین دیدگاهی نمی‌تواند همیشه درست باشد؛ زیرا خاک محیطی طبیعی و پویا است و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تحت تاثیر عوامل سازنده آن متغیر می‌باشد (۵). از آن گذشته، دخالت انسان نیز طی سالیان متمادی بر دامنه تغییرات خاک می‌افزاید. مثال کلاسیک یک چنین استراتژی تولید، سرنوشت بین النهرین است که در آن تخریب تدریجی منابع خاک و آب در منطقه معروف به هلال حاصلخیز (سبز) باعث فروپاشی و نابودی کامل تمدن بین النهرین گردید (۱۵).

امروزه، در مباحث کشاورزی، صحبت از کشاورزی دقیق است که بر مبنای مدل سازی پراکنش مکانی خصوصیات خاک استوار بوده و در آن نهاده‌های کشاورزی با نرخ متغیر و متناسب با توان خاک برای تامین نیاز گیاه اعمال می‌گردد. مدیریت ویژه مکانی[۴] یا کشاورزی دقیق یک استراتژی تولید است که بر پایه اعمال نرخ متغیر[۵] نهاده‌های کشاورزی استوار است. در این شیوه تولید، نهاده‌های کشاورزی نظیر کودهای شیمیائی، علف کش‌ها و سموم دفع آفات نباتی با نرخ متغیر و متناسب با تغییرات خصوصیات خاک و نیازهای گیاه در یک مزرعه اعمال می‌گردند. فن آوری اعمال نهاده‌های

۱- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران
۲- عضو هیأت علمی بازنشسته مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: cesc@um.ac.ir)

3 - Biased

4 - Site-specific management

5 - Variable rate application

کشاورزی با نرخ متغیر ایجاب می‌کند که ساختار تغییرات ذاتی و تابع- مدیریتی خاک با مقیاس درون مزرعه ای شناسائی شده و ساختار مکانی آنها مدل سازی گردد.

مطالعات تغییر پذیری خاک[1] همزمان با سامان دهی سیستم‌های طبقه بندی خاک شروع شد. این گروه بندیها، اغلب بر مبنای روشهای مبتنی بر آمار کلاسیک انجام می‌شد. وبستر و برگس (۱۹) از زمین آمار برای توصیف متغیرهای خاک از جمله درجه حرارت، رطوبت، واکنش (pH)، اندازه ذرات، مواد آلی، فسفر، نیتروژن، روابط تولید محصول و آب آبیاری، زبری سطح خاک[2]، غلظت نیترات و فلزات سنگین در خاک استفاده نمودند. مباحث مربوط به ژئواستاتیستیک و کاربرد آن در ارزیابی منابع زمینی توسط کریج (۱۳)؛ ایسک و سریواستاوا (۱۲)؛ وبستر و اولیور (۲۰)؛ داچ و جورنل (۹)؛ کرسی (۷) و واکرناجل (۱۸) ارائه شده است. در تحقیقی که در دانشگاه ایالتی اکلاهاما در آمریکا انجام شد تغییر پذیری خاک و گیاه در فواصل کمتر از یک متر مورد بررسی قرار گرفت (۱۷). در این تحقیق، تعداد ۴۹۰ نمونه خاک از شبکه ای به فواصل منظم ۳×۳ متر در داخل کرت‌هائی به ابعاد ۷۰×۷۰ متر در دو مکان مختلف تهیه شد. در سایت اول، مقدار pH خاک از ۴/۳۷ تا ۶/۲۹ و در سایت دوم از ۵/۳۷ تا ۶/۳۴ متغیر بود. مقدار توصیه فسفر که بر مبنای تغییر پذیری خاک در کرتهائی به ابعاد ۳ × ۳ متر انجام شد، از صفر تا ۳۱ kg/ha در سایت اول و از صفر تا ۱۷ kg/ha در سایت دوم متغیر بود. در سایت اول و دوم، مقدار پتاسیم از صفر تا ۱۰۷ kg/ha متغیر بود. نتایج فوق حاکی از تغییر پذیری ذاتی متغیرهای خاکی در فواصل کمتر از یک متر است . باکستر و اولیور (۴) از زمین آمار برای توصیف تغییرات مکانی نیتروژن معدنی و نیتروژن بالقوه قابل دسترس گیاه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک در یازده کرت آزمایشی در یک مزرعه در ۱۲۲ موقعیت مکانی به فاصله ۱۲/۸ متر از یکدیگر استفاده نمودند. نتایج نشان داد که تغییرات متغیرهای مورد بررسی اگر چه چندان همگن نبودند ولی به اندازه کافی یکنواخت بودند که بتوان نهاده‌های کشاورزی را با نرخ متغیر اعمال نمود.

در ایران، مؤمنی و زینک (۱۴) با استفاده از ژئواستاتیستیک اقدام به تجزیه و تحلیل ساختار مکانی یک مجموعه داده شامل ۱۷۰۰ نقطهٔ مشاهداتی (۶ هزار تجزیه آزمایشگاهی) نمودند. مؤلفین با استفاده از تکنیک کریجینگ[3] اقدام به پهنه بندی مقادیر متغیرهای غذایی خاک شامل N، P، K و ماده آلی خاک نمودند. با تلفیق لایه‌های تولید شده بر مبنای زمین آمار در محیط یک GIS، مقدار نهاده‌های کشاورزی لازم برای رسیدن وضعیت خاک به حالت مطلوب را تعیین نمودند.

1 - Soil variability
2 - Surface gruffness
3 - Kriging

مؤمنی (۱۵) با مقایسه دو مجموعه داده که در فاصله زمانی ۳۰ سال در پهنه دشت مرودشت تهیه شده بودند، با استفاده از روش‌های میان یابی به روش کریجینگ اقدام به مدل سازی عمق آب زیر زمینی و شوری خاک نمود. در تحقیق فوق همچنین، با بررسی نقشه‌های کنتوری بهترین فواصل نمونه برداری برای تعیین شوری خاک و تغییرات عمق آب زیر زمینی و مسیر حرکت آن مدل‌سازی شد. محمدی (۲) از روش کوکر یجینگ[4] برای تهیه نقشه شوری خاک سطحی و زیرسطحی از همبستگی بین شوری در دو عمق (۰ تا ۵۰ سانتیمتر و ۵۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر) خاک برای اعمال تکنیک کوکریجینگ استفاده و اقدام به تهیه نقشه شوری خاک سطحی و زیر سطحی نمود و نتیجه گرفت که روش کریجینگ معمولی بر روش کوکریجینگ برای میان یابی متغیرهای مورد بررسی ارجحیت دارد.

توسعه واقعی کشاورزی دقیق در اروپا از اواسط دهه نود شروع شد. این کار توسط ماشین‌های کشاورزی مجهز به سیستم‌های کنترل و با مساعی سازندگان کامپیوترهای سوار[5] انجام گرفت. سناریوی نمونه کاربرد نهاده‌های کشاورزی با نرخ متغیر از این قرار است که ماشین‌های دروگر مجهز به دستگاه مکان‌یاب[6]، حساسگرهای ثبت محصول و کامپیوترهای سوار می‌گردند. داده‌های محصول در تراشه کامپیوترهای سوار ثبت و سپس در کامپیوترهای محل کار پیاده می‌گردند (۶). بدین ترتیب تغییرات محصولات در واحد سطح ثبت و نقشه محصول[7] تهیه می‌گردد. برای سال بعد نقشه تیمار[8] براساس تغییرات محصول و نیز نقشه الکترونی درون مزرعه ای تعیین و نهاده‌های کشاورزی بر مبنای آن اعمال می‌گردد. مسی فرگوسن اولین کمپانی سازنده دروگر[9] تجارتی مجهز به دستگاه ثبات محصول است. این دستگاه مجهز به یک مکان یاب تفاضلی[10] است. خروجی دستگاه فایلی است که در آن مکان دروگر بصورت طول و عرض جغرافیائی همراه با مقدار محصول آن نقطه در هر نیم‌ثانیه ثبت شده است. پس از تهیه نقشه محصول تصمیم گیری می‌شود که چگونه مزرعه را تیمار نمایند. این کار توسط نقشه تیمار صورت می‌گیرد که برای تهیه آن از تکنیک‌های میان یابی مبتنی بر تئوری متغیرهای ناحیه ای[11] استفاده می‌شود. این نقشه دقیقاً مکان و مقادیر نهاده‌های کشاورزی مورد لزوم را نشان می‌دهد. نهاده‌ها می‌توانند شامل بذر، کودهای شیمیائی، محلول پاشی، سموم آفات نباتی، علف کش، عمق

4 - Co-kriging
5 - Onboard computers
6 - Global Positioning System (GPS)
7 - Yield map
8 - Treatment map
9 - Combine
10 - Differential Global Positioning System (DGPS)
11 - Regionalized variables theory

شخم و امثال آنها باشند. در سال ۱۹۹۴ در دانمارک سیستمی مورد استفاده قرار گرفت که در آن ماشین قادر بود مقدار نهاده‌های کشاورزی را متناسب با نیازهای ویژه-مکانی گیاه در زمان حقیقی اعمال نماید.

این تحقیق به منظور تعیین تغییرات کوتاه-دامنه خصوصیات خاک طراحی و در قالب یک طرح تحقیقاتی شامل ده پروژه در ایستگاههای تحقیقات کشاورزی استانهای گلستان، آذربایجان‌شرقی، آذربایجان‌غربی، زنجان، همدان، لرستان، خوزستان، فارس، اصفهان و خراسان انجام شد (۳). آنچه در اینجا ارایه شده، نتایج بدست آمده از اجرای پروژه در یک سایت انتخابی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد واقع در ۳ کیلومتری شرق شهرستان گنبد در استان گلستان است. موقعیت جغرافیایی ایستگاههای تحقیقات کشاورزی انتخابی برای اجرای طرح در شکل شماره ۱ ارایه شده است. اهداف این تحقیق عبارت بودند از(۱) بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک در سطح درون-مزرعه‌ای، (۲) بررسی لزوم و امکان اعمال نهاده‌های کشاورزی با نرخ متغیر و متناسب با تغییر پذیری خصوصیات خاک درکرتهای آزمایشی به منظور ارتقاء کیفیت اجرای طرحهای تحقیقاتی و در نتیجه استفاده بیشتر از پتانسیل تولید ژرم پلاسمهای گیاهی و (۳) ایجاد مبنایی برای توسعه کشاورزی دقیق و دیده‌بانی کیفیت خاک در کرتهای آزمایشی.

مواد و روش‌ها

در آمار کلاسیک فرض براین است که نمونه‌های گرفته شده از یک جامعه مستقل هستند. وقتی چنین نمونه هائی از نظر مکانی همبستگی دارند، اعمال آمار کلاسیک برای تجزیه و تحلیل ساختاری آنها مناسب نمی باشد. نیم پراشنگارها ابزاری زمین آماری هستند که مبتنی بر تئوری متغیرهای ناحیه ای اند، متغیرهائی که مقدار آنها به موقعیت مکانی شان (فاصله-جهت) بستگی داشته و تغییر پذیری آنها پیوسته است (۸). در صورتیکه فاصله بین دو نمونه را h فرض کنیم تفاضل مقدار متغیر در دو نقطه به h وابسته است. بررسی تغییرات متغیرهای ناحیه ای با رسم پراشنگار (واریو گرام) انجام میشود. پراشنگار وسیله ای برای کمی کردن تغییرات یک فرایند تصادفی مکانی بر حسب $z(x) - z(x + h)$ میباشد و مبین این واقیت است که نقاطی که بهم نزدیکترند نسبت به نقاطی که از هم دورترند تمایل به داشتن مقادیر مشابه دارند. میانگین تفاضل ها،$m^*(h)$، به صورت زیر بدست می‌آید (معادله ۱):

شکل۱- نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی نتخابی در ایران

$$m*(h) = 1/n\,[\,z(x) - z(x+h)\,] \qquad (۱)$$

که در آن z، مقدار متغیر و x نماینده محل یک نمونه و x + h نماینده محل نمونه دیگری است که در فاصله h از نمونه x قرار دارد و n تعداد جفت نمونه‌هائی است که در محاسبه بکار می‌رود. با توجه به اینکه متوسط کمیت $z(x) - z(x+h)$ صفر و یا نزدیک به صفر است، در محاسبات مجذور اختلاف را در نظر می‌گیرند (معادله ۲).

$$2\gamma(h) = 1/n\,[z(x) - z(x+h)]^2 \qquad (۲)$$

این رابطه در حقیقت بیانگر واریانس اختلاف بین دو مقدار z (x + h) و z (x) می‌باشد. در عمل رابطه فوق باید از طریق اطلاعات حاصل از نمونه‌های موجود تخمین زده شود. هرگاه فرض کنیم که جمعاً تعداد n جفت نمونه که به فاصله h از یکدیگر واقع اند در دست باشد، با تقسیم نمودن طرفین معادله برعدد ۲، معادله ۳ حاصل می‌شود.

$$\gamma h = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [\,z(x) - z(x+h)\,]^2 \qquad (۳)$$

در رابطه فوق، γh را نیم پراشنگار (سمی واریو گرام)[1] می‌نامند. در عمل، با رسم مقادیر نیم پراشنگار بر روی محور عمودی به ازای فواصل مختلف h سعی می‌شود مدلی که به بهترین صورت بر روند تغییرات منطبق باشد بر داده‌ها برازش داده شود. یک نیم پراشنگار ایده آل در شکل شماره ۲ ارایه شده است. با افزایش h ، مقدار نیم پراشنگار تا فاصله معینی بتدریج اضافه شده و از آن به بعد بحد ثابتی می‌رسد که نشانگر حد آستانه[2] است. دامنه تأثیر[3] فاصله ای است که در بیش از آن نمونه‌ها برروی هم تأثیر ندارند و حد مجاز فاصله بدینصورت بدست می‌آید. در حقیقت دراین فاصله مقدار نیم پراشنگار به مقدار پراش(واریانس) مشاهدات نزدیک می‌شود. در محاسبه واریو گرام، عدم همبستگی بین داده هائی که در فواصل نزدیک به مرکز مختصات قرار دارند، بصورت فاصله ای روی محور Y تظاهر می‌کند که بنام اثر قطعه ای[4] نامیده می‌شود (۲۱). پارامترهای مدل برازش داده شده به نیم پراشنگارتجربی داده‌ها بعنوان اطلاعات ورودی در تخمین گرهای زمین آماری مورد استفاده قرار می‌گیرند.کریجینگ یک تخمین گر نا اریب است که ضرایب γi را به گونه ای تعیین می‌کند که در عین ناریب بودن واریانس تخمین نیز حداقل باشد (۱).

تعیین پراکنش مکانی تغییرات خاک در سطح کرتهای آزمایشی با تجزیه و تحلیل نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک بر مبنای تئوری متغیرهای ناحیه‌ای و تکنیک‌های ژئواستاتیستیکی که در راستای تئوری فوق توسعه یافته‌اند، انجام شد. نمونه برداری از خاک بصورت سیستماتیک و در یک شبکه منظم ۵×۵ متردر یک سایت آزمایشی به مساحت ۲۵۰ متر مربع در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد، انجام شد. نقاط مشاهداتی در گوشه مربعات انتخاب و تعداد یکصد نمونه مرکب از خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی متر) در محل گوشه مربعات شبکه تهیه شد (شکل شماره ۳). با اعمال آمار کلاسیک، خصیصه‌های آماری داده‌های متغیرهای مورد بررسی تعیین و با اعمال تکنیک‌های ژئواستاتیستیکی (زمین آماری) نیم پراش‌نگارهای هر متغیر بطور جداگانه تعیین وبا برازش مدل مناسب به نیم پراش‌نگار هر متغیر، ساختار مکانی متغیر مورد بررسی مدل سازی شد. متعاقباً، با اعمال تکنیک‌های میان یابی از طریق کریجینگ اقدام به پهنه بندی تغییرات مکانی متغیرهای خاکی کنترل کننده رشد گیاه شامل کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، رس، فسفر قابل دسترس گیاه، پتاسیم قابل دسترس گیاه، آهن، مس، روی و منیزیم در سایت انتخابی واقع در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد گردید.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل نیم پراشنگار

نیم پراشنگار تجربی خصوصیات ذاتی و تابع-مدیریتی خاک در کرت آزمایشی مورد مطالعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد و مدلهای برازش داده شده به آنها در شکل شماره ۴ ارایه شده است. همبستگی مکانی قوی تغییرات کربنات کلسیم، کربن آلی، پتاسیم قابل دسترس گیاه، آهن، مس، روی و منگنز به خوبی توسط مدلهای نیم پراشنگار قابل توصیف است. نیم پراشنگار تجربی رس و فسفر قابل دسترس گیاه به صورت اثر قطعه ای خالص تظاهر کرد که بیانگر عدم همبستگی مکانی شدید (استقلال) در داده‌های دو متغیر است. در مورد کربنات کلسیم، کربن آلی، روی و منگنز مدل کروی به بهترین صورت در موقعییت‌های حد آستانه و اثر قطعه ای منطبق شد. در مورد مس، مدل پنتاکروی و در مورد پتاسیم قابل دسترس گیاه و آهن، مدل نمایی به صورتی مطلوب بر نیم پراشنگار تجربی انطباق داده شد.

پارامترهای مدلهای برازش داده شده به نیم پراشنگارهای تجربی خصوصیات ذاتی و تابع-مدیریتی خاک در کرت آزمایشی انتخابی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد در جدول شماره ۱ ارایه شده است. حد آستانه اکثر متغیرهای مورد مطالعه تخمینی بسیار نزدیک از واریانس ارایه دادند که مبین وجود پایایی در داده‌ها است.

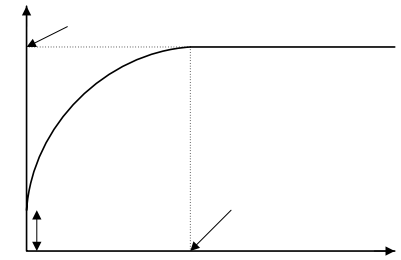
نسبت اثر قطعه ای به حد آستانه برای کربن آلی، آهن، پتاسیم قابل دسترس گیاه، روی و مس ازصفر تا ۱۵/۴ و برای کربنات کلسیم و منگنز کمتر از ۲۰/۴ درصد است که حاکی از نمایندگی خوب داده‌های خاک از ساختار مکانی خصوصیات خاک در پهنه کرت

1 - Semivariogram
2 - Sill
3 - Range
4 - Nugget effect

آزمایشی است (۲۲). دامنه تاثیر که نمایانگر بعد مکانی همبستگی داده‌های خاک است، تا ۳۳/۴ متر واضح است. دامنه تاثیر نسبتا کم داده‌ها به منزله شاخصی از درجه نا همگنی کرت آزمایشی است که می‌تواند تحت تأثیر تغییرات ناشی از باقی‌مانده نهاده‌های کشاورزی اعمال شده در سالهای قبل در تیمارهای آزمایشی، ایجاد شده باشد.

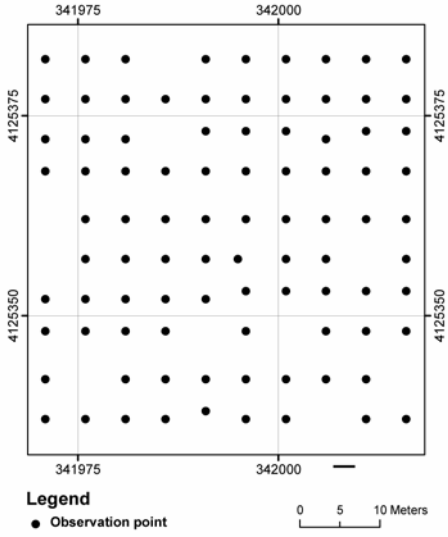
میا ن یابی

نقشه پراکنش مکانی خصوصیات ذاتی و تابع-مدیریتی خاک در کرت آزمایشی انتخابی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد در سایت انتخابی در اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد در شکل شماره ۵ ارائه شده است. در کرت آزمایشی، کربنات کلسیم معادل خاک بین ۱۰ تا ۱۵ درصد متغیر و پراکنش مکانی آن نا همگن است. کربنات کلسیم یکی از فاکتورهای موثر در رفتار یونهای عناصر غذائی در محلول خاک است. بویژه در شرایط ایران که اکثر خاکها آهکی هستند، تعیین تغییرات کوتاه–دامنه کربنات کلسیم در کرت‌های آزمایشی حائز اهمیت است. چون در اینگونه خاکها کاتیون قابل تبادل غالب در محلول خاک یون کلسیم است که نقش تعیین کننده ای در قابل دسترس بودن فسفر، عناصر کم مصرف، تجزیه مواد آلی و معدنی شدن ازت دارد و افزایش آن در محلول خاک معمولاً باعث کاهش جذب پتاسیم و منیزیم توسط گیاه می‌شود (۱۱). وضعیت کربن آلی در خاک کرت آزمایشی در حد مطلوب قرار داد. حدود ۶۵ درصد از کرت آزمایشی دارای کربن آلی به مقدار ۱/۱ تا ۱/۵ درصد و در بقیه مقدار کربن آلی بین ۱/۵ تا ۱/۶ درصد متغیر است. با اعمال کریجینگ نرمال، مدل کروی بر نیم پراش نگار داده‌های رس و فسفر قابل دسترس گیاه برازش داده شد. نیم پراش نگار هر دو متغیر به صورت اثر قطعه ای خالص(مقدار واریانس اثر قطعه ای برابر است با مقدار واریانس داده ها) که حاکی از فرض قوی بر استقلال داده‌ها است، تظاهر کرد. این عدم همبستگی مکانی در داده ها، گزینه اعمال توابع ریاضی برای توصیف تابع همبستگی رس و فسفر قابل دسترس را محدود می‌کند. بنابراین، میان یابی به روش تکنیک‌های زمین آماری مانند کریجینگ با احتمال افزایش خطا در تخمین همراه است. با توجه به اینکه تابع توزیع داده‌های رس و فسفر قابل دسترس گیاه از تابع توزیع نرمال تبعیت می‌کنند و این میتواند دال بر حاکم بودن شرایط پایایی در داده‌ها باشد، لذا از تکنیک عکس مجذور فاصله که یک تخمین گر قطعیت پذیر (جزمی)[1] و دقیق است و سطوح میان یابی را بر مبنای مقادیر اندازه گیری شده ترسیم میکند (۱۰)، برای میان یابی و پهنه بندی مقدار رس و فسفر قابل دسترس گیاه استفاده شد. حدود ۵۰ درصد سطح مزرعه دارای خاکهایی با مقدار رس کمتر از ۲۴ درصد و در بقیه مقدار رس از ۲۴ تا ۲۶ درصد متغیر است. بافت لایه سطحی خاک یکی از مهمترین خصوصیات خاک در کاربری و مدیریت اراضی و از جمله فاکتورهائی است که در کارائی و مقدار نهاده‌های کشاورزی در کرتهای آزمایشی نقشی مهم دارد و عدم اطلاع از تغییرات کوتاه–دامنه آن در سطح کرت‌های آزمایشی می‌تواند بعنوان یکی از منابع خطا در نتایج تحقیقات محسوب شود. خصوصیاتی نظیر فعالیت ریشه گیاه، فعالیت‌های بیولوژیکی خاک، میزان نگهداری آب در خاک، عملیات شخم، فرسایش پذیری خاک، حاصلخیزی و موارد دیگر، همگی به این خصوصیت خاک بستگی دارند (۱۶). بافت خاک همچنین، یکی از عوامل تاثیر گذار در تعمیم نتایج حاصل از اجرای طرح‌های تحقیقاتی در کرتهای آزمایشی به مناطق مشابه در مزارع کشاورزی است. مقدار فسفر قابل دسترس گیاه در ۶۰ درصد از خاک کرت آزمایشی زیر ۱۰ mg/kg و در بقیه بین ۱۰ تا ۱۵ mg/kg میباشدکه برای رشد اکثر محصولات در حد کم تا متوسط است. بسته به گیاه مورد بررسی، فسفر در حد مورد نیاز گیاه باید به خاک افزوده شود.

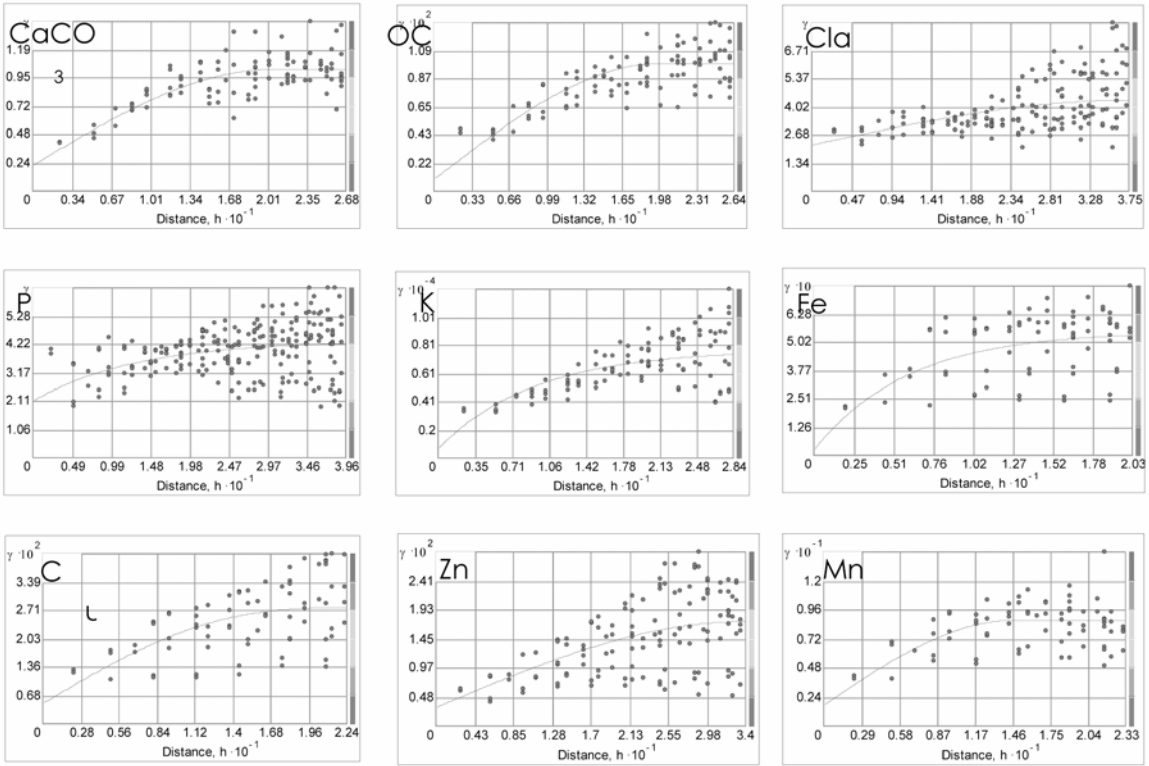


شکل ۲- نمونه یک واریوگرام ایده آل

1 - Determinestic



شکل ۳- طراحی نمونه برداری از خاک



شکل ٤- نیم پراشنگارهای تجربی خصوصیات خاک در کرت آزمایشی انتخابی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد و مدلهای برازش داده شده آنها

پتاسیم قابل دسترس گیاه در فواصل کمتر از۵۰ متر تغییرات مکانی قابل ملاحظه‌ای نشان میدهد. حدود ۸۰ درصد از کرت آزمایشی دارای پتاسیم قابل دسترس گیاه به مقدار ۶۵۰ mg/kg– ۴۵۰ و۲۰ درصد آن دارای ۸۱۰ mg/kg–۶۵۰ است. مقدار پتاسیم قابل دسترس گیاه در کرت آزمایشی برای رشد اکثر گیاهان زراعی کافی است بطوریکه افزایش پتاسیم به خاک نه تنها ممکن است باعث عکس العمل گیاه نشود بلکه می‌تواند افزایش هزینه و آلودگی محیط زیست را بدنبال داشته باشد.

جدول ۱- پارامترهای مدلهای برازش داده شده به نیم پراشنگار تجربی خصوصیات خاک در کرت آزمایشی انتخابی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد

متغیر	مدل	دامنه تاثیر	حد آستانه	اثر قطعه ای	درصد اثر قطعه ای	واریانس	درصد حد آستانه
$CaCO_3$	کروی	۲۰/۵	۰/۸۱۱	۰/۲۰۸	۲۰/۴	۱/۰۷۳	۹۵/۰
OC	کروی	۲۰/.	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰	۰/۰۰۹	۱۰۰/۰
Clay	کروی	۳۷/۲	۲/۱۲۸	۲/۱۷۸	خالص	۴/۴۰۹	–
P	کروی	۳۹/۱	۲/۲۶۶	۲/۰۷۶	خالص	۴/۴۳۹	–
K	نمائی	۲۵/۲	۷۱۳۴/۴	۶۱۲/۷	۷/۹	۷۴۸۶/۹۱۰	۱۰۳/۵
Fe	نمائی	۱۸/۱	۰/۵۳۲	۰/۰۱۷	۳/۰	۰/۵۴۸	۱۰۰/۲
Cu	پنتا کروی	۲۲/۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۴	۱۵/۴	۰/۰۲۹	۸۹/۶
Zn	کروی	۳۳/۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲	۱۲/۵	۰/۰۱۴	۱۱۴/۲
Mn	کروی	۱۴/۷	۷/۰۵۲	۱/۶۷۷	۱۹/۲	۷/۷۸۹	۱۱۲/۰

تغییرات کوتاه-دامنه عناصر کم مصرف در کرت آزمایشی انتخابی، شدیدتراز سایر متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق است. به عبارت دیگر، خاک کرت آزمایشی از نظر مواد غذایی کم مصرف دارای نا همگنی است که اثرات آن باید در طرح آزمایشات مورد توجه قرار گیرد. در مورد عناصر غذائی کم مصرف، ذکر این مطلب ضروری است که تا حدود سه دهه قبل نیاز به اعمال عناصر غذائی کم مصرف در مزارع بجز در مواردی خاص محسوس نبود.

در این مدت، اطلاعات قابل توجهی در مورد مقدار عناصر کم مصرف در خاک و گیاه، قابل دسترس بودن آنها، نیازهای رویشی گیاهان به عناصر کم مصرف و اثرات اعمال آنها روی کیفیت و کمیت محصولات بویژه در خاورمیانه و آفریقا ارایه شده است. اگر چه اطلاعات و تحقیقات بیشتری برای تشخیص نیازهای گیاه و لزوم افزایش عناصر کم مصرف به خاکهای مختلف در شرایط زراعی-زیستگاهی مختلف لازم است، تحقیقات نشان داده است که قابل دسترس بودن عناصر غذائی کم مصرف در خاکها یکی از فاکتورهای عمده تعیین بهره وری کشاورزی است (۱۱). در کرت آزمایشی، مقدار مس و آهن خاک برای رشد اکثر گیاهان کافی است و انتظار میرود که افزودن آنها به خاک عکس العمل گیاه را به دنبال نداشته باشد.

ولی در مورد روی وضعیت به گونه ای است که حدود ۶۰ درصد از خاکهای کرت دارای کمبود روی به مقدار زیاد، حدود ۳۰ درصد دارای کمبود روی به مقدار متوسط و فقط ۱۰ درصد دارای کمبود روی به مقدار کم برای رشد بهینه اکثر محصولات کشاورزی هستند.

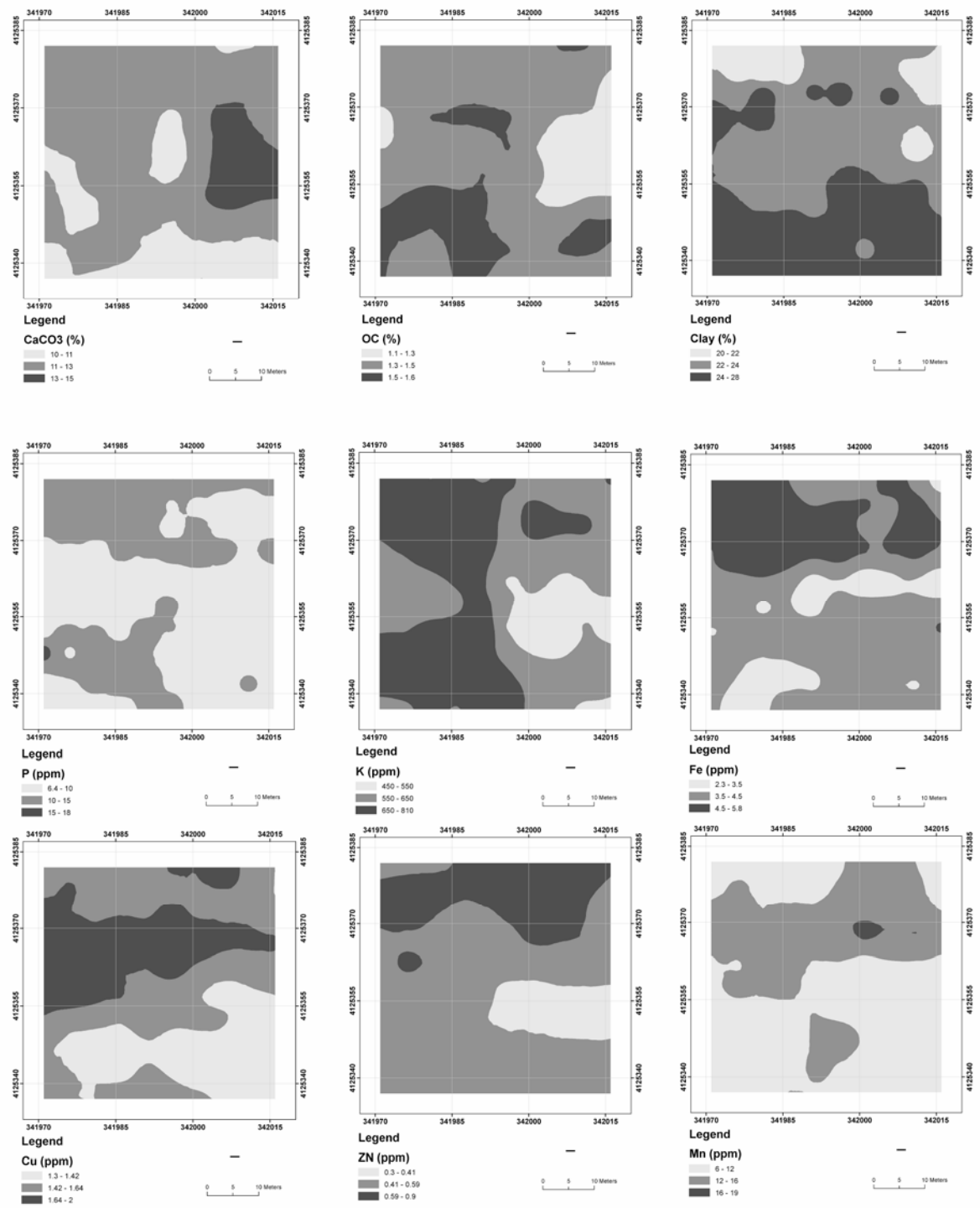
بدیهی است در مورد هر گیاه، تفسیرها باید بر پایه خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی آن و انجام تجزیه‌های برگی و بررسی همبستگی بین نیاز گیاه و توانایی خاک در بر آورده کردن این نیاز انجام شود. تیمار کرتهای آزمایشی متناسب با تغییرات مکانی متغیرهای خاکی و نیاز رویشی گیاه، زمینه را برای تغذیه متعادل گیاه و حفظ حاصلخیزی خاک فراهم می‌آورد.

آزمون نوآوری‌ها و دست آوردهای علمی در زمینه بهبود وضعیت تولید بخش کشاورزی معمولاً در ایستگاه‌های کشاورزی تحقیقات صورت می‌گیرد و نتایج حاصل به مزارع زارعین تعمیم داده می‌شود. معمولادر کرت‌های آزمایشی اکتفا به تهیه یک یا چند نمونه خاک می‌گردد و بعضی از خصوصیات خاک در آن نمونه‌ها اندازه‌گیری می‌شود ومیانگین نتایج آزمایشگاهی بدون رعایت قواعد حاکم بر روابط میان نمونه[1] و جامعه[2] و خصیصه‌ها و پارامترهای آماری برای قضاوت در مورد وضعیت خاک کرت آزمایشی مورد نظر و تعمیم یافته‌های تحقیقاتی به مزارع زارعین بکار می‌رود. با تعیین ساختار تغییرات کوتاه-دامنه خصوصیات ذاتی و تابع-مدیریتی[3] خاک در کرتهای آزمایشی، امکان تعمیم نا اریب نتایج تحقیقات از سطح محدود این کرت‌ها که در حقیقت به منزله نمونه‌های آماری از جوامعی بزرگتر یعنی مزارع کشاورزی تلقی شوند، میسر میگردد.

همچنان که در طرح‌های گلدانی به علت کوچک بودن سطح و حجم گلدان‌ها، فرض بر یکنواخت بودن خاک و در نتیجه امکان حذف اثرات تغییرات خاک بر نتایج طرح‌های تحقیقاتی است، در کرتهای آزمایشی نیز باید به دنبال روشهای علمی و تکنیکی بود تا بتوان اثرات تغییرات کوتاه-دامنه خاک را بر یافته‌های تحقیقاتی کاهش داد و یا در شرایط خیلی خوش بینانه حذف نمود. اکثرمتغیرهای کنترل کننده رشد گیاه که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند، در فواصل۵×۵ مترکه معادل اندازه متعارف کرتهای آزمایشی است دارای تغییرات کوتاه-دامنه ای هستند که پهنه گسترش آنها امکان تیمار کرت‌های آزمایشی با نرخ متغیر را ممکن میسازد. با آگاهی از حدود تغییرات مکانی متغیرهای خاکی در کرت‌های آزمایشی می‌توان ابعاد و جهت کرت‌های آزمایشی را متناسب با شیب حاصلخیزی خاک (کنتورهای همتراز متغیرهای غذایی خاک) به نحوی طراحی نمود که بتوان هر طرح آزمایشی را در بستری با خاک یکنواخت انجام داد و بدین‌ترتیب تاثیر تغییرات

1 - Sample
2 - Population
3 - Management-dependent

خصوصیات ذاتی خاک و تغییرات ناشی از باقی‌مانده کودهای شیمیائی اعمال شده در سالهای قبل را بر تیمارهای آزمایشی کاهش داد. نقشه‌های تیمار تهیه شده در این تحقیق می‌توانند به عنوان مبنایی برای اعمال ویژه–مکانی نهاده‌های کشاورزی به کار روند. تولید چنین نقشه‌هائی از ضروریات فنی برای حفظ تعادل در حاصلخیزی خاک و تغذیه متعادل گیاه، هم در مزارع تحقیقاتی و هم در مزارع کشاورزی است. تکنیک‌های بکار رفته در این تحقیق مقیاس‌مند بوده و در سطوح کرتهای آزمایشی، مزارع تحقیقاتی و مزارع کشاورزی قابل اجرا است.



شکل ۵- تغییرات مکانی خصوصیات خاک در کرت آزمایشی انتخابی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد

این نقشه‌ها درواقع نقشه‌های نواحی مدیریت زراعی هستند که براساس آنها میتوان هر ناحیه مدیریتی را متناسب با تغییرات فاکتورهای خاکی موثر در رشد گیاه، مدیریت نمود و نهاده‌های کشاورزی را اعمال نمود. پهنه‌بندی حدود تغییرات خصوصیات ذاتی بسترهای تولید در ایستگاه‌های تحقیقاتی و ایجاد نواحی مدیریتی با خصوصیات همگن می‌تواند نقش مهمی در ارتقاء کیفیت وتعمیم نتایج تحقیقات و در نتیجه بالابردن سطح تولید ملی داشته باشد.

نتیجه گیری

با اجرای این تحقیق، اطلاعات مفیدی در مورد درجه همگنی خاک کرتهای آزمایشی بدست آمد. با بکارگیری روشهای بکار رفته در این تحقیق می‌توان حدود تغییرات فاکتورهای خاکی کنترل کننده رشد گیاه در مزارع کشاورزی را تعیین نمود. نقشه‌های تیمار تهیه شده در این تحقیق در واقع نقشه‌های نواحی مدیریت زراعی هستند که در آنها هر ناحیه مدیریتی را می‌توان متناسب با تغییرات مکانی متغیرهای خاکی کنترل کننده رشد محصول تیمار نمود و زمینه را برای تغذیه متعادل گیاه و حفظ حاصلخیزی خاک فراهم آورد. اطلاعات بدست آمده در این تحقیق میتواند مورد استفاده محققین و پژوهشگران شاخه‌های مختلف کشاورزی در ایستگاههای تحقیقات کشاورزی قرار گیرد.

گر چه ادبیات علمی حاکی از این است که تیمار مزارع با نرخ متغیر و متناسب با خصوصیات خاک باعث افزایش محصول می‌گردد، ولی حتی در شرایطی که این روش نسبت به روشهای سنتی مبتنی بر اعمال یکنواخت نهاده‌های کشاورزی درکرتهای آزمایشی مزیت افزایش تولید را به دنبال نداشته باشد، می‌تواند در زمینه‌هائی مانند تعمیم یافته‌های تحقیقاتی از مزارع تحقیقاتی و آزمایشی به مزارع زارعین، ایجاد توازن در حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، کاهش تاثیر باقی مانده کودهای شیمیایی بر تیمارهای آزمایشی، یکنواختی در کیفیت و رشد محصول و همچنین حفظ محیط زیست اثر بخشی چشم‌گیری داشته باشد.

ساختار کشاورزی کشور باید بنحوی دگرگون شود که مولدین بخش کشاورزی قادر به اعمال نتایج تحقیقات توسعه ای وکاربردی بدست آمده در ایستگاه‌های تحقیقاتی باشند. بدون انجام چنین دگرگونی، پایداری تولید کشاورزی در کشور جای تأمل دارد. نظامهای سنتی کاربری اراضی در کشور طی قرون متمادی تأثیر منفی بر کیفیت خاک‌های زراعی داشته‌اند بطوریکه هم اکنون در بسیاری از اراضی کشاورزی بنیهٔ غذائی خاکها تحلیل رفته و شرایط فیزیکی آنها افت کرده است. عدم توازن در حاصلخیزی خاکهای زراعی توأم با تخریب خصوصیات فیزیکی آنها از چالش‌های پیش روی پایداری تولید کشاورزی و حفظ محیط زیست در کشور است.

منابع

۱- حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتیستیک). دانشگاه تهران، نشریه شماره ۲۳۸۹ ، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۳۱۴ ص.

۲- محمدی، ج. ۱۳۷۸. مطالعه تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه را مهرز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتیستیک: ۲-کوکریجینک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱: (۳)،۱-۷.

۳- مومنی، عزیز. ۱۳۸۴. تهیه نقشه رقومی تغییرات درون-مزرعه‌ای ایستگاههای تحقیقات کشاورزی بعنوان مبنائی برای توسعه کشاورزی دقیق. موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۱۲۱۹، تهران، ایران، ۸۵ ص.

4- Baxter, S. J., M. A. Oliver and G. Gaunt. 2003. A Geostatistical analysis of the spatial variation of soil mineral nitrogen and potentially available nitrogen within an arable field. Precision Agriculture, 4: 213-226.

5- Buol, S. W., R. J. Southward, R. C. Graham and P. A. McDaniel. 2003. Soil genesis and classification (5th edi.). Iowa State Press, USA, 494 p.

6- Charvat, K., P. Faltejsek, F. Pivnicka and M. Riha. 1999. Concept of GIS for precision agriculture. Brdickova, Czech Republic.

7- Cressie, N. A. C. 1993. Statistics for spatial data (re. ed.). John Wily & Sons Inc., New York, USA, 900 p.

8- Davis, J. G., L. R. Hossner, L. P. Wilding and A. Manu. 1995. Variability of soil chemical properties in two sandy, dunal soils of Niger. Soil Science, 159, 5: 321-330.

9- Deutsch, C. and A. G. Journel. 1992. Geostatistical software library and user guide. Oxford University Press Inc., New York, USA, 340 p.

10- ESRI. 2008. ArcGIS. 9.3. Environmental Systems Research Institute, Inc. ("ESRI"), California, USA.

11- FAO. 1990. Management of gypsiferous soils. FAO soils bulletin 62. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

12- Isaaks, E. H. and R. M. Srivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press Inc., USA, 561 p.

13- Krige, D. G. 1981. Lognormal de Wijsian geostatistics for ore evaluation. South African Institute of Mining and

Metallurgy, Johannesburg, 51 p.
14- Moameni, A. and J. A. Zinck. 1998. Application of geostatistics and remote sensing to soil quality assessment in a semi-arid environment of Iran. 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, France, 20-26 August 1998, 7 pages, CD-Rom.
15- Moameni, A. 1999. Soil quality changes under long-term wheat cultivation in the Marvdasht plain, South-Central Iran. Ph.D. Theses dissertation, Gent University, Gent, Belgium, 284 p.
16- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18, 437 p.
17- Solie, J. B, W. R. Raun and M. L. Stone. 1999. Sub-meter spatial variability of selected soil and plant variables. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1724-1733.
18- Wackernagel, H. 1995. Multivariate geostatistics: an introduction with applications. Springer, Germany, 257 p.
19- Webster, R. and J. M. Burgess. 1983. Spatial variability in soil and role of kriging. Agricultural Water Management,Volume 6, (2-3), 111-122.
20- Webster, R. and M. A. Oliver. 1992. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. Journal of Soil Science, 43, 177-192.
21- Webster, R. and M. A. Oliver. 2001. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & sons, LTD, England, 271 p.
22- Webster, R. and M. A. Oliver. 2006. Modeling spatial variation of soil as random function. In: Environmental soil-landscape modeling (edited by S. Grunwald), Taylor & Francis Group, LLC, USA, 488 p.