



مرکز تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مؤسسه تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

ارزیابی اثر کاربری زمین و ویژگی‌های خاک بر اندازه‌ی سرب خاک آبخیز شهری شیراز با استفاده از زمین‌آمار و نقشه‌برداری رقومی خاک

سیدجواد نقیبی^{۱*}، مجید باقرنژاد^۲، سیدعلی ابطحی^۳، سیدعلی اکبر موسوی^۴، مهدی زارعی^۵
۱- دانشجوی مقطع دکتری بخش علوم و مهندسی خاک دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز و رئیس اداره‌ی مطالعات و ترویج سازمان سیما، منظر و فضای سبز شهری شهرداری شیراز
۲، ۳، ۴- استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز
۵- دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

توسعه‌ی شهری، چالش‌های زیست‌محیطی به‌همراه دارد، و یکی از این چالش‌ها، آلودگی خاک به فلزهای سنگین است که برای بهداشت و سلامت عمومی آبخیزنشینان بسیار نگران‌کننده است. یکی از فلزهای سنگین که در زیست‌بوم‌های شهری نقش مهمی در آلودگی خاک دارد، عنصر سرب است. سرب از دیرباز به‌وسیله‌ی بشر استفاده شده است و در دهه‌های اخیر بنزین سرب‌دار، یکی از منابع اصلی این آلاینده در آبخیزهای شهری است. استفاده از نقشه‌برداری رقومی خاک با استفاده از تابع‌های موجود در زمین‌آمار، پهنه‌بندی آلودگی خاک را در مقایسه با روش‌های قدیمی دچار تحول کرده است و می‌تواند به مدیریت بهینه‌ی آلودگی خاک منجر شود. افزون بر این، کاربری زمین می‌تواند تأثیر زیادی بر این مدیریت داشته باشد. هدف این پژوهش، پهنه‌بندی اندازه‌ی فلز سنگین سرب خاک و ارتباط آن با کاربری زمین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مطالعه‌شده، آبخیز شهری شیراز با مساحت ۴۱۱۳۳ هکتار، به‌عنوان بخشی از آبخیز دریاچه‌ی مهارلو در بخش مرکزی شهرستان شیراز استان فارس در جنوب ایران بود. وضعیت رطوبتی و دمایی خاک‌های منطقه به‌ترتیب

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: نقیبی، س.ج.، باقرنژاد، م.، ابطحی، س.ع.، موسوی، س.ع.، زارعی، م. ۱۴۰۲. ارزیابی اثر کاربری زمین و ویژگی‌های خاک بر اندازه‌ی سرب خاک آبخیز شهری شیراز با استفاده از زمین‌آمار و نقشه‌برداری رقومی خاک. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۸۰-۶۲

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.361155.1519

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲، صفحه‌های ۶۲ تا ۸۰
ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس ©نویسندگان



زریک و ترمیک می‌باشد. کاربری‌های بررسی‌شده در این پژوهش شامل: زمین‌های بایر، پارک شهری، باغ و زمین‌های مرتعی کوهستانی بود. به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از هر کاربری ۳۰ نمونه خاک از ژرفای صفر تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شد. برای تولید نقشه‌های رقومی از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های زمین‌آماری واریوگرام کروی و نمایی استفاده شد. همچنین از روش کریجینگ برای برآورد ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و اندازه‌ی سرب استفاده شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج این پژوهش تفاوت ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند واکنش، کربنات کلسیم معادل و اندازه‌ی مواد آلی در کاربری‌های مختلف معنی‌دار بود. همچنین اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی و آلودگی سرب در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود. نتایج این پژوهش نشان داد که در خاک‌های آبخیز شهری شیراز، اندازه‌ی سرب تحت تأثیر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی بود. در منطقه‌ی بررسی‌شده در کاربری‌های مختلف زمین، روند آلودگی سرب به این گونه بود: زمین‌های مرتعی کوهستانی > باغ > پارک شهری > زمین‌های بایر.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربری‌های مختلف زمین می‌توانند بر اندازه‌ی سرب تأثیرگذار باشند. با توجه به مشکل آلودگی خاک در آبخیزهای شهری و تأثیر مهم کاربری زمین در اندازه‌ی آن، انجام طرح‌های پژوهشی و توسعه‌ی شهری برای بررسی‌های دقیق کاربری زمین و ارتباط آن با دیگر ویژگی‌های محیطی از جمله آلودگی خاک پیشنهاد می‌شود. همچنین انجام پژوهش‌های بیشتر موضعی و موضوعی در زیست‌بوم‌های شهری بر تأثیر انواع گونه‌های گیاهی بر اندازه‌ی فلزهای سنگین در خاک بررسی شده پیشنهاد می‌شود تا با کاشت آن نوع پوشش گیاهی به آلودگی‌زدایی خاک کمک شود.

واژگان کلیدی: آبخیز شهری، سرب، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، کریجینگ

مقدمه

جنگل‌زدایی و فرسایش خاک (بارزین و همکاران ۲۰۱۵). توجه نکردن به مسائل و معیارهای زیست‌محیطی از یک سو و افزایش روزافزون جمعیت، فناوری و گسترش صنعت از سوی دیگر، باعث برهم خوردن تعادل در زیست‌بوم‌های خاکی شده است و آلودگی‌های زیست‌محیطی را ایجاد کرده است. بنابراین کسب اطلاعات از آلاینده‌های خاک و بررسی راهکار مناسب برای کاهش این مواد غیر قابل انکار است (شمالی و خداوردیلو ۲۰۱۲).

شهرنشینی عامل اصلی بروز برخی از پیامدهای منفی زیست‌محیطی از جمله آلودگی خاک به فلزهای سنگین و متالوئیدها است (روزمایکینا و همکاران ۲۰۲۱). آلودگی فلزهای سنگین به دلیل سمیت بالقوه، تجزیه‌ناپذیری و اثرهای اندام‌شناختی آن بر موجودات زنده یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی است (چنگ و همکاران ۲۰۱۴؛ اسلام و همکاران ۲۰۱۵). این فلزها عموماً به گروهی از عنصرهای میانی جدول تناوبی تعلق دارند که جرم حجمی آن‌ها بیش از ۵ میلی‌گرم بر متر مکعب است (وو و همکاران ۲۰۱۸). از نظر خطرهای زیست‌محیطی در محیط خاک و آب، مهم‌ترین فلزهای سنگین شامل کادمیوم (Cd)، آرسنیک (As)، کبالت (Co)، و انادیم

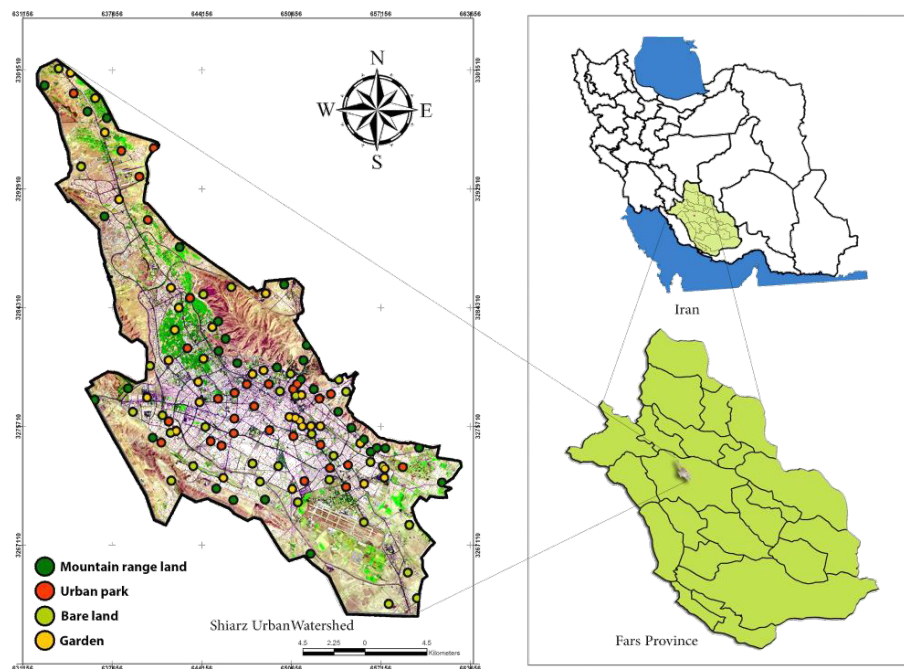
خاک، به‌عنوان یک محیط پیچیده و ناهمگن، از موجودات زنده، مواد معدنی، آب و هوا تشکیل شده است که به‌عنوان پایه‌ی ضروری زیست‌بوم‌های شهری، رابطه‌ی مستقیم و غیرمستقیم با کیفیت زندگی تمام ساکنان شهری دارد (میهای لوییچ و همکاران ۲۰۱۵). برپایه‌ی بیانیه‌ی سازمان ملل که در سال ۲۰۱۶ منتشر شد، ۵/۵۴٪ از جمعیت جهان در منطقه‌های شهری زندگی می‌کنند و جمعیت شهرنشینان به‌طور پیوسته در حال افزایش است. افزون بر این، پیش‌بینی می‌شود که ۶۰٪ جمعیت جهان تا سال ۲۰۳۰ در منطقه‌های شهری زندگی کنند. کیفیت محیط شهری بر کیفیت زندگی جامعه‌های انسانی شهری نیز مؤثر است. بنابراین در نظر گرفتن شرایط خاک هر منطقه در ارزیابی بهداشت و سلامت عمومی آن منطقه ضروری به‌نظر می‌رسد (شکر بیچ و همکاران ۲۰۱۸). آسیب‌ها و ناهنجاری‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در ساخت و سازهای نامتعارف در زیست‌بوم‌های آبی و خاکی باعث ایجاد خطرهای جدی برای سلامت و محیط زندگی آن‌ها می‌شود. نمونه‌هایی از این آسیب‌ها عبارت است از معدن‌کاری، مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، دفن زباله، تغییرهای کاربری زمین،

مکانی میان فلزهای سرب و آلومینیوم در خاک‌های شهری لندن در مقیاس شهری با استفاده از وایازی وزنی جغرافیایی (GWR) نشان داد که رابطه‌های فضایی و مکانی میان سرب و آلومینیوم در خاک‌های شهر لندن تحت تأثیر نوع و شدت فعالیت‌های انسانی موجود در آن‌ها متفاوت است (یوان و همکاران ۲۰۲۰). نبودن اطلاعات کافی از تأثیر کاربری‌های زمین و همچنین ویژگی‌های خاک بر اندازه‌ی آلودگی سرب در منطقه‌های شهری به‌ویژه در خاک‌های آبخیز شهری شیراز، از دلایل اصلی انجام این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آبخیز شهری شیراز به‌عنوان بخشی از آبخیز دریاچه‌ی مهارلو، در بخش مرکزی شهرستان شیراز در استان فارس و جنوب ایران انجام شد. مساحت این آبخیز ۴۱۱۳۳ هکتار است و در موقعیت جغرافیایی UTM عرض شمالی ۶۶۲۳۹۰ تا ۶۳۲۶۴۳ و طول شرقی ۳۲۶۲۳۱۰ تا ۳۳۰۱۴۶۶ در منطقه‌ی جغرافیایی ۳۹ است (شکل ۱). در منطقه‌ی مطالعه‌شده وضعیت رطوبتی و دمایی خاک به‌ترتیب زیریک و ترمیک است و سنگ‌شناسی بلندی‌های پیرامون منطقه عمدتاً آهکی و آهک دولومیتی است.

(V)، روی (Zn)، جیوه (Hg)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، کروم (Cr) و مس (Cu) هستند (کیشه و ماچویا ۲۰۰۳). اندازه‌های فراوان فلزهای موجود در منابع طبیعی و مصنوعی، سبب مشکلات سمیت برای محیط‌زیست و خطرهای بالقوه برای سلامت انسان مانند انتقال به زنجیره‌ی غذایی و ایجاد بیماری‌های مختلف می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۱۸). منابع مهم آلاینده‌های خاک به‌ویژه فلزهای سنگین، ناشی از فعالیت‌های شهری و صنعتی انسان است. این فلزها قادرند تا در فاصله‌های طولانی‌تر به‌وسیله‌ی ذره‌های معلق در هوا به‌وسیله‌ی باد منتقل شوند. برخی از این فلزها ممکن است از راه رسوب از نیوار به خاک منتقل شوند. بنابراین خاک‌های موجود در پیرامون منطقه‌های صنعتی و شهری، مکان‌های مهمی برای جمع شدن این مواد به‌شمار می‌روند (وو و همکاران ۲۰۱۵). انجوی‌نژاد و کسراثیان (۲۰۱۴) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که اندازه‌ی آلودگی سرب موجود در خاک در مجاورت دو بزرگراه منتهی به کلان شهر شیراز به‌وسیله‌ی باد تعیین می‌شود. خطرهای انسانی و بوم‌شناختی فلزها در خاک‌ها براساس انواع کاربری‌های مختلف در یک محیط شهری در بنگلادش نشان داد که ضریب خطر فلز به ترتیب اولویت $As < Cr < Pb < Cd < Ni < Cu$ (اسلام و همکاران ۲۰۲۰). بررسی رابطه‌ی متغیرهای



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده و جانمایی نقاط نمونه‌برداری خاک در کاربری‌های مختلف.
Figure 1- Location of study area and Soil sampling points in different landuses.

نقشه‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین اندازه‌ی سرب، از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 استفاده شد. در منطقه‌ی بررسی‌شده ابتدا سمی واریوگرام هر ویژگی تعیین شد و سپس ناهمسان‌گردی در تداوم مکانی داده‌های مزبور بررسی و سپس با استفاده از معادله‌ی ۱ واریوگرام تجربی هر ویژگی محاسبه شد (معادله ۱).

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

$\gamma(h)$: اندازه‌ی سمی واریوگرام با فاصله‌ی h : $N(h)$: تعداد جفت‌های نمونه‌ی استفاده‌شده برای محاسبه h برای هر فاصله h : $z(x_i)$: اندازه‌ی متغیر ناحیه‌ای در نقاط x_i و $z(x_i + h)$: اندازه‌ی متغیر ناحیه‌ای در نقاط $x_i + h$ است.

برای تعیین بهترین روش برآوردگر افزون بر استفاده از نتایج محاسبه‌های زمین‌آماري به‌وسیله‌ی نرم‌افزار GS، با روش ریشه‌ی دوم کمترین میانگین خطای داده‌ها به‌عنوان یک سنجه‌ی مهم در تعیین روش برآوردگر نیز استفاده شد و سپس تغییرهای مکانی اندازه‌ی سرب و پهنه‌بندی دیگر ویژگی‌های مزبور خاک در کاربری‌های مختلف زمین به‌وسیله‌ی نرم‌افزار ArcGIS 10.5 انجام شد.

نتایج و بحث

آمار توصیفی داده‌ها

چکیده‌ی آمار توصیفی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای اطمینان از توزیع بهنجار ویژگی‌های بررسی‌شده استفاده شد و نتایج با روش چولگی و کشیدگی توزیع داده‌ها بررسی شد. نتایج آزمون بهنجارسازی نشان داد که تمامی ویژگی‌های خاک بررسی‌شده به جز ویژگی‌های هدایت الکتریکی خاک (EC)، درصد رس خاک و ماده آلی توزیع بهنجار داشتند. همچنین اندازه‌ی سرب نیز توزیع بهنجار داشت. در منطقه‌ی مطالعه‌شده، واکنش خاک از ۷/۰۲ تا ۸/۷۷ با میانگین ۷/۷۰ متغیر بود، قابلیت هدایت الکتریکی از ۱۶/۳۲-۰/۴۱ با میانگین ۲/۸۴ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. درصد اجزای بافت خاک شامل شن، لای (سیلت) و رس به ترتیب از ۲۱/۹۰ تا ۷۲/۶۰ با میانگین ۴۳/۶۱ و از ۱۸/۹۰ تا ۵۴/۱۰ با میانگین ۳۸/۴۶٪ و ۷/۶۰ تا ۳۳/۵۰ با میانگین ۱۷/۹۲٪ بود. در منطقه‌ی مطالعه‌شده بافت غالب خاک لوم (متوسط) بود. درصد اندازه‌های کربنات کلسیم معادل و درصد ماده‌ی آلی به ترتیب از ۳۱/۱۵ تا ۸۵/۸۲ با میانگین ۵۲/۷۴٪ و ۰/۰۲ تا ۶/۷۲ با میانگین ۳/۰۰٪ بود. در منطقه‌ی مطالعه‌شده

نمونه‌برداری و تجزیه‌ی فیزیکی و شیمیایی خاک

به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، جمعاً ۱۲۰ نمونه‌ی سطحی (ژرفای ۲۰-۰ سانتی‌متر) شامل ۳۰ نمونه از هر یک از کاربری‌های چهارگانه شامل زمین‌های بایر، باغ، پارک شهری و زمین‌های مرتعی کوهستانی با استفاده از روش تصادفی-نظام‌مند (سیستماتیک) برداشت شد و موقعیت جغرافیایی آن‌ها به‌وسیله‌ی گیرنده‌ی سامانه‌ی موقعیت یاب جهانی (GPS) با مدل Garmin 62s ثبت شد (شکل ۱). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌های خاک در معرض هوا خشک شد. سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شده روی خاک منطقه‌های مزبور شامل اندازه‌گیری توزیع اندازه‌ی ذرات خاک با روش هیدرومتر (روول ۱۹۹۴)، تعیین درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) با خنثی‌سازی به‌وسیله‌ی HCl (لوپرت و سوارز ۱۹۹۶)، اندازه‌گیری کربن آلی (OC) با روش اکسیداسیون مرطوب (نلسون و سامرز ۱۹۹۶)، اندازه‌گیری واکنش خاک در گل اشباع، اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره‌ی گل اشباع با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی به‌طور مستقیم (رودز ۱۹۹۶) و در نهایت تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با روش جایگزینی کاتیون‌های قابل تبادل با استات سدیم و جایگزینی سدیم با استات آمونیوم بود (چپمن ۱۹۶۵). فرایند هضم اندازه‌ی سرب موجود در نمونه‌های خاک با روش Aqua regia (مخلوط اسید هیدروکلریک غلیظ و اسید نیتریک به نسبت ۳:۱) در دمای $180^{\circ}C$ به مدت دو ساعت در حمام آب گرم (بن ماری) انجام شد و سپس به‌وسیله‌ی طیف‌سنج جذب اتمی، مدل Shimatzo AA-670 اندازه‌گیری شد (گولیا و همکاران ۲۰۰۷).

تحلیل داده‌ها

در منطقه‌ی مطالعه‌شده در کاربری‌های مختلف نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک با استفاده از آزمون ANOVA یک طرفه و نرم‌افزار SPSS16، مقایسه شد. به‌منظور بررسی آمار توصیفی ویژگی‌های خاک شامل شاخص‌های آماری مرکزی، توزیع داده‌ها، همچنین چولگی و کشیدگی داده‌ها از برنامه‌ی زمین‌آماري GS+ استفاده شد. پس از انجام آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی بهنجار بودن داده‌ها در نرم‌افزار SPSS16، بهنجارسازی داده‌های ناهنجار به‌وسیله‌ی نرم‌افزار GS انجام شد. در این پژوهش برای تهیه‌ی

اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی از ۴/۵۸ تا ۲۰/۹۱ با میانگین ۱۲/۴۲ $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ برآورد شد. اندازه‌ی سرب نیز از ۳/۴۹ تا ۱۵/۶۷ با میانگین ۷/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

جدول ۱- آمار توصیفی ویژگی‌های خاک منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Table 1. Descriptive statistics of soil characteristics of the study area.

Soil Charectristics*	Min	Max	Mean	Standard Deviation	CV (a)	Skewness (b)	Kurtosis (b)	Kol-Smi Test (c)
pH	7.02	8.77	7.70	0.21	2.78	4.67	0.72	0.619
EC	0.46	16.32	2.84	2.16	76.19	13.11	2.96	0.001
Sand	21.90	72.60	43.61	10.05	23.04	0.18	0.20	0.809
Silt	18.90	54.10	38.46	5.48	14.24	1.41	-0.56	0.310
Clay	7.60	33.50	17.92	5.64	31.48	-0.65	0.36	0.009
CCE	31.15	85.82	52.74	7.29	13.83	2.81	0.62	0.225
OM	0.02	6.72	3.00	2.15	71.65	-1.50	0.10	0.008
CEC	4.58	20.91	12.42	3.97	31.93	-0.79	0.02	0.535
Pb	3.49	15.67	7.41	2.31	31.13	0.38	0.51	0.753

* واحدهای EC و CEC به ترتیب $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ و $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ است. اندازه‌های شن، لای، رس، CCE و OM بر حسب درصد است.

a: تفاوت بسیار کم. > ۱۰٪، تفاوت کم. ۲۰-۱۰٪، تفاوت متوسط ۳۰-۲۰٪، اختلاف زیاد < ۳۰٪.

-2 < Normal < 2: b Normal, sig > 0.05: c

Note: The units of EC and CEC are $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively; and the amounts of sand, silt, clay, CCE and OM are in percent. a: (Very low diff. < 0.1, Low diff. 0.1-0.2, Medium diff. 0.2-0.3, high diff. > 0.3), b: -2 < Normal < 2, c: Normal, sig > 0.05. Fe: Iron, Pb: Lead and Cd: Cadmium.

مؤثر ویژگی‌های خاک که بیان‌گر بیشترین فاصله‌ی مجاز برای نمونه‌برداری از خاک است و شدت تغییرها را می‌تواند در جهت‌های جغرافیایی نشان دهد از روند روبرو تبعیت می‌کردند:

pH > %CCE = OM > Silt > EC > Sand = Clay > CEC

شعاع مؤثر مشاهده‌شده برای اندازه‌ی سرب ۱۸۳ متر بود. نسبت C/C_0+C برای ویژگی‌های خاک از ۰/۵ تا ۰/۶۵ بود و برای اندازه‌ی سرب ۰/۶۳ بود. نسبت C_0/C_0+C برای ویژگی‌های خاک از ۰/۳۵ تا ۰/۵ و برای اندازه‌ی سرب ۰/۳۷ بود.

بررسی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک در منطقه‌ی بررسی‌شده

مدل برازش شده بر سمی‌واریوگرام تجربی و چکیده‌ی تحلیل زمین‌آماری ویژگی‌های خاک در جدول ۲ آورده‌شده است. مدل‌های به‌دست آمده شامل دو نوع مدل کروی و مدل نمایی بودند. مدل‌های وارویوگرام ویژگی‌های خاک شامل واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، لای و ظرفیت تبادل کاتیونی به‌شکل ناهمسان‌گرد و دیگر ویژگی‌های بررسی‌شده همسان‌گرد بودند. همچنین مدل وارویوگرام اندازه‌ی سرب ناهمسان‌گرد بود. شعاع

جدول ۲- مدل برازش سمی‌واریوگرام تجربی و چکیده‌ی تحلیل زمین‌آماری ویژگی‌های خاک.

Table 2- Experimental variogram fitting model and summary of geostatistical analysis of the soil characteristics.

Soil Charectristics*	Variogram Direction	Model	Nugget	Sill	Effective range (m)	C/ C ₀ +C	C ₀ / C ₀ +C	R2	RSS
pH	Anisotropic	Exponential	7×10^{-4}	2.01×10^{-3}	9087	0.65	0.35	0.22	1.41×10^{-4}
EC	Anisotropic	Exponential	0.36	0.87	770	0.59	0.41	0.26	0.22
Sand	Isotropic	Exponential	82.50	165.10	433	0.50	0.50	0.51	2389
Silt	Anisotropic	Spherical	28.08	79.58	774	0.65	0.35	0.25	1320.55
Clay	Isotropic	Exponential	24.80	49.61	433	0.50	0.50	0.59	186
CCE	Isotropic	Spherical	0.18	0.36	811	0.50	0.50	0.68	0.03
OM	Isotropic	Spherical	3.37	6.74	811	0.50	0.50	0.82	7.02
CEC	Anisotropic	Exponential	15.01	37.43	376	0.60	0.40	0.56	238.33
Pb	Anisotropic	Exponential	4.41	11.96	183	0.63	0.37	0.67	33.09

* واحدهای هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ و $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ است. اندازه‌های شن، لای، رس، کرنات کلسیم معادل و مواد آلی بر حسب درصد است.

Note: The units of EC and CEC are $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively; and the amounts of sand, silt, clay, CCE and OM are in percent.

ArcGIS 10.5 شامل روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) و روش کریجینگ معمولی (Ord.k) استفاده شد (جدول ۳). برآوردگر IDW برای برآورد ویژگی‌های خاک شامل شن، لای، قابلیت هدایت الکتریکی و اندازه‌ی سرب بهترین روش انتخابی بود. دیگر ویژگی‌ها با روش کریجینگ دقیق‌تر برآورد شدند.

پهنه‌بندی رقومی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS برای رسم نقشه و پهنه‌بندی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب، پس از تعیین بهترین مدل انتخابی برای هر ویژگی خاک و اندازه‌ی سرب، دو روش برآوردگر مختلف موجود در نرم‌افزار

جدول ۳- مدل انتخابی برای پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب موجود در خاک با برآوردگرهای مختلف.

Table 3- Selective model for mapping soil charectistics and the amount of Lead with different estimators.

Soil Charectistics*	IDW		Kriging		Chosen model
	RMSE	MAE	RMSE	MAE	
pH	0.24	0.004	0.23	0.005	Kriging
EC	16.89	-0.37	17.11	0.25	IDW
Sand	10.63	0.04	10.70	0.15	IDW
Silt	6.04	-0.01	6.07	-0.01	IDW
Clay	5.71	-0.03	5.68	-0.08	Kriging
CCE	8.30	-0.38	8.28	-0.38	Kriging
OM	2.38	0.18	2.20	0.03	Kriging
CEC	4.20	0.19	3.98	-0.08	Kriging
Pb	1.36	0.02	39.48	-0.29	IDW

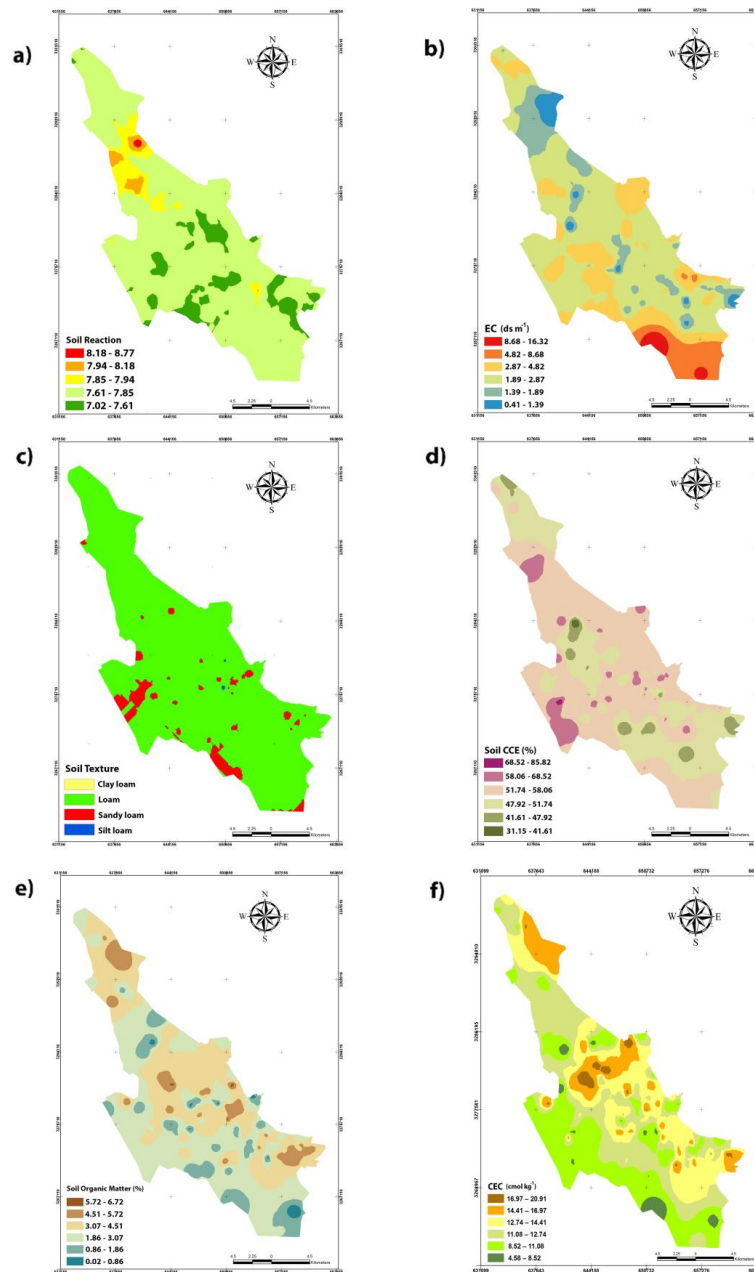
* واحدهای هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب dS.m^{-1} و $\text{cmol}(+)\text{.kg}^{-1}$ است. اندازه‌های شن، لای، رس، کربنات کلسیم معادل و مواد آلی بر حسب درصد است. RMSE: میانگین خطای ریشه میانگین و MAE: میانگین خطای مطلق.

Note: The units of EC and CEC are dS.m^{-1} and $\text{cmol}(+)\text{.kg}^{-1}$, respectively; and the amounts of sand, silt, clay, CCE and OM are in percent
RMSE: Root Mean Square Error, MAE: Mean Absolute Error.

منطقه کمترین و بیشترین اندازه‌ی این ویژگی به شکل ناهمگن، پراکنده بودند. در سرتاسر منطقه پهنه‌بندی تغییرهای مکانی ظرفیت تبادل کاتیونی روند ناهمگنی داشت. در منطقه‌ی مطالعه‌شده قسمت‌های شمالی و جنوب‌شرقی و همچنین بخش‌های مرکزی به سمت شرقی، ظرفیت تبادل کاتیونی اندازه‌های بیشتری داشت (شکل ۲f). در قسمت‌های جنوبی و جنوب‌شرقی منطقه اندازه‌ی سرب بیشتر بود، در حالی که در قسمت‌های شمالی اندازه‌های کمتر مشاهده شد. دلیل آن می‌تواند اختلاف بلندی، شیب غالب و کشیدگی شمالی جنوبی منطقه در راستای ذکر شده، جریان‌های سیلابی، حمل خاک سطحی و رسوب‌ها و آلودگی‌های بالادست به منطقه‌های پایین‌دست باشد. آنچنان که این بخش از منطقه از نظر واحد گیتاشناسی نیز عمدتاً در اجزاء واحد زمین دشت آبرفتی رودخانه‌ای است که حاصل سالیان متمادی فعالیت رود خشک شیراز و رود میان‌رود (چنار راهدار) و هم‌افزایی و تلاقی نهایی آنها در حاشیه‌ی دریاچه‌ی مهارلو است (شکل ۳).

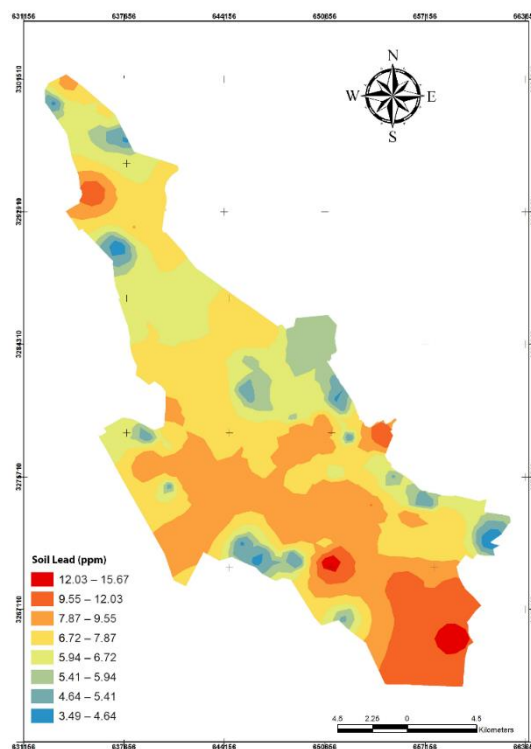
پهنه‌بندی رقومی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب

در منطقه‌ی مطالعه‌شده براساس نقشه‌های رسم‌شده به‌وسیله‌ی نرم‌افزار ArcGIS 10.5، واکنش خاک نسبتاً قلیایی بود و روند یکنواختی داشت. با این وجود، در قسمت شمالی و مرکزی ناهمگنی جزئی مشاهده شد (شکل ۲a). در منطقه‌ی مطالعه‌شده اندازه‌های قابلیت هدایت الکتریکی خاک روند یکنواختی داشت اما بیشترین و کمترین اندازه‌ها به ترتیب در قسمت‌های جنوب‌شرقی و شمالی مشاهده شد. همچنین در قسمت‌های مرکزی، روند این خصوصیت ناهمگنی جزئی را نشان داد (شکل ۲b). ترکیب نهایی پهنه‌بندی ذرات خاک (بافت خاک) در شکل ۲c نشان‌داده شده است. در منطقه‌ی مطالعه‌شده بافت غالب خاک، لوم (متوسط) بود. درصد کربنات کلسیم معادل نسبتاً زیاد بود و بیشتر در بخش‌های مرکزی منطقه مشاهده شد، اما درصدهای کم‌تر در بخش‌های غربی، شمالی و جنوب‌شرقی مشاهده شد (شکل ۲d). اندازه‌ی مواد آلی خاک از ۱/۸۶ تا ۳/۰۸٪ متغیر بود (شکل ۲e). همچنین، در سراسر



شکل ۲- پهنه‌بندی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک. ۲a: واکنش خاک، ۲b: قابلیت هدایت الکتریکی، ۲c: بافت خاک، ۲d: کربنات کلسیم معادل، ۲e: مواد آلی، ۲f: ظرفیت تبادل کاتیونی.

Figure 2- Mapping of spatial variability of soil characteristics. 2a: pH, 2b: EC, 2c: Texture, 2d: CCE, 2e: OM, 2f: CEC.



شکل ۳- پهنه‌بندی اندازه‌ی سرب خاک منطقه‌ی مطالعه‌شده.
Figure 3- Mapping of soil Lead amount of study area.

که اندازه‌ی کربنات کلسیم معادل در کاربری‌های مختلف زمین به شکل باغ > پارک شهری > زمین‌های بایر > زمین‌های مرتعی کوهستانی بود. در خاک منطقه‌ی مطالعه‌شده روند درصد مواد آلی به شکل زمین‌های بایر > زمین‌های مرتعی کوهستانی > پارک شهری > باغ مشاهده شد. روند اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک زمین مزبور به شکل کاربری زمین‌های بایر > زمین‌های مرتعی کوهستانی > پارک شهری > باغ بود. روند اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک زمین مزبور به شکل کاربری زمین‌های بایر > زمین‌های مرتعی کوهستانی > پارک شهری > باغ بود، که این یافته‌ها را می‌توان به تفاوت در نوع رس‌ها و همچنین به اندازه‌ی ماده‌ی آلی خاک نسبت داد. با توجه به شکل ۴، میانگین واکنش خاک، کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی و مواد آلی در کاربری‌های زمین تفاوت معنی‌داری داشتند ($p < 0.05$) در کاربری‌های مختلف، اندازه‌ی سرب چنین روندی داشت: زمین‌های مرتعی کوهستانی > باغ > پارک شهری > زمین‌های بایر. همچنین اندازه‌ی سرب در ارتباط با کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نشان داد ($p < 0.05$).

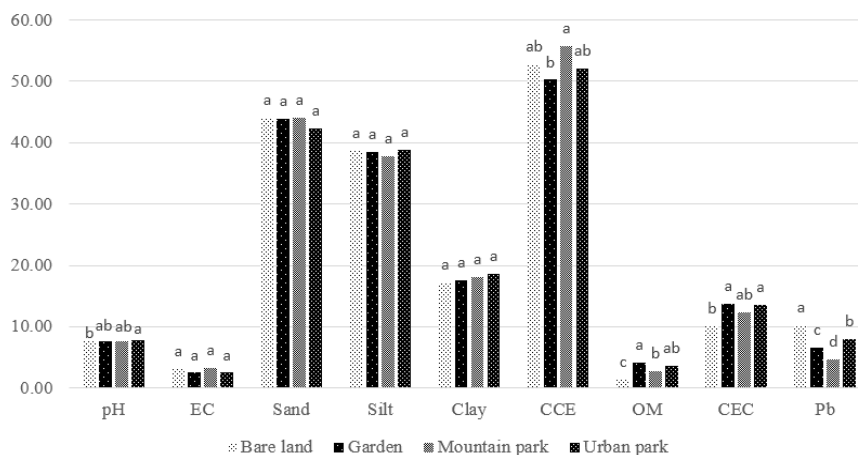
اثر کاربری زمین بر ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب تجزیه و تحلیل توصیفی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در ارتباط با کاربری زمین در جدول ۴ نشان داده شده است. کاربری‌های بررسی شده شامل زمین‌های بایر، زمین‌های مرتعی کوهستانی، پارک شهری و باغ بود. روند افزایشی واکنش خاک در کاربری زمین به شکل زمین‌های بایر > زمین‌های مرتعی کوهستانی > باغ > پارک شهری بود. اندازه‌ی قابلیت هدایت الکتریکی خاک در زمین‌های مختلف به شکل زمین‌های مرتعی کوهستانی > باغ > پارک شهری > زمین‌های بایر بود. روند درصد شن در کاربری زمین‌های به شکل پارک شهری > باغ > زمین‌های بایر = زمین‌های مرتعی کوهستانی بود. روند اندازه‌ی درصد لای به شکل زمین‌های مرتعی کوهستانی > باغ > زمین‌های بایر > پارک شهری بود. همچنین، روند درصد خاک رس به شکل زمین‌های بایر > باغ > زمین‌های مرتعی کوهستانی > پارک شهری بود. این یافته‌ها را می‌توان به تغییرها و جابجایی‌های مختلف خاک در محیط‌های شهری برای انجام امور مختلف از جمله احداث فضای سبز نسبت داد، در حالی

جدول ۴- تحلیل توصیفی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در رابطه با کاربری زمین.

Table 4- Descriptive analysis of soil characteristics and Pb amount in relation to land use.

Soil Characteristics*	Bare			Garden			Mountain range land			Urban parks		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
pH	7.02	7.94	7.60	7.45	7.97	7.71	7.22	8.13	7.69	7.48	8.77	7.79
EC	0.54	16.32	3.23	0.68	6.59	2.52	0.46	8.75	2.51	0.96	9.36	3.09
Sand	23.60	72.60	44.09	21.90	59.40	43.86	22.80	68.30	44.10	25.90	65.10	42.39
Silt	18.90	49.00	38.78	29.70	54.10	38.48	24.10	46.90	37.75	25.50	47.70	38.81
Clay	8.50	29.10	17.17	10.90	28.70	17.66	7.60	33.50	18.15	9.40	29.00	18.70
CCE	39.25	65.57	52.85	31.15	65.57	50.25	38.15	85.82	55.72	42.08	65.57	52.16
OM	0.05	5.76	1.34	0.01	6.50	4.21	0.07	6.72	2.79	0.03	5.86	3.64
CEC	5.14	18.53	10.08	7.40	20.04	13.72	4.58	20.27	12.30	6.32	20.91	13.57
Pb	8.47	15.67	10.33	5.02	7.98	6.63	3.49	6.11	4.68	6.58	9.80	8.01

* واحدهای قابلیت هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب dS.m^{-1} و $\text{cmol}(+).\text{kg}^{-1}$ است. اندازه‌های شن، لای، رس، کربنات کلسیم معادل و مواد آلی بر حسب درصد است.
Note: The units of EC and CEC are dS.m^{-1} and $\text{cmol}(+).\text{kg}^{-1}$, respectively; and the amounts of sand, silt, clay, CCE and OM are in percent.



* میانگین با حروف مختلف در سطح ۵٪ به طور معنی‌دار متفاوت است ($P < 0.05$).

Means followed by different letters are significantly different at ($P < 0.05$).

شکل ۴- مقایسه‌ی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در رابطه با کاربری‌های مختلف.

Figure 4- Comparison of soil characteristics and Lead amount in relation to different land uses.

($p < 0.01$) این یافته بیان‌گر این است که با افزایش این دو ویژگی خاک، اندازه‌ی سرب اندازه‌گیری شده در خاک‌های مختلف کمتر بود و می‌تواند دلیل آن نگهداری ترکیبات سرب به وسیله‌ی ماده‌ی آلی خاک باشد و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر نیز می‌تواند با ایجاد بار الکتریکی بیشتر در جذب سطحی سرب در سطح ذره‌های رس مؤثر

رابطه‌ی میان ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب درصد همبستگی میان ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در جدول ۵ نشان داده شده است. از میان ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، اندازه‌های ظرفیت تبادل کاتیونی و مواد آلی خاک با اندازه‌ی سرب خاک در سطح یک درصد همبستگی منفی و معنی‌دار داشتند

جدول ۵- همبستگی میان اندازه‌ی سرب و دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Table 5- Correlation between Lead and other soil characteristics of study area.

	pH	EC	CCE (%)	CEC	OM (%)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
Pb	0.077	0.038	-0.124	-0.240**	-0.307**	-0.062	-0.029	0.020

EC: قابلیت هدایت الکتریکی، CCE: کربنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، OM: اندازه‌ی مواد آلی.

** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. * همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

EC: Electric Conductivity; CCE: Calcium Carbonate Equivalent; CEC: Cation Exchange Capacity; O.M: Organic Matter.

*: Correlation is significant at the 0.05 level.

** : Correlation is significant at the 0.01 level.

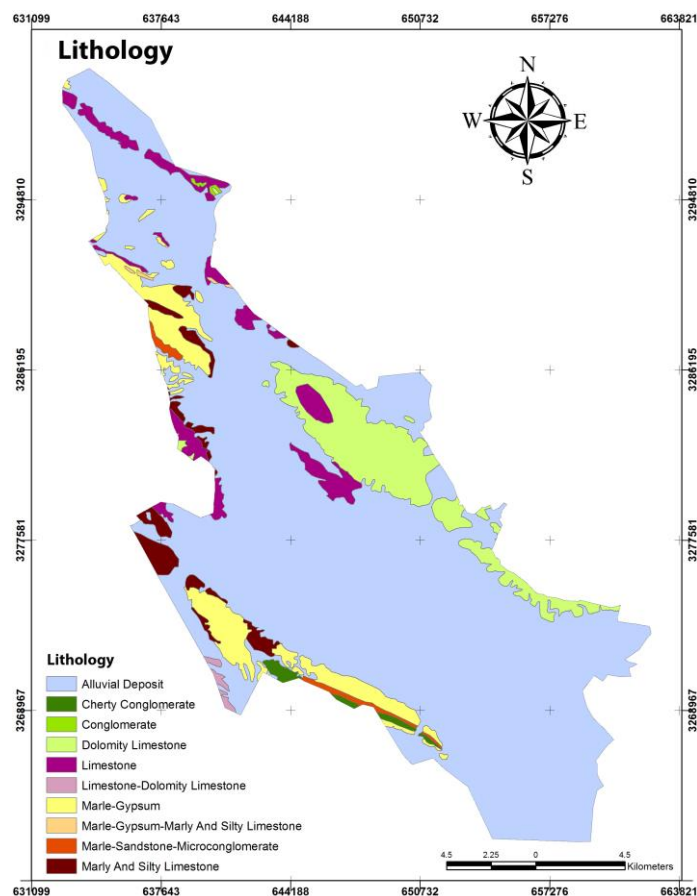
طبقه‌بندی کرد (هازلتون و مورفی ۲۰۱۶). اندازه‌های زیاد آهک تأثیرات چشمگیری بر دیگر ویژگی‌های مهم خاک مانند واکنش، ظرفیت تبادل کاتیونی و در نهایت حاصل‌خیزی خاک دارد که نیاز به مدیریت خاص است. در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک اندازه‌ی ماده آلی خاک عمدتاً کم بود. درصد مواد آلی خاک سطحی در منطقه‌ی مطالعه‌شده کم تا متوسط بود که بیشترین اندازه‌ی آن در زمین باغ‌ها و پارک‌ها مشاهده شد که می‌تواند به دلیل بازگشت بخش بزرگی از زی‌توده‌ی گیاهی در اثر خزان درختان و مصرف کودهای آلی به خاک باشد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک منطقه نیز اندازه‌ی کمی داشت که با اندازه‌ی ماده آلی خاک همخوانی داشت. براساس تغییر ضریب‌ها، در سراسر منطقه تغییرهای واکنش خاک بسیار جزئی بود که می‌تواند تحت تأثیر اندازه‌های زیاد و تغییرهای ناچیز در اندازه‌ی آهک خاک در منطقه باشد (جدول ۱). تغییرهای درصد ذره‌ی لای خاک نیز کم بود در حالی که تغییرهای درصد ذرات رس و شن خاک و اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی متوسط بود. تغییرهای مواد آلی و قابلیت هدایت الکتریکی زیاد بود. یافته‌ها این پژوهش نشان داد که تغییر ویژگی‌های خاک می‌تواند هم از راه ماهیت مواد مادری و هم تحت تأثیر نوع مدیریت خاک باشد. همچنین مشاهده‌ها و نتایج نشان داد که مدیریت یا نوع کاربری زمین معمولاً تأثیر بیشتری در تغییر ویژگی‌های خاک منطقه‌های مختلف آبخیز شهری شیراز داشت و باعث ایجاد تغییرهای گسترده‌ای در ویژگی‌های خاک شد و به این دلیل در طبقه‌بندی ارائه شده به‌وسیله‌ی فائو برای خاک‌ها، گروه‌های مرجع تکنوسول (Technosols) و آنتروسول (Anthrosols) به‌عنوان خاک‌هایی با تغییرهای بسیار زیاد و تقریباً غیرقابل توجیه به‌وسیله‌ی فرآیندهای معمول در تشکیل خاک‌های منطقه‌های شهری شناخته شدند (فائو ۲۰۱۵).

باشد.

آمار توصیفی داده‌ها

واکنش خاک (pH) زمین‌های منطقه‌ی مطالعه‌شده از خنثی تا کمی قلیایی بود که می‌تواند تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه (سنگ‌های مادری) در فرآیندهای تشکیل خاک باشد. نقشه‌ی پهنه‌بندی واکنش خاک در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس نقشه‌ی سنگ‌شناسی (شکل ۵)، قسمت‌های شمالی منطقه‌ی مطالعه‌شده به‌طور عمده به‌وسیله‌ی سازندهای گچساران بالادست که شامل سنگ آهک و مارن است، احاطه شده است بنابراین واکنش خاک در این قسمت‌ها بیشتر بود، اما بخش‌های دیگر عمدتاً از رسوب‌های حاوی رس، لای و شن تشکیل شده‌اند. همچنین، وجود سازند گچساران پایین دست و رسوب‌های سیلابی سبب شده است که اندازه‌ی واکنش خاک به‌طور یکنواخت در مقیاس بزرگتر در کل منطقه نسبتاً خنثی باشد (شکل ۵). همچنین نباید از انتقال خاک از نقاط مختلف در منطقه‌ی مطالعه شده غافل شد.

اگر چه اندازه‌های قابلیت هدایت الکتریکی در بخش گسترده‌ای از منطقه‌ی مطالعه‌شده متوسط بود و تقریباً مشکل شوری مشاهده نشد ولی با این وجود، بخش‌های جنوب‌شرقی شهر شیراز به دلیل قرار گرفتن در محدوده تحت تأثیر نهشته‌های دریاچه‌ی شور مهارلو با مشکلات پرشمار شوری مواجه بود. افزون بر این، اندازه‌های زیاد قابلیت هدایت الکتریکی در برخی از قسمت‌های منطقه مشاهده شد که ممکن است دلیل آن انتقال خاک از دیگر مکان‌ها به‌منظور احداث فضای سبز شهری باشد. بافت خاک منطقه بیشتر از گروه لومی یا متوسط بود هر چند با تأثیر غالب ویژگی‌های ذرات شن، لای و رس، دیگر بافت‌های خاک نیز ممکن است در کاربری‌های مختلف زمین یافت شوند. با توجه به اندازه‌ی کربنات کلسیم معادل در خاک‌های منطقه می‌توان این خاک‌ها را به‌عنوان خاک‌های با آهک زیاد



شکل ۵- سنگ‌شناسی منطقه‌ی مطالعه‌شده

Figure 5- Lithology of study area.

سمیت بالقوه، تجزیه‌ناپذیری و اثرهای اندام‌شناختی روی موجودات زنده از ویژگی‌های مهم آلودگی فلزهای سنگین به‌شمار می‌رود که سبب شده است این فلزها به‌عنوان منابع اصلی در ایجاد آلودگی‌های محیطی به‌شمار روند (اسلام و همکاران ۲۰۱۵). میانگین آلودگی سرب در معیارهای ایالات متحده، اتحادیه اروپا، بریتانیا و سازمان جهانی بهداشت برای محدوده‌ی بهداشتی ایمن در جدول ۶ نشان‌داده شده است (هونگ و همکاران ۲۰۱۴؛ آسماو و آن هانگ ۲۰۱۲؛ نانجیا ۱۹۹۱). در منطقه‌ی مطالعه‌شده تغییرهای زیاد اندازه‌ی سرب به‌دلیل تغییرهای محیطی، قابل توجه بود و ممکن است تحت تأثیر مدیریت کاربری زمین مانند حفاظت از کاربری‌ها با پوشش گیاهی باشد (جدول ۱). به منظور انجام بررسی‌های زمین‌آماری ویژگی‌های انتخابی خاک و اندازه‌ی سرب، لازم بود تا توزیع داده‌های به‌دست آمده به‌شکل توزیع بهنجار باشد. بنابراین، از تابع‌های لگاریتمی برای بهنجار کردن این داده‌ها استفاده شد (ارشاهین ۲۰۰۳).

سمیت بالقوه، تجزیه‌ناپذیری و اثرهای اندام‌شناختی روی موجودات زنده از ویژگی‌های مهم آلودگی فلزهای سنگین به‌شمار می‌رود که سبب شده است این فلزها به‌عنوان منابع اصلی در ایجاد آلودگی‌های محیطی به‌شمار روند (اسلام و همکاران ۲۰۱۵). میانگین آلودگی سرب در معیارهای ایالات متحده، اتحادیه اروپا، بریتانیا و سازمان جهانی بهداشت برای محدوده‌ی بهداشتی ایمن در جدول ۶ نشان‌داده شده است (هونگ و همکاران ۲۰۱۴؛ آسماو و آن هانگ ۲۰۱۲؛ نانجیا ۱۹۹۱).

جدول ۶- بیشینه‌ی محدوده‌ی مجاز برای فلزهای سنگین در خاک.

Table 6- Maximum permissible range for heavy metals in soil.

Heavy Metals	EU STD*	UK STD	US STD	WHO
mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
Fe	-	-	-	-
Zn	300	200	200-300	16-60
Hg	-	-	-	0.001-0.04
Cu	140	63	80-200	1-12
Cd	3.0	1.4	400	0.002-0.5
Cr	180	6.4	400	0.002-0.2
Pb	300	70	300	0.3-10
Ni	-	-	-	0.1-5

(Hong et al., 2014; Asemave and Anhwange 2012; Nangia 1991) معیار *STD = WHO = سازمان بهداشت جهانی، *EU = ایالات متحده، *UK = بریتانیا، *US = ایالات متحده، *WHO = World Health Organization، *STD = Standard. (Hong et al., 2014; Asemave and Anhwange 2012; Nangia 1991).

کشت و دیگر رفتارهای مدیریتی مربوط است (وانگ و همکاران ۲۰۰۹؛ یه و همکاران ۲۰۱۸). در این پژوهش، وابستگی متوسط مشاهده شده میان ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و اندازه‌ی سرب، تأییدکننده‌ی تغییر ویژگی‌های خاک شهری تحت تأثیر عامل‌های بیرونی بود. در منطقه‌ی مطالعه‌شده شعاع مؤثر ویژگی‌های خاک نشان داد که در اقلیم‌های نیمه‌خشک می‌توان اندازه‌های اسیدیت‌ی خاک، کربنات کلسیم معادل، مواد آلی و قابلیت هدایت الکتریکی خاک را با نمونه‌برداری در فاصله‌های طولانی‌تر بررسی کرد. اندازه‌های کم شعاع مؤثر به‌دست آمده برای ظرفیت تبادل کاتیونی و بافت خاک می‌تواند به‌دلیل ناهمگنی موجود در خاک‌ها ناشی از انتقال خاک از دیگر مکان‌ها باشد. در نتیجه، اثر استفاده از خاک‌های درجا و منتقل‌شده در منطقه‌های شهری منجر به تغییرهای جدی در آن‌ها می‌شود.

پهنه‌بندی رقوم‌ی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب

بهترین مدل برای بررسی تغییرهای مکانی ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب، مدلی است که کمترین میانگین خطای مطلق و خطای ریشه میانگین مربعات را داشته باشد. بنابراین در این پژوهش و براساس نتایج جدول ۳، روش کریجینگ کاربرد مناسب‌تری در برآورد ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب داشت. این بدان معنا نیست که در دیگر پژوهش‌ها نیز این برآوردگر برتری دارد، زیرا ممکن است نتایج متفاوتی با سنج‌های مشابه در دیگر منطقه‌ها به‌دست آید.

در سراسر منطقه اندازه‌های واکنش خاک نسبتاً قلیایی با روند یکنواخت تحت تأثیر مواد ذاتی خاک که از سنگ‌های مادری آهکی منشأ گرفته بودند، مشاهده شد (شکل ۲). اندازه‌های زیاد pH اندازه‌گیری شده در قسمت‌های شمالی به‌دلیل وجود سنگ‌های مادری با آهک فراوان بود. تغییر منظم قابلیت هدایت الکتریکی خاک می‌تواند به‌دلایلی مانند منشأ مواد اولیه‌ی خاک، کیفیت آب آبیاری یا آب زیرزمینی و نبودن تعادل در نمک‌های محلول خاک در نتیجه‌ی کوددهی و مدیریت نامناسب خاک بوده باشد. در این پژوهش، اندازه‌های زیاد قابلیت هدایت الکتریکی در بخش‌های جنوبی به‌دلیل نهشته‌های حاکی متأثر از موقعیت دریاچه‌ی شور مهارلو و رخداد پیوسته‌ی سیلاب‌ها بود. در منطقه وجود بافت لومی با روند نسبتاً یکنواخت به‌دلیل سنگ‌شناسی سنگ‌های مادری قابل پیش‌بینی بود. در منطقه‌ی مطالعه‌شده درصد کربنات کلسیم نیز عمدتاً به‌دلیل سازندهای زمین‌شناسی و مواد مادری

بررسی تغییرهای مکانی

چکیده‌ی تجزیه و تحلیل زمین‌آماري ویژگی‌های بررسی‌شده و مدل برازش سمی‌اریوگرام تجربی در جدول ۲ نشان‌داده شده است. جهت جغرافیایی اریوگرام بیان‌گر همگنی تغییرهای متغیر در منطقه‌ی مطالعه‌شده بود. اصطلاح ناهمسان‌گرد زمانی استفاده می‌شود که ناهمگنی یک متغیر در جهت‌های مختلف جغرافیایی مشاهده شود. در این شرایط، مشاهده‌ی اریوگرام‌های مختلف در جهت‌های متفاوت به‌دلیل تفاوت در محدوده‌های مؤثر است. از میان ویژگی‌های خاک بررسی‌شده، قابلیت هدایت الکتریکی، واکنش خاک، لای و ظرفیت تبادل کاتیونی اریوگرام ناهمسان‌گرد داشتند. که این یافته به‌دلیل مدیریت متفاوت خاک‌های آبخیزهای شهری در طول دوره‌های زمانی متفاوت قابل قبول بود. همچنین، اندازه‌ی سرب اریوگرام ناهمسان‌گرد داشت که این یافته با اندازه‌ی کربنات کلسیم موجود در منطقه‌ی مطالعه‌شده مغایرت داشت. دلیل آن می‌تواند این باشد که در خاک‌های آهکی، آلودگی سرب همانند دیگر فلزهای سنگین به‌علت تحرک پایین این عنصر، کمتر به ژرفای خاک منتقل شده و از این رو امکان مهار حرکت آن به‌وسیله‌ی سرعت و جهت باد فراهم می‌شود (طالب و همکاران ۲۰۱۹؛ انجوی نژاد و کسرائیان ۲۰۱۴). نسبت همسان‌گرد فضایی $(C/C_0 + C)$ نشان‌دهنده‌ی استحکام ساختار متغیرهای مکانی است. بنابراین، هر چه ساختار مکانی قوی‌تر باشد، اندازه‌ی کسر مزبور به عدد ۱ نزدیک‌تر می‌شود. گروه تغییرپذیری فضایی $(C_0/C_0 + C)$ نیز برای تأیید درجه‌ی وابستگی متغیرهای مکانی استفاده می‌شود. اگر وابستگی مکانی برای یک متغیر شدید باشد، این نسبت کمتر از ۰/۲۵ خواهد بود، در حالی که اگر وابستگی مکانی متوسط باشد، این نسبت ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ متغیر می‌باشد. همچنین، در شرایطی این وابستگی مکانی ضعیف در نظر گرفته خواهد شد که این نسبت بیشتر از ۰/۷۵ شود (دیزاین ۲۰۰۴). با توجه به نتایج جدول ۲، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ساختار مکانی و وابستگی مکانی متوسط داشتند. همچنین، اندازه‌ی سرب نیز ساختار فضایی و وابستگی مکانی متوسط داشت. وجود این وابستگی مکانی یا فضایی شدید را می‌توان به عامل‌های ذاتی خاک مانند ماده‌ی مادری، بافت خاک، پستی‌بلندی و پوشش گیاهی مرتبط دانست. برعکس، وابستگی مکانی نسبتاً ضعیف و بسیار ضعیف به عامل‌های بیرونی خاک، مانند کوددهی، شیوه‌های

pH خاک، عامل‌هایی مانند ترشحات ناحیه‌ی ریشه، نوع و اندازه‌ی کوددهی، نوع نمک‌های محلول در خاک سطحی، وجود CO_2 و انتقال خاک در منطقه‌های مختلف بود. اندازه‌های کمتر قابلیت هدایت الکتریکی در نقاط با پوشش گیاهی بیشتر مشاهده شد که می‌تواند به دلیل جذب نمک‌های محلول به وسیله‌ی گیاهان در طول زمان باشد. مشاهده‌ی روند کلی تغییرهای عمده‌ی پراکنش ذرات تشکیل دهنده‌ی خاک سطحی در زمین‌های مختلف به دلیل کشت گیاهان و انجام فعالیت‌های انسانی برای رشد گیاهان بود. درصد کربنات کلسیم معادل در کاربری زمین با پوشش گیاهی، کمتر از دیگر نقاط بود که دلیل آن می‌تواند جایگزینی خاک‌های عمدتاً آبرفتی با درصد آهک کمتر در محل کاشت این گیاهان در مقایسه با دیگر نقاط با آهک بیشتر باشد که اقدامی مرسوم در طرح‌های احداثی فضای سبز شهری شیراز است.

نتایج تغییرهای منطقی در مواد آلی خاک با کاربری‌های مختلف در منطقه‌ی مطالعه‌شده بر این اصل استوار است که در ناحیه‌هایی که پوشش گیاهی مناسب وجود دارد، اندازه‌ی مواد آلی نیز افزایش خواهد یافت. درصد مواد آلی و اندازه‌ی رس خاک دو عامل مهم مهارکننده‌ی تغییرهای ظرفیت تبادل کاتیونی خاک هستند. توزیع این ویژگی با عامل‌های مزبور همخوانی داشت. به‌طور کلی، در خاک سطحی شهری، تغییرهای مکانی کربن آلی عمدتاً با کاربرد معیارها و شیوه‌های احداث و مدیریت خاک برای منطقه‌های سبز پایدار با ماده‌ی آلی زیاد (با پوشش گیاهی) و منطقه‌های مسکونی (بدون پوشش گیاهی) رابطه‌ی مستقیم دارد (ویسرت و همکاران ۲۰۱۶؛ شچپلوا و همکاران ۲۰۱۷). افزون بر این، کیفیت خاک‌های شهری می‌تواند تحت تأثیر برخی از عامل‌ها مانند مواد اولیه، کاربری زمین، نوع و شدت مهار فعالیت‌های انسانی، بافت و واکنش خاک باشد (یانگ و ژانگ ۲۰۱۵؛ واسنو و همکاران ۲۰۱۸). یافته‌های این پژوهش با فرآیندهای مزبور همخوانی و مطابقت داشت. در منطقه‌های شهری اقدام‌های مدیریت خاک و همچنین انتقال خاک از مکان‌های خاص به منظور بهبود وضعیت بسترهای کشت، تأثیر ویژه‌ای بر مواد آلی و واکنش خاک دارد از این رو مشاهده‌ی تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) میان کاربری‌های مختلف زمین منطقی بود.

با توجه به اینکه از یک سو اندازه‌ی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با درصد مواد آلی و اندازه‌ی رس ارتباط داشت و از سوی دیگر درصد آهک به شکل موروثی ویژگی‌های خاک را مهار می‌کند، این احتمال وجود دارد که در کاربری مختلف با اندازه‌های یکسان کربنات کلسیم معادل و پوشش گیاهی متفاوت بتوان تفاوت معنی‌داری میان

سنگ‌ها بود که در نتیجه توزیع نسبتاً یکنواختی در سراسر منطقه داشت. سنگ‌های رسوبی مانند کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌ها با ماهیت ذاتی عمدتاً درشت دانه بودن توانست بر بیشتر رفتارهای خاک آبخیز شهری شیراز اثر گذار باشد. در منطقه‌ی مطالعه‌شده ویژگی‌های خاک به‌طور گسترده تحت تأثیر رسوب‌های آبرفتی بود که چنین مشاهده‌هایی قابل انتظار بود. نقشه‌ی پراکنش مواد آلی نشان‌دهنده‌ی غیر یکنواخت بودن مواد آلی در کاربری‌های مختلف زمین بود که ناشی از انتقال خاک در منطقه‌های مختلف آبخیز شهری شیراز و کشت گیاهان در سالیان پیوسته برای گسترش فضای سبز بوده است. براساس نقشه‌ی رقوم کربنات کلسیم معادل، اندازه‌های این ویژگی عمدتاً به دلیل تغییر کاربری‌های زمین نقاط نمونه‌برداری و اندازه‌های مختلف رس خاک و مواد آلی موجود در آن‌ها تغییر یافته است.

به‌طور کلی، تشکیل خاک‌های شهری تحت تأثیر اثرهای مستقیم و غیرمستقیم انسان است که منجر به ایجاد ویژگی‌ها و فرآیندهای خاصی می‌شود (یانگ و ژانگ ۲۰۱۵). اثرهای غیرمستقیم انسان شامل اثر بر عامل‌های تشکیل دهنده‌ی خاک، تغییر اندوخته‌ی مواد آلی، نیتروژن، دما و رطوبت خاک است (لورنز و لال ۲۰۱۵؛ اسمگین و همکاران ۲۰۱۲؛ ساووا و همکاران ۲۰۱۰). ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز تحت تأثیر شدت فعالیت‌های انسان که بیش از حد معمول است مانند تراکم رفت و آمد و ساخت و سازها می‌باشد. ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند قابلیت هدایت الکتریکی و تغییرهای واکنش خاک عمدتاً ثابت بیشتری دارند (واسنو و همکاران ۲۰۱۸). نقشه‌برداری رقوم اندازه‌ی سرب خاک نشان داد که آمد و شد خودروها در منطقه‌های شهری شیراز، می‌تواند توزیع این فلز سنگین را در بخش‌های مختلف بررسی‌شده تحت تأثیر قرار داده باشد. آلودگی سرب می‌تواند در منطقه‌های شهری به دلیل انتقال جوی مواد آلی حاوی سرب مانند تتراتیل و تترا متیل سرب به‌وجود آید (انجوی‌نژاد و کسرائیان ۲۰۱۴). نتایج این پژوهش نشان داد که خاک‌های شهری شیراز، منبع اصلی آلودگی فلزهای سنگین به‌ویژه سرب بود و هر چند که این عنصر به‌طور کلی در خاک و به‌ویژه در خاک‌های آهکی تحرک کمی دارد اما می‌تواند در شرایط فراهم شدن زمینه‌ی انتقال، از راه آب‌های زیرزمینی، گرد و غبار و زیست‌توده‌ی گیاهی و ورود به بدن انسان، کیفیت زندگی شهروندان را تحت تأثیر قرار دهد (پالتسوا ۲۰۲۰).

اثر کاربری زمین بر ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی سرب در این پژوهش منشأ تغییرهای مشاهده‌شده در اندازه‌های

خاک‌های آبخیز شهری نام برد که به‌وسیله‌ی بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است (پالنتسوا و همکاران ۲۰۱۸). از این رو نمی‌توان از ارزیابی اندازه‌های سرب و اثرهای پیچیده و غیرخطی ویژگی‌های خاک برای دستیابی به مدیریت پایدار غافل شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

خاک‌های آبخیز شهری در مقایسه با خاک‌های عرصه‌های طبیعی هنگام مدل‌سازی یا نقشه‌برداری رقومی با متغیرهای پرشماری به‌عنوان ورودی و در نتیجه با خروجی‌های مختلفی مواجه هستند. این امر می‌تواند مدیریت چالش‌هایی مانند آلودگی فلزهای سنگین را در مدت زمان کوتاه با وجود ارائه‌ی نقشه‌های دقیق و قابل استفاده دشوارتر کند. توزیع مکانی ویژگی‌های خاک و آلودگی سرب به خوبی با روش مدل‌های واریوگرام کروی و نمایی توصیف شده است. مدل زمین‌آماری کریجینگ برای برآورد و نقشه‌برداری رقومی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و همچنین آلودگی سرب در منطقه‌ی مطالعه‌شده مناسب بود. اگر چه در خاک‌های آبخیز شهری شیراز آلودگی سرب از معیارهای بین‌المللی معرفی‌شده بیشتر نبود، اما غلظت سرب و دیگر فلزهای سنگین نیز باید سالانه تحت پایش باشد، چونکه محیط‌های شهری در مدت زمان کوتاهی می‌توانند تغییر یابند. نکته قابل توجه آن است که در میان ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مطالعه‌شده آبخیز شهری شیراز، اندازه‌های مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی نقش ویژه‌ای در اندازه‌ی آلودگی سرب داشتند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدیریت صحیح کاربری زمین از جمله جلوگیری از تغییر کاربری‌های با پوشش گیاهی و به‌طور مشخص در آبخیز شهری شیراز؛ حفاظت از باغ‌های شهری و جلوگیری از تغییر کاربری آنها می‌تواند نقش مهمی در مدیریت کیفیت خاک ایفا کند و مهار آلودگی خاک به فلزهای سنگین از جمله سرب باید در طول زمان از اولویت‌های مدیریت آبخیزهای شهری باشد. پیشنهاد می‌شود تا با انجام پژوهش‌های بیشتر در زیست بوم‌های شهری تأثیر انواع گونه‌های گیاهی در کاربری‌های سبز، بر اندازه‌ی فلزهای سنگین در خاک بررسی شود تا با کاشت انواع گیاهان به آلودگی‌زدایی خاک کمک شود.

ویژگی‌های خاک مشاهده کرد. وجود اختلاف معنی‌دار در اندازه‌ی سرب ($p < 0.05$) میان کاربری‌های مختلف می‌تواند به‌دلیل بار ترافیکی زیاد در این مکان‌ها باشد. دلیل دیگر این یافته، می‌تواند ناشی از اختلاف بلندی و نزولات جوی غیر یکنواخت در نقاط مختلف منطقه باشد. زمین‌های بایر در مقایسه با منطقه‌هایی با پوشش گیاهی انبوه (به‌دلیل جذب بارش‌ها روی برگ‌های گیاه به جای خاک)، اندازه‌های بیشتری از آلودگی سرب را نشان دادند. عمدتاً نزدیکی و مجاورت پارک‌های شهری به مراکز حمل و نقل و کمتر بودن پوشش گیاهی آنها در مقایسه با باغ‌ها، دلیل مشاهده چنین روندی بود. همچنین تغییرهای کاربری چند سال اخیر و تبدیل باغ‌های محلی یا زمین‌های بایر به پارک‌های شهری به‌منظور گسترش فضای سبز باعث شد تا پارک‌های شهری به‌عنوان کاربری‌های آلوده در رتبه‌ی دوم شناخته شوند. به‌دلیل پوشش گیاهی انبوه، قدیمی، دیوارکشی پیرامون باغ‌ها و دور بودن نسبی از مراکز اصلی حمل و نقل خودرو، آلودگی کمتری مشاهده شد. درنهایت، زمین‌های مرتعی کوهستانی به‌علت قرار گرفتن در بلندی‌ها، در مسیر جهت باد غالب، دور بودن از آمد و شد خودرو و دیگر منابع آلاینده کمترین خاک‌های آلوده را داشتند. همچنین، پوشش گیاهی مناسب مرتعی و درختچه‌ای دلیل دیگری برای این مشاهده بود. یافته‌های این پژوهش با پژوهش‌های فان و همکاران ۲۰۱۸؛ ایکسیابوینگ و همکاران ۲۰۲۰؛ آنگباوی و همکاران ۲۰۲۱ مطابقت دارد.

رابطه‌ی میان ویژگی‌های خاک و آلودگی سرب

برخی از عامل‌های حیاتی خاک مانند واکنش خاک، مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و بافت، اندازه‌ی تحرک و زیست‌فراهمی سرب مؤثر هستند (النگباوی و همکاران ۲۰۲۱). نتایج این پژوهش نشان داد که آلودگی فلزهای سنگین سرب با اندازه‌ی آهک خاک و مواد آلی به‌طور معنی‌داری همبستگی منفی داشتند ($p < 0.01$). بنابراین، این ویژگی‌های خاک می‌توانند توزیع آلودگی فلز سنگین سرب را در منطقه تحت تأثیر قرار دهند. به‌دلیل تکامل کم خاک از مواد اولیه در این منطقه‌ها، اثرهای بافت خاک معنی‌دار نبود. درنهایت، افزایش غیر یکنواختی مکانی را می‌توان به‌عنوان ویژگی معمولی

فهرست منابع

- Alengebawy A, Abdelkhalek ST, Qureshi SR, Wang MQ. 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*. 42 p.
- Alengebawy A, Abdelkhalek ST, Qureshi SR, Wang MQ. 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*. 42 p. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>.
- Appiah SK, Aidoo EN, Owusu DA, Nuonabuor MW. 2018. Geostatistical analysis of contamination of soils in an urban area in Ghana. *International Journal of Mathematical and Computational Sciences*. 12(6):139-147. <http://scholar.waset.org/1307-6892/10009292>.
- Asemave K, Anhwange BA. 2012. Evaluation of heavy metals in waste dumpsites. Germany, Lambert Academic Publishing; 36 p. ISBN: 978-3-659-37380-0.
- Barzin M, Kheirabadi H, Afyuni M. 2015. An investigation into pollution of selected heavy metals of surface soils in Hamadan Province using pollution index. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 19(72): 69-80. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7>
- Chapman HD. 1965. Cation-exchange capacity. *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties*. 9:891-901. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c6>
- Chen T, Liu X, Li X, Zhao K, Zhang J, Xu J, Shi J, Dahlgren RA. 2009. Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a field-scale vegetable soil of Hangzhou, China. *Environmental Pollution*. 157(3):1003-1010. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.10.011>
- Cheng H, Li M, Zhao C, Li K, Peng M, Qin A, Cheng X. 2014. Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China. *Journal of Geochemical Exploration*. 139 (1):31-52. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.08.012>
- Design G. 2004. *Geostatistics for the environmental science version 7*. Gamma Design, USA. 159 p.
- Enjavinezhad SM, Kasraian A. 2014. Comparison of the distribution of heavy elements of Lead and Cadmium around two highways in Shiraz. *The 1st National Conference on Sustainable Management of Soil and Environment Resources, Kerman*. (In Persian). 8 p.
- Ersahin S. 2003. Comparing ordinary kriging and cokriging to estimate infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal*. 67(6):1848-1855. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1848>
- Fan Y, Li Y, Li H, Cheng F. 2018. Evaluating heavy metal accumulation and potential risks in soil-plant systems applied with magnesium slag-based fertilizer. *Chemosphere*. 197:382-388. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.055>
- FAO. 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014*. World Soil Resources Report No. 106. ISSS-ISRIC-FAO, Italy, Rome. 203 p.
- Golia E, Tsiropoulos NG, Dimirkou A, Mitsios I. 2007. Distribution of heavy metals of agricultural soils of central Greece using the modified BCR sequential extraction method. *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*. 87(13-14):1053-1063. <https://doi.org/10.1080/03067310701451012>
- Hazelton P, Murphy B. 2016. *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?*. CSIRO publishing. Hong AH, Law PL, Onni SS. 2014. Environmental burden of heavy metal contamination levels in

- soil from sewage irrigation area of Geriyo Catchment, Nigeria. *Civil and Environmental Research*. 6(10):118-124.
- Islam MS, Ahmed MK, Al-Mamun MH, Eaton DW. 2020. Human and ecological risks of metals in soils under different land-use types in an urban environment of Bangladesh. *Pedosphere*. 30(2):201-213 [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60395-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60395-3).
- Islam S, Ahmed K, Al-Mamun H. 2015. Distribution of trace elements in different soils and risk assessment: A case study for the urbanized area in Bangladesh. *Journal of Geochemical Exploration*. 158: 212-222. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.07.017>
- Kishe MA, Machiwa JF. 2003. Distribution of heavy metals in sediments of Mwanza Gulf of Lake Victoria, Tanzania. *Environment International*. 28(7): 619-625. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00099-5](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00099-5)
- Loeppert RH, Suarez DL. 1996. Carbonate and gypsum. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*. 5: 437-474. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c15>
- Lorenz K, Lal R. 2015. Managing soil carbon stocks to enhance the resilience of urban ecosystems. *Carbon Management*. 6(1-2):35-50. <https://doi.org/10.1080/17583004.2015.1071182>
- Mihailović A, Budinski-Petković L, Popov S, Ninkov J, Vasin J, Ralević NM, Vasić MV. 2015. Spatial distribution of metals in urban soil of Novi Sad, Serbia: GIS based approach. *Journal of Geochemical Exploration*. 150: 104-114. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.017>
- Nangia SB. 1991. *Soil pollution*. New Delhi. Ashish Publishing House.
- Nelson DW, Sommers LE. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*. 5:961-1010. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>
- Paltseva A, Cheng Z, Deeb M, Groffman PM, Maddaloni M. 2018. Variability of bioaccessible Lead in urban garden soils. *Soil Science*. 183(4):123-131. DOI: 10.1097/SS.0000000000000232
- Paltseva AA, Cheng Z, Egendorf SP, Groffman PM. 2020. Remediation of an urban garden with elevated levels of soil contamination. *Science of the Total Environment*. 722:137965p. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137965>
- Reza SK, Baruah U, Singh SK, Das TH. 2015. Geostatistical and multivariate analysis of soil heavy metal contamination near coal mining area, Northeastern India. *Environmental Earth Sciences*. 73(9): 5425-5433. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3797-1>
- Rhoades JD. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods, (methodsofsoilan3)*. pp. 417-435.
- Rhoades JD. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*. 5:417-35. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14>
- Rowell DL. 1994. *Soil science: Methods and applications*. Harlow, Essex (UK): Longman Scientific and Technical.
- Rowell, D.L. 1994. *Soil Science Methods and applications*. Longman Scientific and Technical. Harlow. Essex. UK.
- Savva Y, Szlavecz K, Pouyat RV, Groffman PM, Heisler G. 2010. Effects of land use and vegetation cover on soil temperature in an urban ecosystem. *Soil Science Society of America Journal*. 74(2): 469-480. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0107>
- Shchepeleva AS, Vasenev VI, Mazirov IM, Vasenev II, Prokhorov IS, Gosse DD. 2017. Changes of soil organic carbon stocks and CO₂ emissions at the early stages of urban turf grasses' development. *Urban Ecosystems*. 20(2):309-321. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0594-5>
- Shomali AR, Khodaverdilo H. 2012. Contamination of soils and plants along Urmia

- Salmas highway (Iran) to some heavy metals. *Journal of Water and Soil Science*. 22(3):157-172. (In Persian).
- Škrbić BD, Buljovčić M, Jovanović G, Antić I. 2018. Seasonal, spatial variations and risk assessment of heavy elements in street dust from Novi Sad, Serbia. *Chemosphere*. 205: 452-462. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.124>
- Smagin AV. 2012. *Theory and practice of soil engineering*. Moscow, MSU Press. 544 p.
- Taalab AS, Ageeb GW, Siam HS, Mahmoud SA. 2019. Some characteristics of calcareous soils. A review AS Taalab1, GW Ageeb2, Hanan S. Siam1 and Safaa A. Mahmoud1. *Middle East J. Middle East Journal of Agriculture Research* 8(1):96-105.
- Vasenev VI, Van Oudenhoven APE, Romzaykina ON, Hajiaghaeva RA. 2018. The ecological functions and ecosystem services of urban and technogenic soils: from theory to practice (a review). *Eurasian Soil Science*. 51(10):1119-1132. <https://doi.org/10.1134/S1064229318100137>
- Wang Y, Zhang X, Huang C. 2009. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma*. 150(1-2):141-149. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.021>
- Wang Z, Hong C, Xing Y, Wang K, Li Y, Feng L, Ma S. 2018. Spatial distribution and sources of heavy metals in natural pasture soil around copper-molybdenum mine in North-east China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 154:329-336. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.048>
- Weissert LF, Salmond JA, Schwendenmann L. 2016. Variability of soil organic carbon stocks and soil CO₂ efflux across urban land use and soil cover types. *Geoderma*. 271:80-90. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.014>
- Wu J, Lu J, Li L, Min X, Luo Y. 2018. Pollution, ecological-health risks, and sources of heavy metals in soil of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Chemosphere*. 201:234-242. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.122>
- Wu S, Peng S, Zhang X, Wu D, Luo W, Zhang T, Zhou S, Yang G, Wan H, Wu L. 2015. Levels and health risk assessments of heavy metals in urban soils in Dongguan, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 148:71-78. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.009>
- Xiaobing WANG, Wuxing LIU, Zhengao LI, Ying TENG, Christie P, Yongming LUO. 2020. Effects of long-term fertilizer applications on peanut yield and quality and plant and soil heavy metal accumulation. *Pedosphere*. 30(4): 555-562. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60457-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60457-0)
- Yang JL, Zhang GL. 2015. Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils—a review. *Soil Science and Plant Nutrition*. 61(sup1): 30-46. <https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1035622>
- Ye L, Tan W, Fang L, Ji L, Deng H. 2018. Spatial analysis of soil aggregate stability in a small catchment of the Loess Plateau, China: I. Spatial variability. *Soil and Tillage Research*. 179: 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.012>
- Yuan Y, Cave M, Xu H, Zhang C. 2020. Exploration of spatially varying relationships between Pb and Al in urban soils of London at the regional scale using geographically weighted regression (GWR). *Journal of Hazardous Materials*, 393: 122377pp. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122377>



Evaluation of the Effect of Land Use and Soil Properties on the Amount of Lead in Shiraz Urban Watershed Soils, Using Geostatistics and Digital Soil Mapping

Seyed Javad Naghibi^{*1}, Majid Baghernezhad², Seyed Ali Abtahi³, Ali Akbar Moosavi⁴, Mehdi Zarei⁵

1- Ph.D. Candidate, Department of Soil Sciences, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran and Head of Research and Extension of Green Space and Landscape Organization of Shiraz Municipality
2, 3 and 4- Professor, Department of Soil Sciences, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
5- Associate professor, Department of Soil Sciences, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction and Objective

urbanization has led to environmental challenges; one of these challenges is heavy metal contamination in which is a serious concern for the public health and health of watershed residents issues. One of the heavy metals that play a major role in soil pollution in urban ecosystems is Lead (Pb). Pb has been used by humans for a long time, and in recent decades, leaded gasoline is one of the main sources of this pollutant in urban watersheds. The use of digital soil mapping using the functions available in geostatistics has changed the zoning of soil pollution compared to the old methods and can lead to the optimal management of soil pollution while land use can also have a great impact on this management. The aim of this research is to determine the amount of Pb heavy metal in soil and its relationship with land use.

Materials and methods

The study area was Shiraz urban watershed with an area of 41133 hectares, as a part of the Maharloo lake watershed, located in the central part of Shiraz township, Fars province in the south of Iran. Soil moisture and temperature regims of study area are xeric and thermic respectively. The studied land

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: sj_naghibi@yahoo.com

Citation: Naghibi, S,J., Baghernezhad, M., Abtahi, S,A., Moosavi, S,A,A., Zarei, M. 2023. Evaluation of the effect of different land uses and soil physical and chemical characteristics on the amount of Lead in Shiraz urban watershed soils, using geostatistics and digital soil mapping. *Watershed Management Research*. 36(3): 62-80.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.361155.1519

Received: 17 January 2023, **Received in revised form:** 07 February 2023, **Accepted:** 19 March 2023,

Published online: 22 December 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.4, Ser. No: 141, Winter 2024, pp. 62-80.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)



uses were bare lands, urban parks, gardens and mountain range lands. In order to determine the physical and chemical properties of the soil, 30 soil samples were taken from the depth of 0 to 20 cm from each land use. Geographic information system (GIS) and spherical and exponential variogram geostatistical models were used to produce digital maps. Kriging method was also used to estimate the physical and chemical properties, and the amount of Pb.

Results and discussion

Based on the results of this research, the difference in soil chemical properties such as reaction, equivalent calcium carbonate and the amount of organic matter in different uses was significant. Also, the amount of cation exchange capacity and lead pollution was significant at the level of 0.01. The results of this research showed that in urban watershed soils of Shiraz, the amount of Pb was influenced by some chemical characteristics of the soil such as organic matter and cation exchange capacity. In the studied area in different land uses, the trend of Pb contamination was as follows: mountain range lands < gardens < urban parks < bare lands.

Conclusions and suggestions

The results of current research showed that different land uses can affect the amount of Pb. Considering the problem of soil pollution in urban watersheds and the important effect of land use on its amount, it is suggested to carry out research and urban development projects for detailed investigations of land use and its relationship with other environmental characteristics, including soil pollution. It is also suggested to carry out more local and thematic researches in urban ecosystems on the effect of various types of plant species on the amount of heavy metals in the examined soil, so that by planting that type of vegetation, soil decontamination can be helped.

Keywords: Urban watershed, lead, GIS, kriging

