

پهنه‌بندی آلودگی برگ درختان چنار (*Platanus orientalis*) و خاک‌های سطح

شهر رشت به سرب و کادمیوم

میترا امینی و اکبر فرقانی^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۲۴)

چکیده

هرگونه تغییر در ویژگی‌های هوا، خاک، آب و مواد غذایی که اثر نامطلوبی بر سلامت محیط‌زیست، فعالیت‌های بشر و سایر جانداران داشته باشد، آلودگی نامیده می‌شود. جذب فلزات سنگین از خاک توسط گیاهان بستگی به نوع و غلظت فلزات موجود در خاک، دستیابی زیستی عناصر و نوع گونه گیاهی دارد. زمین‌آمار از جمله روش‌های سریع و کم‌هزینه برای تعیین میزان آلودگی و تهیه نقشه‌های مربوطه است. این تحقیق با هدف تعیین وضعیت آلودگی خاک‌ها و برگ درختان چنار، تخمین و پهنه‌بندی فلزات سرب و کادمیوم در سطح شهر رشت به کمک روش زمین‌آمار انجام شد. برای نیل به این هدف ۱۲۶ نمونه مرکب از خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) و ۷۶ نمونه برگ از درختان چنار از خیابان‌های شهر جمع‌آوری شد و پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، غلظت کل عناصر سرب و کادمیوم در خاک‌ها و برگ‌ها توسط دستگاه جذب اتمی تعیین و درصد ذرات رس، سیلت و شن، درصد ماده آلی و pH خاک‌ها اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت‌های به دست آمده برای عناصر مورد مطالعه برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم برای سرب خاک، کادمیوم خاک و سرب گیاه به ترتیب ۸۶/۶۲، ۰/۶ و ۸/۹۹ می‌باشد. نتایج نشان داد که ۳۳/۳ درصد از داده‌های سرب خاک بالاتر از حد سمیت و در مورد سرب گیاه نیز اکثر داده‌ها به جز دو مورد از حد سمیت تجاوز کرده بودند و همچنین مقادیر کادمیوم خاک پایین‌تر از حد سمیت می‌باشند. تغییر نمای تجربی با استفاده از مدل کروی مدل‌سازی شدند. برای سرب، کادمیوم خاک، سرب گیاه و pH مدل کروی به‌روشنی و خطا در نرم‌افزار 5.1GS⁺ برازش داده شد. سپس با توجه به ساختار مکانی آن، از تخمین گر کریجینگ و IDW جهت درون‌یابی استفاده شد و نقشه تخمین توسط نرم‌افزارهای Arc GIS 9.2 ترسیم شد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌آمار، فلزات سنگین، تغییر نما، درون‌یابی، رشت

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

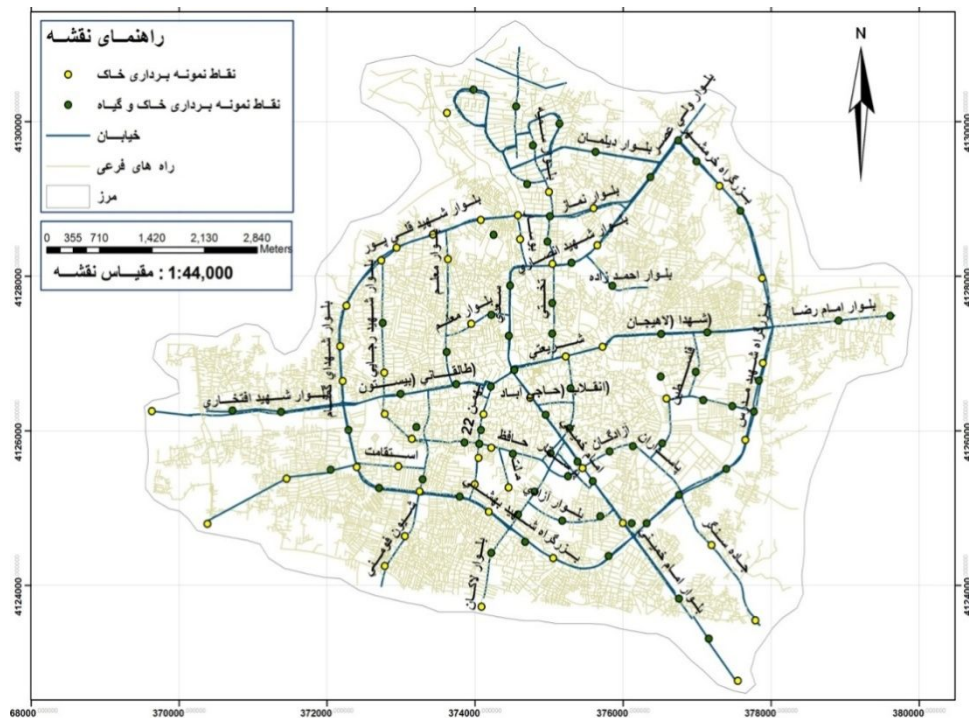
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Forghani@guilan.ac.ir

مقدمه

آلودگی را می‌توان به‌عنوان یک تغییر نامطلوب در خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هوا، آب یا زمین تعریف کرد که باعث به‌خطر انداختن سلامت، بقا و فعالیت‌های انسان و یا سایر موجودات زنده می‌شود. مواد آلوده‌کننده که وارد محیط زیست شده‌اند یا منشأ طبیعی دارند و یا در نتیجه اعمال انسان می‌باشند (۹). دو منبع برای آلودگی فلزات سنگین وجود دارد: منابع طبیعی که با زمین‌شناسی منطقه مرتبط بوده و طی هواپدگی مواد مادری وارد خاک می‌شوند، منابع انسانی شامل صنایع آهن و فولاد، معدن‌کاری، حمل‌ونقل جاده‌ای، سوزاندن پسماند و به‌ویژه استفاده از کود و مواد شیمیایی در کشاورزی از جمله منابع بسیار مهم ورود فلزات سنگین به خاک و آب در اکوسیستم‌های سطحی هستند (۱۶). بعضاً وجود چند میلی‌گرم بر کیلوگرم از این عناصر، سلامت خاک و نهایتاً انسان و موجودات را به مخاطره می‌اندازد (۱۳). درخت چنار، جنس منحصر به فرد تیره چنار یا *Platanaceae* می‌باشد. این جنس در تمام دنیا ۷-۴ گونه بیشتر نداشته، که خاستگاه اغلب آنها اروپای جنوبی و شرقی است. گونه معمولی آن (*Platanus orientalis* یا چنار شرقی)، که شاید خاستگاه اصلی اش آسیای صغیر بوده باشد به‌علت زیبایی و بلندی تنه درخت در اکثر نقاط و در اغلب پارک‌ها و جداول خیابان‌ها کاشته می‌شود (۳). عنصر سرب یکی از فلزات سنگینی است که موجب آلودگی محیط زیست می‌شود و با ایجاد آثار سمی شدید در انسان و دیگر جانداران، در آلودگی محیط‌زیست نقش دارد (۱۹). سرب به دو طریق گیاهان اطراف جاده را آلوده می‌سازد، رسوب بر روی شاخ و برگ از راه اتمسفر و رسوب در خاک و جذب آن به‌وسیله ریشه گیاهان و انتقال آن به اندام‌های فوقانی (۷). همچنین در بین فلزات سنگین، به کادمیوم توجه ویژه‌ای شده است، زیرا به راحتی به‌وسیله ریشه گیاه جذب می‌شود و سمیت آن تا ۲۰ برابر بیشتر از سایر فلزات سنگین است (۴). به‌طورکلی قابلیت استفاده کادمیوم تحت تأثیر مقدار و منشأ کادمیوم، pH، مقدار ماده آلی، مقدار و نوع رس، ظرفیت تبادل

کاتیونی و رقابت سایر عناصر به‌ویژه روی در خاک می‌باشد (۱۱). یکی از خصوصیات مشترک علوم محیطی ماهیت داده‌های آنها است. اغلب ویژگی‌های محیطی دارای پراکنشی پیوسته در مکان بوده و از سوی دیگر نمونه‌برداری و اندازه‌گیری آنها در تمامی نقاط واقع در محدوده مطالعاتی غیرممکن است. بدین ترتیب جهت توصیف و نمایش تغییرات مکانی متغیرهای مورد نظر، مقادیر آنها را می‌توان در نقاطی که نمونه‌برداری نشده‌اند، با در نظر گرفتن اطلاعات موجود از محل‌های نمونه‌برداری شده برآورد نمود (۸). امروزه به‌منظور بررسی تغییرات مکانی عناصر سنگین از تکنیک‌های زمین‌آماره استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به مطالعات آمینی و همکاران (۱۰) اشاره کرد. همچنین سامانی مجد و همکاران (۵) به بررسی آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم پرداختند و دریافتند که بین میانگین سرب و کادمیوم در فاصله ۵۰ متری خیابان‌ها و مقادیر زمینه اختلاف معنی‌داری وجود دارد و این اختلاف مربوط به تأثیر عوامل ترافیکی و حمل‌ونقل بر روی آلودگی خاک حاشیه خیابان‌هاست.

شیخ مقدسی (۶) به ارزیابی ژئواستاتیستیک کادمیوم، نیکل و سرب در خاک‌های استان گیلان پرداخت، نتایج آلودگی نسبت به این عناصر در خاک‌های استان را نشان نداد. خادم حقیقت (۳) توزیع سرب در برگ‌های چنار را در مناطق مختلف تهران نسبت به مراکز تردد خودروها بررسی کرد. نمونه برداری از میدان‌ها، خیابان‌های پر رفت و آمد و بزرگراه‌ها از فواصل ۲/۵ الی ۱۱۰ متری نسبت به محور جاده انجام گرفت و برای مطالعه پراکنده‌گی آن در ارتفاعات مختلف از سطح خیابان، نمونه‌برداری از ارتفاعات ۲، ۳، ۴ متر انجام شد. نتایج نشان داد که با ازدیاد ترافیک مقدار سرب در برگ افزایش می‌یابد. مقدار سرب در برگ‌های شستشو نشده، از ۵/۶۳ میکروگرم در گرم خشک گیاه در منطقه دور از ترافیک، به ۶۱/۹۵ میکروگرم در گرم خشک گیاه در مناطق پرترافیک رسید. نتایج حاصل از بررسی غلظت سرب، در برگ درخت چنار، در ارتفاعات مختلف از سطح خیابان، با ترافیک‌های مختلف، نشان داد که با



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه

روش نمونه‌برداری

نمونه‌برداری و عملیات میدانی مهم‌ترین گام در بررسی‌های تغییرات مکانی خصوصیات خاک می‌باشد. ابتدا نقشه ۱:۶۰۰۰ شهرستان رشت تهیه و با شبکه‌بندی منظم تعداد ۱۲۶ نمونه با حداقل فاصله ۱۰۰ متر و حداکثر فاصله ۲۰۰۰ متر به صورت مرکب از مجموع ۳ نقطه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. یک نمونه شاهد نیز از پارک قدس شهرستان رشت با فرض آلودگی کمتر انتخاب و برداشت شد. همچنین در این مطالعه از برگ درختان چنار استفاده شد زیرا در اکثر خیابان‌های شهر این درخت وجود دارد و سایر درختان در بعضی از خیابان‌ها اصلاً وجود ندارد. جهت نمونه‌برداری برگ‌ها از درختان تقریباً هم‌سن در حدود ۳۵ سال و از ارتفاع تقریباً یکسان تعداد ۷۶ نمونه با حداقل فاصله ۲۰۰ متر و حداکثر فاصله ۲۰۰۰ متر از حاشیه خیابان‌ها شهرستان رشت جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. برگ‌ها با اسیدکلریدریک رقیق (۱/۰ مولار) و آب مقطر شسته و سپس در آن در دمای ۷۰°C قرار داده شد. پس از خشک شدن آسیاب و پودر

زیاد شدن ارتفاع، مقدار سرب در کلیه نمونه‌ها کاهش یافت. بنابراین گیاهانی که در ارتفاع کمتر از سطح زمین قرار دارند، در معرض آلودگی بیشتر به سرب هستند.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی با وسعتی در حدود ۵۲/۳۷ کیلومتر مربع با متوسط ارتفاع ۶/۹- متر از سطح دریا در سیستم متریک بین طول‌های ۳۷۱۳۷۸ تا ۳۷۸۹۱۲ و عرض‌های ۴۱۴ تا ۴۱۳۰۴۱۴ جغرافیایی قرار دارد (شکل ۱). میانگین سالانه دمای شهرستان رشت ۱۹/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، میانگین سالانه رطوبت نسبی هوا ۸۱/۹ درصد، میانگین سرعت باد ۱/۴ متر بر ثانیه و جهت باد غالب منطقه در تمام ماه‌ها به جز خرداد، تیر و مرداد که ۴۵ درجه (شمال شرقی) می‌باشد، ۲۷۰ درجه (غربی) است. میانگین بارندگی سالانه شهرستان ۱۱۲۶/۵ میلی‌متر است (۱).

جدول ۱. خلاصه آماری داده‌های خاک و گیاه

| متغیر | واحد اندازه‌گیری | میانگین | حداقل | حداکثر | واریانس | چولگی | کشیدگی | ضریب تغییرات (%) |
|-------------|------------------|---------|----------------------|--------|----------------------|-----------------------|--------|------------------|
| سرب خاک | ppm | ۸۶/۶ | ۰/۶ | ۲۶۳/۲ | ۴۲۸۷/۵ | ۰/۷ | -۰/۶ | ۷۵/۶ |
| کادمیوم خاک | ppm | ۰/۶ | $0/1 \times 10^{-1}$ | ۲/۸ | ۰/۵ | ۱/۶ | ۱/۵ | ۱۲۱/۷ |
| سرب گیاه | ppm | ۹ | ۰/۱ | ۱۷ | ۱۶/۳ | -۰/۴ | -۰/۳ | ۴۴/۸ |
| pH | - | ۷ | ۶/۵ | ۷/۴ | $0/2 \times 10^{-1}$ | -۰/۸ | ۰/۹ | ۲ |
| ماده آلی | % | ۳/۲ | ۰/۷ | ۶/۴ | ۱/۷ | $-0/2 \times 10^{-1}$ | ۰/۳ | ۴۰ |
| درصد رس | % | ۱۲ | ۴/۶ | ۲۰/۹ | ۲۰/۷ | ۰/۳ | -۰/۸ | ۳۸ |
| درصد شن | % | ۶۷/۷ | ۴۱/۸ | ۹۵ | ۱۲۳ | -۰/۲ | ۰/۱ | ۱۶/۴ |
| درصد سیلت | % | ۲۰/۲ | ۰/۴ | ۴۴ | ۶۱ | ۰/۱ | ۱/۲ | ۳۸/۶ |

و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد.

معنی‌داری چولگی استفاده شد.

تجزیه خصوصیات شیمیایی خاک و برگ

نمونه‌های خاک هواخشک‌شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و برای آنالیز آماده گردیدند. به‌منظور تعیین غلظت کل عناصر سرب و کادمیوم، نمونه‌های خاک در ۴ مرحله با اسید نیتریک چهارمولار هضم (۲۱) و توسط دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی قرائت شدند. pH نمونه‌ها در عصاره ۱ به ۲/۵ خاک به محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم (۲۰) اندازه‌گیری شد. از کل نمونه‌ها ۵۰ نمونه به‌عنوان نماینده از هر منطقه انتخاب و بافتخاک (درصدشن، سیلتورس)، به‌روش هیدرومتری (۱۲) و درصد مواد آلی به‌روش والکی-بلک (۲۰) در آنها تعیین شدند. اندازه‌گیری میزان سرب و کادمیوم کل در برگ گیاهان به روش سوزاندن خشک انجام شد (۱۷).

تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماري

در این مطالعه پس از برازش مدل مناسب بر تغییر نما در نرم‌افزار GS⁺ و کنترل اعتبار پارامترهای آن، برای تخمین سرب که دارای ساختار قوی و پیوستگی مکانی بودند از کریجینگ معمولی به‌عنوان تخمین‌گر شد. همچنین نقشه تخمین کریجینگ و IDW در نرم‌افزار Arc GIS 9.2 ترسیم شد. در این تحقیق ارزیابی مدل‌های برازش شده و برآوردها با محاسبه آماره میانگین مطلق اشتباهات MAE، میانگین خطا ME، ریشه میانگین مربعات خطا RMSE انجام شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها

داده‌های حاصل از آزمایشات تحت تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و در جدول ۱ نمایش داده شد. با توجه به آمار توصیفی متغیرها میانگین سرب خاک برابر ۸۶/۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که این مقدار پایین‌تر از آستانه سمیت و بالاتر از آستانه هشدار می‌باشد. در مورد کادمیوم خاک نیز میانگین برابر ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد که در این مورد نیز پایین‌تر از حد سمیت و هشدار به‌دست آمد (۱۴ و ۱۸). میانگین pH خاک

تجزیه و تحلیل‌های آماری

آماره‌های میانگین، واریانس، حداقل، حداکثر، ضریب چولگی، کشیدگی و ضریب تغییرات متغیرهای مورد مطالعه توسط نرم‌افزار SPSS 16 تعیین گردید. با توجه به این‌که داده‌ها از نوع کمی پیوسته بوده‌اند برای آزمون همبستگی از ضریب همبستگی پیرسون و همچنین برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون

جدول ۲. ماتریس همبستگی بعضی صفات خاک با عناصر سنگین

| متغیر | سرب خاک | کادمیوم خاک | ماده آلی |
|-------------|---------|-------------|----------|
| سرب خاک | ۱ | | |
| کادمیوم خاک | ۰/۲۶۹ | ۱ | |
| ماده آلی | ۰/۶۵۴** | ۰/۱۵۷ | ۱ |

** : معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪

جدول ۳. پارامترهای مدل‌های برازش شده بر تغییرنمای متغیرها

| متغیر | مدل | اثر قطعه‌ای | حد آستانه | دامنه تأثیر | R ^۲ | RSS | $\frac{C_o}{C+C_o} \times 100$ | ME | MAE | RMSE |
|-------------------|------|--------------------|----------------------|-------------|----------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|------|------|
| سرب خاک | کروی | ۲/۵ | ۱۱/۲ | ۷۰۰ | ۰/۹ | ۳/۷ | ۲۲/۳ | ۱/۴ | ۵۳/۸ | ۶۷/۵ |
| سرب گیاه | کروی | ۰ | ۱۷/۴ | ۷۰۰ | ۰/۷ | ۱۴/۶ | ۰ | -۰/۳ | ۳/۸ | ۴/۷ |
| کادمیوم خاک | کروی | ۱/۱ | ۱/۸ | ۳۵۰ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۵۹/۵ | ۱/۵ | ۱/۷ | ۲/۲ |
| کادمیوم خاک (IDW) | کروی | ۱/۱ | ۱/۸ | ۳۵۰ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۵۹/۵ | ۰/۳ | ۰/۷ | ۱ |
| PH خاک | کروی | 5×10^{-3} | $2/4 \times 10^{-2}$ | ۴۵۵ | ۰/۶ | $4/07 \times 10^{-5}$ | ۲۰/۸ | 3×10^{-3} | ۰/۱۲ | ۰/۱۶ |

R^۲ (ضریب تبیین)، RSS (کمترین مجموع مربعات)، (نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه)، ME (میانگین خطای تخمین)، MAE (میانگین مطلق اشتباهات)، RMSE (مجذور میانگین مربعات خطای تخمین)

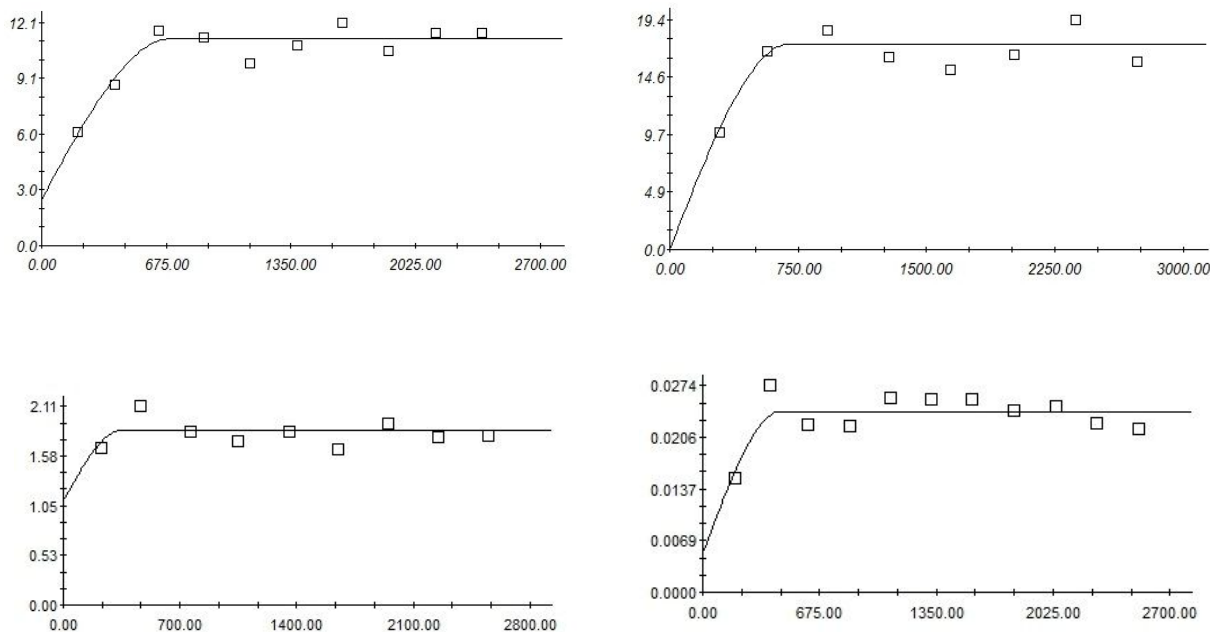
سطح ۱٪ همبستگی مثبت دارد. وو و ژانگ (۲۲) نیز به وجود رابطه همبستگی مثبت معنی‌دار بین ماده آلی و میزان سرب خاک اشاره کرده و دلیل آن را تأثیر جذب قوی عناصر توسط ماده آلی عنوان کردند.

توزیع مکانی فلزات سنگین

برای درون‌یابی هر چهار متغیر از کریجینگ معمولی استفاده شد. در مورد کادمیوم خاک که ساختار مکانی قوی نداشت از تخمین گر IDW نیز استفاده شد. بر طبق جدول ۳ مقادیر میانگین خطای تخمین و میانگین مطلق اشتباهات برای اسیدیته خاک نزدیک به صفر می‌باشد که نشان از دقت بالای روش تخمین است و مجذور مربعات خطای تخمین نزدیک مقدار کمتری از یک داشت. در مورد کادمیوم و سرب نیز مقادیر این سه معیار از مقدار ایده‌آل فاصله داشت. ولی در مورد کادمیوم بر

منطقه نیز ۷/۰۵ می‌باشد. در خاک شاهد مقدار عناصر در مورد هر دو متغیر کمتر از مقادیر میانگین دیگر داده‌ها بود که احتمالاً مقدار کم سرب در خاک شاهد ناشی از مواد مادری بوده است و همچنین ۹۴ درصد از داده‌ها مقدار سرب بالاتر از شاهد داشتند. مقادیر کادمیوم گیاه ناچیز بوده و به همین دلیل تنها به گزارش مقادیر سرب اکتفا می‌شود. بر طبق جدول ۱، میانگین سرب برگ‌ها برابر ۸/۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که این مقدار از حد مجاز سمیت بالاتر می‌باشد.

داده‌های سرب و کادمیوم و اسیدیته خاک از توزیع نرمال پیروی نکردند. سرب و کادمیوم نرمال گردید ولی اسیدیته به علت اینکه نزدیک به نرمال بود از نرمال کردن آن صرف‌نظر شد. داده‌های سرب گیاه از توزیع نرمال پیروی کردند، در نتیجه نیازی به نرمال کردن آنها نبود. چنانچه در جدول ۲ نشان داده شده است، سرب خاک با ماده آلی با حذف ۴ داده پرت در

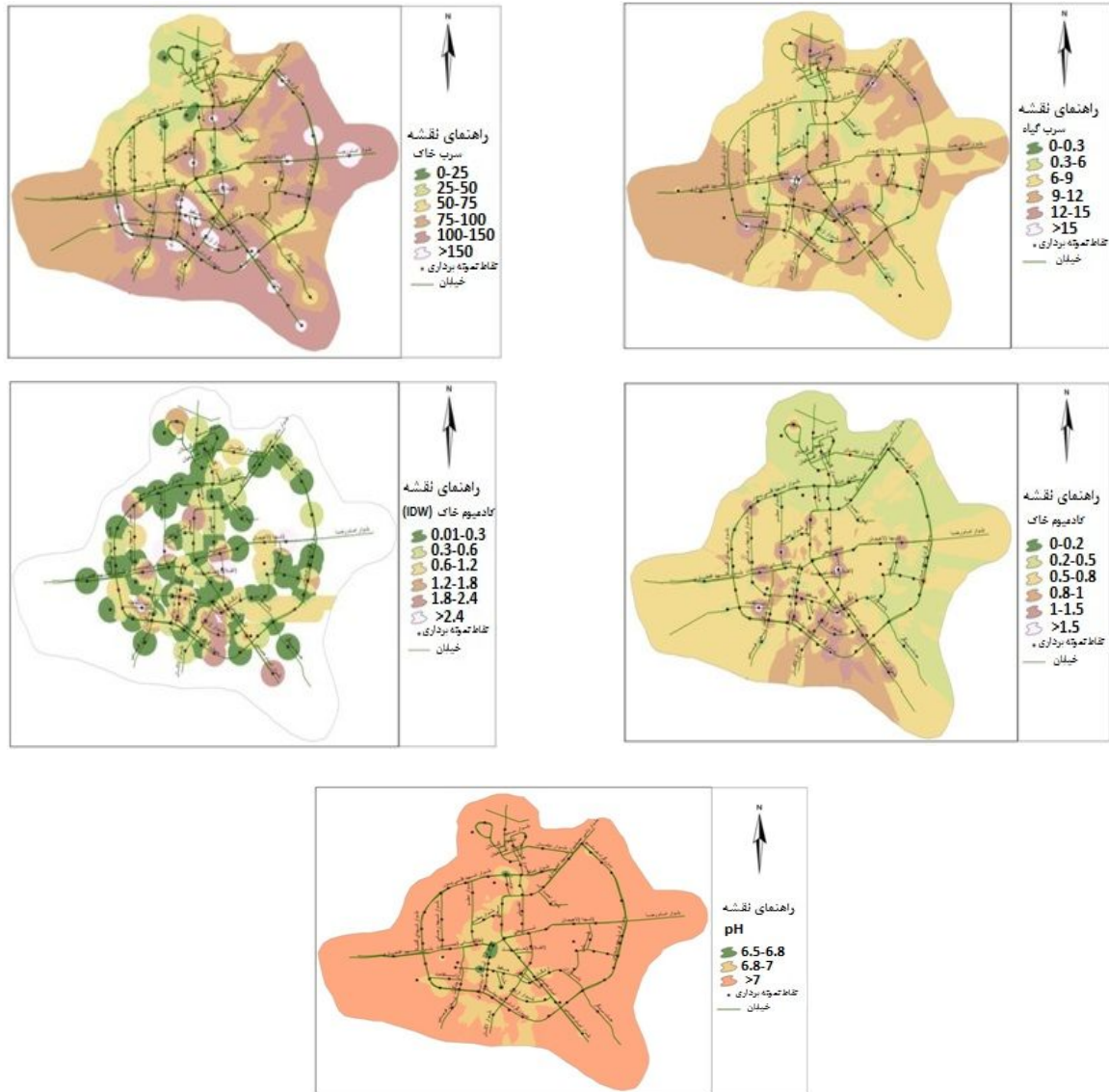


شکل ۲. تغییر نمای تجربی و مدل‌های برازش داده شده (به ترتیب از چپ به راست) بر داده‌های سرب خاک، سرب گیاه، کادمیوم و pH خاک

واریانس کل می‌باشد و واریانس بخش ساختاردار ۷۷/۷ درصد از واریانس کل را تشکیل می‌دهد. در نتیجه سرب خاک در این منطقه بیشتر تحت تأثیر فرآیندهای ذاتی خاک و کمتر تحت تأثیر عوامل مدیریتی قرار دارد. هوکر و ناتانیل (۱۵) نقشه آلودگی و نقشه خطر عنصر سرب را در اطراف شهر ولورهمپتون در انگلستان تهیه کردند. الگوی کروی بهترین برازش داده شده برای داده‌های آنها بود. مدل برازش شده بر تغییر نمای کادمیوم مدل کروی بود. نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه برابر ۵۹/۵ درصد می‌باشد. کلاس وابستگی مکانی متوسط است. اثر قطعه‌ای برابر ۱/۱ و حد آستانه برابر ۱/۸۵ و دامنه تأثیر برابر ۳۵۰ متر می‌باشد. امینی و همکاران (۱۰) در بررسی آلودگی کادمیوم در غرب اصفهان، مدل کروی را بر تغییر نمای این عنصر برازش دادند. مدل برازش شده بر تغییر نمای pH خاک، مدل کروی بود. دامنه تأثیر تغییر نما ۴۵۵ متر، کلاس وابستگی مکانی قوی، نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه ۲۰/۸ درصد می‌باشد و تغییرات pH خاک تحت تأثیر هر دو

طبق نتایج این سه معیار ارزشیابی روش IDW مناسب‌تر از روش کریجینگ است.

در مورد سرب گیاه مقدار میانگین خطای تخمین نشان از نا اریب بودن تخمین می‌باشد. دو معیار میانگین مطلق اشتباهات و مجذور میانگین مربعات خطای تخمین نشان می‌دهند که این روش مناسب نبوده است، اگر مقدار MAE سرب گیاه بر میانگین داده‌های سرب گیاه تقسیم شود و در ۱۰۰ ضرب شود، مقدار خطای ۴۲ درصد به دست می‌آید که این مقدار خطا قابل قبول نمی‌باشد. در مورد سرب خاک نیز اگر مقدار MAE سرب خاک بر میانگین داده‌های سرب خاک تقسیم شود و در ۱۰۰ ضرب شود، مقدار خطای ۶۲ درصد به دست می‌آید که این مقدار خطا نیز قابل قبول نمی‌باشد. در شکل ۲ تغییرنمای هر چهار متغیر ارائه شده است. مدل برازش داده شده بر تغییر نمای سرب خاک کروی می‌باشد و دارای دامنه تأثیر ۷۰۰ متر، کلاس وابستگی مکانی قوی و نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه ۲۲/۳ درصد که نشان دهنده درصد بخش تصادفی تغییر نما از



شکل ۳. نقشه تخمین کریجینگ و IDW سرب، کادمیوم و pH خاک و سرب گیاه

استفاده از پارامترهای محاسبات تغییر نما و کنترل اعتبار تغییر نما و تخمین گر کریجینگ معمولی اقدام به پهنه‌بندی سرب، کادمیوم، pH خاک و سرب گیاه شد. در شکل ۳ نقشه‌های تخمین این چهار متغیر آمده است.

همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود در مورد سرب خاک بخش جنوبی و شمال شرقی یعنی بزرگراه‌های شهید بهشتی و خرمشهر و مدرس که تردد ماشین‌ها و احتمالاً کارگاه‌های صنعتی بیشتر است، آلودگی خاک به سرب بیشتر بوده است. همچنین محدوده وسیعی از نقشه در محدوده غلظت بالاتر

عامل ساختاری و تصادفی است. حبشی و همکاران (۲) برای pH خاک مدل کروی را به‌عنوان بهترین مدل تغییر نما انتخاب کردند. مدل برازش شده برای سرب گیاه مدل کروی بود. دامنه تأثیر آن ۷۰۰ متر، کلاس وابستگی مکانی قوی و نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه صفر به‌دست آمد. همچنین $r^2 = 0.756$ و $RSS = 14/6$ می‌باشد. نقشه‌های مشخص‌کننده مناطق آلوده به فلزات سنگین و یا در معرض خطر آلودگی می‌تواند اطلاعات مهمی را در زمینه انتخاب و یافتن مناطق مناسب جهت کاربری‌ها یا استفاده از سرزمین یا پاکسازی خاک در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد. با

جدول ۴. غلظت‌های طبیعی و بحرانی عناصر سنگین

| عنصر | مقادیر استاندارد برای خاک* | | مقادیر استاندارد برای برگ** | |
|---------|----------------------------|--------------|-----------------------------|------------------|
| | مقدار طبیعی | آستانه هشدار | آستانه سمیت | حداکثر سطوح مجاز |
| سرب | ۲۰ | ۵۰ | ۱۰۰ | ۰/۳ |
| کادمیوم | ۱ | ۳ | ۵ | ۰/۲ |

*: Order no.756/1997 of the Ministry of Waters, Forests and Environmental Protection

** : FAO/WHO – Codex Alimentarius Commission, 2001

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد ۳۶/۵ درصد از داده‌های سرب خاک در محدوده طبیعی قرار دارند و ۳۰/۲ درصد در محدوده آستانه هشدار (۵۰ ppm) است (جدول ۴). همچنین ۳۳/۳ درصد نیز بالاتر از آستانه سمیت (۱۰۰ ppm) قرار دارند که نشان از آلودگی این عنصر در شهر رشت می‌باشد که در بخش جنوبی و شرقی منطقه بیشتر است. در مورد کادمیوم نیز تمام مقادیر اندازه‌گیری شده در خاک پایین‌تر از آستانه هشدار (۳ ppm) و سمیت (۵ppm) بودند و در محدوده طبیعی می‌باشند و غلظت این عنصر در بخش جنوبی منطقه بیشتر است. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده سرب در گیاه اکثر مقادیر به جز دو مورد بالاتر از حداکثر حد مجاز (۰/۳ ppm) بودند. که می‌تواند به دلیل آلودگی هوا و خاک باشد که نهایتاً جذب برگ‌ها می‌شود. این آلودگی در بخش غربی منطقه بالاتر است که می‌تواند از طریق آلودگی ناشی از ترافیک و منابعی که در مورد سرب خاک ذکر شد جذب برگ‌ها شده باشد. همچنین نتایج حاکی از مناسب نبودن روش کریجینگ برای متغیر سرب خاکو گیاه می‌باشد، زیرا درصد خطای روش کریجینگ برای این دو متغیر به ترتیب ۶۲ و ۴۲ درصد می‌باشد.

از ۶۰ پی پی ام می‌باشد که حاکی از آلودگی خاک‌های منطقه به سرب می‌باشد. این آلودگی ممکن است از گذشته در خاک مانده باشد. همچنین ممکن است بخشی از آن از دودکش کارخانه‌های شهر صنعتی توسط باد به اطراف منتقل و توسط بارندگی وارد خاک شده باشد، از طرفی ممکن است سرب به‌طور کامل از بنزین‌ها حذف نشده و در گازوییل ماشین‌های سنگین نیز حضور داشته باشد. از دیگر دلایل احتمالی ورود سرب به خاک این است که در اثر بارندگی و بالا آمدن سطح فاضلاب‌ها، در بعضی نقاط آلودگی‌ها وارد خاک می‌شوند. در مورد کادمیوم نیز دیده می‌شود مقادیر کادمیوم خاک پایین‌تر از حد سمیت می‌باشد احتمالاً دلیل آن به علت مقدار زیاد بارندگی در شهر رشت و شستشوی این عناصر از خاک می‌باشد. این مقادیر حاکی از آن است که مقدار کادمیوم در مواد مادری نیز پائین بوده است. در شکل ۲ نقشه تخمین IDW نیز برای کادمیوم خاک ترسیم شده است. غلظت این عنصر در نمونه‌های بخش جنوبی از سایر بخش‌ها بیشتر است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود اسیدپتیه بیشتر خاک‌ها بالاتر از ۷ می‌باشد. در مورد سرب گیاه نیز بخش وسیعی از منطقه در محدوده ۶ تا ۱۲ پی پی ام قرار دارد و اکثر گیاهان منطقه آلوده به سرب می‌باشند و این آلودگی در بخش غربی منطقه بیشتر می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. بی نام، هواشناسی استان گیلان، ۱۳۹۰ (www.gilmet.ir).
۲. حبشی، ه. س. م. حسینی، ج. محمدی و ر. رحمانی. ۱۳۸۵. کاربرد تکنیک زمین آمار در مطالعات خاک‌های مناطق جنگلی، مجله

- علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۴(۱): ۲۷-۱۸.
۳. خادم حقیقت، م. و ج. قدوسی. ۱۳۶۴. توزیع سرب در برگ‌های چنار نسبت به مراکز تردد خودروها در مناطق مختلف تهران. انتشارات جهاد دانشگاهی.
۴. خدیوی، ا.، م. افیونی و ح. شریعتمداری. ۱۳۸۲. اثرات تجمعی و باقیمانده کود کمپوست بر اشکال شیمیایی فلزات سنگین در یک خاک آهکی، خلاصه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، رشت ص ۵۹۵-۵۹۳.
۵. سامانی مجد، س.، ا. تائبی و م. افیونی. ۱۳۸۶. آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم، مجله محیط‌شناسی ۴۳ (۳): ۱-۱۰.
۶. شیخ مقدسی، ز. ۱۳۸۷. ارزیابی ژئواستاتستیکی کادمیوم، نیکل و سرب در خاک‌های استان گیلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.
۷. عبدالوهابی، ع. و ج. قدوسی. ۱۳۶۴. پراکنش سرب در گیاه و خاک باغستان‌های مختلف چای لاهیجان نسبت به جاده. انتشارات جهاد دانشگاهی.
۸. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری، جلد دوم: آمار مکانی (ژئواستاتستیک)، انتشارات پلک.
۹. مخدوم، م. ۱۳۷۷. زیستن در محیط زیست، ترجمه، انتشارات دانشگاه تهران.
10. Amini, M., M. Afyuni, H. Khademi, K. C. Abbaspour and R. Schulin. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of central Iran. *Sci. of the Total Environ.* 347: 64-77.
11. Antoniadis, N. and B. J. Alloway. 2001. Availability of Cd, Ni and Zn to rye grass in sewage sludge treated soils at different temperatures. *Water, Air and Soil Pollut* 132: 201-204.
12. Benton, J. J. 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press. Boca Raton, Florida 363 p.
13. Biggar, J. W. and D. R. Nielsen. 1976. Spatial variability of the leaching characteristic of a field soil. *Water Res.* 12 (1): 78-84.
14. Codex Alimentarius. 2001. CxFax, 27 Feb. 2001. Alinorm 01/12, Appendix XV, OMS/FAO. Food standards programme.
15. Hooker P. J. and C.P. Nathanail. 2006. Risk-based characterisation of lead in urban soils. *Chem Geol.* 226:340-351.
16. Hutton, M., C. de Meeûs. 2001. Analysis and conclusions from Member States' Assessment of the risk to health and the environment from cadmium in fertilisers. Final Report European Commission - Enterprise DG, Environmental Resource Management.
17. Isac, A. R. 1990. Associate chapter Editor, *Methods of Plant Analysis, Official Methods of Analysis of the A.O.A.C.P.* PP: 101-143.
18. Ministry of Waters, Forests and Environmental Protection; Order no.756/1997.
19. Nasralla, M. M. 1984. Lead in Jaddah urban dust. *Environ. Pollut, Ser. B.*, PP: 133-141.
20. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. *Method of Soil Analysis, Part 2: Chemical and microbial properties*. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin. USA.
21. Rodriguez-Martin, J. A., M. Lopez-Arias and J. M. Grau-Corbi. 2006. Heavy metals contents in topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations. *Environmental Pollution*. PP: 1-12.
22. Wu, C. and L. Zhang. 2010. Heavy metal concentrations and their possible source in paddy soils of a modern agricultural zone, southeastern China. *Journal of Environ Earth Science* 60(1):45-56.