بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده منابع طبیعی

توزیع مکانی مس و روی درخاکهای سطحی استان همدان با استفاده از مدل طبقه بندی و رگرسیون درختی

پایان نامه کارشناسی ارشد محیط زیست

مهناز اعرابی

اساتید راهنما
دکتر علیرضا سفیانیان
دکتر مصطفی ترکش

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده منابع طبیعی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته محیط زیست خانم مهناز اعرابی

تحت عنوان

توزیع مکانی مس و روی درخاکهای سطحی استان همدان با استفاده از مدل طبقه بندی و رگرسیون درختی

در تاریخ ۱۳۹۰/۰۶/۱۲ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر علیرضا سفیانیان
۲- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر مصطفی ترکش
۳- استاد مشاور پایان نامه	دکتر نوراله میرغفاری
۴- استاد داور	دکتر حسین خادمی
۵- استاد داور	دکتر حسین مرادی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر نوراله میرغفاری

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس مهر مطلق را که بی تحقق علم و اراده او حتی ذره ای از کائنات نعمت بودن و هست شدن را نمی یافتند.

پس از یاد خداوند بزرگ، انجام این موهبت را مدیون خانواده مهربانم هستم که در همه حال همراه و همیار من بوده و هستند.

و تشکر و قدردانی می کنم از اساتید راهنمای بزرگوار جناب آقای دکتر سفیانیان و جناب آقای دکتر ترکش که در طول انجام این پایان نامه از راهنمایی های ارزشمندشان بهره مند بوده ام. از جناب آقای دکتر میرغفاری به خاطر مشاوره های ارزنده شان قدردانی می کنم و نیز از جناب آقای دکتر خادمی و جناب آقای دکتر مرادی که زحمت باز خوانی و داوری را متقبل گشتند، قدردان و سپاسگذارم.

همچنین از دوستان گرانقدرم بویژه سرکار خانم مهندس سعیده قاسمی نژاد، سرکار خانم مهندس سهیلا براتی و تمامی عزیزانی که ذکر نامشان در این نوشته نمی گنجد، کمال تشکر و قدردانی را داشته و سعادت روزافزون آن ها را از خداوند بخشاینده خواهانم.

**کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.**

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

و

خواهر و برادر نازنینم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب.....هشت
فهرست اشکال.....دوازده
فهرست جداول ..... سیزده
چکیده ۱
فصل اول: مقدمه..... ۲
۱-۱- ضرورت و اهمیت تحقیق..... ۲
۱-۲- فرضیات تحقیق..... ۴
۱-۳- اهداف اصلی تحقیق ۴
فصل دوم: بررسی منابع..... ۵
۲-۱- آلودگی خاک ۵
۲-۲- شناسایی و پیش‌بینی آلودگی خاک ۵
۲-۳- فلزات سنگین ۶
۲-۴- منابع اصلی ورود فلزات سنگین به خاک..... ۷
۲-۴-۱- منابع طبیعی ۷
۲-۴-۲ منابع غیرطبیعی ۸
۲-۵- روی..... ۱۰
۲-۶- مس..... ۱۲
۲-۷- غلظت زمینه عناصر ۱۳
۲-۸- ارزیابی میزان آلودگی خاک با فلزات سنگین ۱۴
۲-۸-۱- شاخص زمین انباشتگی..... ۱۴
۲-۸-۲- شاخص آلودگی ۱۵
۲-۹- تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره..... ۱۵
۲-۹-۱- طبقه‌بندی تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره..... ۱۶
۲-۹-۲- عناصر تصمیم‌گیری چندمعیاره ۱۶
۲-۹-۳- مراحل تصمیم‌گیری چندمعیاره..... ۱۷
۲-۹-۴- روش‌های تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره ۱۷
۲-۹-۵- چهارچوب و ساختار تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره..... ۱۸
۲-۹-۶- سامانه اطلاعات جغرافیایی و پشتیبانی تصمیم‌گیری ۱۸
۲-۱۰- تصمیم‌گیری درختی..... ۱۹
۲-۱۰-۱- عوامل ساخت درخت ۲۰
۲-۱۰-۲- ارزیابی کلی تقسیم‌های درخت ۲۲
۲-۱۰-۳- تقسیم کردن..... ۲۲

۲-۱۰-۴- الگوریتم ساخت درخت ۲۲
۲-۱۰-۵- هرس کردن درخت ۲۳
۲-۱۰-۶- طبقه‌بندی و رگرسیون درختی ۲۴
۲-۱۱- زمین آمار ۲۵
۲-۱۱- ۱- تاریخچه زمین آمار ۲۵
۲-۱۱-۲- نظریه متغیر ناحیه ای ۲۶
۲-۱۱-۳- تجزیه و تحلیل ساختار تغییرات مکانی ۲۷
۲-۱۱-٤- مدل ایده آل واریوگرام تجربی و پارامترهای آن ۲۷
۲-۱۱-۵- مدل سازی واریوگرام ۲۸
۲-۱۱- ۶ - کنترل اعتبار واریوگرام ۳۱
۲-۱۲- روش‌های تخمین آماری ۳۱
۲-۱۲-۱- روش‌های تخمین گر زمین آمار ۳۱
۲-۱۳- کریجینگ ۳۲
۲-۱۳-۱- ویژگیهای کریجینگ ۳۳
۲-۱۳-۲- انواع کریجینگ ۳۴
۲-۱۴- استفاده از روش های زمین آماری و روش طبقه بندی و رگرسیون درختی برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک ۳۶
فصل سوم: مواد و روش ها ۴۰
۳-۱- منطقه مورد مطالعه ۴۰
۳-۲- نمونه برداری خاک ۴۳
۳-۳- تجزی‌ه خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک ۴۴
۳-۴- آنالیز آماری ۴۵
۳-٤-۱- توصیف آماری داده‌ها ٤۵
۳-٤-۲- آنالیز همبستگی ٤۵
۳-۵- تهیه مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن ٤٦
۳-٦- میان‌یابی ٤٦
۳-۷- آنالیز همبستگی مکانی ۴۶
۳-۸- همسانگردی و ناهمسانگردی ۴۶
۳-۹- برازش واریوگرام‌های تئوری ٤۷
۳-۱۰- انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی پارامترهای مستقل ٤۷
۳-۱۱- تهیه نقشه خطای پهنه‌بندی ٤۸
۳-۱۲- تولید داده‌های اولیه برای ساخت مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی ٤۸
۳-۱۳- ساخت مدل طبقه بندی و رگرسیون درختی و اعتبارسنجی مدل ۴۸
۳-۱۴- تهیه نقشه توزیع مکانی فلزات سنگین ۴۹

۳-۱۵- تعیین غلظت زمینه عناصر مورد مطالعه..... ۴۹
۳-۱۶- تعیین میزان آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه با فلزات سنگین..... ۵۰
فصل چهارم: نتایج و بحث..... ۵۱
۴-۱- آمار توصیفی پارامترهای خاک سطحی..... ۵۱
۴-۲- وضعیت توزیع پارامترهای خاک..... ۵۳
٤-۳- بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از هیستوگرام..... ٥٤
٤-٤- تهیه مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن..... ٥٤
٤-٥- آنالیز آماری مس..... ٥٦
٤-٦- آنالیز آماری روی..... ٥٦
٤-۷- همبستگی بین پارامترهای خاک سطحی..... ٥٦
٤-۸- آنالیز همبستگی مکانی..... ٥۷
٤-۸-۱- بررسی همسانگردی و ناهمسانگردی توزیع داده‌ها..... ٥۷
٤-۸-۲- تغییرنما..... ٥۸
٤-۹- توزیع مکانی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برای ساخت مدل CART..... ۶۳
۴-۱۰- ساخت مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی..... ۶۷
۴-۱۱- تهیه نقشه توزیع مکانی فلزات سنگین..... ۶۷
۴-۱۲- ارزیابی مدل و پارامترهای مستقل..... ۷۳
۴-۱۲-۱- فلز روی..... ۷۳
۴-۱۲-۲- فلز مس..... ۷۷
۴-۱۲-۳-ارزیابی مدل CART و کریجینگ..... ۸۰
۴-۱۳- برآورد غلظت زمینه عناصر مورد مطالعه..... ۸۲
۴-۱۴- ارزیابی آلودگی خاک با فلزات سنگین..... ۸۳
۴-۱۴-۱- شاخص زمین انباشتگی..... ۸۳
۴-۱۴-۲- شاخص آلودگی..... ۸۴
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۸۸
۵-۱- جمع بندی نتایج فلزات سنگین در خاک..... ۸۸
۵-۲- پیشنهادات..... ۸۹
منابع..... ۹۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱- ساختار کلی درخت تصمیم ۱۹
شکل ۲-۲- واریوگرام ایده آل به همراه پارامترهای آن ۲۸
شکل۲-۳- مدل‌های نظری واریوگرام ۳۰
شکل۳-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه استان همدان و نقاط نمونه برداری ۴۱
شکل۳-۲- نقشه الف) زمین شناسی ب) کاربری اراضی استان همدان ۴۲
شکل۳-۳- سایت نمونه برداری خاک سطحی استان همدان ۴۴
شکل۴-۱- هیستوگرام‌های مربوط به غلظت الف) مس، ب) روی، در منطقه مورد مطالعه ۵۴
شکل ۴-۲- نقشه‌های تهیه شده از مدل رقومی ارتفاعی الف) ارتفاع، ب) شیب و ج) جهات جغرافیایی ۵۵
شکل۴-۳- مدل‌های تغییرنمای سطحی فلزات سنگین خاک، الف) روی، ب) مس ۵۸
شکل۴-۴- مدل‌های تغییرنمای همه جهته فلزات سنگین خاک، الف) روی، ب) مس ۶۲
شکل۴-۵- نقشه‌های توزیع مکانی الف) اسیدیته، ب) درصد رس، ج) درصد گچ، د) درصد سیلت ۶۴
ادامه شکل ۴-۵- نقشه‌های توزیع مکانی ن) درصد شن، و) درصد آهک، ه) درصد مواد آلی و ی) هدایت الکتریکی .۶۵
شکل ۴-۶- نقشه‌های توزیع مکانی حاصل روش‌های کریجینگ الف) روی ، ب) مس ۶۶
شکل ۴-۷- نقشه‌های برآورد خطای تخمین الف) روی ، ب) مس ۶۶
شکل ۴-۸- درخت طبقه‌بندی و رگرسیونی حاصل کل داده‌ها برای پیش بینی غلظت فلز روی ۶۸
شکل ۴-۹- درخت طبقه‌بندی و رگرسیونی حاصل ۹۰٪ داده‌های ارزیابی برای پیش بینی غلظت فلز روی ۶۹
شکل۴-۱۰- درخت طبقه‌بندی و رگرسیونی حاصل کل داده‌ها برای پیش بینی غلظت فلز مس ۷۰
شکل۴-۱۱-درخت طبقه‌بندی و رگرسیونی حاصل ۹۰٪ داده‌های ارزیابی برای پیش بینی غلظت فلزمس ۷۱
شکل ۴-۱۲- نقشه نهایی توزیع مکانی فلز روی حاصل مدل طبقه بندی و رگرسیون درختی الف)۹۰٪داده‌ها، ب)کلیه داده-ها ۷۲
شکل ۴-۱۳- نقشه توزیع مکانی فلز مس حاصل مدل طبقه بندی و رگرسیون درختی الف)۹۰٪داده‌ها، ب)کلیه داده‌ها.. ۷۲
شکل۴-۱۴- نقشه طبقات توزیع مکانی غلظت فلز روی حاصل مدل طبقه بندی و رگرسیون درختی ۷۴
شکل۴-۱۵- میانگین غلظت روی (mg/kg) به تفکیک طبقات زمین شناسی ۷۶
شکل۴-۱۶- میانگین غلظت روی (mg/kg) به تفکیک کاربری اراضی ۷۶
شکل۴-۱۷- نقشه طبقات توزیع مکانی غلظت فلز مس حاصل مدل طبقه بندی و رگرسیون درختی ۷۸
شکل۴-۱۸- میانگین غلظت مس (mg/kg) به تفکیک طبقات زمین شناسی ۷۹
شکل۴-۱۹- میانگین غلظت مس (mg/kg) به تفکیک کاربری‌های اراضی ۸۰
شکل۴-۲۰- نقشه شاخص بار زمین شیمیایی الف) روی، ب) مس ۸۴
شکل۴-۲۱- نقشه توزیع مکانی شاخص آلودگی الف) روی، ب) مس ۸۶
شکل۴-۲۲- نقشه توزیع مکانی شاخص جامع آلودگی عناصر مورد مطالعه در استان همدان ۸۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۲-۱- حداکثر غلظت(mg/kg) قابل قبول فلزات سنگین برای خاکهای کشاورزی در کشورهای مختلف ۷
جدول۲-۲- میانگین غلظت برخی فلزات سنگین (mg/kg) در انواع سنگ‌ها ۷
جدول۲-۳- میانگین غلظت برخی فلزات سنگین(mg/kg) در لجن فاضلاب در تعدادی از کشورها ۹
جدول۲-۴- میانگین غلظت برخی فلزات سنگین(mg/kg) در کودهای مورد استفاده کشاورزی ۹
جدول۲-۵- میانگین غلظت برخی فلزات سنگین(mg/kg) در سنگ فسفاته مهم‌ترین کشورهای معادن فسفات ۱۰
جدول۲-۶- طبقات مختلف درجه آلودگی برای تعیین شاخص زمین انباشتگی.....۱۴
جدول ۳-۱- تعداد، مساحت و درصد هر سنگ بستر در منطقه مورد مطالعه ۴۳
جدول ۳-۲- تعداد، مساحت و درصد هر کاربری در منطقه مورد مطالعه.....۴۳
جدول ۴-۱- آمار توصیفی پارامترهای خاک و فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی.....۵۲
جدول ۴-۲- مقایسه غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه خاک استان همدان با غلظت فلزات سنگین اروپا و جهان ۵۳
جدول ۴-۳- ضریب همبستگی فلزات سنگین و پارامترهای خاک سطحی در استان همدان.....۵۹
جدول۴-۴- تغییرنما به همراه پارامترهای آن برای تهیه نقشه های توزیع پارامترهای خاک سطحی ۶۱
جدول۴-۵- آنالیز همبستگی مکانی روش‌های مختلف کریجینگ برای تهیه نقشه‌های توزیع فلزات سنگین خاک.....۶۲
جدول۴-۶- تغییرنماها به همراه پارامترهای آن برای فلزات سنگین خاک سطحی ۶۲
جدول۴-۷- طبقه‌بندی غلظت پیش‌بینی شده فلز روی(mg/kg) و درصد مساحت‌های اختصاص یافته.....۷۴
جدول۴-۸- طبقه‌بندی غلظت پیش‌بینی شده فلز مس(mg/kg) و درصد مساحت‌های اختصاص یافته ۷۸
جدول ۴-۹- ماتریس ارزیابی مدل فلز روی ساخته شده در منطقه مطالعاتی.....۸۱
جدول۴-۱۰- ماتریس ارزیابی مدل فلز مس ساخته شده در منطقه مطالعاتی..... ۸۱
جدول ۴-۱۱-آمار توصیفی غلظت عناصر(mg/kg) در خاک‌های غیر کشاورزی استان همدان ۸۲
جدول۴-۱۲- غلظت مبنای ژئوشیمیایی(mg/kg) عناصر با استفاده از معادله رگرسیونی.....۸۳
جدول۴-۱۳- غلظت زمینه (mg/kg) به دست آمده از دیگر مطالعات انجام شده ۸۳
جدول۴-۱۴ - شاخص زمین انباشتگی عناصر در منطقه مورد مطالعه ۸۴
جدول۴-۱۵- شاخص آلودگی عناصر در منطقه مورد مطالعه.....۸۶
جدول۴-۱۶- شاخص جامع آلودگی عناصر مس و روی در استان همدان.....۸۷

چکیده

در میان آلاینده‌های خاک فلزات سنگین به دلیل سمیت، تجمع پذیری و اثرات فیزیولوژیکی که بر موجودات زنده در غلظت‌های کم دارند، از اهمیت خاصی برخوردارند. این عناصر به دلیل تحرک کم به مرور در خاک انباشته می‌شوند. انباشت این عناصر در خاک در نهایت باعث ورود آن‌ها به چرخه غذایی و تهدید سلامت انسان و حیوانات می‌شود. عناصر سنگین بیشتر در لایه‌های سطحی خاک تجمع می‌یابند و در نتیجه بیشتر در معرض جذب و انتقال به گیاه قرار می‌گیرند. لذا بررسی توزیع غلظت عناصر سنگین جهت پایش آلودگی خاک و حفظ کیفیت محیط زیست ضروری است و باید مد نظر محققین و برنامه‌ریزان در سطوح مختلف مدیریتی قرار گیرد. هدف از این مطالعه ، ارزیابی توزیع مکانی مس و روی در خاک سطحی استان همدان به کمک مدل طبقه بندی و رگرسیون درختی و مقایسه با روش کریجینگ، ارزیابی میزان آلودگی خاک به این فلزات با استفاده از شاخص های زمین انباشتگی، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی می‌باشد. بدین منظور با استفاده از روش نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی، نمونه‌های خاک سطحی (۲۰-۰cm) برداشت و غلظت فلزات سنگین و برخی پارامترهای خاک از جمله pH، EC، درصد مواد آلی، درصد گچ و آهک، شن، سیلت و رس در نمونه‌های خاک تعیین گردید. نقشه‌های توزیع مکانی این پارامترها با بررسی دقت روش‌های مختلف کریجینگ، توابع شعاعی پایه و معکوس وزنی فاصله با استفاده از مقادیر خطای قدر مطلق میانگین، خطای بایاس میانگین و خطای مجذور میانگین تهیه و سپس داده‌های اولیه به منظور ساخت مدل CART از آن‌ها استخراج گردید. علاوه بر آن، از نقشه‌های ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهات جغرافیایی ونیز نقشه‌های زمین شناسی و کاربری اراضی استان همدان داده‌های مورد نیاز استخراج و در نهایت مدل CART ساخته شد. از طرفی نقشه توزیع مکانی فلز مس با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل نمایی و نقشه توزیع مکانی فلز روی با استفاده از روش کریجینگ ساده و مدل گوسی به منظور ارزیابی صحت روش کریجینگ در مقایسه با CART تهیه گردید. مناطق غربی و شمالی استان همدان به ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت عناصر مس و روی بودند. از مهمترین فاکتورهای مؤثر بر غلظت مس طبق نتایج مدل ساخته شده می‌توان به درصد شیب، درصد گچ و آهک، ارتفاع و در صد مواد آلی و از مهمترین فاکتورهای مؤثر بر غلظت روی به درصد آهک، درصد شیب، درصد شن، سیلت و نوع کاربری اراضی اشاره داشت. نتایج حاکی از صحت بیشتر مدل CART در مقایسه با روش کریجینگ به کمک شاخص‌های ضریب تبیین و میانگین مربعات خطا می‌باشد. ارزیابی وضعیت آلودگی خاک با استفاده از شاخص زمین انباشتگی با توجه به غلظت زمینه در منطقه، حاکی از آلودگی کم تا ناچیز منطقه است. بر اساس شاخص آلودگی بیش از نیمی از نقاط نمونه برداری آلودگی متوسط نسبت به هر دو عنصر مس و روی داشتند. همچنین بر اساس شاخص جامع آلودگی بیش از ۷۰٪ نمونه های خاک آلودگی متوسط با این فلزات را نشان دادند. به دلیل مطابقت نقاط با غلظت بالای عناصر با کاربری کشاورزی، محاسبه شاخص جامع آلودگی نشان داد که فعالیت‌های کشاورزی می‌تواند موجب افزایش غلظت این عناصر در خاک گردد.

واژگان کلیدی: استان همدان، سامانه اطلاعات جغرافیایی، فاکتورهای زیست‌محیطی، فلزات سنگین، مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی.

فصل اول
مقدمه

۱-۱-ضرورت و اهمیت تحقیق

فعالیت‌های بشری غالباً به صورت مثبت و بعضاً به صورت منفی بر کیفیت محیط زیست تأثیر می‌گذارد. افزایش جمعیت، کاهش منابع تولیدی و ناهنجاری‌های سیاسی اجتماعی باعث اثرات نامطلوب بر خصوصیات زیست محیطی کره خاکی شده است. از سوی دیگر فعالیت‌های بسیار متمرکز صنعتی و کشاورزی اثرات سویی بر خصوصیات زیست محیطی خاک و کیفیت آن به عنوان یکی از مهمترین منابع در دسترس نهاده است. بنابراین حفاظت از کیفیت خاک‌ها و جلوگیری از زوال آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است[۴۵]. مهمترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین، بارش‌های اسیدی و آلاینده‌های آلی می‌باشند که از این میان فلزات سنگین به واسطه غیر قابل تجزیه بودن، سمیت زیاد و اثرات تجمعی و سرطان زایی مورد توجه می‌باشند[۲۸، ۱۴۷]. هرچند این عناصر به طور طبیعی دارای غلظت کمی در خاک می‌باشند اما پراکنش جغرافیایی آن‌ها چه به صورت طبیعی و چه از طریق فعالیت‌های انسانی مشکلات و مسائلی را در بر خواهد داشت. فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع طبیعی و انسان ساخت وارد محیط زیست می‌شوند. میزان ورود این فلزات سنگین به داخل محیط زیست، متجاوز از میزانی است که به وسیله فرایندهای طبیعی برداشت می‌شوند. بنابراین تجمع فلزات سنگین در محیط زیست مورد توجه می‌باشد. ته‌نشست پسماندهای معدنی غنی از فلزات سنگین، ذوب فلزات، چرم سازی، نیروگاه‌های برق، انتشارات احتراق و سوختن سوخت‌های فسیلی، بهبود کشاورزی و اضافه کردن کودها، لجن فاضلاب و خاکستر فرار به خاک بیشترین فعالیت-های انسانی هستند که خاک‌ها را با مقادیر زیاد عناصر سمی آلوده می‌کنند[۱۰۲].

در تجزیه و تحلیل و ارزیابی آلودگی‌های زیست محیطی توده مردم و به ویژه برنامه ریزان محیط زیست نیازمند اطلاعات در زمینه موقعیت، مقدار و پراکنش آلودگی در منطقه جغرافیایی معین می‌باشند. پهنه‌بندی آلودگی‌های زیست محیطی اولین قدم در شناسایی گستره آلودگی‌ها به شمار می‌آید. برای نیل به محیط زیست پایدار، جمع‌آوری

و ارزیابی داده‌های زیست محیطی درباره وضعیت خاک به ویژه آلاینده‌های آن ضرورت دارد. نقشه‌های مشخص کننده مناطق آلوده به فلزات سنگین و یا در معرض خطر آلودگی می‌تواند اطلاعات مهمی را در زمینه انتخاب و یافتن مناطق مناسب جهت کاربری‌های استفاده از سرزمین یا پاکسازی خاک در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد[۱۶۳].

امروزه اهمیت سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و زمین‌آمار در مطالعات خاکشناسی کاملاً آشکار است. به طوری‌که با استفاده از روش‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS[1] و زمین‌آمار[2] می‌توان میزان آلودگی‌های موجود در خاک را به بهترین شکل ممکن به تصویر کشید. مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته بیشتر با آمار کلاسیک توجیه گردیده اما با توجه به عدم امکان تهیه نمونه به اندازه کافی از مناطق مورد مطالعه و همچنین بالا بودن هزینه آنالیز نمونه‌ها و وقت‌گیر بودن این‌کار و مهمتر از همه عدم محاسبه خطای تخمین در روش‌های آمار کلاسیک امروزه روش‌های زمین‌آمار با توانایی آنالیز داده‌های پیوسته از نظر زمانی و مکانی جایگزین برخی روش‌های آمار کلاسیک گردیده است که قادر به شناسایی تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌ها با دقت بالا و محاسبه خطای تخمین آن می‌باشد[۱۹۱] اما برخی دیگر از روش‌های آمار کلاسیک همچون روش تصمیم‌گیری درختی قادر به آنالیز داده‌های پیوسته و گسسته از نظر زمانی و مکانی می‌باشد که دارای برخی مزایا در مقایسه با تکنیک‌های درون‌یابی زمین‌آماری می‌باشد[۲۰۳]. اغلب مطالعات در مورد آلودگی فلزات سنگین مانند ارزیابی اثرات زیست محیطی فلزات سنگین با تعیین توزیع مکانی آن‌ها آغاز می‌شود[۷۸].

در دو دهه گذشته توسعه عمده‌ای در کاربرد GIS در محیط زیست رخ داده است. سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری توانا برای تلفیق و تحلیل مدلسازی لایه‌های اطلاعاتی مکانی است. مزیت به‌کارگیری این سیستم شامل سهولت بازیابی داده با توانایی کشف و نمایش اطلاعات کسب شده به کمک آزمون واکنش‌های بین عارضه‌ای، توانایی سنتز مقادیر زیاد داده برای آزمون مکانی، توانایی ایجاد مقیاس و تغییرات پروژه، حذف خطاها، تبدیل مختصات و قابلیت کشف و نمایش ارتباط مکانی در میان مدل‌های تجربی و آماری است. در دهه اخیر دانشمندان خاک کاربرد GIS را به عنوان ابزاری در سازماندهی داده‌ها و تصور مکانی مدل تخمین آلودگی‌های منابع غیر نقطه‌ای بکار بردند[۱۹۱].

با وجود اهمیت عناصر سنگین در بسیاری از استان‌های کشور، تحقیقاتی که بتواند توزیع فلزات سنگین در خاک را به صورت نقشه‌های کاربردی ارائه کند به ندرت انجام گرفته است. موحدی راد(۱۳۸۶) در خاک‌های سطحی بخشی از استان قم [۵۱]، صدر (۱۳۸۵) در اراضی کشاورزی، صنعتی و شهری اصفهان[۳۳]، امینی و همکاران(۲۰۰۵) در خاک‌های سطحی اصفهان[۶۱]، خسروی دهکردی (۱۳۸۷) در خاک‌های شهری، صنعتی و کشاورزی شهر اصفهان[۲۲] و بقایی (۱۳۸۲) در اطراف ذوب آهن اصفهان و مجتمع فولاد مبارکه [۷] مطالعاتی را در زمینه تغییرات مکانی برخی فلزات سنگین انجام داده‌اند. در استان همدان نیز تقی‌پور (۱۳۸۸) تغییرات مکانی برخی از فلزات سنگین را در شهرستان‌های بهار و همدان بررسی کرده است[۱۱]. گلشاهی (۱۳۸۹) و براتی(۱۳۸۹) نیز هرکدام توزیع مکانی برخی از فلزات سنگین را در خاک سطحی و تجمع آن‌ها را در تعدادی از محصولات زراعی استان همدان بررسی کرده‌اند [۶، ۴۲]، اما با این وجود در هیچ یک از استان‌های کشور مطالعه‌ای توسط روش رگرسیون و طبقه‌بندی درختی[3] به منظور بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین در خاک و تأثیر پارامترهای زیست محیطی بر توزیع مکانی آن‌ها صورت نگرفته است. لذا این تحقیق با توجه به فرضیات و اهداف زیر صورت گرفت:

---

[1] GeograpHic Information System
[2] Geostatistic
[3] Classification And Regression Tree (CART)

۱-۲-فرضیات تحقیق

- ✓ تغییرات عناصرسنگین وابسته به مکان بوده واز ساختارمکانی آنها می توان در میان یابی نقاط نمونه برداری نشده استفاده کرد.
- ✓ روش طبقه‌بندی و رگرسیون درختی در مقایسه با روش کریجینگ دقت بیشتری داشته و ابزاری مناسب برای آنالیز تغییرات مکانی فلزات سنگین مس و روی به کمک پارامترهای زیست محیطی می‌باشد.

۱-۳-اهداف تحقیق

۱. بررسی پراکنش فلزسنگین مس و روی دربخشی از خاکهای سطحی استان همدان توسط مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی

۲. بررسی تأثیر متغیرهای مکانی بر پراکنش مس و روی در خاک

۳. مقایسه روش زمین آمار کریجینگ با مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی در تهیه نقشه‌های توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان همدان

فصل دوم
بررسی منابع

۲-۱- خاک و کره زمین

از دیدگاه جهانی، پس از آب و هوا، خاک، سومین جزء عمده محیط زیست انسانی تلقی می‌شود. خاک، علاوه براینکه پایگاه موجودات خشکزی به‌ویژه جوامع انسانی است، محیط منحصر بفردی برای زندگی انواع حیات، مخصوصاً گیاهان به‌شمار می‌آید. چون گیاهان نیز عامل جذب نور خورشید بوده و گردش گاز کربنیک را در طبیعت نیز به‌عهده دارند، لذا در کلیه انواع حیات به ترتیبی پای خاک در میان است و خاک یک فراگیر آرمانی برای تجزیه و فساد مواد مرده و وازده محسوب می‌شود[۵].

تماس سودمند بین آب و خاک مورد دیگری بوده که باید به آن اشاره داشت. زیرا آب نه تنها برای بقای انواع حیات ضروری می‌باشد، بلکه در خاک به‌عنوان مهمترین عامل انتقال املاح و ترکیبات به‌کارگرفته می‌شود و نقش تعدیل‌کننده دارد[۵].

۲-۲- شناسایی و پیش‌بینی آلودگی خاک

برخلاف آب و هوا، آلودگی خاک از نظر ترکیب شیمیایی به‌آسانی قابل اندازه‌گیری نیست و یک خاک پاک یا خالص تعریف‌پذیر نمی‌باشد. حتی اگر ردیابی ترکیباتی در خاک وجود مواد زیانبخشی راتأیید نماید، نمی‌توان با قاطعیت برخلل‌پذیری کارکرد خاک صحه گذارد. از طرفی درصورتی که کارکرد طبیعی خاک مختل شده‌باشد، این اختلال را می‌توان با چشم مشاهده کرد زیرا کمیت و کیفیت محصول کاهش می‌یابد و در زه‌آب خاک، ترکیبات و عناصر نامناسب یافت می‌شوند اما دیگر برای رفع مشکل کمی دیر است زیرا زمان لازم برای تکوین واکنش‌ها و حصول شرایط تعادل در خاک، طولانی می‌باشد. نوکس و همکاران (۱۹۹۹) تعریف جدیدی از آلودگی خاک ارائه داده‌اند. به عقیده آن‌ها در صورتیکه کیفیت شیمیایی خاک به گونه‌ای تغییر کند که خاک از ترکیب نرمال خارج شده ولی تأثیرات زیان‌آوری برای موجودات زنده نداشته باشد به عنوان ناخالصی در نظر گرفته می‌شود

اما آلودگی زمانی رخ می‌دهد که ماده یا عنصر شیمیایی در نتیجه فعالیت‌های انسانی بیشتر از غلظت طبیعی وارد خاک شده و تأثیر زیان‌بخشی بر محیط زیست و اجزاء آن داشته باشد. بسیاری از نویسندگان عنوان کرده‌اند که در صورتی که غلظت آستانه موجود در خاک، سلامتی انسان، گیاه، حیوان و فرایندهای زیستی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد، خاک با عنوان آلوده در نظر گرفته می‌شود[۱۱۷].

بنابراین مسائل بالقوه آلودگی خاک باید در چارچوب پیش‌بینی خطرات و صدمات محتمل در کارکرد ناهنجار خاک مطالعه شود و بدین منظور ترکیب موادی که به خاک افزوده می‌شود از اهمیت بیشتری برخوردار است. پس از این مرحله، سرنوشت این ترکیبات در ضمن عبور و انتقال از خاک باید پیش‌بینی شود. لذا شاه‌بیت پدیده آلودگی خاک، فرایند انتقال و انباشتگی مواد و به‌ویژه ترکیبات خطرناک در خاک می‌باشد که برخی عناصر سنگین از آن-جمله می‌باشند[۵].

آلودگی خاک با فلزات سمی در مناطق معدنی و یا در مناطقی که دارای سنگ‌های غنی از فلزات است یکی از مشکلات جدی و فراگیر می‌باشد. خاک‌ها از هوازدگی سنگ‌ها و مواد معدنی ته‌نشین شده تشکیل شده و بیان‌گر واکنش بین اتمسفر، بیوسفر، لیتوسفر و هیدروسفر می‌باشند. وجود فلزات سنگین در مقادیر بالا می‌تواند برای گیاهان، حیوانات و انسان تحت شرایط خاص مضر باشد. فاکتورهایی مانند غلظت، فرم شیمیایی، اندازه ذرات، pHو EC خاک و وسعت در معرض قرارگیری با این عناصر بر میزان خطر عناصر شیمیایی خاص تأثیر می‌گذارند[۱۷۶].

۲-۳- فلزات سنگین

فلزات سنگین به فلزاتی اطلاق می‌شود که دارای چگالی نسبتاً بالا (عناصر فلزی با جرم اتمی بیشتر از آهن ۵۵/۸ گرم بر مول یا جرم حجمی بالاتر از ۰/۵گرم بر سانتی متر مکعب) بوده و در غلظت‌های کم سمی می‌باشند [۳۰]. دراین گروه یونهای فلزی سنگین قرار دارند که در کشاورزی به عناصر کمیاب موسومند و همین نامگذاری روشنگر این واقعیت است که اولاً به‌مقدار کم در خاک یافت شده و ثانیاً برای رشد گیاه و باردهی آن ضروری می‌باشند. این عناصر به ترتیب الفبایی شامل آرسنیک(As)، کادمیم(Cd)، کبالت (Co)، کروم(Cr)، مس(Cu)، جیوه(Hg)، مولیبدن(Mo)، نیکل(Ni)، سرب(Pb)، سلنیوم(Se)، وانادیوم(V) و روی(Zn) می‌باشند. با اینکه در کشورهای صنعتی برای غلظت این یون‌ها در خاک حد آستانه ای تعیین شده است، اما این حد تعمیم‌پذیر نیست زیرا اولاً مرز غلظت مجاز این عناصر در کشورهای مختلف، متفاوت بوده و ثانیاً دامنه تغییرات بین کمترین وبیشترین غلظت مجاز، گاهی به صد برابر بالغ می‌شود. حداکثر غلظت قابل قبول (MAC)[1] برای برخی فلزات سنگین با فرض اثرات سمی آن‌ها بر گیاهان در خاک‌های کشاورزی توسط برخی کشورهای صنعتی به‌منظور جلوگیری از ورود مقادیر بالای فلزات سنگین در جدول۲-۲ آمده است [۱۱۶]. عناصر سنگین در خاک وارد واکنش‌های متعددی شده و به شکل-های گوناگون از جمله شکل کربناتی، اکسیدی، تبادلی، ترکیب با مواد آلی و یا به شکل بلوری وجود دارند[۱۶۷]. شرایط اکسایش و کاهش، مقدار ماده آلی، اسیدیته، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، نوع کانی‌های رسی و قدمت آلودگی از جمله عواملی هستند که در کنترل رفتار عناصر سنگین در خاک سهم داشته و برجذب این عناصر توسط گیاهان اثرگذارند[۵۸، ۱۲۴، ۱۳۱، ۱۵۰، ۱۹۰]. بنابراین جذب عناصر سنگین در خاک‌ها با قدرت یونی و اسیدیته مختلف بسیار متفاوت می‌باشد[۱۲۴].

[1] Maximum Acceptable Concentration

جدول۲-۱- حداکثر غلظت(mg/kg) قابل قبول(MAC) فلزات سنگین برای خاکهای کشاورزی در کشورهای مختلف[۱۱۷].

فلز	کانادا	استرالیا	آلمان	انگلستان	ژاپن
مس	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰۰	۱۲۵
روی	۴۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۲۵۰
سرب	۲۰۰	۱۰۰	۵۰۰	۱۰۰	۴۰۰
کادمیم	۸	۵	۲	۱	-
کروم	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۲۰	-

۲-۴- منابع اصلی ورود فلزات سنگین به خاک

۲-۴-۱- منابع طبیعی

منابع طبیعی فلزات سنگین در محیط زیست، به سنگ‌ها و فرایندهای تشکیل دهنده آن‌ها و فرایندهایی که پس از سنگ شدن بر آن‌ها تأثیر می‌گذارد برمی‌گردد [۵۰]. فلزات سنگین موجود در خاک یا به‌صورت طبیعی و مادری در خاک وجود دارند و یا به طریق منابع آلوده‌کننده خارجی به محیط خاک وارد می‌شوند. پوسته زمین از ۹۵٪ سنگ-های آذرین و ۵٪ سنگ‌های رسوبی تشکیل شده که از این میان ۸۰٪ شیل‌ها، ۱۵٪ ماسه سنگ و ۵٪ آهک است. شیل‌ها که از رسوبات ریز تشکیل شده‌اند دارای مقادیر زیادی فلزات نادر همچون روی، مس، سرب، منگنز و کادمیم می‌باشند. بعضی از شیل‌های سیاه حاوی غلظت‌های بالایی از چندین فلز وشبه فلز مثل نقره، مس، کادمیم، سرب، آرسنیک، مولیبدن، اورانیوم و وانادیوم هستند [۱۰۶]. به طور کلی رس‌ها و شیل‌ها به دلیل توانایی جذب یون‌های فلزی، حاوی مقادیر بالایی از فلزات هستند و ماسه سنگ‌ها حاوی غلظت‌های کمی از این عناصر هستند زیرا اجزاء اصلی آن‌ها را دانه‌های کوارتز تشکیل می‌دهند که دارای اجزاء کمیاب نیستند و توانایی کمی در جذب فلزات دارند.

در حقیقت توزیع عناصر در خاک‌ها توسط چندین فاکتور شامل میزان مواد آلی، مواد مادری، زمین‌شناسی، توزیع اندازه ذرات، سن خاک، تکامل افق‌های خاک، زهکشی، پوشش گیاهی و ورود ذرات معلق تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۹۵]. جدول ۲-۲ میانگین غلظت برخی عناصر را در انواع سنگ‌ها نشان می‌دهد.

جدول۲-۲- میانگین غلظت برخی فلزات سنگین ($mg\ kg^{-1}$) در انواع سنگ‌ها [۵۸]

عنصر	پوسته زمین	سنگ آهک	ماسه سنگ	شیل	گرانیت	مافیک	آلترامافیک
سرب	۱۴	۵/۷	۱۰	۲۳	۲۴	۳	۱۴
مس	۵۰	۵/۵	۳۰	۳۹	۱۳	۹۰	۴۲
روی	۷۵	۲۰	۳۰	۱۲۰	۵۲	۱۰۰	۵۸
نیکل	۸۰	۷	۹	۶۸	۰/۵	۱۵۰	۲۰۰۰
کروم	۱۰۰	۱۱	۳۵	۹۰	۴	۲۰۰	۲۹۸۰
کادمیم	۰/۱	۰/۰۲۸	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۱۲

۲-۴-۲- منابع غیرطبیعی

منابع اصلی ورود فلزات سنگین به خاک به سه دسته صنعتی، شهری و کشاورزی که همه جزء منابع غیر طبیعی هستند تقسیم می‌شوند.

الف- منابع صنعتی و شهری

صنایعی چون تولید فولاد، تولید رنگ، تصفیه فلزات، تصفیه نفت، ریخته‌گری، تولید باتری، دباغی و غیره و معدن‌کاری از منابع تولید فلزات سنگین در طبیعت به حساب می‌آیند. غبار اتمسفری و فاضلاب صنایع و معادن نقش زیادی در آلودگی محیط زیست دارند. با افزایش فاصله از صنایع و معادن، توزیع پراکندگی عناصر سنگین به صورت مکانی تغییر می‌کند[۱۷۳]. هیان و استوانس (۲۰۰۳) اعلام کرده‌اند که آلودگی منطقه ژوژه در چین به عناصر سنگین بیشتر از طریق پراکنش زباله‌های صنعتی به اراضی کشاورزی و آبیاری با فاضلاب کارخانجات ذوب فلزات و صنایع شیمیایی بوده است[۱۰۴].

شرایط جوی نیز بر نحوه توزیع آلاینده‌ها تأثیر دارد. باران و برف با ترسیب ذرات معلق مانع انتقال آن‌ها به مسافت‌های دورتر می‌شود. انتقال انتشارات دودکش‌های کارخانجات نیز توسط باد به مسافت‌های زیاد افزایش می‌یابد. گودرزی و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی آلودگی سرب و روی در اطراف کارخانه ذوب سرب و روی در کانادا، ضمن معرفی دود خروجی از دودکش‌ها ومحل تخلیه سرباره‌های صنعتی، اعلام داشتند که نقش مکمل فرسایش و رسوبگذاری توسط باد باعث شده است که این دو منبع در مطالعه رسوبات اتمسفری حاصل از منابع بشری، نقش مهمی داشته باشند[۱۰۰].

منابع متعدد آلودگی با عناصر کمیاب در محیط‌های شهری با گرد و غبارهای جاده‌ای که ممکن است یکی از علل آن مربوط به افزایش میزان مصرف سوخت باشد، به همراه است. براساس بررسی‌های انجام گرفته در اولسو مادرید برخی از عناصر کمیاب همچون سرب، روی، کادمیم، باریوم، تیتانیوم و آنتیموان به عنوان آلاینده‌های شهری شناخته شده‌اند[۱۱۵].

ب- منابع کشاورزی

لجن فاضلاب

باتوجه به سیر صعودی افزایش جمعیت در جهان، تولید لجن فاضلاب در حال افزایش است. بخش عمده لجن فاضلاب از مواد آلی قابل تجزیه حاوی مقدار زیادی عناصر پرمصرف مانند فسفر، ازت و پتاس می‌باشد که به عنوان کود در زمین‌های کشاورزی کاربرد دارد. علاوه بر این با توجه به منبع تولیدی، لجن فاضلاب می‌تواند حاوی مقادیر متفاوتی از عناصر سنگین باشد[۹۴، ۱۹۴].

به طور کلی، بخش زیادی از عناصر سنگین تولیدشده در اثر فعالیت‌های صنعتی و شهری وارد سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب شده و درنهایت در لجن فاضلاب انباشته می‌شود. ورود پساب‌های صنعتی (به‌خصوص کارگاه‌های آبکاری فلزات و کارواش‌ها)، ورود غیر مستقیم آلودگی ناشی ار ترافیک، ورود فاضلاب های خانگی و غیره منجر به ورود عناصر سنگین به لجن فاضلاب می‌شود[۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۱۲۳، ۱۸۷]. استفاده از لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی منجر به ورود عناصر سنگین به خاک و در درازمدت موجب آلودگی خاک می‌گردد[۲۵، ۲۶، ۱۴۸، ۱۸۷]. حدود غلظت برخی از عناصر سنگین در لجن فاضلاب در تعدادی از کشورها در جدول ۲- ۳ آمده است.

کرمی(۱۳۸۲)، در تحقیقی بر روی لجن فاضلاب تصفیه خانه شاهین شهر اصفهان بیان کرد که لجن فاضلاب به علت دارا بودن عناصر پر مصرف و کم مصرف مورد نیاز گیاه می‌تواند به عنوان یک کود آلی در خاک‌های مناطق

خشک به‌کار رود اما وجود مقادیر بالای عناصر سنگین همچون آرسنیک و جیوه، استفاده از این لجن را محدود می‌کند[۳۹].

جدول۲-۳- میانگین غلظت برخی فلزات سنگین($mg\ kg^{-1}$) در لجن فاضلاب در تعدادی از کشورها[۴۰، ۱۵۴]

منطقه	سرب	کروم	کادمیم	روی	مس
آمریکا	۱۳ – ۱۹۷۳۰	۱۰ – ۹۹۰۰	۳ – ۳۴۱۰	۱۰۱ – ۲۷۸۰۰	۸۴ – ۱۰۴۰۰
کانادا	۲۶ – ۴۶۵	۶۶ – ۲۰۲۱	۲/۳ – ۱۰	۳۵۴ – ۶۴۰	۱۸۰ – ۲۳۰۰
آلمان	۱ – ۱۹۳۰	۱ – ۸۲۵	۴ – ۱۹۳	۲۵ – ۷۵۸۸	۱۷ – ۴۸۶۴
انگلستان	۱۲۰ – ۳۰۰	۴۰ – ۸۶۰۰	۶۰ – ۱۵۰۰	۷۰۰ – ۴۹۰۰	۲۰۰ – ۸۰۰۰
اسپانیا	۱۶۷ – ۲۲۳	۵۴/۴ – ۳۸۰۹	۲/۳۷ – ۱۸/۳	۸۷۱ – ۱۶۲۶	۲۰۴ – ۳۳۷
چین	۷۵/۵ – ۱۰۹/۳	۴۵/۸ – ۷۸/۴	۵/۹ – ۱۳	۷۸۳/۴ – ۳۰۹۶	۱۳۱/۲ – ۳۹۴/۵
ایران (اصفهان)	۱۸۰	–	۵	۱۸۸۵	۳۸۵

کودهای حیوانی

استفاده از کودهای حیوانی به‌طور معمول برای بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک توصیه می‌شود. این کودها بسته به نوع دام و شرایط تغذیه آن می‌توانند دارای مقادیر متفاوتی از عناصر سنگین باشند.

عناصر سنگین توسط گیاه جذب و وارد زنجیره غذایی دام‌ها می‌گردد. علاوه بر این مکمل‌های غذایی که برای دام‌ها استفاده می‌شود نیز می‌تواند حاوی عناصر سنگین باشد. ورود عناصر سنگین به زمین‌های کشاورزی در مقیاس مزرعه محاسبه می‌شود[۱۴۸، ۱۵۴]. در انگلستان استاده از کودهای حیوانی به میزانی که ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن به خاک اضافه کند، سبب ورود بیش از ۱۹۹۰ مگاگرم روی و ۶۵۰ مگاگرم مس به خاک‌های کشاورزی می‌شود.

علاوه بر عناصر مس و روی، کودهای حیوانی حاوی مقادیر قابل توجهی از کادمیوم، سرب، نیکل، کروم و آرسنیک می‌باشند[۱۵۴]. به‌طوری که مقدار کادمیوم از ۰/۱ تا ۳/۵ و برای سرب از ۲/۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک در انواع مختلف کودهای حیوانی گزارش شده است[۱۹۷]. غلظت برخی از عناصر در کودهای مختلف در جدول ۲-۴ آورده شده است.

جدول۲-۴- میانگین غلظت برخی فلزات سنگین ($mg\ kg^{-1}$) در کودهای مورد استفاده کشاورزی[۱۱۴، ۱۷۵]

عنصر	کود دامی	کود نیتراته	کود فسفاته	لجن فاضلاب
سرب	۶/۶ – ۱۵	۲ – ۲۷	۷ – ۲۲۵	۵۰ – ۳۰۰۰
مس	۲ – ۶۰	۱ – ۱۵	۱ – ۳۰۰	۵۰ – ۱۰۰
روی	۱۵ – ۲۵۰	۱ – ۴۲	۵۰ – ۱۴۵۰	۷۰۰ – ۴۹۰۰۰
نیکل	–	۷ – ۳۴	۷ – ۳۸	–
کروم	–	۰/۳ – ۲/۹	۶۴ – ۲۴۵	–
کادمیم	۰/۳ – ۰/۸	۰/۰۵ – ۸/۵	۰/۱ – ۱۷۰	۲ – ۵۰۰