



بررسی تغییرات مکانی داده‌ها با استفاده از روش‌های تحلیلی زمین آمار برای مطالعات خاکشناسی

سید حسین ثنائی نژاد^۱، علیرضا آستارایی^۲، مرجان قائمی^۳، نگار سیابی^۴

۱- دانشیار، عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

sanaein@gmail.com

۲- دانشیار، عضو هیئت علمی گروه خاکشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

Astaraei@ferdowsi.um.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری، گروه خاکشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

mgghaemi۲۷۰@gmail.com

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

negarsiabi۶۳@gmail.com

چکیده

بخش‌های مختلف فعالیت‌های کشاورزی مانند تولید محصولات زراعی، جنگلداری، دامپروری و ماهیگیری متأثر از متغیرها و پارامترهای مختلفی از جمله عوامل اقلیمی و هواشناسی، شرایط و ویژگی‌های خاک، تنوع و تعدد ارقام مختلف گیاهی و مسائل زیست محیطی و اکولوژیکی می‌باشد. از این رو برای مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق در این بخش‌ها ضروریست که این عوامل و متغیرها به صورت توأم مورد نظر قرار گیرند. با توجه به اینکه امکان بررسی همزمان تمامی این پارامترها با استفاده از روش‌های معمولی زمان‌بر و گاه غیر قابل انجام و نادقیق می‌باشد، محققین برای سرعت بخشیدن به تحلیل‌ها و افزایش دقت و قدرت تحلیل‌های خود به مدل‌سازی روی آورده‌اند. در حال حاضر فن‌آوری‌های نوین کمک‌شایانی به ارتقاء سطح کیفی و کمی در این نوع مدل‌سازی‌ها در زمینه کشاورزی کرده‌است. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) با امکان تحلیل پذیری تغییرات مکانی داده‌ها توسط روش‌های آنالیز زمین‌آمار، از جمله کریجینگ، دقت متغیرهای مکانی را در تهیه نقشه‌ها افزایش داده‌است. در این مقاله چهار مدل مختلف زمین‌آمار شامل کریجینگ معمولی (ok)، کوکریجینگ (CO-k)، رگرسیون کریجینگ (RK) و کریجینگ سه بعدی (۳D-K) از لحاظ پیش‌بینی خصوصیات خاک مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته و براساس رتبه‌بندی میانگین و انحراف معیار، بهترین روش تعیین می‌گردد. در این روش‌ها براساس تولید و مدلینگ واریوگرام از داده‌های مکانی، که معمولاً ۹۵٪ جفت داده‌ها را در بر می‌گیرد، برازش مدل واریوگرام انجام شده و ضریب رگرسیون مدل‌ها تعیین می‌گردد. سپس مدل با ضریب رگرسیون بالاتر انتخاب می‌شود تا نشان‌دهنده‌ی سمی واریوگرام نمونه باشد. آن‌گاه نقشه‌های سطحی برای خصوصیات مختلف تهیه شده و با تصاویر به دست آمده از سنجش از دور (RS) مقایسه می‌شود. نقشه حاصل از مدلی که بیشترین همخوانی با تصاویر ماهواره‌ای منطقه



مورد بررسی را دارد، برای تحلیل فضائی پارامترهای خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. می‌توان چنین نتیجه گرفت که نتایج این مطالعه برای تفسیر و طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور نیز می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مکانی، خصوصیات خاک، زمین‌آمار، کریجینگ، GIS

مقدمه

امروزه آگاهی از وضعیت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نحوه توزیع آن، به دلیل ماهیت تغییر پذیری مکانی بالای آن حتی در فواصل خیلی کم در چگونگی مصرف نهاده‌ها و دستیابی به مدیریت جامع کشاورزی بر مبنای سیستم‌های اطلاعات مدیریتی از اهمیت بسزایی برخوردار است. خصوصیات خاک با نوع خاک، توپوگرافی، اقلیم، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی رابطه زیادی دارند، که همه آنها در الگوی توزیع مکانی خاک تاثیر گذار هستند. مدل‌سازی سطحی وسیله مناسبی برای درون‌یابی خصوصیات خاک در کشاورزی و کارهای محیطی است. در حال حاضر یک نیاز جهانی به ابزارهایی برای ارزیابی مدیریت منابع طبیعی بر اساس تغییرات زودگذر کیفیت خاک وجود دارد که برای اجرای عملیات مدیریتی در اراضی گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد (Corwin و desch، ۲۰۰۵).

دستیابی به این مهم با پیشرفت تکنولوژی و استفاده از فن‌آوری‌های نوین به ویژه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به صورت چشمگیری بهبود یافته است. از این میان کاربرد روش‌های زمین‌آمار به درک الگوهای توزیع خاک و تغییر پذیری خصوصیات خاک کمک کرده و اطلاعات سودمندی را در اختیار قرار می‌دهد. به طور دقیق‌تر می‌توان گفت که بررسی تغییر پذیری مکانی خصوصیات خاک برای مطالعه خاک‌ها با شرایط ویژه ضروری می‌باشد.

اصطلاح زمین‌آمار به منظور توصیف پیش‌بینی مکانی در صنعت معدن به وسیله جرج ماترون و همکارانش ابداع و ارائه شد. این علم راه و روشی برای توصیف پیوستگی مکانی پدیده‌های طبیعی پیشنهاد می‌نماید که با بهره‌گیری از روش‌های کلاسیک رگرسیون به همراه مزیت پیوستگی، پیش‌بینی‌هایی منطبق با واقعیت را ارائه می‌کند (Isaaks و Srivastava، ۱۹۸۹). تئوری تغییر پذیری ناحیه‌ای ماترون به صورت موفقیت‌آمیزی از ۳۰ سال پیش در درون‌یابی خصوصیات خاک مورد استفاده قرار گرفت (Hengl و همکاران، ۲۰۰۴). این فرضیه یک روش خلاصه‌ای از تغییرات خاک را به صورت سمی واریوگرام و یک روش درون‌یابی به نام کریجینگ ارائه می‌دهد (Laslett و همکاران، ۱۹۸۷؛ Goovaerts، ۱۹۹۹). در اولین مطالعه Burgess و Webster (۱۹۸۰)، کریجینگ و کاربردهای عملی آن را در ارزیابی خاک استفاده نمودند. پس از آن، کاربرد این روش‌ها در پژوهش‌های سایر خاکشناسان و محققان علوم محیطی نیز به سرعت گسترش یافت. علم زمین‌آمار همبستگی‌های محیطی را با روش‌های مختلفی از قبیل kriging، cokriging، regression kriging و kriging with external drift، within strata (Goovaerts، ۱۹۹۹).



در دهه های اخیر تعداد زیادی از روش های درون یابی هیبرید که کریجینگ را با داده های کمکی ترکیب کرده اند گسترش یافته و مورد بررسی قرار گرفته اند که شامل دو روش کوکریجینگ و ترکیب کریجینگ با رگرسیون می باشد (Mcbratney و همکاران، ۲۰۰۰). از میان روش های آماری، روش هایی که بر مبنای زمین آمار هستند، شامل کریجینگ معمولی و ساده، کریجینگ کلی، کریجینگ رگرسیون و کوکریجینگ ساده اغلب برای آنالیز های مکانی استفاده می شوند (Deutsch، ۱۹۹۲). در روش های آماری مرسوم تنها مقدار پارامتر های مورد مطالعه و تفسیر توزیع مکانی متغیرها مد نظر قرار می گیرد، در حالی که در زمین آمار علاوه بر این موارد، رابطه مکانی موجود بین متغیرها نیز بررسی می شود. به طور کلی روش های کریجینگ برای تخمین خصوصیات خاک از قبیل EC، pH، میزان عناصر غذایی و غلظت مواد آلاینده، میزان آبشویی نیترات، توزیع آفت کش ها در خاک و سایر پارامتر های اکولوژیکی برای پیش بینی تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک می تواند مورد استفاده قرار گیرد (Brejda و همکاران، ۲۰۰۰).

با در نظر گرفتن همه این موارد درباره روش های زمین آمار در این مقاله سعی شده است ضمن معرفی و مقایسه مدل های مختلف زمین آمار و انتخاب مناسب ترین روش تحلیل تغییرات مکانی خصوصیات خاک، امکان بهره گیری از نتایج این روش ها در داده های سنجش از دور نیز مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش ها

مولفه های اساسی روش های زمین آمار، آنالیز سمی واریوگرام (توصیف همبستگی مکانی) و کریجینگ (روش درون یابی مناسب) می باشند. در این قسمت اساس کریجینگ، انواع مدل های کریجینگ و روابط حاکم بر آنها، اجزا و روابط سمی واریانس و روش های ارزیابی مدل ها به صورت اجمالی مورد بررسی قرار گرفته است.

سمی واریوگرام

سمی واریانس، اندازه ای از درجه وابستگی مکانی بین نمونه ها است. بزرگی سمی واریانس بین نقاط به فاصله بین آن ها بستگی دارد. به طوری که در فواصل کم، سمی واریانس کوچکتری حاصل می شود. بنابراین سمی واریانس برای نقاط با فاصله d از رابطه زیر به دست می آید:

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

در این معادله $Z(x_i)$ اندازه ای از تغییر ناحیه ای در مکان i و $Z(x_{i+h})$ مقادیر جفت نقاط متغیر Z در دو مکان با فاصله h و N_h تعداد جفت نقاط با فاصله h می باشند.



سمی واریوگرام یک وسیله موثر برای ارزیابی تغییرات مکانی است که باید قبل از استفاده از کریجینگ، تعیین شود (Kerry و Olive، ۲۰۰۴). این نمودار با سه مشخصه اصلی اثر قطعه ای، دامنه و آستانه همراه می باشد. اثر قطعه ای (nugget) نشان دهنده تغییر پذیری در فاصله صفر است که میزان خطاهای تجزیه ای، تحلیلی و نظری را بیان می کند. این مقدار بیان کننده تغییرات تصادفی است که معمولاً به دلیل عدم دقت اندازه گیری یا نوسان خصوصیتی که نمی توان در محدوده نمونه برداری مشخص کرد به وجود می آید (Trangmar و همکاران؛ ۱۹۸۵). دامنه (range) در سمی واریوگرام بیانگر فاصله متوسطی است که در طی آن فاصله سمی واریانس متغیر به مقدار نهایی خود می رسد و مقدار آستانه (Sill) بالاترین مقدار سمی واریوگرام برازش شده است (Webster و oliver، ۲۰۰۱).

از میان مدل های مختلف سمی واریوگرام دو مدل کروی و نمایی اغلب در مطالعات محیطی مورد استفاده قرار می گیرند (Henvelink و Webster، ۲۰۰۱). مطالعه سمی واریوگرام ها در جهت های متفاوت (anisotropy) برای دستیابی به مطلوبترین سمی واریوگرام نیز امری ضروری است. این سمی واریوگرام های جهتی، توصیف کننده تغییر مکانی بین جفت نقاط با فاصله h می باشند. این امر وجود مجموعه ای از بردارهای جفت نقاط را در جهت های معینی امکان پذیر می سازد. بنابراین در مطالعه یک پارامتر معین همواره احتمال یک خودهمبستگی بالا در یک جهت یا سایر جهات می تواند وجود داشته باشد که در این حالت داده ها دارای ناهمسانگردی (anisotropy) می باشند. ناهمسانگردی واریوگرام تا زمانی که تعداد نقاط نمونه برداری را کم کنیم مشخص نمی شود.

روش درون یابی مکانی کریجینگ

روش کریجینگ برای اولین بار در سال ۱۹۵۱ توسط یک مهندس از آفریقای جنوبی به نام D.G. Krige پیشنهاد شد و پس از آن Matheron در سال ۱۹۶۳ مفاهیم و معادلات ریاضی مربوطه را ارائه داد. بعد از آن مدل های کریجینگ برای داده های مدل های شبه سازی جبری مورد استفاده قرار گرفتند، این مدل ها دارای ورودی k بعدی بودند که k یک مقدار مثبت و اغلب دو است (Santer و همکاران، ۲۰۰۳). چندی بعد امکان کاربرد کریجینگ در مدل های شبه سازی تصادفی به اثبات رسید (Van beers و Kleijnen، ۲۰۰۳). Webster و oliver (۲۰۰۱) نیز مبنای زمین آمار خطی را پایه گذاری کردند. به طور کلی کریجینگ، روشی آماری بر اساس تئوری متغیرهای ناحیه بندی شده و مدل واریوگرام می باشد.

الگوریتم کریجینگ

با در نظر گرفتن مجموعه ای شامل k تعداد نقطه که در آن هر نقطه P_i به صورت (X_i, Y_i, Z_i) نشان داده می شود، X_i و Y_i مختصات و Z_i مقادیر نقاط معلوم است. مقدار نقاط مجهول E_{ij} با محاسبه مجموع وزنی نقاط معلوم به دست می آید.



$$E(x_i, y_i) = \sum_{k=1}^{k=h} w_k z_k \quad (2)$$

که w_k وزن داده شده به h است. ساختار الگوریتم کریجینگ شامل مجموعه ای از وزن های مناسب است. مجموعه مجزایی از وزن ها w_{ij} باید برای هر تخمین محاسبه شود. برای این کار ابتدا واریوگرام V از نقاط معلوم ساخته می شود، که در آن هر عضو D_{ij} فاصله از نقطه معلوم P_i تا نقطه معلوم دیگر P_j است.

$$V = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \dots & D_{1k} \\ \dots & \dots & \dots \\ D_{k1} & D_{k2} \dots & D_{kk} \end{bmatrix}$$

کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging)

این روش که یکی از ابتدایی ترین روش های کریجینگ است، براساس میانگین وزن دهی شده مشاهدات اطراف در ناحیه مورد نظر، مقدار متغیر را در نواحی اندازه گیری نشده تخمین می زند و از رابطه زیر به دست می آید:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i) \quad (3)$$

که در این رابطه S_i موقعیت تمامی نمونه هاست، $i=1, \dots, n$ و λ_i وزن اختصاص داده شده به هر نمونه مشاهده شده است. برای نا اریب شدن محاسبات، مجموع وزن ها باید ۱ شود.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (4)$$

این وزن ها با استفاده از معادله ماتریسی محاسبه می شوند.

$$C = A^{-1}b \quad (5)$$

که A ماتریس سمی واریانس بین نقاط داده هاست، b بردار سمی واریانس به دست آمده بین نقاط اصلی و نقاط پیش بینی شده و C ضریب افزایشی لاگرانژ Ψ می باشد.

کو کریجینگ (Cokriging)

کو کریجینگ تعمیم یافته کریجینگ و روشی برای تخمین یک یا چند متغیر از بین داده های مورد استفاده، با ترکیب داده ها به صورت همبستگی مکانی و درون متغیری است. Co-K روش آماری چند بعدی برای تخمین های مکانی است در زمانی که هر دو مشخصه اولیه و ثانویه موجود باشند. این مدل کاربرد زیادی در مطالعات خاکشناسی دارد و به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (Vaughan و همکاران، ۱۹۹۵؛ Trangmar و همکاران، ۱۹۸۶). کو کریجینگ به صورت زیر تعریف می شود:



$$Z(s_0) = \sum_{j=1}^n z(s_j) \Lambda_j \quad (6)$$

در این رابطه $z_j(s)$ و $z_m(s)$. توابع تصادفی هستند که مبنی بر مقادیر متغیرها در موقعیت S در دوره $n, \dots, 1$ ، تعداد m متغیر تصادفی می‌باشند. اگر هر جزء $Z(s_0)$ خودش قسمتی از فرض باشد (Journel و Huijbregts, ۱۹۷۸)، در نتیجه معادله (۶) نااریب است اگر

$$I = \sum_{j=1}^n \Lambda_j \quad (7)$$

که I ماتریس $[1, 0, \dots, 0]^T$ و T ترانواده است. معادله نهایی $CO-k$ به صورت زیر می‌باشد:

$$\sum_{j=1}^n \Gamma(S_i, S_j) + \psi = \Gamma(S_i, S_0) \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

که $Z(S_j)$ بردار $z_1(s_j), \dots, z_m(s_j)$ ، $\Gamma(S_i, S_0)$ و $\Gamma(S_i, S_j)$ واریوگرام عرضی، Λ_j وزن‌های مربوط به پیش‌بینی، و ψ ضریب لاگرائز برای $i = 1, \dots, n$ هستند.
(Regression Kriging)

شامل ترکیب‌های متنوعی از رگرسیون خطی و کریجینگ است. تفاوت آن با مدل $o-k$ جایگذاری واریانس‌ها در قطر ماتریس A به جای خطاها است. این روش معادل با کریجینگ با داده‌های نامعلوم است (Ahmed و DeMarsily, ۱۹۸۷). روش مذکور مفهوم تابع تصادفی اصلی $Z(s)$ را بیان می‌کند، عدم قطعیت سبب می‌شود که معادله به صورت زیر درآید:

$$Z(s) = Z(S_i) + e(S_i) \quad i = 1, \dots, n \quad (9)$$

که در آن $Z(S_i)$ مقدار واقعی و $e(S_i)$ عدم قطعیت یا خطاها را زمانی که واریانس δ_i^2 است، نشان می‌دهد. این عدم قطعیت به دلیل خطاها در اندازه‌گیری یا خطای رگرسیون حاصل می‌شود. فرض بر این است که خطاها، منظم و نااریب ($E[e(S_i)] = 0$) هستند، همبستگی بین آنها وجود ندارد ($Cov[e(S_i), e(S_i)] = 0$)، همچنین بین آنها با متغیرها نیز، همبستگی نمی‌باشد $i = 1, \dots, n$ ($Cov[e(S_i), Z(S_i)] = 0$).

بنابر این معادله کریجینگ به این صورت اصلاح می‌شود:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_{ij} - \lambda_i \delta^2 + \mu = 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (10)$$

کریجینگ سه بعدی (Three - Dimensional Kriging)

کریجینگ سه بعدی تعمیم کریجینگ معمولی در سه بعد است. با اینکه کاربرد بالقوه‌ای در علوم خاک دارد، اما مورد توجه واقع نشده است. Gallichand و همکاران (۱۹۹۲)، درون‌یابی مکانی را برای داده‌های خاک‌های شوری و سدیمی، انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که درون‌یابی با ۳-DK سودمندتر و دقیق‌تر است و نقشه‌های با کیفیت بهتر



تولید می‌کند. ۳-Dk در مقایسه با کریجینگ معمولی، تخمین‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌بخشد (Pan و همکاران، ۱۹۹۲).

اعتبارسنجی

برای ارزیابی اعتبار روش‌های کریجینگ، از دو شاخص خطای میانگین (ME) و انحراف معیار (RMSE) که روابط آنها به ترتیب به صورت زیر می‌باشد استفاده شد (Webster و Voltz، ۱۹۹۰):

$$ME = \frac{1}{i} \sum [Z(s_j) - \hat{Z}(s_j)] \quad (11)$$

که در این رابطه $Z(s_j)$ مقدار مشاهده شده در محل i و $\hat{Z}(s_j)$ مقدار پیش‌بینی شده در مکان i است. مقدار کم ME نشان دهنده خطای کم روش است. این مقدار باید صفر یا خیلی نزدیک صفر باشد، در مواردی که عدد محاسبه شده منفی است، نشان دهنده برآورد زیاد مدل است.

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i [Z(s_j) - \hat{Z}(s_j)]^2 \right\}^{0.5} \quad (12)$$

در بعضی موارد در داده‌ها به دلیل وجود داده پرت خطا ایجاد می‌شود که روی نتایج نهایی تأثیر می‌گذارد. برای آشکار سازی، رتبه هر روش پیش‌بینی برای همه نقاط $n, \dots, 1, i$ باید محاسبه شود (Laslett و همکاران، ۱۹۸۷). بنابراین r_{ij} رتبه i امین روش در j امین نقطه داده است، بنابراین رتبه i امین روش از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_i = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{j=1}^n r_{ij} \right\} \quad (13)$$

و انحراف معیار روش i ام طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$R_i = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (r_{ij} - R_i)^2 \right]^{0.5} \quad (14)$$

نتایج و بحث:

خروجی روش‌های زمین‌آمار، تولید نقشه‌هایی است که برای تحلیل تغییر پذیری مکانی خصوصیات خاک استفاده می‌شود که کیفیت نقشه‌های تولید شده، به روش کریجینگ، نوع مدل سمی و اریوگرام، توزیع داده‌ها و روش نمونه برداری بستگی دارد. از طرفی تعداد نمونه‌ها و مقیاس مقایسه جفت نقاط خیلی مهم است چرا که روی نتایج تأثیر می‌گذارد و نشان دهنده این است که دقت با اندازه نمونه و تعداد جفت نقاط موجود قابل مقایسه، افزایش می‌یابد (Journal و Huijbrets، ۱۹۷۸؛ Srivastava و Isaaks، ۱۹۸۹). علاوه بر این، قدرت تفکیک پذیری نقشه با تعداد نمونه کمتر کاهش می‌یابد. نمونه برداری به صورت تصادفی میزان انحراف در تخمین مقادیر در مناطق نمونه برداری نشده را کاهش می‌دهد.



دهد (Okin و Scull, ۲۰۰۷). در مورد خاک که وابستگی مکانی بیشتری نشان می‌دهد، نمونه برداری سیستماتیک دقت بیشتری نسبت به نمونه برداری تصادفی دارد (Mcbratney و Webster, ۱۹۸۳).

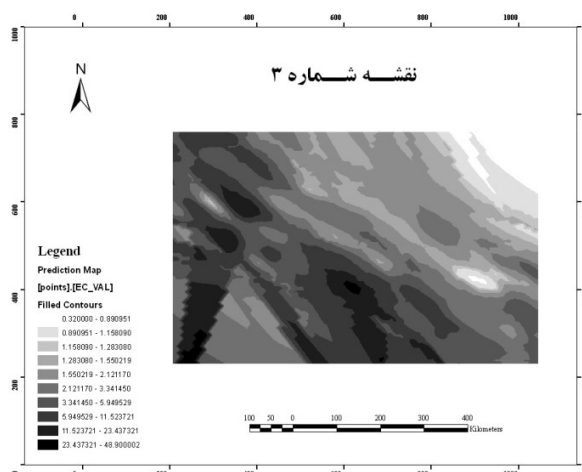
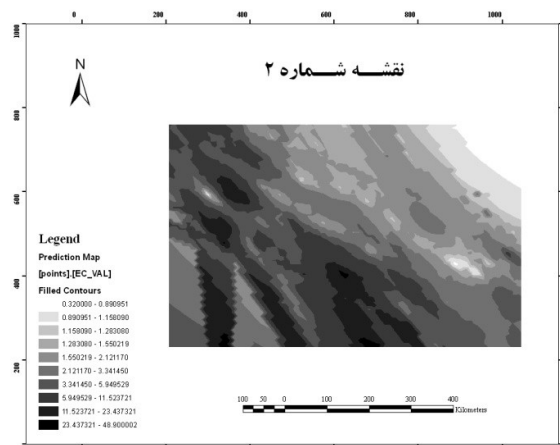
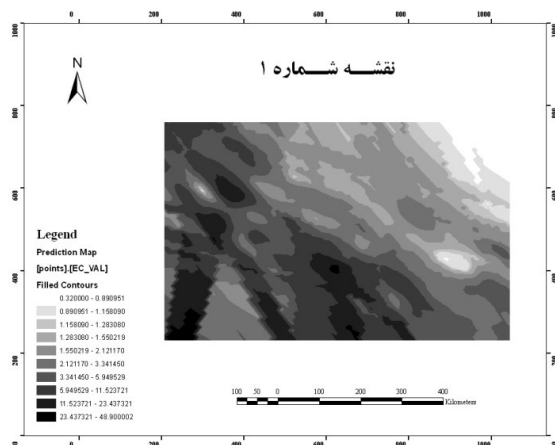
Zhu و Weindorf (۲۰۱۰)، به این نتیجه رسیدند که سمی‌واریوگرام می‌تواند برای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعمیم یابد. حجم بهینه نمونه برداری (OSD) از تعمیم سمی‌واریوگرام به دست می‌آید و رابطه بین اندازه نمونه و درصد خطای قابل قبول را تعریف می‌کند و یک راهنما برای طرح نقشه نمونه برداری فراهم می‌نماید. همچنین خصوصیات شیمیایی خاک تغییرات مکانی بیشتری نسبت به پارامترهای فیزیکی نشان می‌دهند که بیانگر تعداد نمونه بیشتر برای دستیابی به سطح مطلوبی از پیش‌بینی است. حداقل، تعداد ۱۰۰ نمونه لازم است تا واریوگرام واقعی به دست آید و به طور دقیق و صحیح ساختار مکانی را نشان دهد (Webster و oliver, ۱۹۹۲). روش‌های زمین‌آمار مانند کریجینگ، وقتی داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند، موثرترند اگرچه داده‌های مربوط به خاک در اکثر موارد نسبت به حالت نرمال دارای کشیدگی می‌باشند (Mc Bratney و همکاران، ۱۹۸۲). این مشکل می‌تواند با تبدیل داده‌ها تا حدودی رفع شود. رایجترین روش تبدیل، تبدیل لگاریتمی است (Goovaerts و saito, ۲۰۰۰).

روش دوم روش تبدیل رتبه بندی ترتیبی استاندارد شده قبل از کریجینگ است. روشی ساده که به خوبی با بسیاری از داده‌های گوناگون منطبق است (Journel و Deutsch, ۱۹۹۷). روش سوم روش تبدیل رتبه بندی نرمال است (Goovaerts, ۱۹۹۷)، روشی که هر توزیعی را به توزیع نرمال تبدیل می‌کند. مشخصه داده‌ها مثل ضریب تغییرات، کشیدگی و پخی نیز مهم هستند، چون قطعی نیست که با عمل تبدیل داده‌ها درونیابی مکانی بهبود یابد و همچنین قطعی نیست که آیا داده‌های با تغییرات زیاد روی دقت به طور کلی تاثیر گذار است یا خیر (Hoseini و همکاران، ۱۹۹۴).

مقایسه روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ برای تهیه نقشه از خصوصیات خاک نشان داد که کوکریجینگ با متغیرهای کمکی می‌تواند تخمین‌ها را بهبود بخشد (Bourenane و همکاران، ۱۹۹۶). برای یک نمونه برداری کم تراکم و داده‌های با چولگی کم نیز در صورت تبدیل داده‌ها، این روش می‌تواند برای کاربردهای زمین‌آمار مناسب شود. رگرسیون کریجینگ یک روش درونیابی خاص است که روش‌های آماری و زمین‌آمار را با هم ترکیب می‌کند (Odeh و همکاران، ۱۹۹۵). Hengl و همکاران (۲۰۰۴)، با استفاده از روش‌های کریجینگ و رگرسیون کریجینگ، در ارزیابی سه مشخصه خاک PH، مواد آلی و ضخامت خاک سطحی رگرسیون کریجینگ را به عنوان روشی مناسب پیشنهاد نمودند. برای شش خصوصیت شیمیایی خاک نیز، در منطقه باجگاه شیراز با استفاده از روش IDW و کریجینگ معمولی (O-K)، نقشه وابستگی مکانی تهیه گردید و نتیجه گرفتند که روش کریجینگ معمولی بهتر از IDW وابستگی مکانی را نشان می‌دهد (Yasrebi و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به موارد بالا می‌توان نتیجه گرفت که در مقایسه مدل‌های مختلف بیشترین دقت، مربوط به RK نسبت به مدل‌های OK, Co-K و ۳-DK می‌باشد. این به دلیل همبستگی بالای بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده به وجود می‌آید که به مقادیر کم باقیمانده‌های رگرسیون مربوط است. دخالت باقیمانده‌ها در سیستم کریجینگ روی هم رفته دقت RK را نسبت به سایر روش‌ها بهبود می‌بخشد.

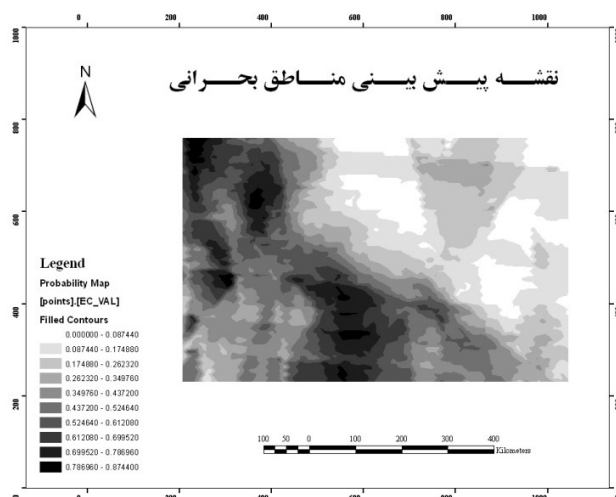


دقت و انحراف OK و Co-K در موارد متعددی تفاوت قابل توجهی نشان نداد، فقط دقت Co-K اندکی بیشتر از OK است، که آن هم به دلیل حساسیت Ok به تغییرات در محدوده کم است (McBratney و Laslett، ۱۹۹۰). در روش ok فقط یک واریوگرام لازم است و در نتیجه به محاسبه سه پارامتر (sill, nugget, range) نیاز است، اما در مورد Co-K اگر m تعداد متغیر وجود داشته باشد، باید $\frac{3[m(m+1)]}{2}$ پارامتر محاسبه شود، بنابراین در این روش به دلیل استفاده از داده های کمی اگر ۲ متغیر موجود باشد، ۹ پارامتر قبل از کریجینگ محاسبه می شود. با این وجود این روش به دلیل ایجاد کو واریانس بین متغیرها از کریجینگ معمولی بهتر است. برای حل این مشکل و کاهش محاسبات، استفاده از روش ۳-DK توصیه می شود. این روش برای محاسبه در جهت عمودی نیاز به واریوگرام سوم دارد در این حالت فقط ۶ پارامتر محاسبه می شود و تعداد محاسبات کاهش می یابد. به همین دلیل در مواردی که تعداد متغیرها و یا تعداد عمق های نمونه برداری زیاد باشد، روش ۳-DK سودمند تر است. علاوه بر تاثیر انتخاب روش بهینه، بهره گیری از تکنولوژی RS موجب افزایش دقت مدل هادی شود. در دو دهه اخیر استفاده از تصاویر ماهواره ای RS برای بهبود تخمین خصوصیات خاک نیز مورد توجه قرار گرفت. این روش ها مبتنی بر انتخاب بهترین ترکیب باندی و ایجاد ارتباط بین تصاویر و مدل های درون یابی استوار است. Garcia و Eldeiry (۲۰۰۸) تصاویر ماهواره های مختلف (IKONOS, LANDSAT, ASTER) را برای تخمین شوری خاک در مزارع یونجه و ذرت مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که تصاویر IKONOS بهتر از بقیه شوری را تخمین می زند. در مطالعه ای از داده های سنجنش از دور، سیستم های اطلاعات جغرافیایی و روش های زمین آمار از قبیل رگرسیون - کریجینگ و شاخص - کریجینگ برای پیش بینی مکانی خاک های شور - سدیمی استفاده شد و ترکیب این روش ها با RS برآورد مطلوبی را از شرایط نشان داد (Odash و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج حاصل از کاربرد Co-K و RK برای ارزیابی همبستگی بین تصاویر ماهواره و خصوصیت خاک نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره ای می تواند برای بهبود تخمین ها مورد استفاده قرار گیرد و RK نسبت به Co-K نتایج بهتری را ارائه می دهد (Garcia و Eldeiry، ۲۰۰۹). در کشور ما استفاده از الگوریتم کامل ارائه شده در این بخش و تلفیق آن با روش های سنجنش از دور پیشرفت چندانی نداشته است. اما می توان با کاربرد چنین ساختاری، بخش هایی از آن را به منظور ارائه راهکارهای مدیریتی مورد استفاده قرار داد. در اینجا نتایج حاصل از یک مطالعه موردی در برگیرنده مراحل مختلف روش های زمین آمار، برای تولید نقشه های تغییر پذیری مکانی شوری خاک که با الگوی ذکر شده مطابقت دارد، ارائه می شود. نقشه های حاصل از مدل های مختلف سمی واریوگرام با استفاده از روش کریجینگ معمولی برای تحلیل تغییر پذیری مکانی شوری خاک بخشی از دشت نیشابور در شکل (۱) ارائه شده است. بر اساس روش های زمین آمار و با توجه به درصد نسبت (nugget / sill) و دامنه موثر، می توان چنین نتیجه گرفت که شوری در خاک دارای وابستگی مکانی است.



شکل ۱- نقشه شوری خاک (نقشه ۱): کروی، نقشه (۲): نمایشی، نقشه (۳): گوسن

همچنین نتایج حاصله مدل نمایی سمی واریوگرام به عنوان بهترین مدل برای نمایش وابستگی مکانی شوری خاک منطقه شناخته شد و جهت تولید نقشه پیش بینی مناطق خطر آفرین از نظر شوری برای محصولات کشاورزی مفید می باشد (نقشه ۲، شکل ۱). براساس نقشه حاصل از انتخاب بهترین مدل، روش شاخص کریجینگ برای تولید نقشه پیش بینی مناطق بحرانی مورد استفاده قرار گرفت که در شکل (۲) دیده می شود چنین نقشه ای در واقع می تواند برای شناخت مناطق دارای پتانسیل کشت بر مبنای تغییر پذیری مکانی این خصوصیت خاک به کار گرفته شود.



شکل ۲- نقشه پیش بینی مناطق بحرانی

نتیجه گیری:

پایش و مطالعه خصوصیات خاک جهت اعمال روش های صحیح مدیریت خاک ها و اراضی از اهمیت خاصی برخوردار است. از این رو استفاده از روش های زمین آمار و بررسی تغییرات مکانی و نقشه مناطق بحرانی، در این خصوص اطلاعات دقیقی را با صرف هزینه و زمان کمتر در مقیاس های منطقه ای و ناحیه ای به منظور چگونگی اجرای روش های مدیریتی بهینه و دستیابی به نتایج مطلوب در اختیار قرار می دهند. نتایج حاصله نشان داد که دقت و صحت برآورد وابستگی مکانی با روش های کلاسیک آماری نسبت به روش های زمین آمار بسیار ناچیز است. روش کریجینگ رگرسیون در میان روش های دیگر، برای اکثر خصوصیات خاک روشی مناسب ارزیابی گردید. همچنین ترکیب این روش ها با فن آوری RS کارایی آن ها را در ارائه اطلاعات دقیق تر و جامع تر افزایش می دهد. نتایج نشان داد که در این مورد، تبدیل داده ها و داشتن تعداد نقاط بهینه نمونه برداری و روش نمونه برداری سیستماتیک، با افزایش دقت پیش بینی، مقدار خطا را کاهش می دهد.



منابع:

- Ahmed, S., DeMarsily, G., ۱۹۸۷. Comparison of geostatistical methods for estimating transmissivity using data on transmissivity and specific capacity. *Water Resour. Res.* ۲۳, ۱۷۱۷-۱۷۳۷.
- Bourennane, H., King, D., Chery, P., Bruand, A., ۱۹۹۶. Improving the kriging of a soil variable using slope gradient as external drift. *European Journal of Soil Science* ۴۷ (۴), ۴۷۳-۴۸۳.
- Brejda, J.J., Moorman, T.B., Smith, J.L., Karlen, D.L., Allan, D.L., Dao, T.H., ۲۰۰۰. Distribution and variability of surface soil properties at a regional scale. *Soil Sci. Soc. Am. J.* ۶۴, ۹۷۴-۹۸۲.
- Burgess, T.M., Webster, R., ۱۹۸۰. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science* ۳۱ (۲), ۳۱۵-۳۳۱.
- Corwin, D.L., Lesch, S.M., ۲۰۰۵. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity Part II. Case study. *Comp. and Electron. Agric.* ۴۶, ۱۳۵-۱۵۲.
- Deutsch, C.V., Journel, A.G., ۱۹۹۲. *GSLIB. Geostatistical Software Library and User's Guide*. Oxford University Press, Oxford, pp. ۷۱-۷۲.
- Eldeiry A., Garcia L. A., ۲۰۰۹. Comparison of Regression Kriging and Co-Kriging Techniques to Estimate Soil Salinity Using Landsat Images. Presented at the ۲۹th Annual Hydrology Days, Fort Collins, CO, March ۲۵-۲۷, ۲۰۰۹.
- Eldeiry, A., Garcia, L. A., ۲۰۰۸. *Spatial Modeling of Soil Salinity Using Remote Sensing, GIS, and Field Data*, VDM Verlag, Saarbrücken, Germany.
- Gallichand, J., Buckland, G.D., Marcotte, D., Hendry, M.J., ۱۹۹۲. Spatial interpolation of soil salinity and sodicity for a saline soil in Southern Alberta. *Can. J. Soil Res.* ۷۲, ۵۰۳-۵۱۶.
- Goovaerts, P., ۱۹۹۷. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York, NY, pp. ۴۸۳.
- Goovaerts, P., ۱۹۹۹. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma* ۸۹ (۱-۲), ۱-۴۵.
- Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Stein, A., ۲۰۰۴. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma* ۱۲۰ (۱-۲), ۷۵-۹۳.
- Heuvelink, G.B., Webster, R., ۲۰۰۱. Modelling soil variation: past, present, and future. *Geoderma* ۱۰۰, ۲۶۹-۳۰۱.
- Hosseini, E., Gallichand, J., Marcotte, D., ۱۹۹۴. Theoretical and experimental performance of spatial interpolation methods for soil-salinity analysis. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* ۳۷ (۶), ۱۷۹۹-۱۸۰۷.
- Isaaks, E.H., and R.M. Srivastava. ۱۹۸۹. *An introduction to applied (Coleoptera: Chrysomelidae)*. J. Econ. Entomogeo-statistics. Oxford Univ. Press, New York
- Journel, A.G., Huijbregts, C.H., ۱۹۷۸. *Mining geostatistics. Acatual kriging*. J. Soil Sci. ۳۱:۳۱۵-۳۳۱. demic Press, New York.
- Journel, A.G., Deutsch, C.V., ۱۹۹۷. Rank order geostatistics: a proposal for a unique coding and common processing of diverse data. In: Schofield, E.Y.B.a.N.A. (Ed.), *Geostatistics Wollongong '۹۶*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. ۱۷۴-۱۸۷.
- Kerry, R., Oliver, M.A., ۲۰۰۴. Average variograms to guide soil sampling for land management. *The International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* ۵, ۳۰۷-۳۲۵.
- Laslett, G.M., McBratney, A.B., Pahl, P.J., Hutchinson, M.F., ۱۹۸۷. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *J. Soil Sci.* ۳۸, ۳۲۵-۳۴۱.
- Laslett, G.M., McBratney, A.B., ۱۹۹۰. Further comparison of spatial prediction methods for predicting soil pH. *Soil Sci. Soc. Am. J.* ۵۴, ۱۵۵۳-۱۵۵۸.
- Matheron, G., ۱۹۶۳. Principles of geostatistics. *Economic Geology* ۵۸ (۸), ۱۲۴۶-۱۲۶۶.
- Matheron, G., ۱۹۶۹. *Le Krigeage universal*. Vol. ۱. Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau, p. NA.
- McBratney, A. B., Webster, R., ۱۹۸۳. Optimal interpolation and isarithm mapping of soil properties. V. Coregionalization and multiple sampling strategy. *Eur. J. Soil Sci.* ۳۴, ۱۳۷-۱۶۲.



- McBratney, A., Odeh, I., Bishop, T., Dunbar, M., Shatar, T., ۲۰۰۰. An overview of pedometric techniques of use in soil survey. *Geoderma* ۹۷ (۳- ۴), ۲۹۳-۳۲۷.
- McBratney, A.B., Webster, R., McLaren, R.G., Spiers, R.B., ۱۹۸۲. Regional variation of extractable copper and cobalt in the topsoil of south-east Scotland. *Agronomie* ۲, ۹۶۹-۹۸۲.
- Odeh, I. O. A., Onus, A., ۲۰۰۸. Spatial Analysis of Soil Salinity and Soil Structural Stability in a Semiarid Region of New South Wales, Australia. *Environmental Management*, ۴۲, ۲۶۵-۲۷۸.
- Pan, G., Moss, K., Heiner, T., Carr, J., ۱۹۹۲. A Fortran program for three-dimensional cokriging with case demonstration. *Comput. Geosci.* ۱۸, ۵۵۷-۵۷۸.
- Saito, H., Goovaerts, P., ۲۰۰۰. Geostatistical interpolation of positively skewed and censored data in a dioxin-contaminated site. *Environ. Sci. Technol.* ۳۴, ۴۲۲۸- ۴۲۳۵.
- Santner, T.J., Williams, B.J., Notz, W.I., ۲۰۰۳. The design and analysis of computer experiments. Springer-Verlag, New York.
- Scull, P., Okin, G. S., ۲۰۰۷. Sampling challenges posed by continental-scale soil landscape modeling. *Sci. Total Environ.* ۳۷۲, ۶۴۵-۶۵۶.
- Trangmar, B.B., Yost, R.S., Uehara, G., ۱۹۸۵. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv Agron* ۳۸, ۴۵-۹۴.
- Trangmar, B.B., Yost, R.S., Uehara, G., ۱۹۸۶. Spatial dependence and interpolation of soil properties in west Sumatra, Indonesia: II. Co-kriging regionalisation and co-kriging. *Soil Sci. Soc. Am.J.* ۵۰, ۱۳۹۶- ۱۴۰۰.
- Van Beers, W., Kleijnen, J.P.C., ۲۰۰۳. Kriging for interpolation in random simulation. *Journal of the Operational Research Society*, no. ۵۴, pp. ۲۵۵-۲۶۲.
- Vaughan, P.J., Lesch, S.M., Corwin, D.L., Cone, D.G., ۱۹۹۵. Water content effect on soil salinity prediction: A geostatistical study using cokriging. *Soil Sci. Soc. Am. J.* ۵۹, ۱۱۴۶-۱۱۵۶.
- Voltz, M., Webster, R., ۱۹۹۰. A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. *J. Soil Sci.* ۴۱, ۴۷۳-۴۹۰.
- Webster, R., Oliver, M.A., ۲۰۰۱. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester.
- Webster, R., Oliver, M.A., ۱۹۹۲. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. *Journal of Soil Science* ۴۳ (۱), ۱۷۷-۱۹۲.
- Weindorf, D .C., Zhu, Y., ۲۰۱۰. Spatial Variability of Soil Properties at Capulin Volcano, New Mexico, USA: Implications for Sampling Strategy. *Pedosphere.*, ۲۰(۲), ۱۸۵-۱۹۷.
- Yasrebi, J., Saffari, M., Fathi, H., Karimian, N., Moazallahi, M., Gazni, R., ۲۰۰۹. Evaluation and Comparison of Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighting Methoda for Prediction of Spatial Variability of Some Soil Chemical Parameters. *Reasearch Journal of Biological Sciences.*, ۴(۱), ۹۳- ۱۰۲.



An Investigation into spatial data variation by using geostatistics methods for soil studies

Sanaeinejad, Seyed. Hosein^۱, Astaraei, Alireza^۲, Ghaemi, Marjan^۳, Siabi, Negar^۴

^۱Dept. of Water-Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, (e-mail: sanaein@gmail.com)

^۲Dept. of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,;
(astaraei@ferdowsi.um.ac.ir)

^۳Dept. of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,
(mghaemi۲۷۰@gmail.com)

^۴Dept. of Water-Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, (e-mail: negarsiabi۶۳@gmail.com)

Abstract

Different parts of agricultural activities such as crop production, forestry, animal husbandry and fisheries affected by different variables and parameters, including climatic factors and weather conditions and soil characteristics, vegetation diversity and multiplicity of varieties, environmental and ecological conditions. Therefore, for precise management and planning in this sector these factors and variables should be considered simultaneously. On the other it is hard, time consuming and to some extent impossible to apply all of the parameters simultaneously. Therefore researchers speed up analysis and increased accuracy and power of their analysis by modeling. Currently, new technologies are helping to promote this type of quantitative modeling in agriculture studies. Using Geographic Information Systems (GIS) it is possible to apply geo-statistics methods, including kriging, to increase spatial accuracy of the variables and improve the preparation of maps for different parameters. In this paper four different geo-statistics models were used, including ordinary kriging (ok), co-kriging(CO-k), regression kriging (RK) and three-dimensional kriging (3D-K) to predict soil characteristics and based on their standard deviation and average ranking, the best method was determined. In this method based on production and Spatial Modeling Variogram of the data, which usually includes ۹۵% of data pairs, Variogram model is fitted and regression coefficient models shall be determined. The model with regression coefficients higher is selected to show the semi-variogram of the sample. Then the surface maps prepared for different characteristics compared with images obtained from remote sensing (RS). The map derived from the model that corresponds with the highest area of satellite images has been used for spatial analysis of soil parameters. It can be concluded that the results of this study for the interpretation and classification of remote sensing data can also be used.

Keywords: spatial analysis, soil properties, geostatistics, kriging, GIS.