کاربرد زمین آمار و روش های درون یابی در تهیه نقشه فشردگی خاک

وحید بحرپور[۱]، عباس روحانی[۲*]، محمد حسین عباسپور فرد[۲]، محمد حسین آق خانی[۲]، سعید ظریف نشاط[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

* ایمیل نویسنده مسئول:arohani@um.ac.ir

چکیده

تراکم خاک به عنوان یکی از مشکلات عمده در تولید محصولات کشاورزی شناخته می شود. آگاهی از وضعیت تراکم خاک، با پیش بینی و پهنه بندی شدت تراکم می تواند خطر زیان های ناشی از این پدیده را تا حد قابل توجهی کاهش دهد. هدف از این پژوهش ارزیابی دقت روش های درون یابی در زمین آمار نظیر روش های مختلف کریجینگ و کوکریجینگ که در تهیه نقشه تراکم خاک به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد می باشد. از نتایج بدست آمده در این مطالعه مشخص شد روش های زمین آمار و درون یابی کرجینگ از جمله مدل های پرطرفدار در این زمینه می باشد و در اکثر تحلیل های صورت گرفته در زمینه فشردگی و مقاومت خاک نتایج خوبی را از خود نشان داده است.

واژه های کلیدی: درون یابی ، سخت لایه شخم، شاخص مخروطی، کریجینگ

مقدمه

بسیاری از خاک های مناطق مختلف دنیا دارای لایه ی فشرده شده‌ای می‌باشند که از بین بردن این لایه نیاز به خاک‌ورزی عمیق دارد که سالیانه هزینه بالایی را به خود اختصاص می‌دهد. خاک‌ورزی دقیق (زیرشکنی در عمق متغیر) که خصوصیات فیزیکی خاک را در نواحی مختلف مزرعه تا عمق‌های مختلفی اصلاح می‌کند، از لحاظ کاهش هزینه‌ها، مصرف سوخت و انرژی موردنیاز می‌تواند بسیار مفید باشد (Khalilian and Hallman, 1996). تحقیقات محققین نشان داده است که فشردگی خاک [۱]می تواند اثر منفی بر رشد گیاه، آب ذخیره شده در خاک، کارایی استفاده آب توسط گیاه، ویژگی های رشد و نمو گیاه، توسعه و توزیع ریشه در خاک، جذب مواد غذایی توسط ریشه و عملکرد گیاه داشته باشد. فشردگی خاک در زمین های کشاورزی عمدتا به وسیله عبور

1. Soil compaction

ماشین آلات سنگین در طی عملیات خاکورزی، کاشت، کودهی و در نهایت برداشت ایجاد می شود (Lipiec *et al*., 2009). کشاورزان هر ساله یا هرچند سال یکبار در مزرعه برای از بین بردن سخت لایه شخم[1] به صورت یکپارچه از زیرشکن استفاده می کنند این عملیات ممکن است در بعضی نقاط غیرضروری باشد و باعث افزایش مصرف سوخت شود (Adamchuk, *et al*., 2008). بنابراین، علاقهٔ محققان به تشخیص مکان لایه های فشرده افزایش یافته است (Adamchuk *et al*.,2008). لذا با تعیین موقعیت مکانی سخت لایه شخم می توانیم خصوصیات فیزیکی خاک را تنها در نقاطی اصلاح نماییم که در آن نقاط عملیات خاکورزی به منظور رشد موثر ریشه محصول مورد نیاز می باشد و با این تشخیص می توانیم میزان سوخت مصرفی را کاهش دهیم (Sun *et al*.,2006). درحال حاظر با گسترش سیستم های موقعیت یاب جهانی[2] در امور کشاورزی تحولی در تعیین خواص مکانی، ایجاد شده است این فناوری تهیه نقشه های خاص مکانی را امکان پذیر می نماید. تولیدکنندگان محصولات کشاورزی با استفاده از سیستم موقعیت یاب جهانی که به اختصار GPS معرفی می شوند، توانایی جمع آوری داده های متغیرهای موثر در تولید محصول از قبیل داده های پارامترهای خاک در نقاط مختلف مزرعه را دارند که این داده ها می تواند در مدیریت فشردگی خاک از طریق خاکورزی دقیق[3] مورد استفاده قرار گیرند (عباسپور گیلانده و همکاران، ۱۳۸۶).

یکی از روش های غیرمستقیم در تهیه نقشه های ویژگی های مختلف خاک، زمین آمار[4] است. در این روش فرض بر آن است که کمیت اندازه گیری شده در هرنقطه از منطقه مطالعاتی تابعی از مختصات جغرافیایی آن نقطه است (Rekman and paluszek, 1998). به فرایند براورد ارزش های کمی، برای نقاط فاقد داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم (که به نام پیمونگاه، نمونه و یا مشاهده) موسومند درون یابی[5] می گویند. این فرایند به دلیل محدودیت داده های نقطه ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه های هم ارزش انجام می گیرد. به عنوان مثال می توان مقدار یک کمیت اندازه گیری نشده را در به کمک نقاط مجاور که مقدار آنها اندازه گیری شده است، برآورد نمود. این کار معمولا برای یک شبکه یا گره یا تمامی سلول های یک پهنه انجام می شود. بنابراین درون یابی به معنای تبدیل داده های نقطه ای به داده های پهنه ای می باشد (Chang.Kang *et al*., 2004).

سه رکن اساسی در انجام درونیابی وجود دارد (Chang.Kang *et al*., 2004):

الف- تعیین پیمونگاه: پیمونگاه نقاطی است که متغیر مکانی در آن اندازه گیری می شود و دارای ارزش معلوم می باشد. از این رو شرایط را برای برای درون یابی فراهم می کند.

---

1 -Hard pan
2.Global Position System, GPS
3. Precision tillage
4 Geostatics
5 -Interpoltion

ب- تعیین شبکه : تعیین شبکه به معنی تشخیص اندازه بهینه برای یاخته های نقشه است به طوری که کیفیت و توان تفکیک نقشه به بهترین شکل نمود یابد.

پ: روش درون یابی: تکنیک های درون یابی به دو شیوه کلی انجام می شود. روش اول قطعی[1] که در این روش درون یابی براساس تعیین سطح از نقاط نمونه گیری شده بر پایه شباهت ها مانند روش وزن دهی عکس فاصله[2] یا درجه هموارسازی مانند روش توابع پایه شعاعی[3] انجام می شود. روش دوم درون یابی زمین آماری[4] است که کریجینگ[5] نامیده می شود و براساس ویژگی های آماری نقاط نمونه گیری شده می باشد. تکنیک های درون یابی زمین آماری کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه برداری شده را مد نظر قرار داده و تخمین را براساس موقعیت قرارگیری مکان نمونه های اندازه گیری نشده انجام می دهد (قهرودی تالی، ۱۳۸۴).در این مقاله به منظور معرفی روش و مراحل درون یابی کریجینگ و کاربرد آن در ارزیابی تراکم خاک انجام گرفته است.

روش کریجینگ برای داده هایی که پراکنش نامنظم دارند به کار می رود و روشی محلی- احتمالی، رسا، خطی، نا اریب و با واریانس کمینه در یک نقطه به شمار می آید (Isaaks and Srinivasta, 1989). در روش کریجینگ فرض بر این است که تغییرات مکانی پدیده ها در یک گستره از توزیع تصادفی برخوردار بوده، حاوی سه مولفه همبستگی مکانی، روند و خطای تصادفی است. مولفه همبستگی مکانی و میزان آن براساس نیمه پراش نگار[6] تعریف می شود. از تحلیل این مولفه و نیمه پراش نگار مربوط، ضرایب وزنی پیمونگاه جهت تخمین ارزش نقطه مجهول بدست می آید (Tabios and Salas, 1985).

کاربرد نیمه پراش نگار در درون یابی

پراش نگار تابعی است که به وسیله آن تغییرپذیری مکانی متغیرها اندازه گیری می شود و اندازه ای از شباهت بین گره های شبکه برای فاصله معین را نشان می دهد. با تقسیم پراش نگار بر عدد ۲ نیمه پراش نگار بدست می آید. نیمه پراش نگار به شکل تابع زیر تعریف می شود (Biau *et.al*., 1999).

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

که در آن N(h) تعداد جفت های جدا شده در فاصله گام (h), Z(xi) مقدار متغیر اندازه گیری Z(xi+h), xi مقدار متغیر اندازه گیری شده در نقطه (xi+h) است. تابع فوق نشان می دهد که برای محاسبه ی نیمه پراش نگار در ابتدا مجذور اختلاف ارزش دو

[1] - Deterministic
[2] - Inverse Distance Weighted
[3] - Radial Basis Functions
[4] - Geostatistic
[5] -Kriging
[6] - Semivariogram

نقطه به فاصله h محاسبه می شود. برای تعمیم تفاوت ارزش دو نقطه، محاسبه در مورد تمامی نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، انجام می گیرد و میانگین مجذور اختلاف ها محاسبه می گردد. بدین ترتیب با تکرار محاسبه در فاصله h می توان نموداری ترسیم نمود که محور افقی آن h و محور عمودی آن $\gamma(h)$ را نشان می دهد. اگر نقاط در شبکه های منظم و با فواصل مساوی قرار داشته باشند، نیمه پراش نگار براساس میانگین حسابی فواصل محاسبه و برآورد می گردد.

ب- انواع درون یابی کریجینگ

روش درون یابی کریجینگ بسته به کیفیت همبستگی و نحوه تغییرات مکانی پدیده ها و بر حسب ارزش های مورد جستجو و همچنین ارتباط بین متغیر مورد بررسی به انواع مختلفی تقسیم می شود.

کریجینگ معمولی- با فرض غلبه مولفه ی همبستگی مکانی و به کارگیری مستقیم نیمه پراش نگار، ارزش مقداری (Z) در یک نقطه z_0 به شکل زیر می باشد(قهرودی تالی، ۱۳۸۴).

$$Z = \sum_{i=1}^{n} \lambda i \times z(x_i) \qquad (۲)$$

Z : مقدار مکانی متغیر برآورد شده، Z(xi) : مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه i ام، λi : وزنی که به نمونه xi نسبت داده شده و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است.، n : تعداد متغیرهای مکانی مشاهده شده

کریجینگ عام[1]- در این روش فرض بر این است که علاوه بر مولفه ی همبستگی مکانی بین نقاط، انحراف یا روند نیز در مقادیر z وجود دارد. در این صورت، کریجینگ با یک چند جمله ای مرتبه اول یا دوم ترکیب می شود.(Stein and Corsten, 1991)

m(x) مولفه همبستگی فضایی است که به عنوان متغیر ناحیه ای $\varepsilon'(x)$ شناخته می شود .اگر مکانی در یک فضای دو بعدی باشد، متغیر z در x به صورت زیر تعریف خواهد شد.

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) \qquad (۳)$$

[1] - Universal Kriging

در کریجینگ معمولی فرض می شد که در کل ناحیه روند تغییرات میانگین ثابت است در حالیکه در اینجا میانگین نقاط تابعی از مختصات جغرافیایی مکان ها شناخته می شوند .بنابراین معادله m(x) را به صورت زیر می توان نوشت:

$$m(x) : \sum_{k=1}^{n} a_k p_k\,(x) \qquad (۴)$$

که در آن a_k روند محلی، p_k تابعی از مختصات جغرافیایی مکان (معادلات روند) و x بردار دو بعدی $\binom{x}{y}$ است. روند محلی به صورت روند خطی و روند کوادراتیک تعریف می شوند.

کریجینگ قطعه ای[1]– در این روش ارزش میانگین یک متغیر به جای نقاط در نواحی کوچک یا پهنه ها محاسبه می شود. در حالت ساده می توان میانگین ارزش نقاط که براساس کریجینگ نقطه ای حاصل شده است را برای یک پهنه حساب نمود و با پهنه ها مشابه نقاط رفتار نمود(عساکره، ۱۳۸۴).

کوکریجینگ[2]– در این روش یک یا چند متغیر ثانوی که با متغیر مورد نظر در ارتباط است، برای درون یابی به کار می رود. این روش بر این فرض استوار است که همبستگی بین متغیرها می تواند دقت برآورد را افزایش دهد. این روش به دلیل وجود هم خطی[3] بین متغیرهای کمکی عاری از ایراد نیست. لذا تنها زمانی که بتوان هم خطی را کشف و حذف نمود از این روش استفاده می شود (عساکره، ۱۳۸۴).

مراحل درون یابی کریجینگ

۱- **ترسیم نیمه پراش نگار:** اگر شباهت نقاط نزدیک به هم بیشتر از مقدار شباهت نقاط دور از هم باشد، نیمه پراش نگار برای مقادیر h نزدیک کوچک خواهد بود و خود همبستگی مکانی از نیمه پراش نگار استنباط خواهد شد.

۲- **برازش مدل مناسب به نیمه پراش نگار:** این مدل نیمه پراش نگار را به عنوان تابعی از فاصله بیان می دارد.

۳- **استفاده از فرایند کریجینگ مناسب:** به منظور تولید یک شبکه از مقادیر تخمینی، فرایند کریجینگ براساس مدل ارائه شده در مرحله ۲ به کار گرفته می شود.

۴- **ترسیم نقشه هم ارزش براساس شبکه برآورد شده**

۵- **تعیین صحت برآورد:** اگر روش های مختلف درون یابی را بر داده های مشابه به کار گیریم، نتایج متفاوتی بدست می آید و مقادیر مختلف و روش های مشابه نتایج متفاوتی را در پی خواهد داشت (Dubrule *et*

[1] - Block Kriging
[2] - Cokriging
[3] - Colinearity

al.,1983). برای انجام درون یابی در ابتدا می بایست پهنه مورد بررسی به طور منظم شبکه بندی شود. سپس با تکرار عمل درون یابی برای نقاط تلاقی شبکه، ارزش مقداری نقاط مجهول براورد شود. بنابراین برای مقایسه نتایج حال از درون یابی روش های متعددی وجود دارد. یکی از روش های معتبر به نام روش های متوالی[1] موسوم است.

آماره های تشخیصی شامل ریشه دوم مربعات خطا(RMS)[2] و مقدار استاندارد شده آن(SRMS)[3] به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(z_{i,act} - z_{i,est}\right)^2} \quad (۵)$$

$$SRMS = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left(z_{i,act} - z_{i,est}\right)^2}{S^2}} \quad (۶)$$

در اینجا: n: تعداد نقاط، $Z_{i,act}$: ارزش و $Z_{i,est}$: برآورد نقطه معلومi و S واریانس خطا است. بهترین برآورد باید کمترینRMS را داشته باشد و SRMS باید نزدیک به یک باشد. اگر SRMS برابر یک باشد به این معنی است که SRMS برابر S است. بنابراین خطای استاندارد برآورد اندازه مناسب و موقت از عدم قطعیت برآورد است. شایان توضیح است که RMS در تمامی روش ها قابل برآورد است اما SRMS تنها در روش کریجینگ قابل محاسبه و برآورد است (De Beurs *et al*., 1998).

کاربرد زمین آمار و درون یابی در تهیه نقشه فشردگی خاک

نتایج اکثر بررسی های انجام گرفته در خصوص ارزیابی تغییرات مکانی مقاومت مکانیکی خاک مربوط به مناطق دیم، کم باران و پر باران می باشد، نتایج بررسی (گوهری و همت، ۱۳۸۶) بر روی تغییرات مقاومت مکانیکی خاک در مناطق تحت رژیم آبیاری متغیر نشان می دهد تغییرات مقاومت مکانیکی خاک در سطح خاک در مناطقی که تحت رژیم آبیاری متغیر هستند نیز وجود دارد. در مقایسه با تحقیقی که (Raper and Mac Kirby, 2006) در مناطق دیم انجام دادند می توان نتیجه گرفت در مزارع کشور

[1] - Cross-Validation
[2] - Root Mean Square
[3] - Standard Root Mean Square

ایران که تحت آبیاری متغیر قرار دارند نیز تغییرات مقاومت لایه های خاک در عمق و سطح وجود دارد. لذا وجود تغییرپذیری مقاومت خاک با عمق و فاصله، کاربرد خاکورزی متغیر را توجیه پذیر سازد.

در یک پژوهش اثرات تسطیح زمین با استفاده از لولر مجهز به سامانه کنترل لیزری بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک نسبتا سنگین (لوم رس سیلتی) مورد بررسی قرار گرفت، زمین مورد مطالعه در ابعاد ۱۰×۱۰ متر شبکه بندی شده و نمونه گیری ها در هریک از نقاط رئوس شبکه انجام گرفت، در این بررسی اثر فشردگی و زمان بر مقاومت خاک و کیفیت شخم مورد ارزیابی قرار گرفت، داده ها با روش های آماری کلاسیک و زمین آمار تحلیل و بررسی شد، نتایج این بررسی نشان داد روش درون یابی کریجینگ دقت بالایی در پیش بینی تغییر پذیری مکانی فشردگی خاک دارد (معصومی و همکاران، ۱۳۸۷).

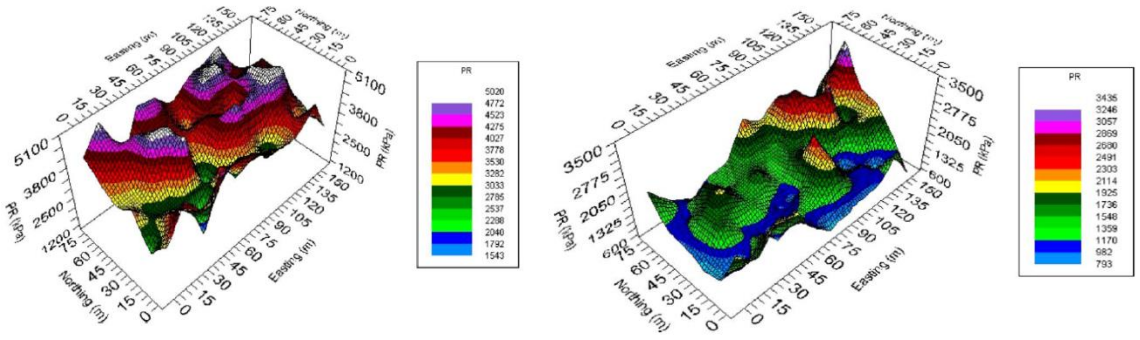
در یک تحقیق ارزیابی فشردگی خاک و تغییرات آن نسبت به زمان در مزرعه کشت گندم دوروم در جنوب ایتالیا مورد بررسی قرار گرفت، این مزرعه دارای مساحت ۰/۲۵ هکتار و نوع خاک از جنس سیلتی رسی بوده و عملیات زراعی مرسوم شامل شخم با گاوآهن در عمق ۴۰ سانتی متر و شخم با دیسک در عمق ۲۰ سانتی متر و رتیواتور در عمق ۱۰ سانتی متر انجام گرفته بود، اندازه گیری شاخص مخروطی در ۵ تاریخ ۲۸ دسامبر، ۲۴ ژانویه، ۲۸ فوریه، ۲۸ مارس و ۲۷ آپریل در یک دوره کشت گندم توسط دستگاه نفوذ سنج مخروطی در عمق ۳/۵–۵۲/۵ سانتی متر از سلول هایی به ابعاد ۴×۳/۵مترمربع انجام شد. میانگین رطوبت خاک نیز با جمع آوری نمونه هایی از عمق های مختلف انجام گرفت، سپس داده های بدست آمده با درون یابی با روش کریجینگ و کوکریجینگ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نقشه سه بعدی تهیه شده در این مطالعه اطلاعات زیادی در مورد شرایط مکانیکی خاک به ما می دهد و همچنین تاثیرات منفی شخم مداوم روی ساختار فضایی خاک و فشردگی خاک و کاهش بازده محصولات کشاورزی از نتایج این تحقیق می باشد (Lopez *et al*., 2002).

ارزیابی تنوع فضایی خاک در ارتباط با برخی خواص فیزیکی خاک در ترکیه مورد بررسی قرار گرفت (Kenan Kılıç *et al*., 2004)، هدف این بررسی تعیین ارتباط بین مقاومت به نفوذ خاک (شاخص مخروطی) و برخی خواص فیزیکی خاک تحت تاثیر شاخص مخروطی با روش آمار کلاسیک و روش زمین آمار بود، این مطالعه در دو مزرعه با بافت خاک متفاوت یکی لومی رسی و دیگری لومی به مساحت ۱/۵ هکتار صورت گرفت، بررسی ها در دو عمق ۰–۱۵ و ۱۵–۳۰ سانتی متر انجام گرفته شد و برای تعیین رطوبت خاک نیز نمونه هایی از سلول هایی در ابعاد ۱۵×۱۵ متر برای هر دو مزرعه برداشت شد .در هر دو مزرعه عملیات مرسوم شخم انجام شده بوده است، برای بررسی داده ها در هر سلول، ۴ مرحله نیاز می باشد: (Isaaks and Srinivasta, 1989).

- بررسی توزیع و تست نرمال بودن داده ها
- توصیف داده ها با آمار کلاسیک
- تعیین همبستگی مکانی بین شاخص مخروطی و برخی خواص خاک

- انتخاب بهترین مدل درون یابی و واریوگرام

از نرم افزار (GS+5.1) برای برازش داده ها و آنالیز ساختار فضایی استفاده شد، در این تحقیق مدل کریجینگ نمایی و خطی برای خاک لومی رسی و مدل نمایی، خطی و گاوسی برای خاک لومی مورد استفاده قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که محتوی رطوبت خاک با شاخص مخروطی در ارتباط است و وقتی محتوی رطوبت خاک افزایش می یابد شاخص مخروطی (PR) و تراکم حجمی (DR) کاهش می یابد با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که سخت لایه شخم در عمق ۲۰ سانتی متر قرار گرفته است (شکل۱)، نتایج این مطالعه اهمیت خاصی در تعیین روش مناسب شخم خواهد داشت، سخت لایه شخم را می توان با تغییر عمق شخم در طول زمان یا عملیات شخم ویژه کاهش داد و مدیریت ترافیک مزرعه می تواند تاثیر به سزایی در جلوگیری از فشردگی خاک داشته باشد(Laboski *et al.*,1998).



نقشه تغییر پذیری شاخص مخروطی در عمق ۳۰-۱۵ سانتی متر — نقشه تغییر پذیری شاخص مخروطی در عمق ۱۵-۰ سانتی متر

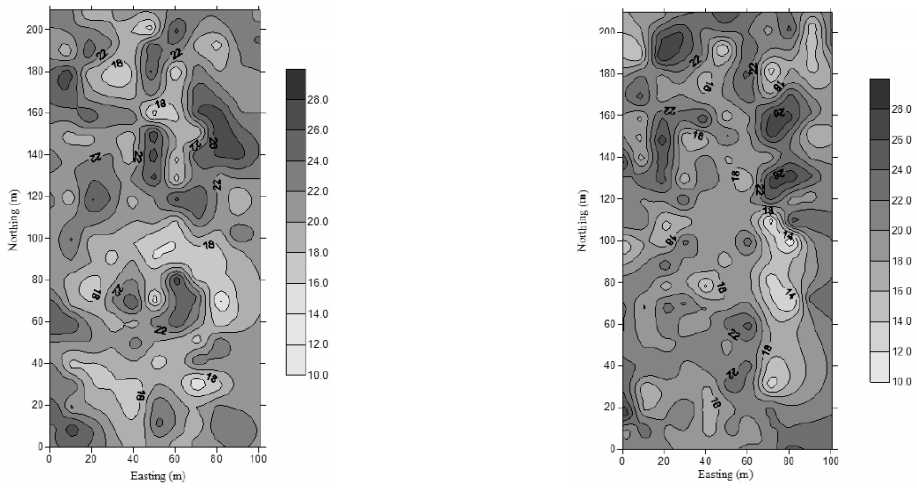
شکل(۱)- نقشه تغییرپذیری مقاومت خاک

در پژوهشی دیگر اثر ترافیک ماشین آلات کشاورزی بر روی تغییرات مقاومت خاک و محتوی رطوبت آن در زمین های پوشیده از چمن و زیرکشت مو مورد بررسی قرار گرفت، تغییرات فضایی مقاومت خاک و رطوبت خاک با روش آمار کلاسیک و درون یابی کریجینگ مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مدل سمی واریوگرام بیضوی بهترین مدل درون یابی بوده و حداکثر و حداقل وابستگی مکانی داده ها به ترتیب مربوط به رطوبت خاک و شاخص مخروطی اختصاص دارد، آنها همچنین بیان کردند نقشه سه بعدی تهیه شده به خوبی می تواند مناطق با بالاترین مقاومت خاک را نشان می دهد(Lipiec *et al.*, 2009).

برای پیش بینی سخت لایه شخم در اراضی جنوب شرقی امریکا مطالعه ای توسط (Raper and Mac Kirby, 2006) طراحی شد، زمین مورد بررسی در این مطالعه داری ۲ هکتار با بافت خاک شنی لومی بررسی ها در دو تاریخ ۲۰۰۴، ۲۹ ژوئن[۱] (مرطوب) و ۲۰۰۴، ۲۵ آگوست[۲] (خشک) که به ترتیب تحت عنوان ماه با بیشترین بارندگی و کمترین بارندگی انجام شد. پس از تعیین مدل

[2] June
[3] Augest

نظری نیم نمای مناسب با استفاده از روش کریجینگ موقعیت نقاط شاخص مخروطی درون یابی شدند. با توجه به داده های بدست آمده از اندازه گیری های شاخص مخروطی مدل نیم نما ایزوتروپیک کروی به عنوان بهترین مدل درون یابی انتخاب شد. مدل نیم نمای خطی نیز به عنوان بهترین مدل برای تراکم حجمی خاک مشخص شد و نشان داد تغییرات عمق خاک مستقل از تراکم حجمی خاک است. به طور کلی نتایج بیانگر این است که رطوبت خاک تنها عامل موثر برای شناسایی سخت لایه شخم از طریق نقاط اوج شاخص مخروطی و عمق اوج شاخص مخروطی نمی باشد اما می تواند ساختار فضایی خاک را که ممکن است در تشخیص سخت لایه شخم موثر باشد را پیش بینی کند. به طور عمومی الگوی پخش فضایی سخت لایه شخم به نظر می رسد به وسیله عمق اوج تراکم حجمی یا عمق اوج شاخص مخروطی پیش بینی می شود. (شکل ۲)



۲۹ ژانویه ۲۰۰۴ ۲۵ آگوست ۲۰۰۴

شکل(۲)- نقشه تغییرات فضایی عمق اوج شاخص مخروطی

در پژوهشی دیگر نیز محققین تغییرات فضایی مقاومت به نفوذ خاک را در شرایط رطوبتی مختلف در منطقه فرالسول با روش آمار کلاسیک و روش کریجینگ مورد ارزیابی قرار دادند و طبق نتایج بدست آمده تغییرات فضایی مقاومت نفوذ خاک به رطوبت خاک وابسته بود (Cid *et al*., 2001). در یک مطالعه دیگر ارزیابی احتمالاتی تغییرات فضایی فشرده سازی ثانویه در سه لایه مختلف خاک با استفاده از تخمین کریجینگ و روش احتمالاتی مورد بررسی قرار گرفت و ضخامت فشردگی در سه لایه مختلف خاک را با استفاده از تخمین کریجینگ پیش بینی شد و نقشه سه بعدی آن را تهیه گردید (Woojin Lee *et al*., 2011).

نتیجه گیری کلی

تفاوت عمده مطالعه حاضر و وجه تمایز آن با سایر مطالعات به ویژه تحقیقاتی که درباره تغییرات مکانی خاک انجام گرفته، نحوه نمونه برداری منظم آن و ارائه روشی است گام به گام برای مطالعات زمین آماری، که در این گونه تحقیقات بسیار مهم است. به طور کلی با استفاده از روش های تخمین می توان نقشه های کیفی خاک ها را برای استفاده در مدیریت خاص مزرعه ای فراهم

نمود، زیرا تغییرات به قالبی پیوسته از اطلاعات تبدیل می گردند. مدل کریجینگ در درون یابی از دقیق ترین مدل هایی است که در تهیه نقشه های پراکندگی فشردگی خاک مورد استفاده قرار می گیرد. به دلیل اینکه این مدل فاقد خطای سیستماتیک است و در تخمین ها دارای حداقل واریانس می باشد و جایگاه ویژه ای در درون یابی ها بدست آورده است. لذا می تواند از گزینه های مدیریت توسعه و کاهش ریسک تولید و اثرات زیان آور فشردگی خاک ناشی از ترافیک در مزارع باشد.

منابع

معصومی, امین اله؛ حسن علی بیگی و عباس همت، ۱۳۸۷، تأثیر کوتاه مدت تسطیح اراضی بر فشردگی خاک، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، مشهد، انجمن مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد،

عباسپور گیلانده, یوسف؛ رضا علیمردانی؛ احمد خلیلیان و علیرضا کیهانی، ۱۳۸۷، خاک ورزی دقیق به عنوان سیستم جایگزین برای خا کورزی در عمق یکنواخت، جهت صرفه جویی در مصرف انرژی، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، مشهد، انجمن مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد،

عساکره، حسین، ۱۳۸۴، مدل سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۷۴.

قهرودی تالی ، م. ۱۳۸۴ . سیستمهای اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی .تهران، جهاد دانشگاهی واحد تربیت معلم .شماره۴۹-۲۷۳ص

Adamchuk, V.I., Ingram, T.J., Sudduth, K.A., Chung, S.O., 2008. On-the-go mapping of soil mechanical resistance using a linear depth effect model. *Trans. ASABE* 51(6), 1885–1894.

Kenan Kılıç., Engin Özgöz., Fevzi Akbaş., 2004. Assessment of spatial variability in penetration resistance as related to some soil physical properties of two fluvents in Turkey." *Soil and Tillage Research* **1**(76): 1-11

Biau,Gerard, Zorita Ednardo, Von Storch Hans and Wackernagel Hanse (1999). "Estimation of presipitation by kriging in the EOF space the sea level pressure field". Journal of climate. Vol. 12.

Chang.Kang –Tssung (2004). Introduction to Geographic Information System. 2nd edition . McGrow Hill. New Yourk.

Cid, A. U. G. 2001. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. *Soil and Tillage Research* **4-3**(61): 193-202.

De Beurs, K (1998). Evaluation of spatial interpolation techniques for climate variables: Case study of Jalisco, Mexico. MSc thesis. Department of Statistics and Department of Soil Science and Geology, Wageningen Agricultural University, The Netherlands

Isaaks E. H., and Srinivasta R. M (1989). Applied Geostatistics. Oxford University Press: Oxford.

Khalilian, A. and R. R. Hallman. 1996. Energy requirements of conservation tillage tools in Coastal Plain soils. 1996 Proceedings, 19th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture, Jackson, TN, July 23-25, 1996.

Laboski, C.A.M., Dowdy, R.H., Allmaras, R.R., Lamb, J.A., 1998. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil. Plant Soil 203, 239–247.

Lipiec, B. U. J. (2009). Spatial distribution of soil penetration resistance as affected by soil compaction: The fractal approach. *Ecological Complexity* 3(6): 0-271.

Lipiec, A. F. B. U. J. 2005. Effects of tractor traffic on spatial variability of soil strength and water content in grass covered and cultivated sloping vineyard. *Osmania Journal of Social Sciences* **2**(84): 127-138

Lopez, A. C. M. M. F. F. N. 2002. 3D spatial variability of soil strength and its change over time in a durum wheat field in Southern Italy. *Soil and Tillage Research* **1**(65): 95-108.

Raper, R.L., Mac Kirby, J., 2006. Soil Compaction: How to do it, Undo it, or Avoid doing it, Agricultural Equipment Technology Conference. Louisville, Kentucky, USA, 12–14 February 2006 (*published by ASABE*).

Rekman J., Turski R., and paluszek J. 1998. Spatial and Temporal Variations in erodibility of loess. *Soil and Tillage Research*, 6: 61-68.

Sun, Y., Ma, D., Schulze Lammers, P., Schmittmann, O., Rose, M., 2006. On-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance by a combined horizontal penetrometer. *Soil Tillage Res*. 86, 209–217.

Stein, A., and L.C.A. Corsten (1991). Universal kriging and cokriging as regression procedures. Biometrics 47: 575 -587.

Tabios, G.Q., and J.D. Salas (1985). A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. Water Resources Bulletin 21:365-380.

Woojin Lee, D. K., Youngho Chae, Dongwoo Ryu 2011. Probabilistic evaluation of spatial distribution of secondary compression by using kriging estimates of geo-layers. *Engineering Geology* **122**(3–4): 239-248