

## پهنه‌بندی غلظت سرب کل در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک با استفاده از داده‌های ماهواره LISS-III، IRS-P6 در جنوب اصفهان

شهناز محمودی<sup>۱</sup>، مهدی نادری خوراسگانی<sup>۲\*</sup>، جهانگرد محمدی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک‌شناسی دانشگاه شهرکرد mahmoodi.shahnaz87@yahoo.com

۲- استادیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه شهرکرد

Jahan.mohammad@ymail.com

۳- دانشیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۳۰

### چکیده

نواحی اطراف معادن به دلیل فعالیت‌های حاصل از اکتشاف، استخراج و حمل و نقل در معرض آلودگی قرار دارند. با توجه به هزینه بالای نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی امروزه به‌طور معمول از اسپکتروفتومتر و انعکاس طیفی برای تخمین غلظت آلاینده‌ها استفاده می‌شود. این تحقیق با هدف تعیین پراکنش مکانی غلظت سرب در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک با استفاده از انعکاس ثبت شده از ماهواره IRS LISS-III در جنوب اصفهان صورت گرفت. برای تحقق این هدف، ۱۰۰ نمونه مرکب خاک سطحی به‌طور تصادفی از منطقه جمع‌آوری شد. نمونه‌ها در هوا خشک شده و کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک ۲۵۰ تا ۵۰۰، ۱۲۵ تا ۲۵۰، ۷۵ تا ۱۲۵، ۵۰ تا ۷۵ و  $< ۵۰$  میکرون بعد از پراکنده کردن کل خاک با استفاده از دستگاه تراسونیک و الک‌های مناسب تعیین شد. غلظت کل سرب پس از هضم مرطوب نمونه‌ها در اسید نیتریک به کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با کاهش اندازه ذرات خاک غلظت سرب افزایش می‌یابد. بین میزان انعکاس‌های طیفی خاک در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک ماهواره‌های IRS LISS-III و غلظت سرب در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک همبستگی معنی‌دار و منفی وجود دارد. مدل‌های رگرسیون چند متغیره گام به گام برای بررسی امکان تخمین غلظت سرب در کلاس‌های ذرات خاک به کمک داده‌های باندهای ماهواره‌ای تشکیل شدند و پراکنش مکانی سرب به کمک معادلات رگرسیون چندگانه گام به گام پهنه‌بندی شد. نتایج نشان داد که امکان تخمین سرب تا محدوده‌ای از غلظت به کمک داده‌های ماهواره‌ای امکان‌پذیر است. همچنین غلظت سرب در همه کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک در نزدیکی معادن حداکثر است و با افزایش فاصله از معادن کاهش می‌یابد.

### کلید واژه

آلودگی خاک، انعکاس، سرب، IRS LISS-III

### سرآغاز

معلق انتقال می‌یابند و ذرات  $< ۱۰$  میکرون می‌توانند برای مدت طولانی به صورت معلق در هوا باقی بمانند (De Miguel, et al., 1997). ذرات ریز و حاوی فلزات سنگین تهدید جدی برای سلامتی انسان محسوب می‌شوند. ذرات ریز به دلیل سطح ویژه بیشتر نسبت به ذرات درشت‌تر براحتی از مخاط معده عبور کرده و جذب می‌شوند (Lin, et al., 1998). اطلاع از توزیع فلزات در جزءهای مختلف اندازه ذرات خاک در ارزیابی واقع‌گرایانه آلودگی فلزات سنگین مرتبط با سلامتی انسان ضروری است (Acosta, et al., 2009). همچنین تجزیه و تحلیل شیمیایی ذرات خاک در اندازه‌های مختلف برای کنترل آلودگی و جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به چرخه زیستی دارای اهمیت است. بنابراین شناخت منابع، نحوه توزیع و تعیین

آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل‌کننده محیط زیست به شمار می‌روند و حتی غلظت‌های کم فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات مضر بر موجودات زنده با اهمیت شناخته شده‌اند (وهاب‌زاده، ۱۳۶۴). معدن به‌عنوان منبع اولیه فلزات سنگین بوده و تأثیر مهمی بر محیط‌های اطراف دارد (Silva, et al., 2004). اطلاع از اندازه ذرات آلوده خاک برای ارزیابی خطرهایی که سلامتی انسان را تهدید می‌کند اهمیت زیادی دارد. ذرات ریزتر دارای سطح ویژه بالایی بوده و در نتیجه قادر به نگهداری مقادیر بیشتری از عناصر سنگین هستند (Wang, et al., 2006). ذرات با قطر آئرودینامیکی کوچک‌تر از ۱۰۰ میکرون به صورت

و مادون قرمز نزدیک (۲۴۰۰-۴۰۰ نانومتر) به عنوان روشی سریع و ارزان در تجزیه و تحلیل‌های کمی و توصیفی بسیاری از ترکیبات مورد توجه است. با توجه به گزارش‌های مبتنی بر آلودگی اراضی جنوب اصفهان با عناصر سنگین (بقایی و همکاران، ۱۳۸۶؛ دیانی و همکاران، ۱۳۸۹) و با توجه به اهمیت منطقه از نظر نزدیکی معادن سرب و روی به مناطق کشاورزی و مسکونی، ضرورت بررسی آلودگی این مناطق وجود دارد. این ضرورت مستلزم هزینه‌های زیاد نمونه‌برداری و تجزیه شیمیایی است و با توجه به آلودگی خاک‌ها در دیگر نقاط کشور ارزیابی امکان استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای تعیین آلودگی در این تحقیق گنجانده شد. هدف این مطالعه اندازه‌گیری غلظت کل سرب در کلاس‌های مختلف اندازه ذرات معدنی خاک و بررسی روابط بین غلظت فلز مورد نظر و انعکاس‌های طیفی حاصل از سنجنده IRS LISS-III است.

## مواد و روشها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعتی حدود ۹۰۰۰ هکتار در جنوب اصفهان و در حومه سپاهان شهر واقع شده و از لحاظ جغرافیایی در حد فاصل  $38^{\circ} 40' 51''$  و  $35^{\circ} 24' 51''$  طول شرقی و  $33^{\circ} 30' 19''$  و  $33^{\circ} 33' 47''$  عرض شمالی قرار دارد (شکل شماره ۱). متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۶۵۰ متر و متوسط بارش سالانه ۱۲۵ میلی‌متر است.

شیب منطقه بین صفر تا بیش از ۶۰ درصد متغیر بوده و جهت باد غالب شمال شرقی و جنوب غربی است.

در قسمت‌های جنوبی منطقه، معدن دولتی باما و چند معدن خصوصی دیگر وجود دارد که غنی از رگه‌های سرب و روی هستند. پوشش گیاهی منطقه شامل گیاهان مرتعی است و جز در قسمت شرق منطقه کاربری کشاورزی وجود ندارد. گسترش فعالیت‌های معدنی مانند استخراج و حمل و نقل، امکان آلودگی اراضی این ناحیه را فراهم کرده است.

### نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در بهار سال ۱۳۸۶ انجام شد. موقعیت ۱۰۰ نقطه نمونه‌برداری به صورت تصادفی روی تصویر ترکیب رنگی مجازی استاندارد<sup>۱</sup> تعیین و سپس موقعیت نمونه‌ها با دستگاه سامانه موقعیت جهانی<sup>۲</sup> در منطقه شناسایی شد. در مرحله بعد اقدام به نمونه‌برداری مرکب (Klute, 1986) از خاک سطحی در عمق ۱۰-۰ سانتیمتری شد.

ریسک آلودگی منطقه برای اعمال مدیریتی دقیق و کارآمد حایز اهمیت است. با توجه به هزینه بالای نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی امروزه به‌طور معمول از اسپکتروفتومتر و انعکاس طیفی برای تخمین غلظت آلاینده‌ها استفاده می‌شود. ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکها با بازتاب طیفی آنها عموماً به صورت مدل‌های خطی و با استفاده از معادلات رگرسیون بیان می‌شود. بدین طریق که اطلاعات رقومی بازتاب مربوط به نقاط مورد نظر به‌عنوان متغیر مستقل و هر یک از خصوصیات اندازه‌گیری شده در خاک به‌منزله متغیر وابسته در نظر گرفته شده و برازش مدل‌های چند متغیره خطی انجام می‌شود. این مدل‌ها ارتباط عددی هر یک از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لایه سطحی خاک را با تعدادی از باندهای طیف الکترومغناطیس بیان می‌کنند. با اعمال ضرایب حاصل از برازش مدل‌های رگرسیونی در تصاویر رقومی منطقه مطالعاتی می‌توان اقدام به پهنه‌بندی خصوصیات خاکهای سطحی کرد (محمدی و چیت ساز، ۱۳۸۱).

Williams & Mally (1997) میزان فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌ای را با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و انعکاس طیفی تعیین کردند. Kemper & Sommer (2002)، روشهای آماری و اسپکتروسکوپی انعکاسی را برای تخمین فلزات سنگین استفاده کردند و دریافتند می‌توان این تکنیک‌ها را در سنجش از دور به کار برد. Yanzaho و همکاران (2005)، امکان استفاده از انعکاس طیفی را به‌عنوان روشی سریع و همزمان در ارزیابی عناصر آلاینده  $Ni$   $Zn$   $Pb$   $Hg$   $Cr$   $Cu$  در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با استفاده از این روش، پیش‌بینی غلظت  $Ni$   $Cr$   $Cu$   $Pb$   $Hg$   $Zn$   $As$  به نسبت بهتر صورت گرفته است و پیشنهاد کردند که مطالعات آلودگی با استفاده از داده‌های واقعی سنجش از دور و اندازه‌گیری‌های میدانی صورت گیرد. Choe و همکاران (2008)، برای پهنه‌بندی فلزات سنگین از اسپکتروسکوپی میدانی و سنجش از دور چند طیفی استفاده کردند و دریافتند شکل‌های جذب طیفی می‌تواند برای پهنه‌بندی توزیع فلزات سنگین استفاده شود.

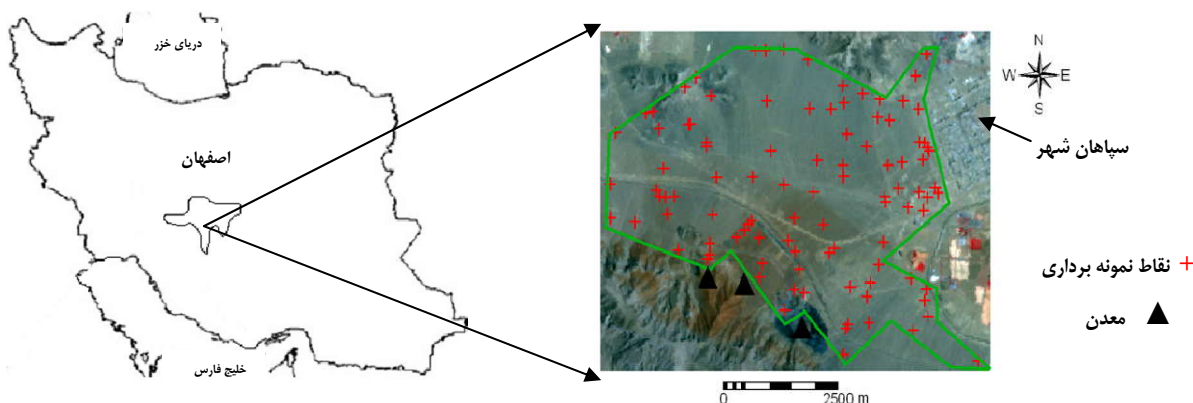
Choe و همکاران (2009) نیز استفاده از مشخصه‌های جذب طیفی در دامنه ۴۰۰ تا ۲۴۰۰ نانومتر را برای پیش‌بینی فلزات سنگین و پهنه‌بندی پراکنش مکانی آنها بررسی کردند. این محققین از رگرسیون خطی چندگانه گام به گام برای کمی کردن فلزات سنگین استفاده و گزارش کردند که انعکاس طیفی دامنه‌های مرئی

پراکنده شدند و در پایان به وسیله الک جداسازی ذرات با اندازه‌های مورد نظر صورت گرفت. برای تعیین غلظت کل سرب خاک از روش هضم اسیدی استفاده شد (Sposito, et al., 1982). به طوری که به یک گرم خاک از هر کلاس اندازه‌ای، ۷/۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۴ مولار اضافه شد، نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حمام آب گرم قرار گرفتند و بعد با استفاده از کاغذ صافی عصاره‌گیری شدند و در پایان غلظت کل سرب نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی مدل پرسیکون تعیین شدند. در طول مراحل نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل شیمیایی دقت کافی به عمل آمد که از آلودگی جانبی اجتناب شود.

به این صورت که از هر نقطه مشخص شده به فاصله ۳۰ متری تعداد سه نمونه دیگر برداشته شد، به طوری که سه نمونه مزبور در سه رأس یک مثلث قرار گرفت. سپس ۴ نمونه خاک با هم مخلوط و در پایان یک نمونه کلی از آن به دست آمد.

### تجزیه‌های شیمیایی

نمونه‌های خاک در آزمایشگاه هوا خشک، با چکش پلاستیکی خرد و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برای تسهیل جداسازی ذرات خاک براساس قطر در پنج کلاس اندازه‌ای ۵۰۰-۲۵۰، ۲۵۰-۱۲۵، ۱۲۵-۷۵، ۷۵-۵۰ و ۵۰-۲۵ میکرون، نمونه‌های کل خاک (ذرات کوچکتر از ۲ میلی‌متر) به مدت یک ساعت با دستگاه شیکر تکان داده شده و سپس با دستگاه تراسونیک مدل UP200H



شکل شماره (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه‌برداری بر روی تصویر ماهواره‌ای

$L_\lambda$ : تشعشع ( $watt \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ )

Offset: عرض از مبدأ

Gain: شیب

$B_\lambda$ : باند مربوطه

سرانجام تشعشع ثبت شده بر اساس معادله (۲) به انعکاس تبدیل شد.

معادله (۲)

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{E_{sun\lambda} \cdot \cos\theta}$$

در این معادله:

$\rho_p$ : انعکاس

$d$ : فاصله زمین تا خورشید (واحد نجومی)

$\theta$ : زاویه زنیط خورشید (درجه)

$E_{sun\lambda}$ : میزان تشعشع خورشیدی در خارج از اتمسفر.

### تصاویر ماهواره‌ای

اطلاعات ۴ باند ماهواره IRS-P6 LISS-III برداشت شده در نزدیک‌ترین زمان به هنگام نمونه‌برداری در سال ۱۳۸۶ (۲۱ ژوئن ۲۰۰۷ میلادی) مورد استفاده قرار گرفتند. به کمک داده‌های استخراج شده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه و اطلاعات میدانی برداشت شده به کمک سامانه موقعیت جهانی، تصحیح هندسی تصاویر با دقت قابل قبول و جذر میانگین مربعات خطا معادل ۰/۴۷ پیکسل صورت گرفت. کلیه عملیات پردازش تصاویر با استفاده از نرم افزار ایلویس (ILWIS 3.4) انجام شد.

تصاویر اصلاح شده براساس مدل ارائه شده توسط Markham & Barker (1987) و داده‌های سر فایل<sup>۳</sup> به گونه زیر به رادیانس یا تشعشع تبدیل شدند.

معادله (۱)

$$L_\lambda = offset + Gain(B_\lambda)$$

در این معادله:

گام به گام برای برآورد سرب با استفاده از انعکاس باندهای ماهواره‌ای تشکیل شدند. با استفاده از این مدل‌ها اقدام به برآورد مقادیر عددی غلظت سرب شد. شایان ذکر است که به صورت تصادفی از ۸۰ درصد داده‌ها برای برازش مدل‌ها و ۲۰ درصد داده‌ها نیز برای صحت سنجی مدل‌های برازش شده استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار استاتیکا (Statistica, 2001) انجام شد.

### نتایج و بحث

توصیف آماری غلظت سرب در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک مورد بررسی قرار گرفت (جدول شماره ۲). همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش اندازه ذرات خاک، غلظت کل سرب در ذرات افزایش یافته است به طوری که کلاس اندازه‌ای کوچک‌تر از ۵۰ میکرون دارای بالاترین میانگین غلظت (۱۳۶/۲۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است.

برخی از مشخصه‌های معادلات ۱ و ۲ مربوط به باندهای مورد استفاده در جدول شماره (۱) ارائه شده‌اند و سایر مشخصه‌ها از سر فایل تصاویر اخذ شده‌اند.

### جدول شماره (۱): مشخصه‌های باندهای ماهواره IRS-P6

| LISS-III              |                    |                    |            |
|-----------------------|--------------------|--------------------|------------|
| $E_{sun\lambda}^{**}$ | $L_{max\lambda}^*$ | $L_{min\lambda}^*$ | باند       |
| ۱۸۴۶/۸                | ۲                  | .                  | Band 2     |
| ۱۵۷۵/۵                | ۲                  | .                  | Band 3     |
| ۱۰۸۷/۳                | ۲                  | .                  | Band 4     |
| ۲۲۶/۷                 | ۲                  | .                  | Band 5     |
| WWW. Usgs.gov : **    |                    |                    | *: سر فایل |

### تجزیه‌های آماری

میزان انعکاس باندهای مختلف ماهواره IRS-P6 LISS-III برای تمام نقاط نمونه‌برداری استخراج شد. آمار توصیفی تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی نمونه‌های خاک تهیه شد و رابطه همبستگی بین غلظت سرب در نمونه‌ها با میزان انعکاس نقاط نظیر در باندها مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های رگرسیون چند متغیره

### جدول شماره (۲): خلاصه آماری غلظت کل سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک (میکرون)

| متغیر             | حداقل  | حداکثر  | میانگین | میان   | انحراف استاندارد | ضریب تغییرات (%) |
|-------------------|--------|---------|---------|--------|------------------|------------------|
| <b>Pb</b> <2000   | ۳۷/۵۵۰ | ۶۸۰/۷۵۰ | ۱۳۸/۵۰۹ | ۶۱/۹۵۰ | ۱۵۴/۲۳۹          | ۱۱۱/۳۵۶          |
| <b>Pb</b> 250-500 | ۱۰/۴۰۰ | ۵۳۶/۶۲۵ | ۸۷/۴۳۴  | ۵۱/۹۵۰ | ۱۰۰/۵۳۷          | ۱۱۴/۹۸۶          |
| <b>Pb</b> 125-250 | ۱۵/۰۵۰ | ۶۴۵/۰۰۰ | ۹۳/۷۷۹  | ۵۵/۷۰۰ | ۱۰۸/۶۴۵          | ۱۱۵/۸۵۲          |
| <b>Pb</b> 75-125  | ۱۳/۵۰۰ | ۶۴۸/۲۵۰ | ۹۴/۶۴۰  | ۵۴/۰۵۰ | ۱۱۳/۱۰۶          | ۱۱۹/۵۱۱          |
| <b>Pb</b> 50-75   | ۱۴/۵۵۰ | ۶۳۱/۱۲۵ | ۱۰۲/۲۱۶ | ۵۴/۸۶۰ | ۱۲۴/۳۹۱          | ۱۲۱/۶۹۴          |
| <b>Pb</b> <50     | ۲۱/۲۰۰ | ۷۷۱/۰۰۰ | ۱۳۶/۲۹۵ | ۶۸/۷۲۵ | ۱۶۳/۰۵۶          | ۱۱۹/۶۳۴          |

کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک و انعکاس به دست آمده از تصاویر ماهواره IRS در جدول شماره (۳) نشان داده شده است. بین غلظت سرب در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک و انعکاس باندهای ۲، ۳ و ۴ ماهواره، همبستگی منفی وجود دارد که در سطح احتمال ۹۵٪ معنی‌دار هستند. افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک سبب کاهش انعکاس خاک می‌شود که همبستگی منفی این پدیده را تأیید می‌کند.

دیانی و همکاران (۱۳۸۹) همبستگی منفی و معنی‌داری را بین غلظت سرب، روی و کادمیوم در خاک و ارزش رقومی باندهای سنجنده Landsat ETM+ گزارش کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش طول موج از مادون قرمز نزدیک به بعد همبستگی معنی‌داری بین غلظت عناصر سنگین و بازتاب باندها مشاهده

بر اساس نظر Kabata & Pendias (2000) حد بحرانی سمی بودن سرب در خاک ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که در کلاس اندازه‌ای کوچک‌تر از ۵۰ میکرون میانگین غلظت سرب کمتر از حد بحرانی آن است. در این رابطه Wang و همکاران (2006) نیز در مطالعه فلزات سنگین در جزءهای اندازه‌ای ذرات خاک، بالاترین غلظت فلزات سنگین را در جزء کوچک‌تر از ۴۵ میکرون گزارش کردند و اظهار داشتند که ذرات ریزتر از ۱۲۵ میکرون بسهولت با باد به اتمسفر انتقال پیدا می‌کنند و سبب توزیع آلودگی فلزات سنگین می‌شوند. Acosta و همکاران (2009) به این نتیجه رسیدند که با افزایش اندازه ذرات خاک، مقادیر فلزات سنگین کاهش می‌یابد و فلزات سنگین به طور ذاتی در ذرات خاک با اندازه کمتر از ۱۵۰ میکرون تجمع می‌یابند. ضرایب همبستگی بین غلظت سرب در

نتایج جدول شماره (۳) به نظر می‌رسد امکان تخمین غلظت سرب در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک به کمک باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک وجود دارد. مدل‌های برآورد شده برای تخمین غلظت سرب در جدول شماره (۴) نشان داده شده‌اند. برای تخمین سرب در همه کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک، انعکاس باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک وارد مدل‌ها شده‌اند. با استفاده از مدل‌های جدول شماره (۴)، نقشه‌های پراکنش غلظت سرب در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک در منطقه پهنه‌بندی شد (شکل شماره ۲). نقشه‌های مذکور نشان می‌دهند که در اطراف معادن آلودگی حداکثر است و با افزایش فاصله، آلودگی کاهش می‌یابد.

نمی‌شود. Yanzaho و همکاران (2005) در بررسی عناصر سنگین با استفاده از انعکاس طیفی در چین، همبستگی منفی و معنی‌داری را بین باندهای آبی، سبز و قرمز از طیف نور مرئی و باند مادون قرمز نزدیک با عناصر روی، سرب و کادمیوم گزارش کردند. Choe و همکاران (2008) برای بررسی مقادیر عناصر سنگین در زمین‌های کشاورزی در اسپانیا از داده‌های اسپکتروفتومتری استفاده کردند و همبستگی منفی و معنی‌داری را بین طیف نور مرئی و مادون قرمز نزدیک و غلظت سرب، روی و آرسنیک گزارش کردند و نتیجه گرفتند که عناصر سنگین در خاک باعث کاهش بازتاب در طول موج‌های نور مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌شوند. با توجه به

**جدول شماره (۳): همبستگی بین غلظت سرب در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک (میکرون) با میزان انعکاس در باندهای ماهواره IRS**

| متغیر                 | انعکاس              |        |        |        |
|-----------------------|---------------------|--------|--------|--------|
|                       | Band 5              | Band 4 | Band 3 | Band 2 |
| Pb<2000               | ۰/۱۱ <sup>n.s</sup> | -۰/۲۳* | -۰/۴۳* | -۰/۴۹* |
| Pb <sub>250-500</sub> | ۰/۰۹ <sup>n.s</sup> | -۰/۲۲* | -۰/۴۲* | -۰/۴۸* |
| Pb <sub>125-250</sub> | ۰/۰۸ <sup>n.s</sup> | -۰/۲۲* | -۰/۴۱* | -۰/۴۷* |
| Pb <sub>75-125</sub>  | ۰/۰۶ <sup>n.s</sup> | -۰/۲۶* | -۰/۴۴* | -۰/۵۰* |
| Pb <sub>50-75</sub>   | ۰/۰۶ <sup>n.s</sup> | -۰/۲۵* | -۰/۴۳* | -۰/۴۸* |
| Pb<50                 | ۰/۰۵ <sup>n.s</sup> | -۰/۲۵* | -۰/۴۴* | -۰/۵۰* |

n.s. و \* : به ترتیب معرف غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح (P<۰/۰۵)

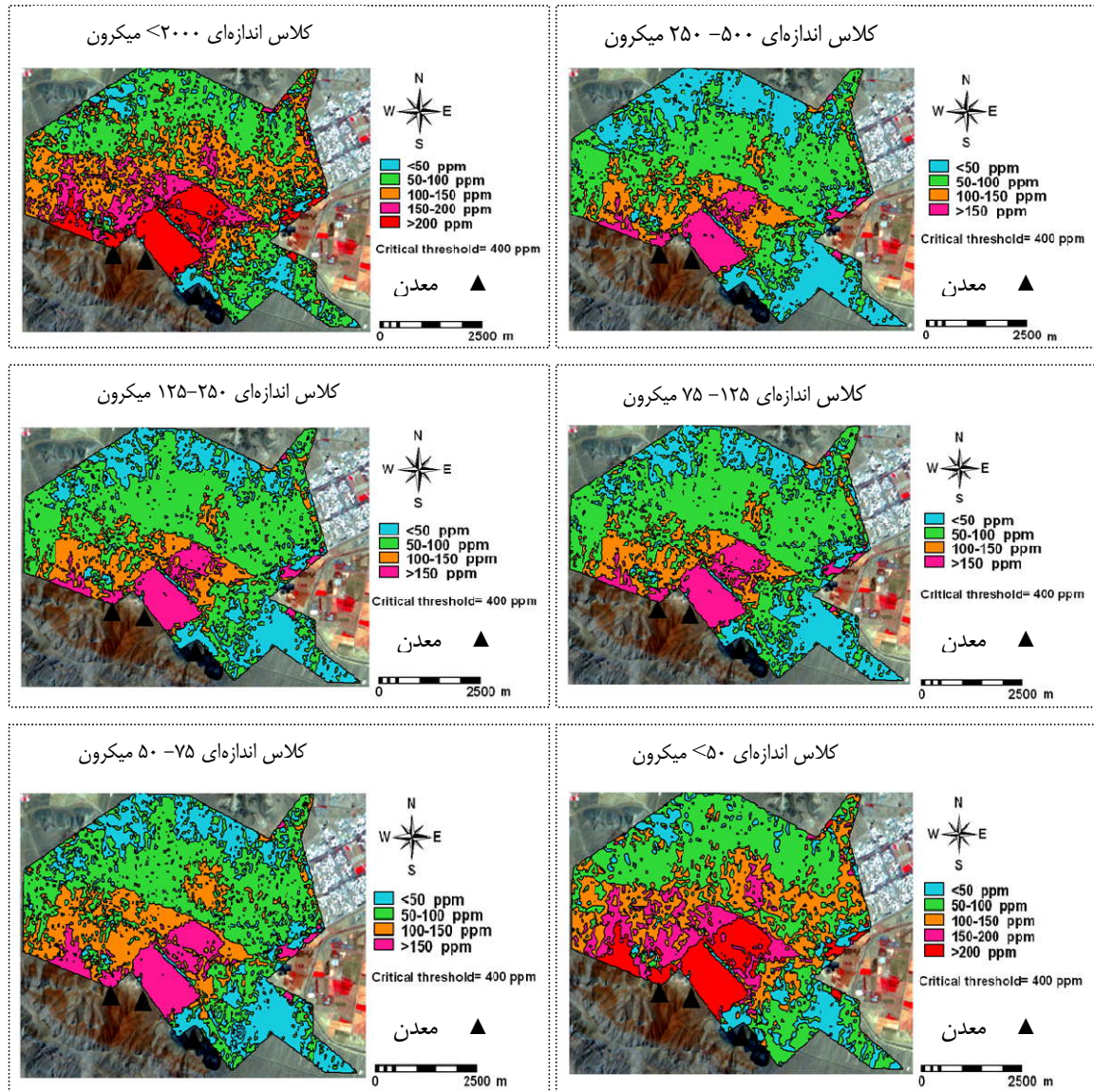
**جدول شماره (۴): مدل‌های رگرسیون چند متغیره برای تخمین غلظت سرب در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک (میکرون)**

| مدل   | F    | R <sup>2</sup> |
|---|------|----------------|
| $Pb_{<2000} \text{ mg kg}^{-1} \text{ soil} = 336.07 - 4352.29 (\text{band } 3) + 3276.93 (\text{band } 4)$   | ۲۹** | ۰/۴۳           |
| $Pb_{250-500} \text{ mg kg}^{-1} \text{ soil} = 245.2 - 3178.86 (\text{band } 3) + 2381.09 (\text{band } 4)$  | ۲۶** | ۰/۴۰           |
| $Pb_{125-250} \text{ mg kg}^{-1} \text{ soil} = 250.69 - 3093.97 (\text{band } 3) + 2307.48 (\text{band } 4)$ | ۲۴** | ۰/۳۸           |
| $Pb_{75-125} \text{ mg kg}^{-1} \text{ soil} = 291.69 - 3152.04 (\text{band } 3) + 2283.18 (\text{band } 4)$  | ۲۵** | ۰/۴۰           |
| $Pb_{50-75} \text{ mg kg}^{-1} \text{ soil} = 301.51 - 3407.41 (\text{band } 3) + 2490.36 (\text{band } 4)$   | ۲۳** | ۰/۳۸           |
| $Pb_{<50} \text{ mg kg}^{-1} \text{ soil} = 393.81 - 4463.69 (\text{band } 3) + 3267.68 (\text{band } 4)$     | ۲۶** | ۰/۴۰           |

\*\* : (P<0.01)

اطلاعات باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک برای تخمین سرب در اسپانیا استفاده کردند. Choe و همکاران (2008) از مدل‌های رگرسیونی چند متغیره گام‌به‌گام برای بررسی پراکنش عناصر سنگین در اطراف معدن روداکویلا در اسپانیا استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که اطلاعات باندهای آبی و قرمز به‌عنوان متغیر مستقل در معادلات مربوط به تخمین غلظت سرب و اطلاعات باندهای آبی، قرمز و مادون قرمز نزدیک برای تخمین روی وارد مدل‌ها شده‌اند.

دامنه طبیعی غلظت سرب در خاکها ۱۰ تا ۱۰۰ و حد بحرانی آن ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Kabata & Pendias, 2000). بنابراین در کل منطقه مورد مطالعه، غلظت سرب در همه کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک کمتر از حد بحرانی آن در خاک است. نتایج اخذ شده در این مطالعه با نتایج مطالعاتی که در دیگر نقاط انجام شده است مطابقت دارد برای نمونه Kemper & Sommer (2002) در مدل‌های رگرسیونی چند متغیره گام‌به‌گام از

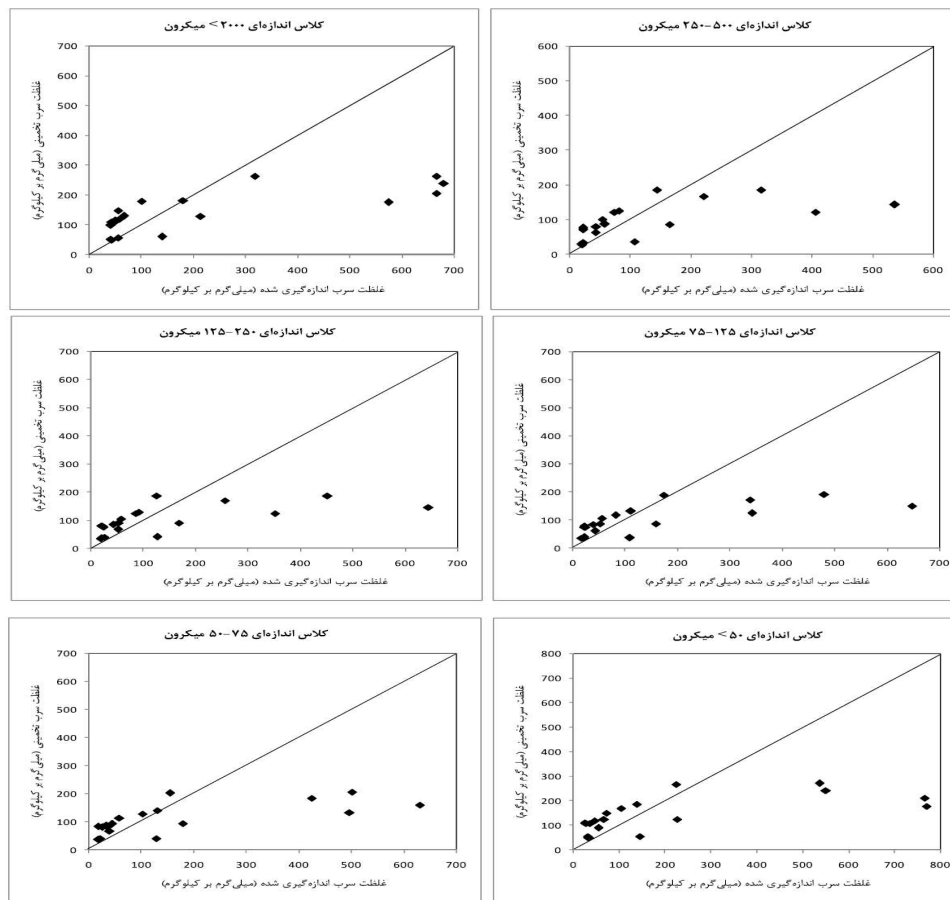


شکل شماره (۲): برآورد غلظت سرب در کلاس‌های اندازه‌های ذرات خاک در منطقه

میزان سرب اندازه‌گیری شده و برآورد شده نزدیک خط ۱:۱ قرار دارند که نشانه دقت بیشتر معادلات برای تخمین سرب در غلظت‌های پایین است ولی در غلظت‌های بالای سرب در خاک خطای مدل‌ها افزایش می‌یابد و فرو تخمین آلودگی را نشان می‌دهند. Vohland و همکاران (2009) که غلظت سرب را با استفاده از اسپکتروسکوپ آزمایشگاهی تعیین کردند، روش مشابهی را برای ارزیابی مدل‌های رگرسیونی به کار بردند و نشان دادند که این مدل‌ها برای تخمین سرب تا غلظت ۳۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کارایی بالایی دارند.

### اعتبار سنجی معادلات رگرسیون چند متغیره

برای اعتبارسنجی معادلات رگرسیون محاسبه شده از انعکاس موقعیت ۲۰ نمونه خاکی استفاده شد که برای کالیبراسیون معادلات مورد استفاده قرار نگرفته بودند. پس از محاسبه مدل‌های رگرسیونی چند متغیره، انعکاس‌های خاک در ۲۰ نقطه در باندهای اطلاعات ماهواره‌ای مربوط مشخص شدند و برای تخمین غلظت سرب در مدل‌های مربوط قرار گرفته و مقادیر تخمینی به دست آمدند. شکل شماره (۳) رابطه بین غلظت سرب اندازه‌گیری شده و تخمینی در کلاس‌های اندازه‌های ذرات خاک را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده تقریباً در غلظت‌های کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم



شکل شماره (۳): غلظت‌های سرب اندازه‌گیری شده در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک در مقابل

#### مقادیر تخمینی آنها حاصل از مدل‌های رگرسیونی

فلزات سنگین از جمله منطقه مورد مطالعه، حفاظت فیزیکی و بیولوژیکی در مقابل فرسایش بادی صورت گیرد. مطالعه نقشه‌های به‌دست آمده نشان می‌دهد که داده‌های ماهواره IRS قادرند مقادیر و روند تغییرات آلودگی سرب را در منطقه بخوبی نشان دهند.

#### یادداشت‌ها

- 1- Standard False Color Composite
- 2- Global Positioning System (GPS)
- 3- Header
- 4- Under estimation

#### نتیجه‌گیری

با توجه به غلظت سرب در خاکهای منطقه، تجمع زیاد آن در ذرات ریزتر خاک و گسترش فعالیت‌های معدنی ساکنان منطقه در معرض خطر آلودگی قرار دارند. همچنین به دلیل تجمع فلزات سنگین در ذرات ریز خاک و این‌که ذرات کوچکتر از ۱۰۰ میکرون و بویژه کوچکتر از ۱۰ و ۲ میکرون به صورت معلق جابه‌جا می‌شوند و امکان ورود به غشاهای مخاطی از طریق تنفس و استنشاق وجود دارد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود که در مناطق صنعتی و آلوده به

#### منابع مورد استفاده

- بقایی، ا.، خادمی، ح.، محمدی، ج.، ۱۳۸۶. تجزیه و تحلیل زمین آماری تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل جذب در اطراف دو قطب صنعتی منطقه اصفهان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۴ (شماره ۲)، ص ۱۱ تا ۲۰.
- دیانی، م.، نادری، م.، محمدی، ج.، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی غلظت سرب، روی و کادمیوم در خاک با استفاده از داده‌های ماهواره Landsat ETM+ در جنوب شهرستان اصفهان، مجله آب و خاک، جلد ۲۴ (شماره ۲)، ص ۲۸۶ تا ۲۹۶.
- محمدی، ج.، چیت‌ساز، و.، ۱۳۸۱. مقایسه تخمین‌گرهای ژئواستاتیستیکی و رگرسیون خطی برای برآورد برخی از خصوصیات خاک سطحی به کمک داده‌های رقومی TM، مجله علوم آب و خاک، جلد ۱۶ (شماره ۲)، ص ۱۹۷ تا ۲۰۵.

وهاب زاده، ع. ۱۳۶۴. مبانی محیط زیست، انتشارات اترک، مشهد.

Acosta, J.A., et al. 2009. Distribution of metals in soil particle size fractions and its implication to risk assessment of playgrounds in Murcia City (Spain). *Geoderma*. 149: 101-109.

Choe, E., et al. 2008. Mapping of heavy metal pollution in stream sediments using combined geochemistry, field spectroscopy, and hyperspectral remote sensing: A case study of the Rodalquilar mining area SE Spain. *Remote Sens. Environ.* 112: 3222-3233.

Choe, E., et al. 2009. Qualitative analysis and mapping of heavy metals in an abandoned Au-Ag mine area using NIR Spectroscopy. *Environ. Geol.* 58: 477-482.

De Miguel, D., et al. 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmos. Environ.* 31 (17): 2733-2740.

Kabata-pendias, A., H.K., Pendias. 2000. Trace Elements in Soils and Plants. CRC, Press, United States. 413 p.

Kemper, T., S., Sommer. 2002. Estimate heavy metal contamination in soil after a mining accident using reflectance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.* 36: 2742-2747.

Klute, A. 1986. Methods of soil analysis, part 1: physical and mineralogical methods. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA. pp: 48-50.

Lin, Z.X., et al. 1998. The source and fate of Pb in contaminated soils at the urban area of Falun in Central Sweden. *Sci. Total Environ.* 209: 47-58.

Markham, B.L., J.L., Barker. 1987. Thematic map per band pass solar exoatmospheric irradiances. *Int. J. Remote Sens.* vol. 8(3), pp. 517-523.

Silva, E.C., et al. 2004. Hazard assessment on arsenic and lead in soils of Castromil gold mining area, Portugal. *Appl. Geochem.* 19: 887-898.

Sposito, G., L.J., Lund, A.C., Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid- zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 260-264.

StatSoft, Inc. 2001. STATISTICA 6.0, (data analysis software system) for windows. Stat soft Inc., Tulsa, Oklahoma. (www. Statsoft.com)

Vohland, M., C., Bossung, H., Frund. 2009. A spectroscopic approach to assess trace-heavy metal contents in contaminated floodplain soils via spectrally active soil components. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172: 201-209

Wang, X., Y., Qin, Y., Chen. 2006. Heavy metals in urban roadside soils, part 1: effect of particle size fractions on heavy metals partitioning. *Environ. Geol.* 50: 1061-1066.

Williams, P.C., D.F., Malley. 1997. Use of Near-infrared reflectance spectroscopy in prediction of heavy metal in freshwater sediments by their association with organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 31: 3461-3467.

WWW. Usgs.gov

Yanzaho, W., et al. 2005. Possibilities of reflectance spectroscopy for assessment of contamination element in suburban soil. *Appl. Geochem.* 20: 1051-1059.