

پهنه‌بندی عناصر ریزمغذی قابل جذب آهن، روی، مس، و منگنز در اراضی کشاورزی جنوب تهران با استفاده از تکنیک زمین‌آمار و GIS

فاطمه یزدانی‌نژاد^۱، حسین ترابی گل‌سفیدی^{۲*}، ناصر دواتگر^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد

۲. دانشیار گروه خاک‌شناسی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد

۳. استادیار پژوهشی بخش خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۱۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۰/۳۰)

چکیده

به منظور بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی غلظت عناصر ریزمغذی آهن، روی، مس، و منگنز در ۲۰۰۰۰ هکتار از خاک‌های اراضی جنوب تهران برای تشخیص مناطق با حد کفایت یا بیش‌بود ۱۹۶ نمونه خاک سطحی به صورت شبکه منظم ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر جمع‌آوری و فرم قابل جذب این عناصر با استفاده از DTPA و TEA عصاره‌گیری و غلظت آن‌ها با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد عناصر ریزمغذی آهن، روی، مس، و منگنز توزیع مکانی دارند و با توجه به نوع کاربری‌های مختلف غلظت آن‌ها متفاوت است. بهترین مدل واریوگرام برای فرم قابل جذب آهن و مس نمایی و برای روی گوسی و برای منگنز کروی بود. متوسط غلظت قابل جذب عناصر آهن، روی، مس، و منگنز به ترتیب ۲/۶، ۲/۱، ۱/۲، و ۳/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. بر اساس حدود بحرانی تعیین‌شده در ایران، همه اراضی مطالعه شده دچار کمبود آهن هستند. از نظر روی ۸۱ درصد اراضی در حد متوسط و ۱۸ درصد در حد مطلوب و ۱ درصد نیز مقدار روی بالایی دارند. حدود ۷۶ درصد اراضی از نظر مس قابل جذب در حد کم تا متوسط و ۱۸ درصد در حد مطلوب قرار دارند و میزان مس ۶ درصد از خاک اراضی نیز در حد بالاست. منگنز قابل جذب خاک در همه اراضی مطالعه‌شده در محدوده کم تا متوسط قرار دارد. تطابق نقشه‌های کاربری و مدیریت بهره‌برداری اراضی با نقشه پهنه‌بندی هر یک از عناصر مطالعه‌شده نشان داد مناطق با مقادیر زیاد مس و روی منطبق با حاشیه بزرگراه‌ها، مناطق صنعتی و مسکونی آبیاری با آب فاضلاب است.

کلیدواژگان: تغییرنما، توزیع مکانی، فرم قابل جذب عناصر ریزمغذی

مقدمه

در فرایند تغذیه گیاه باید هر عنصری به اندازه کافی در دسترس گیاه قرار گیرد. از طرفی تعادل و تناسب میان عناصر غذایی کاملاً ضروری است. در ایران کمبود عناصر کم‌مصرف (ریزمغذی)، مانند آهن و روی و مس و منگنز، به دلیل شرایط آهکی، کمی مواد آلی، خشکی، حلالیت کم این عناصر در pH قلیایی، و وجود بی‌کربنات در خاک و آب‌های آبیاری عمومیت دارد (Malakoti and Hamedani, 2001). وجود آهک فراوان در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک سبب می‌شود میزان فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف برای گیاهان، با وجود بالا بودن مقدار کل این عناصر در خاک، پایین باشد و در شرایط کشت متراکم برخی گیاهان با کمبود عناصری مانند روی، آهن، مس، و منگنز مواجه شوند (Malakoti and Homaei, 1995). مطالعات جهانی نشان می‌دهد ۳۰ درصد خاک‌ها در جهان به کمبود یک یا چند عنصر ریزمغذی مبتلا هستند (Malakoti et al, 2006).

دستیابی به تصویر کلی پراکنش عناصر غذایی و پهنه‌بندی آن‌ها با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) جهت تشخیص و شناسایی مناطق کمبود و کفایت و سمیت، به خصوص برای برخی عناصر ریزمغذی مثل آهن و روی و مس و منگنز، اهمیت بسیار دارد. تهیه این نقشه‌ها این امکان را فراهم می‌کند که مناطقی که وضعیت هر یک از این عناصر در آن‌ها دچار مشکل است یافته شود و برای رفع آلودگی یا کمبود و عدم استفاده از اراضی آلوده در تولید محصولات غذایی یا دیگر تصمیمات مدیریتی، مانند توصیه‌های کودی مناسب، اقدامات درست انجام شود.

خاک بسان مخزنی است که عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را در خود جای می‌دهد و در حمایت از گیاه نقش مهمی دارد.

یکی از مشکلات تعیین پراکنش عناصر غذایی و ارزیابی وضعیت آلودگی خاکها عدم امکان نمونهبرداری از همه نقاط است. بدین منظور استفاده از راهکار مناسب برای تعمیم نتایج نقاط اندازهگیری شده به سایر نقاط توصیه می‌شود. زمین‌آمار شاخه‌ای از علم آمار است که در آن مختصات داده‌های جامعه تحت بررسی و به تبع آن ساختار مکانی داده‌های مربوطه مطالعه می‌شود. برتری این شاخه آمار از شعبه کلاسیک آن فراشمولی آن است (Hasanipak, 1998).

Fatehi *et al* (2010) جهت تهیه نقشه حاصل‌خیزی خاک ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آبادغرب، با استفاده از تکنیک زمین‌آمار، گزارش کردند کریجینگ روشی مناسب برای بررسی تغییرات مکانی خصوصیات حاصل‌خیزی خاک است و می‌توان با کمک این روش نقشه حاصل‌خیزی خاک را تهیه کرد. با استفاده از نقشه حاصل‌خیزی خاک می‌توان کود مناسب را توصیه کرد و مصرف نهاده‌های کودی را با دقت بیشتری انجام داد و از هدررفت منابع کودی و آلودگی محیط زیست تا حدودی جلوگیری به عمل آورد و علاوه بر آن زمینه پایش تغییرات عناصر غذایی خاک را نیز فراهم ساخت. Roshani *et al* (2010) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور بهینه‌سازی مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف (Fe, Zn, Cu, Mn) از اراضی کشاورزی استان گلستان با فواصل ۱ در ۱ کیلومتر نمونه‌برداری کردند و پس از بررسی وضعیت عناصر غذایی در خاک‌های این استان اعلام کردند از این پس مصرف کلیه کودهای محتوی عناصر غذایی کم‌مصرف باید بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی از حیث کمبود یا کفایت یا سمیت صورت گیرد تا مصرف کودها بهینه شود و آلودگی محیط زیست کاهش یابد. Liu *et al* (2003) با هدف بررسی میزان تغییرپذیری عناصر کم‌مصرف، شامل آهن و مس و منگنز، از منطقه‌ای به مساحت ۵۴۱ کیلومتر مربع نمونه‌برداری کردند و با آنالیز ۱۳۴ نمونه خاک از شالیزارهای برنج توانستند رفتار و خصوصیات تغییرپذیری چهار عنصر مذکور را با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و GIS تعیین کنند. Alizadeh *et al* (2010) با بررسی ۱۹۰ نمونه خاک، مرکب از اراضی تحت کشت پنبه در شهرستان‌های بهشهر و نکا و ساری، حدود بحرانی و کفایت و سمیت عناصر ریزمغذی آهن و روی و مس و منگنز را تعیین کردند.

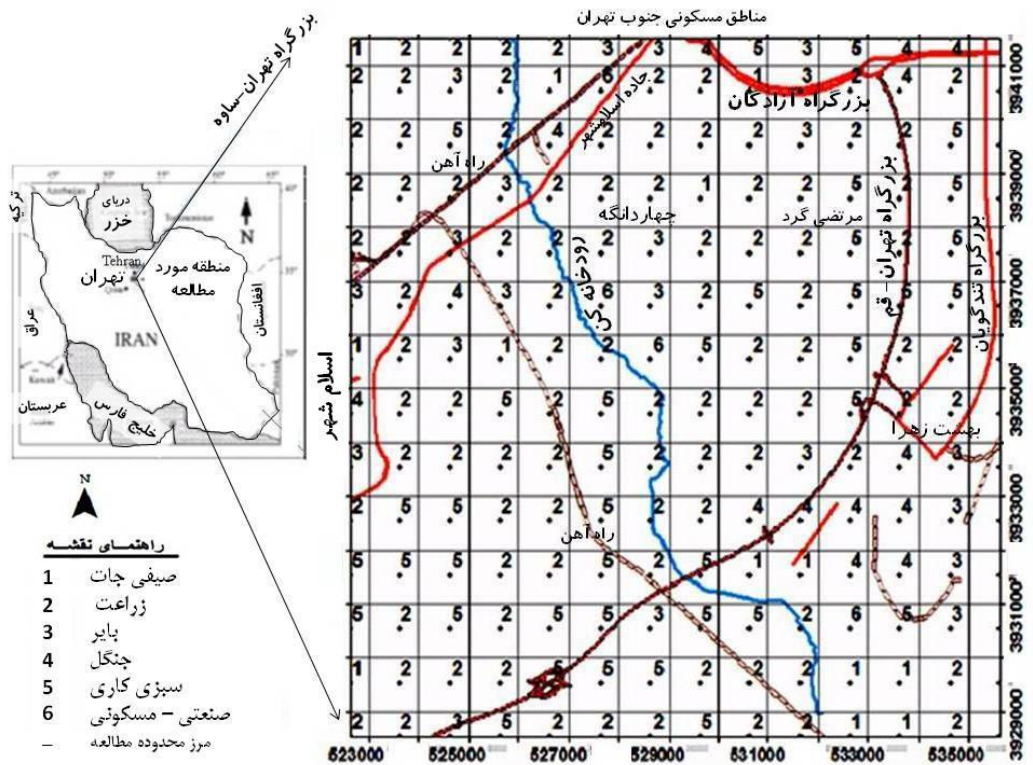
بررسی تغییرات مکانی مس و روی در مرکز استان ژجیانگ در چین با بررسی ۴۶۳ نمونه خاک و تجزیه و تحلیل زمین‌آمار، با رسم شبه‌واریوگرام، نشان داد دامنه تأثیر عنصر روی و مس زیاد بوده و همبستگی مکانی این عناصر با توجه به نوع خاک و مواد مادری و فعالیت‌های انسانی متفاوت است (Xingmei *et al.*, 2008).

Khodakarami *et al* (2011) جهت توزیع مکانی فلزات سنگین، از جمله آهن، با بررسی ۲۸۶ نمونه خاک در استان همدان گزارش کردند عامل مؤثر بر تجمع فلزات سنگین ساختار زمین‌شناسی است؛ اما فعالیت‌های کشاورزی نیز به دلیل مصرف بالای کودهای شیمیایی بی‌تأثیر نیست. پراکنش منگنز در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه فولاد مبارکه بررسی شد و غلظت منگنز قابل استخراج، با روش DTPA، ۳۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش شد. علت تجمع منگنز در این منطقه قراردادن آن در جهت باد غالب و پراکندگی ذرات و غبارهای حاوی منگنز توسط باد از محل تخلیه معادن سنگ آهن، دپوی ضایعات، و دودکش‌ها بود (Hodaji and Jalalian 2005).

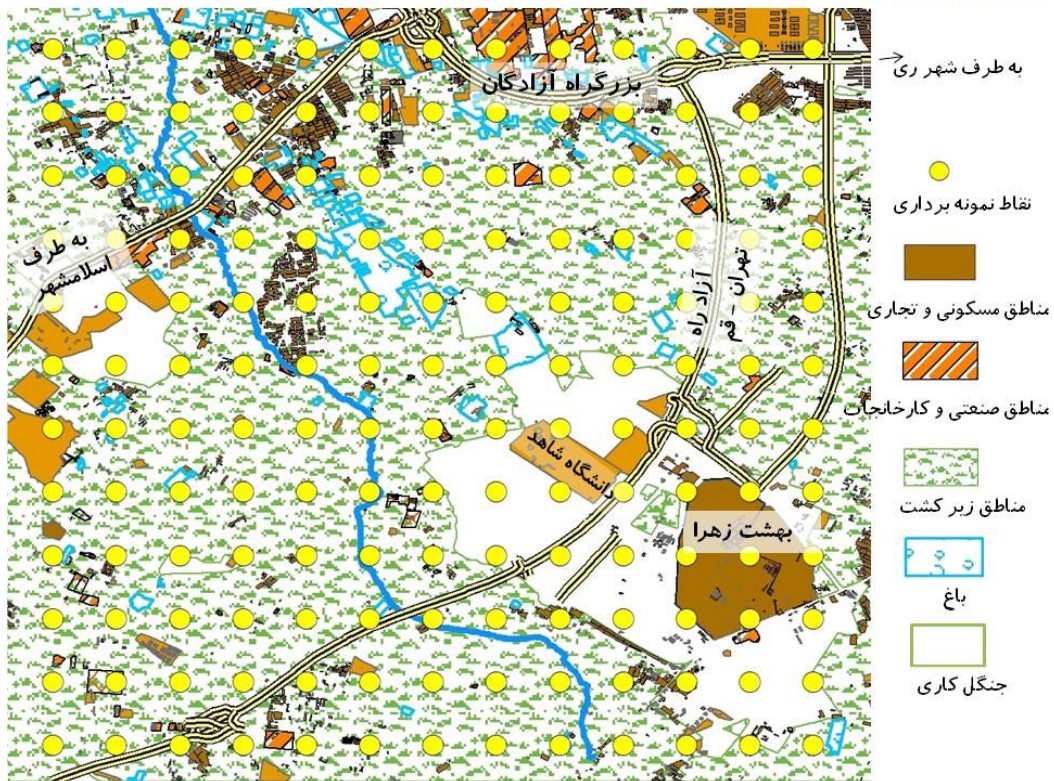
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه شده

منطقه مطالعه شده بخشی از اراضی کشاورزی جنوب تهران در حد فاصل بزرگراه‌های آزادگان در شمال، تهران-قم در شرق، و تهران-ساوه در غرب با مساحتی حدود ۲۰۰۰۰ هکتار است (شکل ۱). جهت بررسی وضعیت این اراضی، از نظر سمیت یا کمبود برخی عناصر ریزمغذی، مطالعه‌ای در سال ۱۳۹۱ انجام شد. به منظور پهنه‌بندی مناسب و تهیه نقشه پراکنش عناصر آهن، روی، مس، منگنز به نمونه‌برداری در یک شبکه منظم نیاز بود. ابتدا نقشه‌های رقوم توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه‌برداری تهیه شد. سپس جهت تعیین موقعیت نمونه‌برداری شبکه‌بندی منظم با فواصل یک در یک کیلومتر انجام شد و مختصات محل گره‌های شبکه در محیط نرم‌افزار ArcGIS مشخص گردید. پس از تعیین مختصات محل نمونه‌برداری، این مختصات به دستگاه GPS منتقل شد و از طریق GPS به محل دقیق نمونه‌برداری رفت و از عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. برای نمونه‌برداری خاک در هر محل به روش شعاعی (دایره‌ای با شعاع ۲۵ متر که مرکز آن با GPS تعیین گردید) نمونه‌ها در چهار جهت متفاوت از نقطه اصلی و با فاصله‌ای حدود ۲۵ متر از مرکز نقطه به صورت مرکب برداشت شدند و کاربری محل نمونه‌برداری ثبت گردید (شکل ۱). در مجموع تعداد ۱۹۶ نمونه خاک مرکب از عمق لایه شخم (۰ تا ۲۵ سانتی‌متر) برداشت شد.



- راههای نقشه**
- 1 صیفی چات
 - 2 زراعت
 - 3 بایر
 - 4 جنگل
 - 5 نسبی کاری
 - 6 صنعتی - مسکونی
 - مرز محدوده مطالعه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و نوع کاربری اراضی در منطقه مطالعه شده

کلسیمتر فشاری، pH در گل اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع، و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در pH ۸٫۲ اندازه گیری شدند (Rhoades, 1982). استخراج آهن، روی، مس، و منگنز قابل جذب به روش عصاره گیری با DTPA و ۰٫۰۰۵ مولار (Lindsay and Norvell, 1979) انجام شد و اندازه گیری غلظت آن‌ها با کمک

نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شد و پس از هواخشک شدن کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. از ذرات کوچکتر از ۲ میلی‌متر برای انواع تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی استفاده شد. توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1982)، کربن آلی به روش والکلی بلاک (Nelson and Sommers, 1982)، اندازه‌گیری آهک به روش

دستگاه جذب اتمی مدل Analytikjena, Aspectcs 1.5.1 صورت گرفت.

روش آماری و زمین آماری

اطلاعات اولیه آماری نمونه‌ها، شامل توزیع فراوانی داده‌ها و شاخص‌های آماری، مانند میانگین و میان و واریانس و چولگی و کشیدگی، محاسبه گردید (جدول ۱). در شرایطی که داده‌ها توزیع نرمال نداشتند با تبدیل‌های مناسب لگاریتمی یا ریشه دوم متغیر به توزیع نرمال تبدیل شدند. آنالیزهای آمار توصیفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. الگوهای تغییرنا به وسیله نرم‌افزار GS⁺ رسم و بهترین الگوی تغییرنا انتخاب گردید (شکل ۳) و پهنه‌بندی غلظت قابل جذب عناصر با کمک نرم‌افزار ArcGIS 10 انجام گرفت (شکل ۴). در مطالعات زمین آماری داده‌هایی با توزیع غیر نرمال آثاری به دنبال دارند که ممکن است منجر به نوسان زیاد در تغییرناها (واریوگرام) شوند و کاهش قابلیت اعتماد به نتایج تحلیلی را به دنبال بیاورند. بنابراین نرمال‌سازی داده‌ها ضروری است. توزیع نرمال بودن داده‌ها بر اساس چولگی آن‌ها تخمین زده شد. داده‌های چولگی بین -۱ و ۱ داده‌های دارای توزیع نرمال در نظر گرفته می‌شوند (Jafaryan et al, 2012). تجزیه و تحلیل ساختار تغییرات مکانی با استفاده از تغییرنا صورت می‌گیرد. تغییرنا تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییرپذیری یک متغیر خاص را نشان می‌دهد و از ابزارهای اساسی زمین‌آمار برای بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک است. نیم تغییرنا (نیم‌واریانس) تابعی آماری برای تجزیه و تحلیل ساختار مکانی متغیرهای ناحیه‌ای است (Mohammadi, 2006). طبیعی‌ترین روش برای مقایسه دو کمیت $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ که در دو نقطه، یکی به مختصات x_i و دیگری x_i+h به فاصله h از هم قرار دارند، این است که اختلاف آن‌ها را بررسی کنیم. برای همه موقعیت‌ها توان دوم این اختلاف به منزله نیم‌واریانس با رابطه ۱ محاسبه می‌شود و از آنجا که متوسط این کمیت ۰ یا نزدیک به ۰ است در عمل مجذور اختلاف را در نظر می‌گیرند (Madani, 1995).

$$\gamma_i(h) = \frac{1}{2N_i(h)} \sum_{j=1}^{N_i(h)} [Z_i(x_j) - Z_i(x_j+h)]^2 \quad (\text{رابطه ۱})$$

$N(h)$ تعداد زوج نمونه‌های به کاررفته در محاسبه نیم‌واریانس به ازای فاصله h است و معمولاً هر چه h افزایش یابد تعداد جفت نقاط کم می‌شود. $Z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه i و $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی $i+h$ است. $Y(h)$ را نیم‌واریانس می‌نامند. هدف اصلی محاسبه تغییرنا این است که بتوان تغییرپذیری متغیر را با توجه به فاصله مکانی یا زمانی شناخت. برای این کار لازم است مجموع مربع تفاضل زوج

نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند محاسبه و در مقابل h رسم شود (Hasanipak, 1998). در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار GS⁺ (Version 5.1) نیم تغییرناهای همه متغیرهای مطالعه شده محاسبه و برای ارزیابی بهترین برازش مدل‌های تئوری (خطی، نمایی، کروی) بر نیم تغییرناهای تجربی از آماره‌های مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. میانگین خطا مقدار اریب تخمین را نشان می‌دهد و اگر به ۰ میل کند، روش نارایب است (Robinson and Metternicht, 2005). آماره RMSE معیاری از صحت تخمین است و هر اندازه RMSE یک متغیر کوچک باشد صحت آن بیشتر خواهد بود. ضریب تبیین (R^2) باید به عدد ۱ نزدیک باشد تا مناسب بودن روش تخمین را نشان دهد. برای پی‌بردن به قدرت ساختار (وابستگی) مکانی متغیر از رابطه $C_0/(C+C_0)$ استفاده شد که در آن C_0 واریانس قطعه‌ای و C_0+C آستانه نیم‌تغییرناست. نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه سهم واریانس قطعه‌ای از کل تغییرات را نشان می‌دهد. با کمک این نسبت می‌توان میزان نسبی اثر واریانس قطعه‌ای را بین صفات مختلف مقایسه کرد (Trangmar et al, 1985). اگر مقدار این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد، متغیر دارای وابستگی مکانی قوی، اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، متغیر دارای وابستگی مکانی متوسط، و اگر بیشتر از ۷۵ درصد باشد، متغیر دارای وابستگی مکانی ضعیف است (Cambardella et al, 1994). پهنه‌بندی و تخمین مقدار قابل جذب عناصر مطالعه شده در نقاط نمونه‌برداری نشده با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ انجام شد.

در تئوری کریجینگ معمولی اگر فرض کنید مقادیر متغیر Z در n نقطه اندازه‌گیری شده باشد:

$$Z = (Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)) \quad (\text{رابطه ۲})$$

تخمین مقدار Z در نقطه x_0 به وسیله تخمین‌گر کریجینگ به شکل زیر بیان می‌شود:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (\text{رابطه ۳})$$

مهم‌ترین بخش معادله کریجینگ تعیین وزن‌های آماری λ_i است که برای نارایب بودن تخمین‌ها این اوزان باید به گونه‌ای تعیین گردد که مجموع آن‌ها برابر ۱ باشد ($\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$). برای دقیق بودن تخمین‌ها باید واریانس تخمین حداقل باشد؛ به عبارت دیگر:

$$(\text{رابطه ۴})$$

$Var[Z^*(x_0)] = E[(Z^*(x_0) - Z(x_0))^2] = \min$ اما در روش عکس فاصله وزنی (IDW) مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم با استفاده از مقدار همان کمیت در

کردند. پارامتر ضریب تغییرات بدون بعد بود و می‌توان از آن برای مقایسه تغییرات یک صفت در مقیاس‌های متفاوت نمونه‌برداری استفاده کرد (Mohammadi, 2006).

به نقل از Tajgardan *et al* (2009)، بر اساس طبقه‌بندی وایلدینگ (1985) خصوصیات خاک با ضریب تغییرات بیش از ۳۵ درصد تغییرپذیری بالایی دارند. با توجه به نتایج مطالعه اراضی کشاورزی جنوب تهران میزان ضریب تغییرات هدایت الکتریکی (ECe)، کربنات کلسیم (CaCO₃)، کربن آلی، آهن، روی، مس، و منگنز قابل جذب نسبت به دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده بالاتر بود که یکی از دلایل آن تفاوت در نوع کاربری و مدیریت متفاوت کشت‌وکار در منطقه است. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) با ضریب تغییرات ۷۸ درصد بیانگر تغییرپذیری بالای شوری در منطقه مطالعه شده است که با توجه به نوع کاربری منطقه مشخص شد بیشترین شوری در اراضی پایین‌دست رودخانه کن وجود دارد. این مناطق مجاور سوله‌های صنعتی و دامپروری و مناطق مسکونی‌اند و با آب‌های نامناسب و فاضلاب آبیاری می‌شوند. Carrow and Duncan (2004) با مطالعه خاک‌های کلرادو به نتایجی مشابه در این زمینه رسیدند و علت شوری را کیفیت بد آب آبیاری و منابع انسانی، مانند فاضلاب‌های شهری، معرفی کردند. نتایج این تحقیق با نتایج Ghaneie *et al* (2009) در استان گلستان، مبنی بر تغییرپذیری زیاد مکانی شوری، مطابقت داشت. کشاورزی متراکم در برخی نقاط با آبیاری غرقاب، که در برخی سال‌ها به سه بار کشت نیز می‌رسد، باعث شده آهک پاره‌ای از این خاک‌ها، حداقل در افق سطحی، تخلیه و به اعماق زیر لایه شخم منتقل شود و چون آهک نمی‌تواند از طریق تبخیر آب دوباره به سطح خاک برگردد، با توجه به پراکندگی این نوع اراضی با سابقه متفاوت کشاورزی متراکم، دارای مقادیر متفاوتی از آهک‌اند و باعث افزایش ضریب تغییرات آن می‌شوند. تغییرات کربن آلی در منطقه مطالعه شده تحت تأثیر فرایندهای ذاتی و مدیریتی قرار دارد؛ از جمله تفاوت وضعیت زه‌کشی و مدیریت زراعی، یعنی تفاوت در مقدار و نوع مصرف کود به‌ویژه کودهای نیتروژنه و کودهای آلی و حیوانی و سوزاندن بقایای گیاهی در آخر فصل در مزارع. از علل بالابودن ضریب تغییرات کربن آلی در اراضی جنوب تهران می‌توان به نوع کاربری متفاوت و استفاده از کودهای آلی و حیوانی، به‌خصوص در اراضی سبزی‌کاری، اشاره کرد که برعکس سوزاندن بقایای گیاهی در اراضی زراعی برای کشت انواع سبزیجات از کود آلی (غالباً کود گاوی) استفاده می‌شود. Liu *et al* (2006) نیز ضریب تغییرات نزدیک به ۲۹ درصد را برای کربن آلی اعلام کردند و علت بالابودن آن را کاربری متفاوت منطقه و کوددهی و فرسایش دانستند.

نقاط دیگری با مختصات معلوم به‌دست می‌آید. به عبارت دیگر، در این روش ارزش یک متغیر بر اساس میانگین همسایه‌ها در محدوده‌های معین محاسبه می‌شود. به این ترتیب که معکوس فواصل از نقاط مجهول وزن‌دهی می‌شود. هر چه فاصله نقطه مجهول از نقاط معلوم کاهش یابد، وزن ارزش آن نقاط افزایش می‌یابد و نقاطی که ارزش آن نامعلوم است با استفاده از نقاط اطراف در شعاعی مشخص برآورد می‌شود. هر چه فاصله داده معلوم از نقطه مجهول افزایش یابد، وزن‌ها بر اساس فاصله کاهش می‌یابند. هنگامی که توان α است نقش فاصله از بین می‌رود و مقدار نامعلوم از میانگین نقاط همسایه به‌دست می‌آید. اگر توان افزایش یابد، نقش فاصله افزایش می‌یابد و فاصله‌های نزدیک‌تر وزن بالاتری می‌یابند (Ghahroudi tali, 2005). رابطه ۵ بیان آماری وزن‌دهی عکس فاصله است.

$$\hat{Z}(x_i) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d^{\alpha_i}} Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d^{\alpha_i}}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

d_i فاصله بین نقطه تخمین تا هر یک از نمونه‌های واقع در همسایگی آن، $\hat{Z}(x_i)$ مقدار تخمینی خاصیت، نقطه $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌شده خاصیت مورد نظر در نقطه x_i و α توان معکوس فاصله (پارامترنمایی) است.

یافته‌ها و بحث

توصیف آماری

اطلاعات اولیه آماری نمونه‌ها شامل میانگین، حداکثر، حداقل، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی، و ضریب تغییرات محاسبه گردید (جدول ۱). نتایج این متغیرها و هیستوگرام توزیع فراوانی این متغیرها بیانگر توزیع داده‌ها با چولگی متوسط برخی پارامترها در جهت مثبت بود. در واقع چولگی نرمال‌نبودن توزیع فراوانی داده‌ها را نشان می‌دهد و هر اندازه مقدار آن بیشتر باشد بیانگر یکنواخت‌نبودن واریانس، وجود جوامع فرعی، و داده‌های پرت است (Shakouri katigari *et al*, 2011). از آنجا که زیادبودن انحراف از توزیع نرمال در تجزیه و تحلیل‌های آماری، به‌ویژه محاسبه واریوگرام، تأثیر نامطلوب دارد، از متغیرهای غیر نرمال لگاریتم گرفته شد. خلاصه آماری این داده‌ها در جدول ۱ می‌آید. پس از گرفتن لگاریتم مقدار میانگین و میانه بسیار به هم نزدیک شد. همچنین، مقدار چولگی کاهش یافت (۰ تا ۱)، که بیان‌کننده انحراف کم از توزیع نرمال است. مقادیر چولگی ارائه‌شده در جدول ۱ نتایج آزمون نرمال‌بودن را تأیید می‌کند که در همه متغیرها بین ۱ و ۱- است. در همین زمینه Jalali *et al* (2011) جهت نرمال کردن داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده

مصرف روی در افزایش عملکرد گیاهان وجود دارد. در آزمایشی محققان نشان دادند مصرف روی سبب رشد گیاه گوجه‌فرنگی در سطوح بالای شوری می‌شود. Hosseini *et al.* (1998) طی بررسی خود در زمینه اثر شوری بر روی (Zn) قابل استفاده گیاهی با چهار سطح به صورت (Zn- EDTA) و پنج سطح شوری به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان شوری خاک موجب عصاره‌پذیری بیشتر روی خاک می‌گردد. بین عوامل مؤثر بر روی قابل استفاده گیاه، اثر شوری به‌درستی شناخته نشده است و احتمال دارد تفسیر نتایج تجزیه خاک برای روی قابل جذب گیاه در خاک‌های شور و غیر شور یکسان نباشد (Hosseini *et al.*, 1998)

علت بالابودن ضریب تغییرات عناصر آهن، روی، مس، و منگنز در منطقه جنوب تهران نوع کاربری اراضی و نزدیکی به مراکز صنعتی و استفاده از آب فاضلاب، به‌خصوص در اراضی زراعی، است.

در این مطالعه به‌منظور بررسی همبستگی عناصر مطالعه‌شده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (جدول ۲). این ماتریس رابطه‌ای مثبت و معنادار در سطح احتمال ۱ درصد بین روی و هدایت الکتریکی نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، با افزایش شوری خاک میزان جذب عنصر روی بالا می‌رود. برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد اثر متقابل مثبتی بین شوری خاک و

جدول ۱. توصیف آماری عناصر مطالعه‌شده و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

متغیر	تعداد نمونه	واحد اندازه‌گیری	میانگین	میانگین	حداکثر حداقل	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات
pH	۱۹۶	- Log[H ⁺]	۷٫۶۳	۸٫۰۵	۸٫۵	۷	۰٫۴۸۳	۰٫۵۵	۱٫۷۱-
Log pH	۱۹۶	- Log[H ⁺]	۰٫۹۰۴	۰٫۹۳	۰٫۹۳	۰٫۸۵	۰٫۱۲	۱٫۳۵-	۳٫۵۴۳
ECe	۱۹۶	dS.m ⁻¹	۲٫۲۶	۱٫۷۹	۱۳	۰٫۱۹	۱٫۷۶	۳٫۷	۱۳٫۸
Log Ece	۱۹۶	dS.m ⁻¹	۰٫۲۷	۰٫۲۵	۱	-۰٫۷	۰٫۲۴	۰٫۶۳	۱٫۷
CEC	۱۹۶	cmolc/kg	۲۲٫۴۲	۲۲	۳۴	۱۰	۴٫۱۷	۰٫۴۱۷-	۱٫۶۰۴
CaCO ₃	۱۹۶	(%)	۷٫۹۹	۸٫۴۵	۲۳	۰٫۱	۵٫۴۵	۰٫۹۳	۰٫۸۱۱-
OC	۱۹۶	(%)	۱	۰٫۹	۳	۰٫۰۷	۰٫۴۲۸	۰٫۷۷۳	۱٫۸۳۳
Sand	۱۹۶	(%)	۲۷٫۴۲	۲۵٫۰۱	۵۷	۱۱	۹٫۷۲	۰٫۸۷	۰٫۳۴
Silt	۱۹۶	(%)	۴۰٫۱۵	۴۰٫۴۰	۵۹	۸	۷٫۱۶۸	۰٫۱۸۹-	۱٫۵۵۱
Clay	۱۹۶	(%)	۳۲٫۳۹	۳۴٫۳۴	۵۱	۱۰	۷٫۳۹۶	۰٫۶۰۴-	۰٫۱۱۵
آهن	۱۹۶	mg.kg ⁻¹	۲٫۶	۰٫۴۵	۸	۲	۱٫۴۶	۱٫۸۲	۲٫۸۲
LogFe	۱۹۶	mg.kg ⁻¹	۰٫۳۶	۰٫۲۹	۰٫۹	۰٫۱۷	۰٫۱۹	۱٫۰۵	۰٫۱۳
روی	۱۹۶	mg.kg ⁻¹	۲٫۱	۰٫۶۶	۳۲	۰٫۰۰۱	۳٫۹۵	۴٫۳	۲۳٫۶۹
LogZn	۱۹۶	mg.kg ⁻¹	-۰٫۱۷	-۰٫۱۸	۱٫۵	-۳	۰٫۷۴	۰٫۴۲	۱٫۴۱
مس	۱۹۶	mg.kg ⁻¹	۱٫۱۶	۰٫۴۸	۱۶	۰٫۱	۱٫۹۷	۴٫۷۸	۲۹٫۹۹
LogCu	۱۹۶	mg.kg ⁻¹	-۰٫۲۸	-۰٫۳۱	۱٫۲۱	-۱٫۸۸	۰٫۵۶	-۰٫۰۷۶	۰٫۱۹
منگنز	۱۹۶	mg.kg ⁻¹	۳٫۴۶	۲٫۶۱	۴۱	۰٫۱	۴٫۰۱	۱٫۱۶	۴۲٫۳۸
LogMn	۱۹۶	mg.kg ⁻¹	۰٫۳۶	۰٫۴۱	۱٫۶۱	-۱	۰٫۴۵	۰٫۲	۱٫۹۵

آلی خاک وجود دارد. Khodakarami *et al.* (2011) نیز با استفاده از آنالیز همبستگی پیرسون اعلام کردند همبستگی میان عناصر سنگین کبالت و وانادیوم و آهن بیشتر از ۰٫۸ است. آهن قابل جذب و CEC نیز رابطه‌ای مثبت و معنادار در سطح ۵ درصد نشان دادند. ارتباط بین این دو متغیر نیز با توجه به بار مثبت آهن و جذب سطحی آهن قابل تفسیر است. مس قابل جذب و درصد آهک رابطه‌ای منفی، در سطح ۵ درصد، داشتند. در واقع هر چه درصد آهک خاک بالاتر باشد pH نیز بالاتر می‌رود و جذب عناصر ریزمغذی، مانند مس، کاهش می‌یابد. بین

بین روی و درصد رس خاک نیز رابطه‌ای مثبت و معنادار، در سطح ۵ درصد، برقرار شد. پس هر چه خاک بافت ریزتری داشته باشد گنجایش تبادل کاتیونی آن بالاتر و جذب عناصری مانند روی بیشتر خواهد بود. Liu *et al.* (2006) برای درک اثر متغیرهای خاک بر عناصر ریزمغذی قابل دسترس از تحلیل همبستگی استفاده کردند. همچنین Jalali *et al.* (2011) از تحلیل همبستگی برای ارتباط میان روی و متغیرهای خاک استفاده و اعلام کردند رابطه‌ای مثبت و معنادار، در سطح احتمال ۱ درصد، بین روی با متغیرهای پتاسیم و فسفر و کربن

نرمال کردن آن‌ها، با توجه به نزدیک بودن مقادیر میانگین و میانه متغیرها، که بیانگر توزیع نسبتاً نرمال متغیرهاست، و نیز مقادیر پایین چولگی، که بیانگر انحراف کم این متغیرها از توزیع نرمال است، تجزیه و تحلیل زمین آماری لگاریتم متغیرهای اندازه گیری شده انجام گرفت و جهت بررسی ساختار مکانی با در نظر گرفتن متوسط فاصله $h=1000$ متر واریوگرام های تجربی رسم شد.

EC و مس قابل جذب نیز رابطه ای مثبت و معنادار، در سطح ۱ درصد، مشاهده گردید.

توصیف زمین آماری

اگرچه توزیع نرمال داده ها شرط لازم و ضروری پردازش های زمین آماری نیست، در صورت نرمال بودن داده ها تخمین های زمین آماری می توانند دقت بالاتری داشته باشند (Mohammadi, 2006). در این مطالعه، پس از تبدیل لگاریتمی داده ها و

جدول ۲. ماتریس همبستگی عناصر آهن، روی، مس، و منگنز با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

	O.C (%)	CaCO ₃ (%)	pH	EC _e (dS/m)	CEC ((cmolc/kg)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn ((mg/kg)
O.C	۱											
CaCO ₃	**۰.۲۴۶	۱										
pH	۰.۰۵۶-	۰.۱۵-	۱									
EC _e	۰.۰۰۷	۰.۱۰۳-	۰.۰۹۸	۱								
CEC	۰.۱۹	۰.۰۸۶-	۰.۰۰۱	۰.۰۲۳	۱							
Sand	**۰.۲۱۹-	**۰.۴۹۱-	۰.۱۱۳	۰.۰۲۸	۰.۰۸۶-	۱						
Silt	*۰.۱۶۶	**۰.۱۹۸	۰.۰۷۸-	۰.۱۲۸	*۰.۲۱۳-	**۰.۶۴۹	۱					
Clay	۰.۱۲۳	**۰.۴۳۳	۰.۰۷۴-	*۰.۱۵۶	**۰.۳۵۳	**۰.۶۷۴-	۰.۱۲۲-	۱				
Fe	۰.۰۳۵-	۰.۰۵۱-	۰.۰۰۳-	۰.۰۵۶-	*۰.۲۰۶	۰.۱۱۵-	۰.۰۴۸	۰.۱۰۱	۱			
Zn	۰.۰۱۴-	۰.۰۱۴-	۰.۰۵۸-	**۰.۲۴۲	۰.۰۰۳-	۰.۰۹۳	۰.۰۲۸	*۰.۱۴۸	۰.۰۴۲-	۱		
Cu	۰.۰۲۴	*۰.۰۱۷-	۰.۰۹۵-	**۰.۲۴۲	۰.۰۶۸-	۰.۰۴۵	۰.۰۲۸	۰.۰۵۸-	۰.۰۳۳-	**۰.۷۲۲	۱	
Mn	۰.۰۸۱-	۰.۰۳۹	۰.۰۴۱	۰.۰۰۶-	۰.۱۲۱-	۰.۰۳۶	۰.۰۹۴-	۰.۰۴۵	**۰.۲۰۲	۰.۰۰۲-	۰.۰۱-	۱

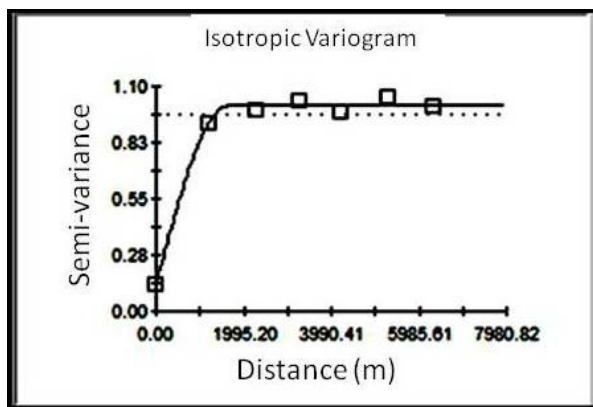
بررسی پراکنش مکانی عنصر روی در شرق استان مازندران بهترین مدل برازش داده شده برای عنصر روی را مدل گوسی با دامنه تأثیر ۴۰ کیلومتر گزارش کردند.

Shi *et al* (2008) از فواصل نمونه برداری ۲ کیلومتری جهت بررسی پراکنش مکانی عناصر کم مصرف در منطقه ای در چین استفاده کردند. Liu *et al* (2008) در بررسی تغییر پذیری مکانی دو عنصر مس و روی از فاصله نمونه برداری ۵ کیلومتر استفاده کردند (به نقل از Jalali *et al*, 2011). Taghipor *et al* (2011) با بررسی تغییرات مکانی مس مدل کروی را با دامنه تأثیر ۱۱۵۵۰ متر و Shirani (2008) بهترین مدل ساختاری برای عنصر روی را مدل کروی با دامنه تأثیر ۱۴۲۴۰ متر گزارش دادند. دامنه تأثیر فاصله ای است که در ماورای آن نمونه ها بر هم تأثیر ندارند و آن ها را می توان مستقل از یکدیگر به شمار آورد. این فاصله حد همبستگی خصوصیت مورد نظر را مشخص می کند و اطلاعاتی در زمینه حداقل فاصله نمونه برداری ارائه می دهد. همچنین دامنه تأثیر خصوصیات خاک تابعی از مقیاس مطالعه شده و فاصله نمونه برداری و موقعیت سیمای اراضی است. بدیهی است دامنه تأثیر بزرگ تر بر ساختار مکانی گسترده تر،

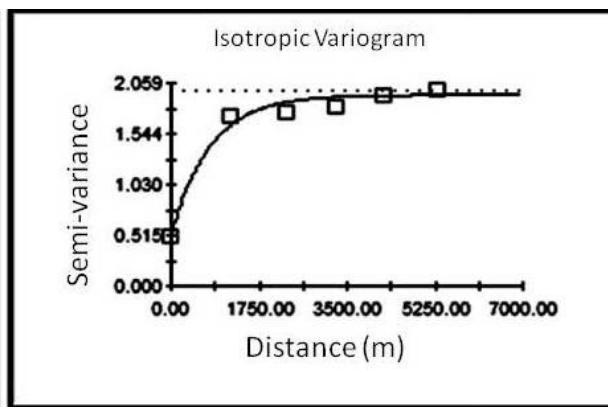
شکل ۲ واریوگرام های تجربی و مدل های نظری برازش داده شده به غلظت قابل جذب عناصر آهن، روی، مس، و منگنز را نشان می دهد. بهترین مدل برازش داده شده برای آهن مدل نمایی، برای روی مدل گوسی، و برای مس و منگنز مدل کروی بود (شکل ۲). پارامترهای این مدل ها در جدول ۳ می آید. بر اساس نتایج به دست آمده از این جدول، فرم قابل جذب عنصر روی بیشترین (۳۱۰۰ متر) و فرم قابل جذب منگنز کمترین دامنه تأثیر (۱۶۳۰ متر) را دارد. عوامل ذاتی تشکیل دهنده خاک بیشترین اثر را در مقدار دامنه تأثیر دارند (Sun *et al*, 2003). به طور معمول ۷۰ درصد دامنه تأثیر را فواصل بهینه نمونه برداری در نظر می گیرند (Hasanipak, 1998; Mohammadi, 2006). بر این اساس فاصله بهینه نمونه برداری عناصر آهن، روی، مس، و منگنز به ترتیب ۱۲۶۰، ۲۱۷۰، ۱۱۴۱، و ۱۴۷۷ متر است. فاصله نمونه برداری انتخاب شده توانست ساختار مکانی و تغییر پذیری این عناصر را به خوبی نشان دهد. با توجه به فواصل بهینه به دست آمده، جهت صرفه جویی در زمان نمونه برداری و کاهش هزینه ها در مطالعات آتی، می توان در نمونه برداری خاک از فواصل بیش از ۱ کیلومتر استفاده کرد. Jalali *et al* (2011) در

باشد به تعداد نمونه کمتری جهت تعیین نقاط نمونه برداری نشده نیاز است (Hasanipak, 1998).

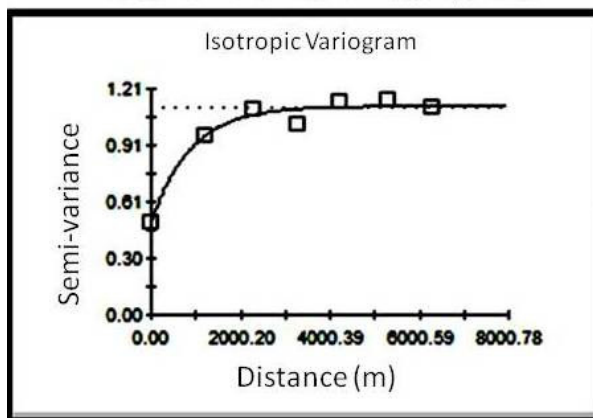
پراکنش پیرایشی تر (رونددار)، و پیوستگی مکانی بیشتر در مقادیر متغیر مورد نظر دلالت دارد. هر چه دامنه گسترده تر



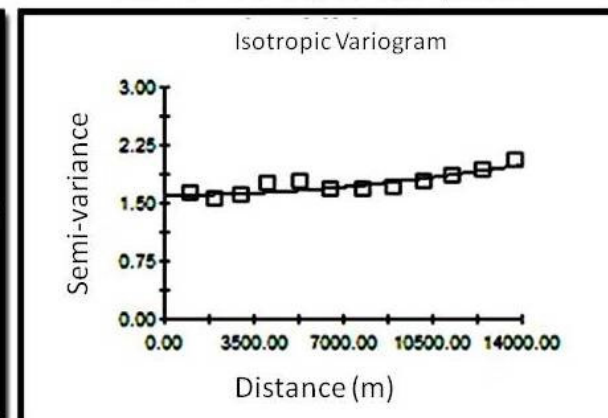
واریوگرام تجربی منگنز قابل جذب (مدل قوی)



واریوگرام تجربی آهن قابل جذب (مدل نمایی)



واریوگرام تجربی مس قابل جذب (مدل نمایی)



واریوگرام تجربی روی قابل جذب (مدل گوسی)

شکل ۲. واریوگرام تجربی غلظت قابل جذب عناصر آهن، روی، مس، و منگنز همراه مدل نظری برازش داده شده

جدول ۳. ضرایب مدل برازش داده شده بر واریوگرام تجربی عناصر ریز مغذی و مقادیر کنترل اعتبار برای تخمین کربجینگ

تعداد نمونه	نوع متغیر	مدل برازش داده شده	اثر قطعه‌ای (C ₀)	سقف (C ₀ +C)	دامنه تاثیر (متر)	معیار همبستگی مکانی C ₀ /(C+C ₀)	کلاس همبستگی مکانی	R ²	RSS	RMSE	MBE
۱۹۶	Fe	نمایی	۰٫۶۰	۰٫۲۰	۱۸۰۰	۰٫۳۱	متوسط	۰٫۹۷	۵٫۰۲	۰٫۲	۰٫۱
۱۹۶	Zn	گوسی	۱٫۰۶	۳٫۷	۳۱۰۰	۰٫۲۸	متوسط	۰٫۸۰	۰٫۰۴	۴٫۰۹	-۱٫۲۲
۱۹۶	Cu	نمایی	۰٫۴۹	۱٫۱۰	۲۱۱۰	۰٫۴۴	متوسط	۰٫۹۶	۰٫۰۱۱	۲٫۱۳	-۰٫۲۶
۱۹۶	Mn	قوی	۰٫۱۳	۱٫۰۱	۱۶۳۰	۰٫۱۲	قوی	۰٫۹۹	۳٫۸۱	۴٫۹۷	۰٫۴۴

قطعه‌ای متعلق به عنصر منگنز (۰/۱) بود. برای بررسی استحکام ساختار فضایی متغیرها نسبت $C_0/(C+C_0)$ برای هر یک از عناصر مطالعه شده تعیین شد (جدول ۳). درجه وابستگی مکانی متغیرها یا ویژگی‌ها از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل (حد آستانه) ضرب در ۱۰۰ به دست می‌آید. اگر این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد، متغیر وابستگی مکانی قوی دارد. اگر نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی متوسط است. اگر نسبت بیش از ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی ضعیف است (Zhangxing et al, 2006). نتایج نشان داد عناصر آهن، روی، و

نتایج تغییرنماهای به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد بین دامنه متغیرهای اندازه‌گیری شده تفاوت وجود دارد. از پارامترهای دیگر تغییرنما اثر قطعه‌ای است. اثر قطعه‌ای آن مقدار از واریانس است که در نتیجه عواملی مانند تغییرات مشخصه بررسی شده در فواصل کمتر از کوتاه‌ترین فاصله نمونه برداری، خطاهای اندازه‌گیری، خطای نمونه برداری و آزمایشگاهی، و دیگر تغییرات پیش‌بینی‌ناپذیر به وجود می‌آید (Mohammadi, 2006). در این مطالعه بیشترین اثر قطعه‌ای عناصر قابل جذب متعلق به عنصر روی (۱/۰۶) و کمترین اثر

کمترین غلظت ۰/۰۰۱ و بیشترین غلظت ۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. با توجه به میانگین به‌دست‌آمده و مقایسه آن با حد کفایت استانداردهای مورد نیاز گیاه می‌توان گفت اغلب اراضی کشاورزی جنوب تهران سمیت روی ندارند. درصد مساحت هر یک از محدوده‌های تعیین‌شده بر اساس غلظت اندازه‌گیری‌شده به صورت دسته‌بندی‌شده در جدول ۴ می‌آید. بر اساس اطلاعات توصیفی منطقه و نقشه‌های پهنه‌بندی، بیشترین تجمع روی قابل جذب (بیشتر از ۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) در حواشی بزرگراه آزادگان است. در این مناطق کارخانجات چرم مصنوعی و کارخانه کیان‌تایر و شهرک‌های صنعتی و مسکونی وجود دارند و آبیاری با آب فاضلاب نیز در برخی مناطق صورت می‌گیرد. با توجه به دامنه تأثیر (۳۱۰۰) و ضریب تغییرات (۱/۸۸) بالای روی قابل جذب نیز می‌توان دریافت توزیع مکانی روی قابل جذب در اراضی کشاورزی جنوب تهران بیشتر تحت تأثیر کاربری‌های منطقه است. بر اساس مساحت‌های تعیین‌شده حدود ۱ درصد (۱۹۶ هکتار) اراضی میزان روی قابل جذب بیشتر از ۶ میلی‌گرم در کیلوگرم دارند و بر اساس غلظت‌های تعیین‌شده مورد نیاز گیاه جزء اراضی با روی زیاد به‌شمار می‌روند.

میانگین مس قابل جذب در اراضی زراعی جنوب تهران ۱/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم است که در مقایسه با حد بحرانی (بیشتر از ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تعیین‌شده برای مس در حال حاضر مشکل خاصی ندارند. با توجه به نقشه پهنه‌بندی مس (شکل ۳ و جدول ۴) می‌توان دریافت ۷۶/۳ درصد (۱۵۲۶۰ هکتار) اراضی مس کمتر از ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم دارند. ۱۸/۵ درصد (۳۶۴۰ هکتار) اراضی مس قابل جذب متوسط (۱/۵ تا ۲/۵) و ۵/۵ درصد (۱۱۰۰ هکتار) اراضی مس بالای ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم دارند و جزء اراضی با مس زیاد دسته‌بندی می‌شوند. علت بالا بودن مس در این اراضی، با توجه به نقشه کریجینگ و تطابق آن با نقشه کاربری و مدیریت، وسایل نقلیه و ترافیک جاده‌ای و انتقال آلاینده‌های دارای ترکیبات مس از طریق رودخانه کن و وجود کارخانجات لاستیک‌سازی و فعالیت‌های کشاورزی و همراهی این عنصر با سموم و آفت‌کش‌هاست. ضریب تغییرات بالای (۱/۶۹) مس را نیز می‌توان با دلایل بیان‌شده برای روی توجیه کرد. Hajrasoliha *et al* (2006) اعلام کردند ترافیک وسایل نقلیه موتوری و فعالیت‌های صنعتی از منابع مهم آلودگی خاک‌اند. میانگین غلظت منگنز در اراضی جنوب تهران ۳/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم است که در مقایسه با حدود استاندارد غلظت منگنز قابل جذب در این اراضی کم است. بر اساس نقشه کریجینگ مقدار منگنز

مس همبستگی مکانی متوسط و عنصر منگنز همبستگی مکانی قوی دارد. علت آن می‌تواند ناهمگنی محیط توزیع مکانی این عناصر باشد. متغیرهایی که ساختار مکانی قوی دارند و مقدار اثر قطعه‌ای آن‌ها بسیار کم است پیوستگی بالای توزیع این متغیرها را در منطقه نشان می‌دهند. وابستگی مکانی قوی ممکن است به‌وسیله تغییرات ذاتی ویژگی‌های خاک، مانند بافت خاک و کانی‌شناسی، و وابستگی مکانی ضعیف‌تر به‌وسیله تغییرات غیر ذاتی، مانند استفاده از فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و کودهای آلی و شیمیایی، کنترل شوند. برای تعیین همسان‌گرد یا ناهمسان‌گرد بودن توزیع عناصر مطالعه‌شده از تغییرنماهای جهتی در امتدادهای (۰، ۴۵، ۹۰، ۱۳۵) مختلف استفاده شد. با رسم تغییرنما در این جهات دامنه تأثیر و سقف تغییرنما برای عناصر آهن، مس، و منگنز یکسان و از نوع همسان‌گرد یا مستقل از جهت بود.

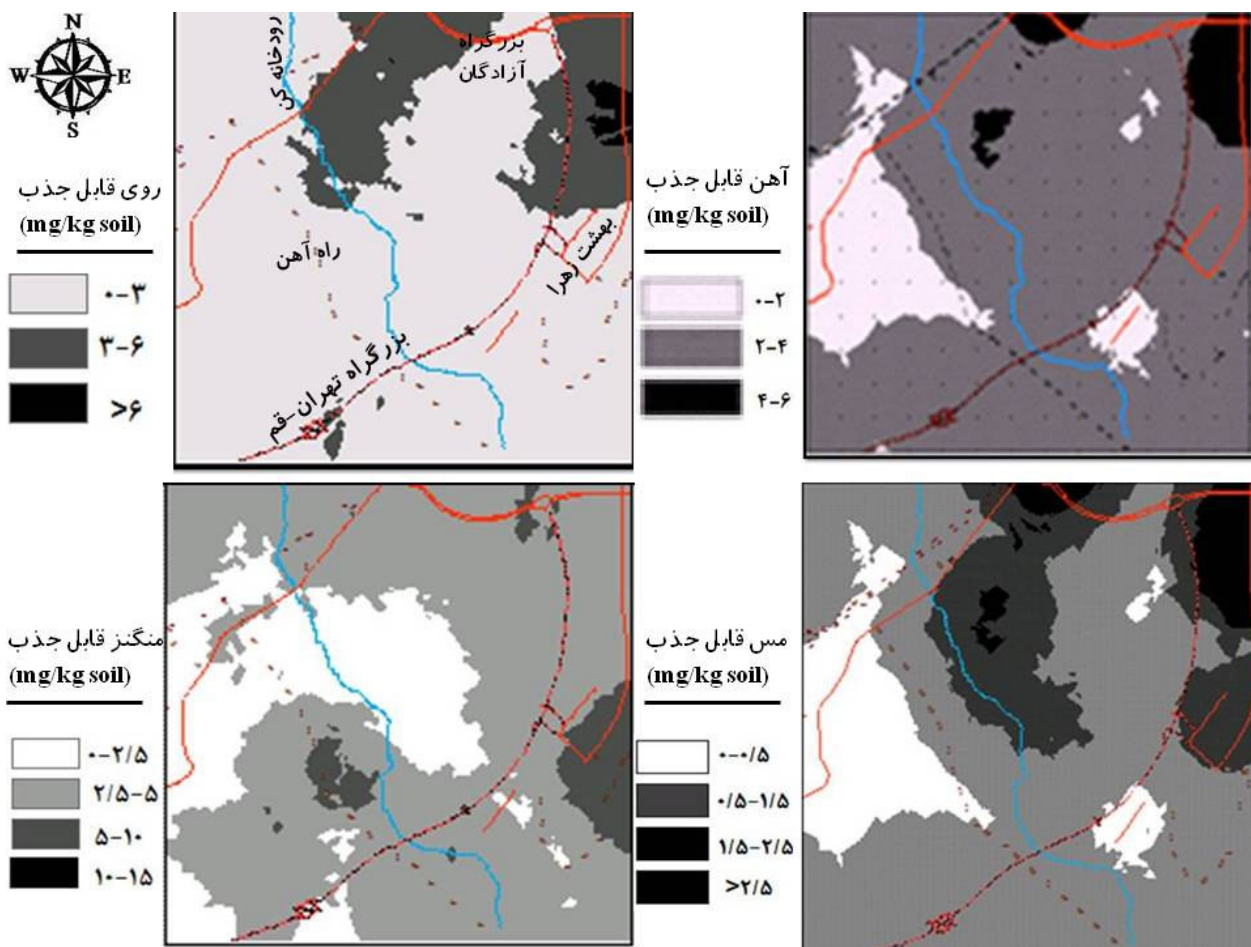
پهنه‌بندی عناصر آهن، روی، مس و منگنز با روش کریجینگ معمولی

پهنه‌بندی عناصر آهن، روی، مس، و منگنز و تهیه نقشه پراکنش این عناصر با استفاده از روش کریجینگ معمولی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS(10) انجام شد (شکل ۳). نقشه‌های به‌دست‌آمده بیانگر یکنواخت نبودن غلظت عناصر ریزمغذی در اراضی کشاورزی جنوب تهران است. بر اساس غلظت‌های به‌دست‌آمده از مطالعات آزمایشگاهی مشخص شد غلظت آهن قابل جذب در اراضی کشاورزی جنوب تهران به‌طور متوسط ۲/۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است. بیشترین و کمترین غلظت آهن به‌ترتیب ۸ و ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است. بنابراین در سرتاسر منطقه مطالعه‌شده غلظت آهن بین ۲ تا ۸ است. مساحت هر یک از محدوده‌های تعیین‌شده به صورت دسته‌بندی‌شده در جدول ۴ می‌آید. بر اساس نقشه‌های به‌دست‌آمده در منطقه مطالعه‌شده نه تنها آلودگی آهن وجود ندارد، بلکه غلظت به‌دست‌آمده کمتر از حد کفایت مورد نیاز گیاه (۸ تا ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز هست. کمبود این عناصر می‌تواند دلایل متعددی مانند بالا بودن pH و آهکی بودن و وجود بی‌کربنات زیاد و استفاده نکردن از کودهای ریزمغذی باشد. با توجه به اینکه اکثر این اراضی تحت کشت غلات و دیگر محصولات کشاورزی‌اند و محصولات کشاورزی نیز به‌طور غیر مستقیم با سلامت مصرف‌کننده‌ها در ارتباط‌اند، لازم است با توجه به نوع کمبود و مقدار مورد نیاز خاک‌ها از کودهای ریزمغذی برای رفع کمبود آهن استفاده شود.

غلظت قابل جذب عنصر روی در اراضی کشاورزی جنوب تهران به‌طور متوسط ۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد.

تغییرات منگنز قابل جذب ۱/۱۵ است. بالابودن ضریب تغییرات نشان می‌دهد متغیر مطالعه‌شده بیشتر تحت تأثیر عوامل محیطی و انسانی است تا تحت تأثیر عوامل مادری و ذاتی.

۱۰۰ درصد (۲۰۰۰۰ هکتار) اراضی کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. منگنز قابل جذب دارای دامنه تأثیر ۱۶۳۰ متر و کلاس همبستگی قوی از نظر توزیع مکانی است. ضریب



شکل ۳. پهنه‌بندی غلظت قابل جذب عناصر آهن، روی، مس، و منگنز بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به روش کریجینگ

جدول ۴. توزیع غلظت عناصر ریزمغذی و مساحت آن‌ها در منطقه مطالعه‌شده

غلظت قابل جذب (mg/kg) عناصر	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	حد بحرانی عناصر* (mg/kg) (Malakoti et al, 2001)			روش ترسیم نقشه	کل مساحت منطقه (هکتار)	نوع متغیر
			زیاد	متوسط	کم			
۲-۰	۲۸۰۰	۱۴			کمتر از ۵	کریجینگ معمولی	۲۰۰۰۰	آهن قابل جذب
۴-۲	۱۶۰۰۰	۸۰	> ۲۵	۱۶-۱۱				
۶-۴	۱۲۰۰۰	۶						
۳-۰	۱۶۲۰۰	۸۱			کمتر از ۰.۵	کریجینگ معمولی	۲۰۰۰۰	روی قابل جذب
۶-۳	۳۶۰۴	۱۸	> ۶	۳-۱.۱				
> ۶	۱۹۶	۱						
۰.۵-۰	۲۸۶۰	۱۴.۳			کمتر از ۰.۳	کریجینگ معمولی	۲۰۰۰۰	مس قابل جذب
۱.۵-۰.۵	۱۲۴۰۰	۶۲	> ۲.۵	۱.۲-۰.۹				
۲.۵-۱.۵	۳۶۴۰	۱۸.۲						
> ۲.۵	۱۱۰۰	۵.۵						
۲.۵-۰	۵۰۸۰	۲۵.۴			کمتر از ۰.۵	کریجینگ معمولی	۲۰۰۰۰	منگنز قابل جذب
۵-۲.۵	۱۳۷۲۰	۶۸.۶	> ۳۰	۱۲-۹				
۱۰-۵	۱۲۰۰	۶						
۱۵-۱۰	.	.						

تأثیرهای به دست آمده می‌توان از فواصل بیش از ۱ کیلومتر جهت کاهش هزینه‌های نمونه‌برداری استفاده کرد. استفاده از روش‌های تخمین زمین‌آماری جهت تهیه نقشه‌های عناصر غذایی موجود در خاک همه اراضی کشاورزی جنوب تهران پیشنهاد می‌شود. نیز توصیه می‌شود استفاده از کودهای ریزمغذی فقط در بخش‌هایی از اراضی کشاورزی جنوب تهران، که دچار کمبودند، صورت گیرد و از کودهای ریزمغذی در مناطق فاقد هر گونه کمبود استفاده شود.

با توجه به افزایش نگران‌کننده غلظت برخی عناصر در منطقه مطالعه شده پیشنهادهایی ارائه می‌شود:

- اقدام عملی برای اعمال مدیریت خاص در مناطقی که به دلایل ذکر شده غلظت‌هایی بیشتر از حد مجاز عناصر بررسی شده دارند؛

- جلوگیری از آلودگی بیشتر مناطقی که غلظت عناصر در آن‌ها در حال حاضر کمتر از حد مجاز است، اما غلظت مقدار آن‌ها به حدی بالاست که ادامه شرایط فعلی ممکن است در آینده‌ای نه‌چندان دور این اراضی را به جمع خاک‌های آلوده اضافه کند؛

- سامان‌دهی فوری فاضلاب‌هایی که به مقدار بسیار زیاد وارد اراضی جنوب تهران می‌شوند و در بسیاری موارد به صورت مستقیم در اراضی کشاورزی، به‌خصوص برای محصولات زراعی، به‌کار می‌روند (مستنداتی از آبیاری با آب فاضلاب از طریق نهرهای خروجی جنوب تهران و مناطق مسکونی و صنعتی چهاردانگه و اسلام‌شهر در این تحقیق به دست آمد و استفاده از این آب‌ها فقط برای آبیاری سبزیجات ممنوع اعلام شده است)؛

- جلوگیری از ورود انواع فاضلاب به رودخانه کن با توجه به استفاده بالا از آب این رودخانه در اراضی کشاورزی پایین‌دست جنوب تهران.

Hodaji and Jalalian (2005) پراکنش منگنز را در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه فولاد مبارکه بررسی کردند و غلظت منگنز قابل استخراج با روش DTPA را ۳۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش کردند. علت تجمع منگنز در این منطقه قرارگیری این منطقه در جهت باد غالب و پراکندگی ذرات و غبارهای حاوی منگنز به وسیله باد از محل تخلیه معادن سنگ آهن و دپوی ضایعات و دودکش‌ها گزارش شد. برخلاف نتایج به دست آمده از مقادیر کل عناصر مطالعه شده، که گستره‌ای بیشتری از آلودگی یا مقادیر زیاد این عناصر در منطقه مطالعه شده دارند (yazdani nejhadi, 2013)، خوشبختانه فرم قابل جذب این عناصر غالباً کم تا متوسط است و فقط بخش‌های نسبتاً کمی از مناطق مطالعه شده مقادیر زیادی مس و روی دارند.

نتیجه‌گیری

نتایج پهنه‌بندی نشان داد، بر اساس حدود بحرانی تعیین شده در ایران، همه اراضی مطالعه شده دچار کمبود آهن‌اند؛ در حالی که از نظر روی ۸۱ درصد اراضی دارای حد متوسط، ۱۸ درصد دارای حد مطلوب، و ۱ درصد دارای مقادیر روی زیادند. حدود ۱۴ و ۶۲ درصد اراضی به ترتیب دارای کمبود و مقدار متوسط مس قابل جذب‌اند، ۱۸ درصد در حد مطلوب، و ۶ درصد دارای مقادیر زیاد مس قابل جذب در خاک‌اند. منگنز قابل جذب خاک در همه اراضی مطالعه شده کمتر از حد متوسط است. تطابق نقشه‌های کاربری و مدیریت بهره‌برداری اراضی با نقشه پهنه‌بندی هر یک از عناصر مطالعه شده نشان داد مناطق با مقادیر زیاد مس و روی منطبق با حاشیه بزرگراه‌ها مناطق صنعتی و مسکونی و آبیاری با آب فاضلاب‌اند.

بر اساس نتایج این تحقیق، جهت بررسی توزیع مکانی عناصر ریزمغذی آهن، روی، مس، و منگنز با توجه به دامنه

REFERENCES

- Alizadeh, G.H., Mohammadi, M. and Shahabiyan, M. (2010). Trend of change in micronutrients (Zn, Cu, Mn and Fe) in the soil under cotton cultivation in Mazandaran. Proceedings of 11th Soil Science Congress of Iran, Gorgan, 917-918 (In Farsi).
- Cambardella, C.A., Boorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F. and Konopka, A.E. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 58: 1501-1511.
- Carrow, R.N., Duncan, R.R. (2004). *Soil salinity monitoring: present and future*, Golf course management, no. November, p. 89-92.
- Fatehi, Sh., Nemati, A. and Ghaderi, J. (2010). Mapping of soil fertility in Islamabad-e-gharb agricultural research station, by geostatistical technique. Proceedings of 11th Soil Science Congress of Iran, Gorgan, 1243-1245 (In Farsi).
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1982). Particle-size analysis. pp. 383-411. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Ghahroudi tali, M. (2005). *Geographic information system in the 3-dimensional environment (ArcGIS 3-D)*. University Jihad. Univ. of Tarbiat Moallem Press, p273 (In Farsi).
- Ghaneie Motlagh, Gh., Pashae Aval, A., Khormali, F. and Mosaedi, A. (2009). Preparing the soil salinity

- map for site-specific management, Case study: some farmlands in Northeast of Aq-Qala. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. Vol. 15(6), 1-9.
- Hajrasoliha, Sh. Amini, H., Hodaji, M. and Najafi, P. (2006). Biomonitoring of air and soil pollution in Isfahan region. *Journal of Research in Agriculture*, No.2, Vol. 2, 39-54.
- Hasanipak, A. (1998). *Geostatistics*. Tehran univ. Press, 314 p (In Farsi).
- Hodaji, M. and Jalalian, A. (2005). Distribution of nickel, manganese and cadmium in soils and crops in the area Mobarakeh Steel Plant, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, Vol. 3, 55-65 (In Farsi).
- Hosseini, E., Gallichand, J.D., and Marcotte. 1998. Theoretical and experimental performance of spatial interpolation methods for salinity analysis. *Trasc, Asae*. Vol. 36, 1799-1807.
- Jafarian, Z., Kargar, M. and Ghorbani, J. (2012). Spatial variability soil properties in two society meadow and shrubbery (case study: vasar and kiasar pastures). *Journal of Range and Watershed Management Iranaiian Journal of Natural Resources*, Vol. 1, 1-9 (In Farsi).
- Jalali, Gh., M.J. Malakoti., M.M. Tehrani and V.R. Ghasemi Dehkordi (2011). Determining spatial distribution and critical levels of zinc for soybean in Eastern Mazandaran Province. *J. of Soil Research (J. of Soil and Water Sciences)*, Vol. 25(3), 177-186.
- Khodakarami, L., Soffianian, A. R., Mohamadi Towfigh, E. and Mirghafari, N. A. (2011). Study of heavy metals concentration Copper, Zinc and Arsenic of soil, using GIS and RS techniques (Case study: Kaboudarahang, Razan and Khonjin- Talkhab catchment in Hamedan province) , *Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science (Vol.2/ Issue1)*, 79-88 (In Farsi).
- Lindsay, W. L. and W.A. Norvell.(1979). Development of a DTPA soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Sci. Soc. Am J.*, 42: 421-428.
- Liu, D., Wang, Z., Zhang, B., Song, K., Li, X., Li, J., Li, F., and Duan, H. (2006). Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, Northeast China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113:73-81.
- Liu, J., He, M., Han, W., and Gu, Y. (2008). Analysis and assessment on heavy metal source in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statically methods. *J. Hazardous Materials*.164: 976-981.
- Liu, X. B., Han, X. Z., Song, C.Y., Herbert, S.J. and Xing, B.S. (2003). Soil organic carbon dynamics in black soil of china under different agricultural management systems. *Commun. Soil Science. and Plant Analysis*.34: 973-984.
- Madani, H. (1995). *Principles of Mineral Exploration (Volume 1)*, Amirkabir Univ. Press. p:315 (In Farsi).
- Malakoti, M.J. and Hamedani, V.A. (2001). *Fertility and soil Fertilizer*. Tehran Univ. Press. (In Farsi).
- Malakoti, M.J. and Homaei, M. (1995). *Soil fertilizer arid and semi-arid areas (problems and solutions)*. Tarbiat Modarres Univ.Press, (In Farsi).
- Malakoti, M.J., Keshavarz, P. and karimian, N.A. (2006). *Comprehensive method to identify and recommend the best fertilizer for sustainable agriculture*. Tarbiat Modarres Univ. Press (In Farsi).
- Mohammadi, J. (2006). *Spatial statistics (Geo statistics-part 2)*. Pelk Pub. Tehran, 453 p. (In Farsi).
- Nelson, D.W. and Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539-577. In A. L. Page *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Rhoades, J. D. (1982). Cation-exchange capacity. pp. 149-157. In A. L. Page *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Robinson, T.P. and Metternicht, G. (2005). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. Elsevier B.V. All rights reserved.doi:10.1016/j. compag.
- Roshani, Gh., PilAram, Gh. and Akhondi, A. (2010). Using Geographic Information System (GIS) in order to optimize the use of micronutrient requirements. *Proceedings of 11th Soil Science Congress of Iran*, Gorgan, 1393-1395 (In Farsi).
- Shakouri, M., Shabanpour, M., Asadi, H., Davatgar, N., and Babazadeh, Sh.(2011). Evaluation efficiency spatial interpolation techniques in mapping organic carbon and bulk density paddy soils of Guilan. *J. of Water and Soil Conservation*, Vol. 18(2), 195-209.
- Shi,G., Chen, Z., Xu, S., Zhang, J., Wang, L., Bi, C., and Teng, J.(2008). Potentially toxic metal contamination of urban Soils and roadside dust in Shanghai China.*Environ.Pollut*.156:251-260.
- Shirani, M. (2008). Spatial variability of Pb, Cd, Ni and Zn in some agricultural, industrial and urban soils in Mashhad-Chenaran highway. M.Sc. Thesis. College of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, 92p.
- Sun, B., Zhou, Sh., and Zhao, Q. (2003). Evaluation of Spatial and temporal change of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical china . *Geoderma*, 115:85-99
- Taghipour, M., Ayoubi, Sh. and Khademi, H. (2011). Spatial analysis of the total concentration of nickel and copper in the surface soils of Hamadan geostatistical methods. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 17, 69-86.
- Tajgardan, T., Ayoubi, Sh., Shatai, Sh and Khormali, F. (2009). Mapping soil surface salinity using remote sensing data of ETM⁺ (Case study: North of Aq Qala, Golestan Province). *J. of Water and Soil Conservation*, Vol. 16(2), pp: 1-18.

Trangmar, B.B., Yost, R.S. and Uehara, G. (1985). Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advanced Agr.* Vol. 38, 45-94.

Xingmei, L. Jianming, X. Minghua, Zh., Bingcheng, Si., keli, Zh.(2008). Spatial variability of soil available Zn and Cu in paddy rice fields of China. 1569-1576.

Yazdani nejhada, F.(2013). Mapping of distribution of Iron, Zinc, Copper and Manganese in the

Southern arable land by geostatic and GIS. M.Sc. thesis of Soil Science, Shahed University ,Tehran, Iran.

Zhangxing, Yi., Suiyue, Yu., Zhang Xu. , Dong. Meng kia, Herbert, S.J. (2006). Spatial variability of nutrient properties in black soil of Northeast China. *Soil Science Society of China.* 19 –29