

## تعیین الگوی توزیع مکانی فلز روی در خاک سطحی استان همدان با استفاده از مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی

مهناز اعرابی<sup>\*</sup>، علی‌رضا سفیانیان و مصطفی ترکش اصفهانی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۱۲)

### چکیده

خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، نوع کاربری و پوشش اراضی و فعالیت‌های انسانی بر توزیع مکانی فلزات سنگین تأثیرگذار می‌باشند. بدین منظور مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی جهت تهیه نقشه توزیع مکانی فلز روی خاک سطحی استان همدان در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی به کار گرفته شد. برای ساخت مدل رگرسیون از دو رویکرد استفاده شد. در رویکرد اول ۱۰٪ از داده‌ها جهت ارزیابی مدل به صورت تصادفی انتخاب شده و از داده‌های باقی‌مانده جهت ساخت مدل استفاده شد. در رویکرد دوم از کلیه داده‌ها برای ساخت و ارزیابی مدل استفاده شد. برای برآورد صحت مدل از ضریب تبیین و میانگین مربعات خطا استفاده شد. مدل نهایی شامل ۵۱ گره کلی و ۲۶ گره نهایی (برگ) است. مهم‌ترین پارامترهای مستقل در ساخت مدل CART برای پیش‌بینی توزیع مکانی روی به ترتیب اهمیت کربنات کلسیم، شیب، شن، سیلت، کاربری و پوشش اراضی مشخص شدند. مناطق غربی و شمالی استان همدان به ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت عنصر روی بودند. نتایج حاکی از صحت خوب مدل CART به کمک شاخص‌های ضریب تبیین و میانگین مربعات خطا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: استان همدان، سامانه اطلاعات جغرافیایی، فاکتورهای زیست‌محیطی، فلز روی، مدل طبقه‌بندی، رگرسیون درختی

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.arabi@in.iut.ac.ir

## مقدمه

تجمع فلزات سنگین در خاک‌ها به‌عنوان یک مشکل جدی در بسیاری از مناطق دنیا مطرح است. افزایش آبیاری بافاضلاب، استفاده بدون کنترل از لجن فاضلاب، کارایی و راندمان صنعتی با استفاده از آفت‌کش‌ها و کودها، رشد سریع شهرنشینی، رسوبات اتمسفری گردوغبار و آيروسول‌ها و انتشارات ناشی از وسایل حمل و نقل مهم‌ترین دلایل تجمع فلزات سنگین است. به‌علت تجزیه غیرزیستی فلزات سنگین و نیمه عمر طولانی آنها برای حذف، تجمع آنها در زنجیره غذایی اثر معنی‌داری بر روی سلامتی بشر در طولانی مدت دارد. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که بشر در معرض خطر تجمع فلزات سنگین و در نتیجه تجمع آنها در بافت‌های چربی بدن و تأثیر بر سیستم عصبی مرکزی می‌باشد هم‌چنین فلزات سنگین ممکن است در سیستم چرخه بسته‌ای مستقر شده و عملکرد عادی اعضای داخلی بدن را مختل کنند (۷).

به منظور جلوگیری از اثرات مخرب زیست محیطی و اثر بر سلامتی بشر و به منظور آزمون روش‌های ممکن احیا و بهبود زیست محیطی، شناسایی الگوی توزیع مکانی فلزات سنگین در مناطق تجمع یافته، لازم و ضروری است. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش فلز روی در خاک شامل ویژگی‌های خاکی مانند مقدار کل فلز در خاک، اسیدیته، ماده آلی، کربنات کلسیم، شرایط اکسایش و کاهش، فعالیت میکروبی در ریزوسفر، رطوبت خاک، اقلیم، غلظت دیگر عناصر کم مصرف (به‌ویژه آهن و مس) و غلظت عناصر پر مصرف به‌ویژه فسفر و نیتروژن می‌باشد (۵). کولو و همکاران (۱۲) با استفاده از روش CART (Classification And Regression Tree)، مقادیر جذب و نگره‌داری فلزات سنگین کادمیم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی را در خاک پیش‌بینی و گزارش کردند. آنها نتیجه گرفتند که جذب و نگره‌داری کروم در خاک‌ها به میزان اکسیدهای آهن و آلومینیوم، نسبت مواد آلی، درصد شن و کلریت، نسبت میزان مس به هدایت الکتریکی، مواد آلی و میزان هماتیت، مقدار سرب به هدایت الکتریکی، هماتیت و مقدار

اکسید منگنز بستگی دارد. رفتار کادمیم، نیکل و روی به میزان سیلت و رس شامل هماتیت در کادمیم، میکا در نیکل و کوارتز، گیبسیت و کلریت در روی بستگی دارد. ژانگ و همکاران (۲۲) با استفاده از مدل CART توزیع مکانی فلزسنگین مس را در کشور چین تعیین نموده و گزارش کردند که روش مذکور در مقایسه با روش کریجینگ معمولی (Ordinary kriging) صحت بیشتری دارد. آنها بیان داشتند که تجمع پایین فلز مس در خاک ناشی از پارامترهای زمینی و مواد اولیه خاک بوده در حالی که میزان بالای فلز مس در خاک‌های سطحی ناشی از کاربری‌های کشاورزی و صنعتی شدن می‌باشد. چنگ و همکاران (۱۱) با استفاده از مدل CART در استان فویانگ چین توانستند غلظت فلز مس را به‌صورت طبقه‌بندی شده درون‌یابی کنند. در این مطالعه صحت کلی (Total accuracy) روش CART برای داده‌های شاهد (Training data) برابر ۸۹/۳۹٪ و برای داده‌های ارزیابی (Test data) برابر ۸۷/۱۸٪ برآورد شد که نسبت به روش کریجینگ معمولی با صحت کلی ۴۱/۷۹٪ بسیار بالاتر بود.

با وجود اهمیت عناصر سنگین در بسیاری از استان‌های کشور، تحقیقاتی که بتواند توزیع فلزات سنگین در خاک را به‌صورت نقشه‌های کاربردی ارائه کند به ندرت انجام گرفته است. این مطالعه به معرفی روش طبقه‌بندی و رگرسیون درختی CART و کاربرد آن در تهیه نقشه پراکنش فلزات سنگین پرداخته است. در ایران مطالعاتی راجع به زمین‌آمار و محیط زیست صورت گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود، ولی در مورد روش طبقه‌بندی و رگرسیون درختی هیچ‌گونه سابقه مطالعاتی زیست‌محیطی یافت نگردید. شیرانی (۴) با جمع‌آوری ۱۵۱ نمونه خاک سطحی مشهود و تعیین غلظت سرب، روی و نیکل به بررسی تغییرات مکانی این عناصر سنگین در سه نوع کاربری شهری، صنعتی و کشاورزی پرداخت. نتایج مطالعه او نشان داد که غلظت سرب، روی و نیکل در قسمت‌های زیادی از کاربری شهری و صنعتی افزایش داشته است. نوع ماده مادری و فعالیت‌های صنعتی مهم‌ترین عوامل کنترل غلظت روی و نیکل معرفی شد. خداکرمی (۳) با

در ۳ مرحله و براساس ترکیبی از روش‌های سیستماتیک و تصادفی می‌باشد. بدین ترتیب که ابتدا استان براساس شبکه‌های ۱۰×۱۰ کیلومتر به بیش از ۲۰۰ شبکه تقسیم و محل تلاقی شبکه‌ها به‌عنوان نقاطی که می‌توانند برای نمونه‌برداری مناسب باشند در نظر گرفته شده است. در مرحله بعد با توجه به کاربرهای شهری، صنعتی، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم روستایی و طبیعی، از بین ۲۰۰ نقطه موجود که محل تلاقی شبکه ۱۰×۱۰ کیلومتر است، شبکه‌هایی که کاربری عمده آنها کشاورزی دیم و مناطق طبیعی است به‌عنوان نقاط اولیه برای نمونه‌برداری انتخاب شده‌اند. در این مرحله ۱۵۰ نقطه مشخص گردیده و باقی‌مانده نقاط تلاقی شبکه‌های ۱۰×۱۰ کیلومتری که حدوداً ۳۰ شبکه را به خود اختصاص می‌دهند براساس شبکه‌های ۵×۵ کیلومتر مجدداً شبکه‌بندی شده‌اند و محل تلاقی آنها یعنی نقاط اولیه برای نمونه‌برداری انتخاب شده است.

در کل برای تعداد ۲۷۸ نقطه کار نمونه‌برداری انجام شده است. در موقعیت هرکدام از این نقاط یک مربع ۲۰×۲۰ متر مشخص شده و در داخل آن ۳ مربع ۳×۳ متر که به‌صورت ۷ شکل قرار می‌گرفتند در نظر گرفته شده است و سپس از ۴ گوشه مربع ۲۰×۲۰ و ۴ گوشه هریک از ۳ مربع داخلی و وسط مربع‌ها نمونه‌هایی از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر برداشت شده، این نمونه‌ها با هم مخلوط و سپس به اندازه ۲ تا ۳ کیلوگرم از این نمونه‌های مخلوط شده برداشت و برای انجام آنالیزهای شیمیایی به آزمایشگاه فن‌آوری مواد معدنی ایران منتقل گردیده است. پس از عبور نمونه‌های خاک هواخشک از الک ۲ میلی‌متری خصوصیات هم‌چون بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتری، درصد مواد آلی به روش تیتراسیون با استفاده از فرسولفات آمونیوم و دی کرومات پتاسیم و اسیدسولفوریک غلیظ، EC به کمک EC متر و pH نمونه‌ها در گل اشباع خاک با استفاده از pH متر اندازه‌گیری شد (۲۱). عصاره‌گیری برای تعیین غلظت کل فلز سنگین در خاک نیز با استفاده از HCL و HNO<sub>3</sub> صورت گرفت (۱۰). غلظت عنصر سنگین روی با استفاده از دستگاه ICP-AES اندازه‌گیری شد.

استفاده از نقشه‌های کمکی GIS و سنجش از دور در بخش‌هایی از استان همدان نقشه پهنه‌بندی، احتمال آلودگی و ریسک آلودگی برخی فلزات سنگین را با هدف بررسی تأثیر کاربری اراضی کشاورزی بر غلظت فلزات سنگین بررسی کرد. نتایج این مطالعه نشان داد فلزات سنگین تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی و ساختار زمین‌شناسی قرار دارند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان همدان از استان‌های غربی کشور می‌باشد که با مساحت ۱۹۵۴۷ کیلومترمربع بین مدارهای ۳۳ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. استان همدان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی ایران بوده که از جمله محصولات عمده آن می‌توان به گندم، جو، یونجه و سیب‌زمینی اشاره کرد (۱). تشکیلات زمین‌شناسی غالب منطقه شامل تراس‌های آبرفتی مربوط به دوره زمین‌شناسی کواترنری و همین‌طور تشکیلات آهک اوریتالین و شیل و مارل مربوط به اواخر دوره کرتاسه و ماسه سنگ دگرگون شده مربوط به دوره ژوراسیک و گدازه‌های آندزیتی و سنگ آهک ریفی مربوط به اوایل نئوژن و اواخر پالئوژن می‌باشد (نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی). بخش عمده معادن استان را معادن غیرفلزی (فلدسپات و خاک‌های صنعتی، سنگ‌های گرانیت، آهکی و سیلیس) و ندرتاً مواد معدنی فلزی (سنگ آهن، سرب، روی و...) تشکیل می‌دهند (۱).

### نمونه‌برداری و تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

از آنجا که انتخاب الگوی نمونه‌برداری خاک باید منطبق با اهداف نمونه‌گیری باشد، محقق بایستی طرح نمونه‌گیری مقتضی را بر پایه صحت و اعتبار اطلاعات ویژه منطقه انتخاب کند (۱۷). در این مطالعه از روش ترکیبی زیر برای نمونه‌برداری در سال ۱۳۸۷ استفاده شده است. گزینش سایت نمونه‌برداری

توصیفی آنها به شرح زیر می‌باشد. توصیف آماری پارامترهای مستقل و پارامتر وابسته نیز در جدول ۱ آمده است.

۱. میزان اسیدیته pH: اسیدیته خاک مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر قابلیت استفاده روی برای ریشه‌های گیاه است. افزایش pH خاک سبب تشدید جذب روی در سطح ذرات خاک مانند کانی‌های رسی و اکسیدهای فلزی می‌شود. جذب سطحی روی سبب کاهش حلالیت و در پی آن کاهش قابلیت استفاده برای گیاه می‌شود (۶). بنابراین غلظت روی در محلول خاک به مقدار زیاد به pH خاک بستگی دارد.

۲. مواد آلی: در بعضی حالات با تشکیل کمپلکس‌های آلی محلول روی که در نتیجه تولید اسیدهای آلی، آمینواسیدها و اسیدفولیک حاصل می‌شود، قابلیت استفاده روی به‌خصوص در خاک‌های آهکی افزایش می‌یابد. از طرفی مواد آلی سبب تحریک رشد قارچ‌های میکوریزی شده و بدین ترتیب جذب روی توسط گیاه افزایش می‌یابد. در صورت وجود مقدار کافی ماده آلی، حلالیت و میزان پخشیدگی روی در خاک افزایش می‌یابد (۵).

۳. شوری خاک EC نتایج اغلب مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که شوری سبب افزایش غلظت روی در گیاهان مختلف شده است. هلال و همکاران (۱۵) گزارش کردند که شوری سبب افزایش غلظت روی در خاک و گیاه می‌شود. کمبود روی در خاک‌های آهکی، خاک‌های دارای pH بالا، خاک‌های شنی، آلی و نیز خاک‌هایی که برای مدت طولانی مرطوب هستند (خاک‌های شالیزاری) شایع‌تر است.

۴. درصد کربنات و سولفات کلسیم: انتقال روی از محلول خاک به سطح ریشه گیاه تحت تأثیر پخشیدگی می‌باشد. در خاک‌های آهکی ضریب پخشیدگی ۵۰ برابر کمتر از خاک‌های اسیدی است، بنابراین پویایی روی در این خاک کاهش یافته و احتمال کمبود روی افزایش می‌یابد (۲۰).

۵. بافت خاک: بافت خاک منطقه مورد مطالعه شامل درصد شن، سیلت و رس می‌باشد. در حقیقت توزیع عناصر در خاک‌ها توسط چندین فاکتور شامل میزان مواد آلی، مواد مادری

## تهیه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) (Digital Elevation Model) و مشتقات آن

به منظور بررسی تأثیر عوامل محیطی چون ارتفاع، شیب و جهت بر توزیع فلز سنگین، نقشه DEM منطقه مطالعاتی با قدرت تفکیک ۳۰ متر با استفاده از نقاط ارتفاعی، منحنی میزان‌ها و شبکه‌های آبراهه موجود در نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. سپس با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی لایه‌های شیب و جهت جغرافیایی نیز به‌دست آمد.

## ساختار مدل درخت تقسیم (Decision tree)

مدل درخت تقسیم یک مدل منطقی (استدلال استقرایی) به‌صورت انشعاب دو-دویی (Binary) است که نشان می‌دهد چگونه ارزش یک متغیر که همان متغیر هدف یا پاسخ نامیده می‌شود می‌تواند به‌وسیله ارزش‌های یک‌سری متغیر شاخص پیشگو یا مستقل، پیش‌بینی شود (۲۲). بیشترین کاربرد درخت تقسیم در مسائل رده‌بندی است که در آن یک درخت به‌عنوان مدل در فرآیند رده‌بندی ارائه می‌شود. درخت تقسیم در رده‌بندی، فضای جستجو را به نواحی مستطیلی تقسیم می‌کند و نمونه براساس ناحیه‌ای که در آن قرار دارد رده‌بندی می‌شود (۹). CART یکی از الگوریتم‌های درخت تقسیم می‌باشد. در این شیوه، متغیر هدف می‌تواند رسته‌ای یا پیوسته باشد. در مدل CART داده‌ها توسط تقسیمات دوتایی به گروه‌های کوچک‌تری تحت عنوان گره (Node) طبقه‌بندی می‌شوند. نحوه طبقه‌بندی به شیوه‌ای است که میزان همگنی در داخل گره‌ها حداکثر و بین گره‌ها حداقل باشد (۹، ۱۱ و ۲۲). بدین ترتیب خروجی مدل CART با استفاده از تقسیمات دوتایی متوالی، درختی بلند و پیچیده می‌باشد که در مرحله پایانی با عمل پس هرس کردن (Prune) و تعیین حداقل نرخ پیچیدگی (Complexity rate)، اپتیمم طول درخت تولید می‌گردد.

## توصیف و پردازش متغیرهای مستقل

۱۰ متغیر مستقل در این مطالعه استفاده گردیده که ویژگی‌های

جدول ۱. توصیف پارامترهای مستقل و پارامتر وابسته در منطقه مورد مطالعه

پارامتر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
اسیدیته	۶/۳	۸/۳	۷/۷	۰/۲
مواد آلی	۰/۰۱	۴/۳	۰/۸	۰/۶
شوری	۰/۳	۳۸/۸	۱/۷	۲/۵
٪ کربنات کلسیم	۱	۵۸	۱۹/۳	۱۰/۸
٪ سولفات کلسیم	۱/۳	۵۵/۵	۱۰/۷	۷/۲
٪ شن	۰/۳	۷۷/۴	۲۹/۵	۱۶/۱
٪ سیلت	۲/۹	۷۴/۱	۴۳/۷	۱۱/۲
٪ رس	۷/۷	۵۴/۱	۲۶/۷	۹/۱
ارتفاع	۱۵۴۰	۲۴۳۶	۱۹۱۰	۱۶۸/۵
شیب	۰/۰۴	۱۳/۷	۲	۲/۳
فلز روی (mg/kg)	۳۵	۱۲۰	۷۸/۷	۱۵/۶

#### آنالیزهای آماری و ساخت مدل

تمامی فاکتورهای محیطی با استفاده از روش‌های زمین آمار (کریجینگ) به نقشه‌های محیطی با اندازه پیکسل  $500 \times 500$  تبدیل شد. لازم به ذکر است که جهت استفاده از کریجینگ داده‌ها می‌بایستی نرمال باشند. در این مطالعه برای بررسی توزیع و تست نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ از آماره کلموگروف-اسمیرنوف (Kolmogrov-Smirnov) استفاده شد. در صورت نرمال نبودن توزیع از روش تبدیل لگاریتم و باکس کاکس (Box-Cox) برای نرمال کردن داده‌ها استفاده شد (۲). در ادامه ضریب هم‌بستگی پیرسون برای داده‌های نرمال و ضریب هم‌بستگی اسپیرمن برای داده‌های غیر نرمال (۲) بین فلز سنگین با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک با کمک برنامه رایانه‌ای SPSS15 محاسبه شد.

از دو رویکرد برای ساخت مدل CART استفاده شد. در رویکرد اول ۱۰٪ از داده‌های کل برای ارزیابی مدل به صورت تصادفی توسط نرم‌افزار SPSS 15 انتخاب شده و از داده‌های باقی‌مانده برای ساخت مدل استفاده شد (۲۲). در رویکرد دوم از کلیه داده‌ها برای ساخت و ارزیابی مدل استفاده شد (۱۹). لازم

زمین‌شناسی، توزیع اندازه ذرات، سن خاک، تکامل افق‌های خاک، زه‌کشی، پوشش گیاهی و ورود ذرات معلق تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۴). به همین جهت فاکتورهای درصد شن، سیلت و رس با هدف تأثیر آنها بر پراکنش فلز سنگین به کار گرفته شد.

۱. نقشه پوشش و کاربری اراضی: در منطقه مورد مطالعه این نقشه با ۱۱ طبقه شامل مناطق آبی، مناطق مسکونی، مناطق کاربری کشاورزی شامل (کشت گندم و جو، یونجه، سیب‌زمینی، شخم و آیش)، زمین‌های بایر، مرتع، جنگل، سنگ و صخره و شوره‌زار برای اجرای مدل CART استفاده شد.

۲. زمین‌شناسی: ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با ۵ طبقه اصلی سنگ‌های آبرفتی، سنگ‌های آذرین و دگرگونی، ماسه سنگ، شیل و مارل و سنگ‌های آهکی با هدف تأثیر آنها بر پراکنش فلز سنگین به کار گرفته شد.

۳. توپوگرافی: در این مطالعه لایه‌های ارتفاع، شیب و جهت در ۹ طبقه شامل (مناطق دشتی، شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب و شمال غرب) برای بررسی اثر آنها در پراکنش فلز روی بررسی شد.

(mg/kg) به ترتیب برابر ۲۹/۶٪ و ۲۹/۱٪ می‌باشد و کمترین مساحت مربوط به محدوده غلظت ۱۱۶-۱۲۰ (mg/kg) با ۹۴/۰٪ می‌باشد (جدول ۲). در ضمن تجمع غلظت‌های بالای فلز روی در محدوده شهرستان‌های اسدآباد، نهاوند، جنوب شرقی ملایر، جنوب غربی همدان، جنوب بهار، شمال و شمال شرقی تویسرکان و شمال غرب رزن و کمترین غلظت پیش‌بینی شده فلز روی در محدوده شمال شهرستان کبودرآهنگ دیده می‌شود (شکل ۲ و ۳).

### بحث

مدل CART می‌تواند براساس روابط درونی پارامترهای زیست‌محیطی، پراکنش مکانی فلز سنگین را انجام دهد. به کمک دنبال کردن دستورات ساخته شده توسط مدل CART می‌توان به غلظت‌های پیش‌بینی شده فلز سنگین توسط مدل دست یافت. به‌طور مثال در مدل ساخته شده زمانی که غلظت کربنات کلسیم کمتر از ۲۹/۸٪ بوده و درصد شن بزرگ‌تر از ۲۴/۴۲٪ باشد و درصد شیب بزرگ‌تر از ۴/۸۵٪ و در انشعاب بعدی مقدار شیب کمتر از ۹/۱۶٪ و غلظت مواد آلی بیشتر از ۱/۱٪ و غلظت کربنات کلسیم بزرگ‌تر از ۱۱/۶۸٪ باشد، غلظت پیش‌بینی شده فلز روی توسط مدل CART برابر ۱۱۶/۶ بوده که بالاترین غلظت پیش‌بینی شده در کل استان می‌باشد. درحالی‌که کمترین غلظت پیش‌بینی شده فلز روی توسط مدل CART هنگامی حاصل می‌شود که غلظت کربنات کلسیم بیشتر از ۲۹/۸٪ بوده و سولفات کلسیم غلظتی کمتر از ۴/۲۵٪ و اسیدیت غلظتی بیشتر از ۷/۷۲٪ را داشته باشد (بریده‌ای از شکل ۱). مشابه با نتایج به‌دست آمده در استان همدان، در مطالعه‌ای الگوی توزیع مکانی روی در خاک‌های شمال لبنان با استفاده از مدل درخت تقسیم با تعداد ۴۵ گره کلی و ۲۵ گره نهایی تعیین گردیده و این‌گونه نتیجه‌گیری گردید که اهمیت pH در تجمع روی ۸/۸٪، فاصله از مناطق حاوی پسماند ۹/۰٪، فاصله از جاده ۸/۰٪، فاصله از شهر ۵/۰٪، فاصله از خط زه‌کشی ۲۵٪، سنگ شناسی ۲۴٪، کاربری/پوشش اراضی ۱۴٪،

به ذکر است که در هر دو رویکرد، داده‌های اولیه ورودی متغیر وابسته (غلظت اولیه اندازه‌گیری شده فلز روی) به‌صورت پیوسته می‌باشد. مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی CART با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 15 تهیه شد.

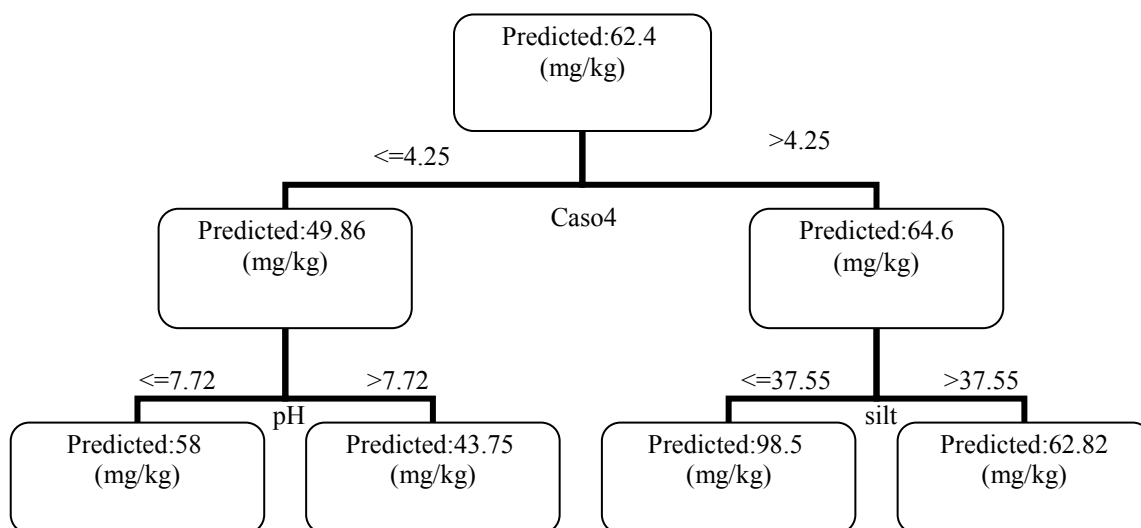
### تهیه نقشه توزیع مکانی فلز روی و ارزیابی صحت مدل

با استفاده از نتایج به‌دست آمده از مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی CART، نقشه توزیع مکانی غلظت فلز سنگین روی در خاک‌های سطحی منطقه مورد مطالعه تحت محیط ARC GIS 9.3 براساس عملیات روی هم‌گذاری (Overlay Operation) نقشه‌های حاصل از روابط تولید شده از مدل CART تهیه گردید. برای ارزیابی صحت نقشه پیش‌بینی فلز روی از شاخص‌های ضریب تبیین  $R^2$  (Determination coefficient) و میانگین مربعات خطا MSE (Mean Square Error) استفاده شد. هرچه میزان  $R^2$  به ۱ نزدیک‌تر بوده و MSE کمترین مقدار ممکن را دارا باشد، مدل از صحت بالاتری برخوردار است (۱۳).

### نتایج

مدل نهایی طبقه‌بندی و رگرسیون درختی توزیع مکانی غلظت فلز روی با تعداد ۵۱ گره کلی و ۲۶ گره نهایی (برگ) ساخته شد (شکل ۱). نتایج نشان می‌دهند که مهم‌ترین پارامترهای مستقل به ترتیب اهمیت شامل درصد کربنات کلسیم (۱۰۰٪)، درصد شیب (۴۹/۹٪)، درصد شن (۴۱/۸٪)، درصد سیلت (۴۰/۷٪)، کاربری و پوشش اراضی (۳۸/۳٪)، درصد سولفات کلسیم (۳۲/۵٪)، ارتفاع (۳۱/۸٪)، میزان اسیدیت (۲۹/۶٪)، درصد رس (۲۵/۹٪)، میزان مواد آلی (۲۲/۳٪)، ساختار زمین‌شناسی (۵/۸٪)، درصد شوری خاک (۵/۵٪) و جهات جغرافیایی (۵/۲٪) هستند.

بعد از طبقه‌بندی ۱۰ کلاس غلظت پیش‌بینی شده فلز روی توسط مدل CART که در دامنه ۴۳/۷ تا ۱۱۶/۶ (mg/kg) تغییر می‌کند، نتیجه گرفته شد که بیشترین مساحت‌ها نسبت به کل منطقه مربوط به محدوده غلظت‌های ۶۵-۷۵ و ۷۵-۸۲



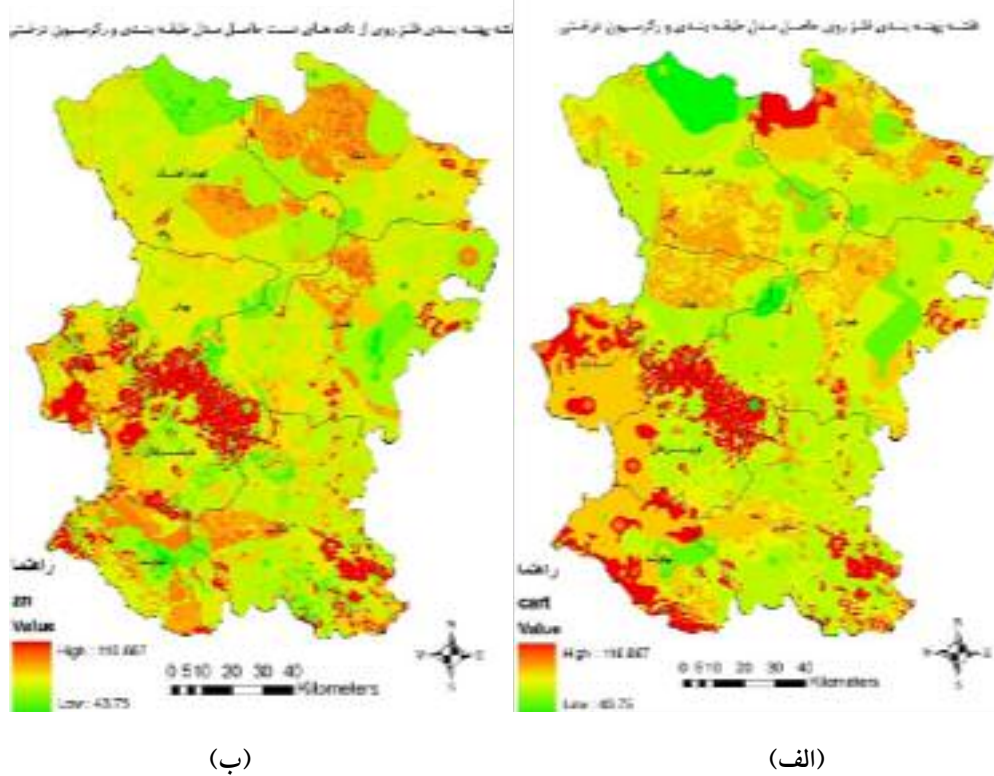
شکل ۱. بریده‌ای از مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی حاصل از کلیه داده‌ها برای پیش‌بینی غلظت فلز روی

جدول ۲. درصد مساحت طبقات غلظت پیش‌بینی شده روی

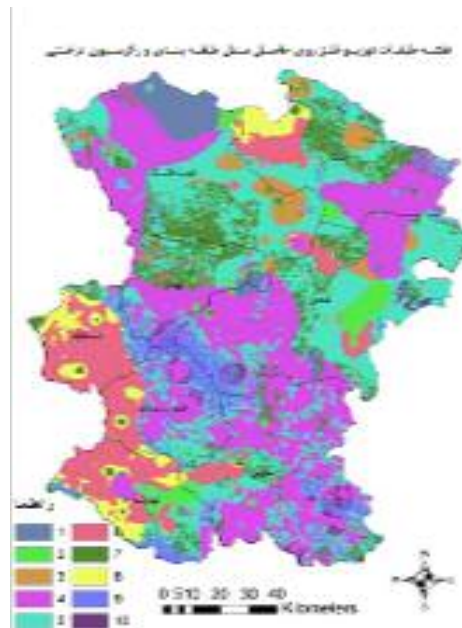
طبقات	(mg/kg) غلظت	مساحت (km <sup>2</sup> )	درصد مساحت
۱	۵۷-۴۳	۵۵۴/۴	۲/۸
۲	۶۳-۵۷	۵۲۲/۱	۲/۷
۳	۶۵-۶۳	۵۴۲	۲/۸
۴	۷۵-۶۵	۵۶۰۰	۲۸/۶
۵	۸۲-۷۵	۵۷۰۸/۲	۲۹/۲
۶	۸۷-۸۲	۲۳۰۴	۱۱/۸
۷	۹۸-۸۷	۱۹۹۸/۵	۱۰/۲
۸	۱۰۹-۹۸	۷۷۹/۲	۴
۹	۱۱۶-۱۰۹	۱۰۶۳/۵	۵/۴
۱۰	۱۲۰-۱۱۶	۱۸۰/۵	۰/۹

مناطق کشاورزی و مسکونی با اثرات انسانی می‌توانند نقش مهمی در غلظت بالای فلز روی داشته باشند. درصد سولفات کلسیم، ارتفاع، میزان اسیدیته، درصد رس و میزان مواد آلی عوامل بعدی در توزیع روی در منطقه هستند. ساختار زمین‌شناسی، میزان شوری و جهات جغرافیایی منطقه مورد

گرادیان شیب ۰/۱، هدایت الکتریکی ۰/۷، تیپ خاک ۰/۷، مواد آلی ۰/۵ و عمق خاک ۰/۵ می‌باشد (۸). در این مطالعه درصد کربنات کلسیم بیشترین اهمیت را در تقسیم اولیه منطقه دارد. درصد شیب، درصد شن و درصد سیلت عوامل مهم بعدی در تقسیم منطقه است. نوع کاربری و پوشش اراضی به‌خصوص



شکل ۲. نقشه نهایی توزیع مکانی فلز روی حاصل مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی (الف) داده‌های کل، (ب) داده‌های ارزیابی



شکل ۳. نقشه طبقات غلظت پیش‌بینی شده روی

افزایش غلظت فلز روی می‌باشد. زیگوبا و اسمودر (۱۸) در مطالعه‌ای با بررسی ۱۹۶ نمونه کود فسفات در ۱۲ کشور اروپایی میزان فلزات سنگین کودهای فسفات را اندازه‌گیری

مطالعه تأثیر کمتری را در توزیع روی نسبت به سایر عوامل در منطقه دارا می‌باشند. بیشترین میزان کود مصرفی به‌ویژه کود فسفات در شهرستان اسدآباد بین شهرستان‌های دیگر گواهی بر



جدول ۳. ماتریس ارزیابی مدل ساخته شده در منطقه مطالعاتی

MSE		R <sup>2</sup>		
داده‌های ارزیابی	کلیه داده‌ها	داده‌های ارزیابی	کلیه داده‌ها	
۱۳/۲	۸/۸	۰/۸۲	۰/۶۸	CART

ارزیابی مدل نیز باید اذعان داشت که ۸۲٪ تغییرات در فلز روی توسط مدل CART توجیه و تفسیر می‌شود (جدول ۳).

#### معایب و مزایای مدل ساخته شده

مدل طبقه‌بندی و رگرسیونی درختی برای پراکنش فلز روی در استان همدان با مساحت ۱۹۵۴۷ کیلومتر مربع ساخته شد. گرچه در این منطقه، مطالعاتی در مورد پراکنش فلزات سنگین توسط روش‌های زمین‌آمار انجام شده است اما هیچ‌کدام پارامترهای زیست‌شناسی را برای تعیین مقدار نهایی پیش‌بینی فلز سنگین دخالت نداده‌اند و تولید چنین نقشه‌ای در این منطقه مطالعاتی و در کل کشور کمیاب است. به این ترتیب تولید چنین نقشه‌هایی می‌تواند برای محققان و تصمیم‌گیران در مورد حل مشکلات زیست‌محیطی کمکی بزرگ محسوب شود.

از مزایای روش غیرپارامتری CART حساس نبودن این روش نسبت به توزیع داده‌ها می‌باشد. در این روش داده‌های پرت در گره‌ها قرنطینه شده و تأثیری در انشعابات نخواهند داشت (۲۲). مزیت دیگر آن‌که CART با مجموعه داده‌های بزرگ و ابعاد زیادتر مؤثرتر عمل می‌کند لذا می‌تواند نتایج مفیدی از تعداد زیاد متغیرهای موجود بالیست کمی از متغیرهای مهم ارائه نماید (۸). ساختار نمایشی CART به سادگی برای همه قابل فهم می‌باشد که این با نتایج رگرسیون لجستیک مغایرت دارد زیرا همواره باید یک متخصص نتایج را تفسیر و تعبیر نماید (۹).

از معایب این روش می‌توان به این موضوع اشاره کرد: در تحلیل CART در هر مرحله تنها یک متغیر اثرگذار شناخته شده و رده‌بندی نیز تنها براساس یک مقدار از آن

کردند و به این نتیجه رسیدند که بعد از فلز روی بیشترین غلظت در کودهای فسفاته را عناصر کروم و نیکل داشتند.

وجود معادن سرب و روی آهنگران در جنوب شرقی ملایر نیز در افزایش غلظت فلز روی تأثیرگذار می‌باشد. به‌طورکلی با توجه به ساختار زمین‌شناسی غالب (آذرین و دگرگونی) در مناطق با غلظت‌های بالای این عناصر و استفاده از مواد کودهای شیمیایی مختلف در زمین‌های کشاورزی، دو فاکتور زمین‌شناسی و کشاورزی علاوه بر ترکیب ژئولوژیکی مواد می‌تواند تعیین‌کننده غلظت این عناصر در خاک سطحی منطقه مورد مطالعه باشد (۱۶).

#### ارزیابی صحت نقشه پیش‌بینی فلز روی

برای برآورد صحت مدل از دو شاخص R<sup>2</sup> و MSE استفاده شد (جدول ۳). هرچه میزان R<sup>2</sup> به ۱ نزدیک‌تر بوده و MSE کمترین مقدار ممکن را دارا باشد، مدل از صحت بالاتری برخوردار است.

در حالت استفاده از کلیه داده‌ها برای ساخت مدل نمی‌توان به ارزیابی دقیقی برای صحت مدل دست یافت اما استفاده از ۱۰٪ داده‌ها می‌تواند برای ارزیابی مدل روش مناسبی باشد. در این مطالعه دو شاخص ضریب تبیین و میانگین مربعات خطا برای ارزیابی مدل ساخته شده به‌کار گرفته شد. نتایج به‌دست آمده از هر دو شاخص حاکی از آن است که در هر دو حالت استفاده از کلیه داده‌ها و استفاده از ۱۰٪ داده‌ها برای ارزیابی مدل CART این مدل نتایج خوبی را ارائه می‌دهد. به گونه‌ای که نتایج نشان می‌دهد که در حالت استفاده از کلیه داده‌ها به منظور برازش و ارزیابی مدل، ۶۸٪ تغییرات در فلز روی توسط مدل CART توجیه می‌گردد. هم‌چنین در روش تقسیم داده‌ها به منظور برازش و

متغیر صورت می‌گیرد. به علاوه محاسبه سطح اطمینان و فواصل اطمینان برای پیشگویی‌ها در این تحلیل وجود ندارد و هم‌چنین احتمال بیش برآوردی (Overfitting) نیز وجود دارد (۸ و ۹).

### منابع مورد استفاده

۱. بی‌نام. ۱۳۸۸. طرح اطلس آلاینده‌های استان همدان. بخش پایه. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. حسنی پاک، ع. و م. شرف‌الدین. ۱۳۸۴. تحلیل داده‌های اکتشافی. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
۳. خداکرمی، ل. ۱۳۸۸. ارزیابی منابع آلودگی‌های غیرنقطه‌ای کشاورزی با استفاده از RS و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. شیرانی، م. ۱۳۸۶. تغییرات مکانی سرب، کادمیم، نیکل و روی در برخی خاک‌های کشاورزی، صنعتی و شهری محدوده بزرگراه مشهد- چناران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
5. Alloway, B. J. 2006. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Online book published by the International Zinc Association, Brussels, Belgium, available at: <http://www.zinc-crops.org/> (visited 15 March 2011).
6. Barrow, N. J. and B. R. Whelan. 1998. Comparing the effects of pH on the sorption of metals by soil and goethite and on uptake by plants. *Eur. J. Soil Sci.* 49: 683-692.
7. Bocca, B., A. Alimonti, F. Petrucci, N. Violante, G. Sancassario and G. Forte. 2004. Quantification of trace elements by sector field inductively coupled plasma spectrometry in urine, serum, blood and cerebrospinal fluid of patients with Parkinson's disease. *Acta Sci. Circumst.* 59: 559-566.
8. Bou Kheir, R., M. Greve, C. Abdallah and T. Dalgaard. 2010. Assessing soil Zinc content distribution from terrain parameters: A GIS-based decision-tree model in Lebanon. *Environ. Pollut.* 158: 520-528.
9. Breiman, L., J. H. Friedman, R. A. Olshen and C. J. Stone. 1998. *Classification and Tree*. Chapman and Hall Pub., 189-133.
10. Cao, H. F., A. C. Chang and A. L. Page. 1984. Heavy metal contents of sludge-treated soils as determined by three extraction procedures. *J. Environ. Qual.* 13: 632-634.
11. Cheng, W., X. Zhang, K. Wang and X. Dai. 2009. Integrating Classification and Regression Tree (CART) with GIS for assessment of heavy metals pollution. *J. Environ Monit Assess.* 158: 419-431.
12. Covelo, E. F., J. M. Matías, F. A. Vega, M. J. Reigosa and M. L. Andrade. 2008. A tree regression analysis of factors determining the sorption and retention of heavy metals by soil. *J. Geoderma* 147: 75-85.
13. Edwards Jr, T. C., R. Cutler, N. E. Zimmermann, L. Geiser and G. G. Moisen. 2006. Effects of sample survey design on the accuracy of classification tree models in species distribution models. *Ecol. Model.* 199: 132-141.
14. Esser, K. B., J. G. Bockheim and A. Helmke. 1991. Trace element distribution in soil formed in the indian ones U.S.A., *Soil Sci.* 152: 340-350.
15. Helal, H. N., M. Abdel Monem and F. Azem. 1995. Heavy metal uptake by litalicum as affected by salt-water irrigation. *In: R. Prost (Ed.), Third international as evaluated by soil extraction and plant analysis. Comun. Soil Sci. Plant. Anal.* 27: 1355-1361.
16. Martinez, J., J. Llamas, E., De Miguel, J., Rey and M. C. Hidalgo. 2006. Determination of the geochemical background in a metal mining site: example of the mining district of Linares (South Spain). *J. Geochem. Explor.* 94 (1-3): 19-29.
17. National environmental protection. 1999. Schedule (2), Guideline on data collection, sample design and reporting.
18. Nziguheba, G. and E. Smolder. 2008. Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries. *Science. Total Environ.* 390(1): 53-57.
19. Olden, L. D., D. A. Jackson and P. R. Peres-Neto. 2002. Predictive Models of Fish Species Distributions: A Note on Proper Validation and Chance Predictions. *Am. Fish. Soc. Symp.* 131: 329-336.
20. Sedberry, J. E., F. J. Peterson, F. E. Wilson, D. B. Mengel, P. E. Schiling and R. H. Brupbacher. 1980. Influence of soil reaction and applications of zinc on yields and zinc contents of rice plants. *Comun. Soil Sci. Plant Anal.* 11: 283-295.
21. Weaver, R. W., J. S. Angel and P. S. Bottomley. 1986. *Methods of Soil Analysis, Microbiology and Biochemical Properties. Part II, Soil Science of America Inc., Wisconsin, USA.*
22. Zhang, X., F. Lin, Y. Jiang, K. Wang and M. Wong. 2008. Assessing soil Cu and content and anthropogenic influences using decision tree analysis. *J. Environ. Pollut.* 156: 1260-1267.

## Determination of Spatial Distribution Pattern of Zn in Surface Soils of Hamadan Province Using Classification and Regression Tree Model

M. Arabi\*, A. Soffianian and M. Tarkesh Esfahani<sup>1</sup>

(Received : June 14-2011 ; Accepted : Oct. 3-2012)

### Abstract

Physicochemical characteristics of soil, land cover/use and human activities have effects on heavy metals distribution. In this study, we applied Classification and Regression Tree model (CART) to predict the spatial distribution of zinc in surface soil of Hamadan province under Geographic Information System environment. Two approaches were used to build the model. In the first approach, 10% of total data were randomly selected as test data and residual data were used for building model. In the second approach, all data were used to build and evaluate the CART model. Determination coefficient ( $R^2$ ) and Mean Square Error (MSE) were applied to estimate the accuracy of model. Final model included 51 nodes and 26 terminal nodes (leaf). Calcium carbonate, slope, sand, silt and land use/cover were determined by the CART model to predict spatial distribution of Zn as the most important independent variables. The regions of western Hamadan province had the highest concentration of Zn whereas the lowest concentration of Zn occurred in the regions of northern Hamadan province. The results indicate good accuracy of CART model using  $R^2$  and MSE indices.

**Keywords:** Hamadan province, Geographic information systems, Environmental factors, Zinc, Classification, Regression Tree Model.

---

1. Dept. of Environ. Sci., College of Natur. Resour., Isf. Univ. Technol., Isfahan. Iran.

\*: Corresponding Author, Email: m.arabi@in.iut.ac.ir