



قابلیت استفاده از داده‌های ماهواره IRS-P6LISS-III برای تعیین خاک‌های آلوده به روی

شهناز محمودی^۱، مهدی نادری^{۲*}، جهانگرد محمدی^۳

۱. کارشناس ارشد رشته خاک‌شناسی، دانشگاه شهرکرد

۲. استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه شهرکرد

۳. دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه شهرکرد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱/۲۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۸/۱۴

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر ذرات آلوده خاک بر سلامتی انسانی، اطلاع از اندازه ذرات خاک اهمیت فراوانی دارد زیرا ذرات آلوده جزو آلاینده‌ها قلمداد می‌شوند و انتقال آنها به وسیله آب و باد تحت تأثیر اندازه آنهاست. با توجه به هزینه‌های بالای نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی خاک‌ها، استفاده از فناوری‌های جدید نظیر اسپکتروفتومتری و سنجش از دور به تسریع و تسهیل تعیین ریسک آلودگی خاک‌ها کمک می‌کند. پژوهش حاضر با هدف تعیین پراکنش مکانی غلظت روی در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک با استفاده از انعکاس ثبت‌شده از ماهواره IRS-LISS III در جنوب شهر اصفهان صورت گرفته است. برای تحقق این هدف، ۱۰۰ نمونه مرکب خاک سطحی به طور تصادفی از منطقه جمع‌آوری شد. نمونه‌ها در هوا خشک شدند و کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک ۲۵۰-۵۵۰، ۲۵۰-۱۲۵، ۱۲۵-۷۵، ۷۵-۵۰ و ۵۰ < میکرون بعد از پراکنده کردن کل خاک با استفاده از دستگاه التراسونیک و الک‌های مناسب تعیین شدند. غلظت کل روی پس از هضم مرطوب نمونه‌ها در اسیدنیتریک به کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با کاهش اندازه ذرات خاک غلظت روی افزایش می‌یابد. بین میزان انعکاس‌های طیفی خاک در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک ماهواره IRS-LISS III و غلظت روی در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک همبستگی معنی‌دار و منفی وجود دارد. مدل‌های رگرسیون چندمتغیره گام به گام برای بررسی امکان تخمین غلظت روی در کلاس‌های ذرات خاک به کمک داده‌های باندهای ماهواره‌ای تشکیل شدند و پراکنش مکانی غلظت روی در کلاس‌های ذرات خاک به کمک معادلات رگرسیون چندگانه گام به گام پهنه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که امکان تخمین روی تا محدوده‌ای از غلظت به کمک داده‌های ماهواره‌ای امکان‌پذیر است، به طوری که در کلاس‌های اندازه‌ای ۲۰۰ <، ۷۵-۵۰، ۵۰ < میکرون در غلظت‌های کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم میزان روی اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده نزدیک خط ۱:۱ قرار دارند که نشانه دقت بیشتر معادلات برای تخمین روی در غلظت‌های پایین است. همچنین غلظت فلزات سنگین در همه کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک در نزدیکی معادن حداکثر است و با افزایش فاصله از معادن کاهش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی خاک، انعکاس، روی IRS-LISS III، سنجش از دور.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه خاک‌شناسی، تلفن: ۰۹۱۳۳۸۱۵۵۸۴

۱- مقدمه

نمونه‌برداری میدانی و آنالیزهای شیمیایی انجام می‌شوند که مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی هستند. در مقابل، استفاده از انعکاس طیفی در محدوده نور مرئی و مادون قرمز نزدیک با سرعت و سهولت بیشتری انجام می‌گیرد و هزینه کمتری نیز صرف می‌کند (Grossl & Sparks, 1995). 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 به عنوان متغیر مستقل، و هر یک از خصوصیات اندازه‌گیری شده در خاک به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود و برازش مدل‌های چندمتغیره خطی انجام می‌گیرد. این مدل‌ها ارتباط عددی هر یک از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لایه سطحی خاک را با تعدادی از باندهای طیفی الکترومغناطیس بیان می‌کنند. با اعمال ضرایب حاصل از برازش مدل‌های رگرسیونی در تصاویر رقومی منطقه مطالعاتی می‌توان اقدام به پهنه‌بندی خصوصیات خاک‌های سطحی کرد (Mohammadi & Chitsaz, 2002). مالی و ویلیامز (1997) در مطالعه‌ای به منظور پیش‌بینی غلظت فلزات سنگین در رسوبات دریاچه آب شیرین در شمال غرب کانادا از روش انعکاس طیفی مادون قرمز نزدیک استفاده کردند. ضریب تبیین (R^2) بین مقادیر اندازه‌گیری شده از طریق تجزیه شیمیایی و مقادیر پیش‌بینی شده به‌وسیله طیف‌سنجی در محدوده مادون قرمز برای عناصر Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Mn و Fe به ترتیب ۰/۶۳، ۰/۹۱، ۰/۹۳، ۰/۸۱، ۰/۸۸، ۰/۹۳ و ۰/۸۶ بود. یانزاهو و دیگران (2005) امکان استفاده از انعکاس طیفی را به عنوان روشی سریع و هم‌زمان در ارزیابی عناصر آلاینده Ni, Zn, As, Pb, Hg, Cu, Cr در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با استفاده از روش مذکور پیش‌بینی غلظت Cu, Pb, Cr و Ni در مقایسه با Ni, Zn, Hg, As بهتر صورت گرفته است و پیشنهاد کردند که مطالعات آلودگی با استفاده از داده‌های واقعی سنسجش از دور و اندازه‌گیری‌های میدانی صورت گیرد. چو و دیگران (2009) پتانسیل استفاده از پارامترهای جذب طیفی در دامنه ۲۴۰۰-

تاریخچه حیات بشر بر روی کره خاکی نشان از بهره‌مندی و استفاده‌ی وی از عناصر خاکی موجود در محیط زیست و در نتیجه تغییر توزیع سطحی مواد خاکی دارد (Mohammadi & Boyrahmadi, 2008). در برخی از مناطق، فعالیت‌های معدن‌کاوی آلودگی ذرات خاک را تا چند برابر افزایش داده و به‌شدت انسان‌ها را در معرض مواد خطرناک قرار داده است (Rodriguez et al., 2008). تحت چنین شرایطی، در اختیار داشتن داده‌ها و اطلاعات مربوط به غلظت آلودگی خاک در کنار داده‌های مربوط به سلامت و تندرستی انسان‌ها می‌تواند به‌خوبی گویای تأثیر چنین وقایعی باشند (Mohammadi & Boyrahmadi, 2008). غلظت طبیعی عنصر روی در خاک‌ها بین ۱۷ تا ۱۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و حد بحرانی آن ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Kabata & Pendias, 2000). اگر این عنصر بیش از حد معمول وارد چرخه غذایی انسان شود، برای سلامتی وی بسیار خطرناک خواهد بود. به عنوان مثال مسمومیت ناشی از عنصر روی موجب از کارافتادگی سیستم ایمنی شود و احتمال ابتلا به آسم را افزایش می‌دهد. برای ارزیابی تهدیدهای سلامتی انسان تحت تأثیر ذرات آلوده خاک، اطلاع از اندازه ذرات اهمیت فراوانی دارد زیرا ذرات آلوده در زمره آلاینده‌ها به شمار می‌آیند و انتقال‌شان تحت تأثیر اندازه آنهاست. ذرات با قطر آبرودینامیکی کوچک‌تر از ۱۰۰ میکرون به صورت معلق انتقال می‌یابند و ذرات 10 میکرون می‌توانند برای مدت طولانی به صورت معلق در هوا باقی بمانند (De Miguel et al., 1997). برخی از فلزات به صورت ترجیحی جذب ذرات ریز می‌شوند و اطلاع از توزیع اندازه ذرات برای انجام عملیات اصلاحی ضروری است (Wang et al., 2006). ذرات ریز از آنجا که سطح ویژه بیشتری نسبت به ذرات درشت‌تر دارند، به‌راحتی از مخاط معده عبور می‌کنند و جذب می‌شوند، بنابراین ذرات ریز و حاوی فلزات سنگین تهدید جدی برای سلامتی انسان به شمار می‌آیند (Line et al., 1998). روش‌های معمول برای پی بردن به میزان آلودگی شیمیایی خاک‌ها براساس

۲-۲- نمونه برداری

نمونه برداری بدین صورت انجام شد که موقعیت ۱۰۰ نقطه نمونه برداری به صورت تصادفی روی تصویر ترکیب رنگی مجازی استاندارد تعیین و سپس موقعیت نمونه‌ها با دستگاه سامانه موقعیت جهانی در منطقه شناسایی شد. در مرحله بعد اقدام به نمونه برداری مرکب از خاک سطحی در عمق ۱۰-۰ سانتی متری شد، به این صورت که از هر نقطه مشخص شده به فاصله ۳۰ متر تعداد سه نمونه جداگانه برداشته شد، به طوری که سه نمونه مزبور در سه رأس یک مثلث قرار گرفت. سپس ۴ نمونه خاک با هم مخلوط و در نهایت یک نمونه کلی از آن به دست آمد.

۲-۳- تجزیه‌های شیمیایی

پس از خشک کردن نمونه‌های خاک در آزمایشگاه هوا، با چکش پلاستیکی خرد شدند و از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. به منظور تسهیل جداسازی ذرات خاک بر اساس قطر در پنج کلاس اندازه‌ای ۵۰۰-۲۵۰، ۲۵۰-۱۲۵، ۱۲۵-۷۵، ۷۵-۵۰ و ۵۰ میکرون، نمونه‌های کل خاک (ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی متر) به مدت یک ساعت با دستگاه شیکر تکان داده شدند و سپس با دستگاه التراسونیک مدل UP200H پراکنده شدند و در نهایت جداسازی ذرات با اندازه‌های مورد نظر به وسیله الک صورت گرفت. به منظور تعیین غلظت کل روی در خاک روش هضم اسیدی به کار گرفته 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 غلظت کل روی با دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل پرکین المر تعیین شدند. در طول مراحل نمونه برداری و آنالیز شیمیایی دقت کافی به عمل آمد که از آلودگی جانبی اجتناب گردد.

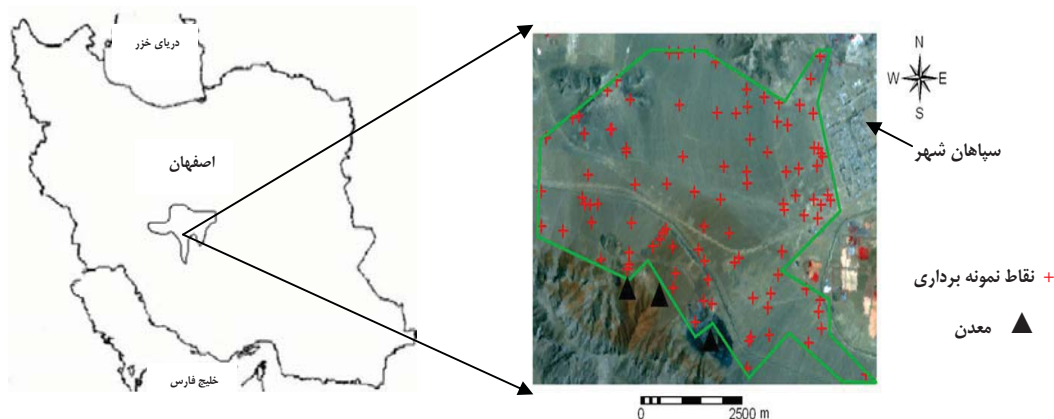
۴۰۰ نانومتر را برای پیش‌بینی فلزات سنگین و پهنه‌بندی پراکنش مکانی آنها بررسی کردند. آنها از رگرسیون خطی چندگانه گام به گام برای کمی کردن فلزات سنگین استفاده کردند و گزارش دادند که انعکاس طیفی در دامنه‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک (۲۴۰۰-۴۰۰ نانومتر) می‌تواند به عنوان روشی سریع و ارزان در آنالیزهای کمی و توصیفی بسیاری از عناصر سنگین مورد استفاده قرار گیرد.

گزارش‌های مبتنی بر آلودگی زمین‌های جنوب شهر اصفهان با عناصر سنگین و نیز اهمیت منطقه به دلیل نزدیکی معادن سرب و روی به مناطق کشاورزی و مسکونی، بررسی آلودگی این مناطق را ضروری می‌نماید. بررسی مذکور مستلزم هزینه‌های زیاد نمونه برداری و تجزیه شیمیایی است. با توجه به وجود آلودگی مشابه این منطقه در دیگر نقاط کشور، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای بررسی میزان و پراکنش آلودگی عنصر روی در این منطقه مورد توجه قرار گرفت. لذا هدف مطالعه حاضر، اندازه‌گیری غلظت کل روی 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.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعتی حدود ۹۰۰۰ هکتار در جنوب شهر اصفهان و در حومه سپاهان شهر واقع شده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۶۵۰ متر، متوسط بارش سالیانه ۱۲۵ میلی متر و جهت باد غالب، شمال شرق و جنوب غرب است. در قسمت‌های جنوبی منطقه، معدن دولتی باما و چند معدن خصوصی دیگر وجود دارد که غنی از رگه‌های روی و سرب‌اند. پوشش گیاهی منطقه شامل گیاهان مرتعی است و تنها در قسمت شرق منطقه کاربری کشاورزی وجود دارد. فرسایش آبی، بادی و گسترش فعالیت‌های معدنی مانند استخراج و حمل‌ونقل، زمینه‌های آلودگی اراضی این ناحیه را فراهم کرده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه برداری بر روی تصویر ماهواره‌ای

جدول ۱. پارامترهای معادلات ۱ و ۲

باند	offset*	Gain*	$E_{sun\lambda}^{**}$
IRS2	۰	۲	۱۸۴۶/۸
IRS3	۰	۲	۱۵۷۵/۵
IRS4	۰	۲	۱۰۸۷/۳
IRS5	۰	۲	۲۳۶/۷

*: سر فایل

** : WWW.USGS.gov

۲-۴- تصاویر ماهواره‌ای

اطلاعات ۴ باند ماهواره IRS-P6 LISS-III برداشت شده در نزدیکترین زمان به هنگام نمونه برداری در سال ۱۳۸۶ (۲۱ ژوئن ۲۰۰۷ میلادی) با دقت مکانی ۲۳ متر مورد استفاده قرار گرفتند. به کمک داده‌های نقاط شاخص استخراج شده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه، و موقعیت‌های برداشت شده به کمک سامانه موقعیت جهانی (GPS)، تصحیح هندسی تصاویر با دقت مناسب و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) 0.47^1 صورت گرفت. کلیه عملیات پردازش تصاویر با استفاده از نرم افزار ایلویس (ILWIS 3.4) انجام شد. تصاویر اصلاح شده بر اساس مدلی که مرخام و بارکر (1987) ارائه کردند، به صورت رابطه (۱) به رادیانس (L_λ) یا تشعشع تبدیل شدند.

$$L_\lambda = \text{Offset} + \text{Gain}(B_\lambda) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، L_λ : تشعشع ($\text{watt.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$)، Offset: عرض از مبدأ، Gain: شیب، B_λ = باند مرتبط است.

سرانجام تشعشع ثبت شده بر اساس رابطه (۲) به انعکاس تبدیل گردید.

$$\rho_p = \frac{\pi.L_\lambda.d^2}{E_{Sun\lambda}.\cos\theta} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، ρ_p = انعکاس، d = فاصله زمین تا خورشید (واحد نجومی)، θ = زاویه زنیط خورشید (درجه)، و $E_{sun\lambda}$ = میزان تشعشع خورشیدی در خارج از اتمسفر است.

1. Root Mean Square Error

به‌وسیله باد به اتمسفر انتقال پیدا می‌کنند و به سبب توزیع آلودگی فلزات سنگین می‌شوند. هرنگرن و دیگران (2006) گزارش کردند که رسوبات کوچک‌تر از ۱۵۰ میکرون بیشترین مقدار فلزات سنگین را جذب کرده‌اند. آکاستا و دیگران (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 روی در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک و انعکاس به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای IRS در جدول ۳ نشان داده شده است. بین غلظت روی در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک و انعکاس باندهای ۲، ۳، و ۴ ماهواره همبستگی منفی وجود دارد که در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دارند. افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک سبب کاهش انعکاس خاک می‌شود، که همبستگی منفی این پدیده را تأیید می‌کند.

دیانی و دیگران (2010) همبستگی منفی و معنی‌داری را بین غلظت سرب، روی و کادمیم در خاک و ارزش رقمی باندهای سنجنده 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 نمی‌شود. مالی و ویلیامز (1997) گزارش کردند که غلظت عناصر روی، سرب، کادمیم، نیکل، منگنز و آهن همبستگی منفی و معنی‌داری با اطلاعات باندهای سبز، آبی، قرمز و مادون نزدیک دارند. یانزاهو و دیگران (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 کادمیم گزارش کردند. چو و دیگران (2008) برای بررسی مقادیر عناصر سنگین در زمین‌های کشاورزی در اسپانیا از داده‌های

برخی از پارامترهای معادلات ۱ و ۲ در جدول ۱ ارائه شده و پارامترهای دیگر از سر فایل^۱ تصاویر دریافت شده‌اند.

۲-۵- تجزیه‌های آماری

میزان انعکاس باندهای مختلف ماهواره IRS-P6 LISS-III برای تمام نقاط نمونه‌برداری استخراج گردید. آمار توصیفی آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های خاک تهیه گردید و رابطه همبستگی بین غلظت روی در نمونه‌ها با میزان انعکاس نقاط متناظر در باندها مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های رگرسیون چندمتغیره گام به گام به‌منظور برآورد روی با استفاده از انعکاس باندهای ماهواره‌ای تشکیل شدند. با استفاده از این مدل‌ها اقدام به برآورد مقادیر عددی غلظت روی گردید. لازم به ذکر است که به صورت تصادفی از ۸۰ درصد داده‌ها برای برازش مدل‌ها و از ۲۰ درصد داده‌ها نیز برای صحت‌سنجی مدل‌های برازش‌شده استفاده گردید. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار Statistica, 2001 انجام شد.

۳. نتایج و بحث

توصیف آماری غلظت روی در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات خاک مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش اندازه ذرات خاک، غلظت کل روی در ذرات افزایش یافته است به‌طوری‌که کلاس اندازه‌ای کوچک‌تر از ۵۰ میکرون دارای بالاترین میانگین غلظت است. بر اساس نظر کاباتا و پندیاس (2000) حد بحرانی سم روی در خاک ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است؛ و در کلاس اندازه‌ای کوچک‌تر از ۵۰ میکرون، میانگین غلظت روی بالاتر از حد بحرانی آن در خاک است. در این خصوص وانگ و دیگران (2006) نیز در مطالعه فلزات سنگین در جزء‌های اندازه‌ای ذرات خاک، بالاترین غلظت فلزات سنگین را در جزء کوچک‌تر از ۴۴۵ میکرون گزارش کردند و اظهار داشتند که ذرات ریزتر از ۱۲۵ میکرون به‌آسانی

1. Header

اسپکتروفوتومتری 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 نتایج جدول ۳ امکان تخمین غلظت روی در کلاس‌های اندازه‌های ذرات خاک به کمک باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک بررسی شد. مناسب‌ترین مدل‌های رگرسیون چندمتغیره برآورد غلظت روی در کلاس‌های اندازه‌های ذرات خاک در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۲. خلاصه آماری غلظت کل عنصر روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در کلاس‌های اندازه‌های ذرات خاک (میکرون)

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات (%)
Zn<2000	۱۵۵	۲۶۸۰	۴۱۷/۲۳۲	۲۳۱/۲۵	۴۱۰/۶۵۹	۹۸/۴۲
Zn ₂₅₀₋₅₀₀	۴۱/۸۷۵	۱۲۳۱	۲۲۳/۷۰۱	۱۲۹/۶۲۵	۲۰۳/۷۸۷	۹۱
Zn ₁₂₅₋₂₅₀	۴۳/۰۵	۱۲۱۸	۲۲۹/۶۳۴	۱۳۶/۵	۲۰۸/۳۸۸	۹۰/۷۴
Zn ₇₅₋₁₂₅	۵۵/۸۵	۱۴۷۷	۲۳۱/۴۰۳	۱۳۱/۳۱۲	۲۳۰/۶۸۶	۹۹/۶۹
Zn ₅₀₋₇₅	۶۸/۱۲۵	۲۷۴۲/۵	۲۹۰/۰۵۱	۱۵۴	۳۷۳/۲۳۶	۱۲۸/۶۷
Zn<50	۱۱۸/۷۵	۲۹۸۷/۵	۴۰۰/۹۶۸	۲۲۵/۵	۴۲۵/۰۸۶	۱۰۶

جدول ۳. همبستگی بین غلظت روی در کلاس‌های اندازه‌های ذرات خاک (میکرون) با میزان انعکاس در باندهای ماهواره IRS

متغیر	انعکاس			
	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5
Zn<2000	-۰/۵۴*	-۰/۴۷*	-۰/۲۹*	۰/۰۲ n.s
Zn ₂₅₀₋₅₀₀	-۰/۵۲*	-۰/۴۶*	-۰/۳۰*	-۰/۰۱ n.s
Zn ₁₂₅₋₂₅₀	-۰/۴۹*	-۰/۴۳*	-۰/۲۷*	۰/۰۱ n.s
Zn ₇₅₋₁₂₅	-۰/۵۱*	-۰/۴۵*	-۰/۳۰*	-۰/۰۴ n.s
Zn ₅₀₋₇₅	-۰/۴۷*	-۰/۴۷*	-۰/۲۷*	-۰/۰۳ n.s
Zn<50	-۰/۴۸*	-۰/۴۷*	-۰/۲۶*	۰/۰۰ n.s

n.s و * : به ترتیب معرف غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح $P < 0.05$

جدول ۴. مدل‌های رگرسیون چندمتغیره برای تخمین غلظت روی در کلاس‌های اندازه‌های ذرات خاک (میکرون)

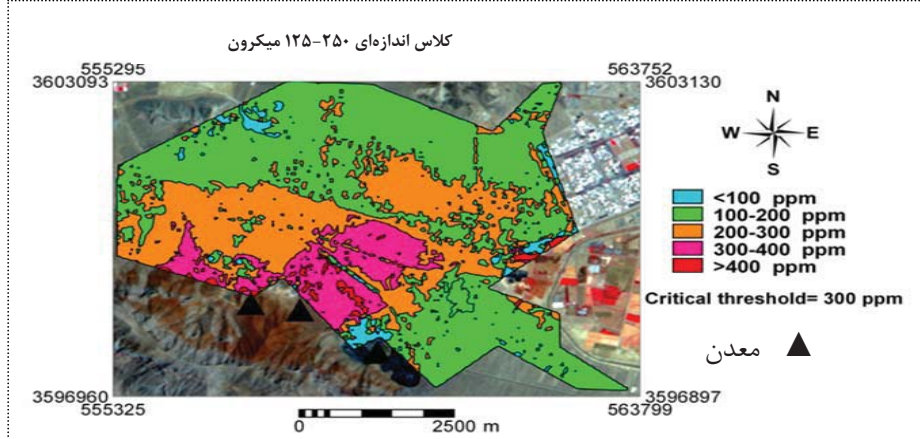
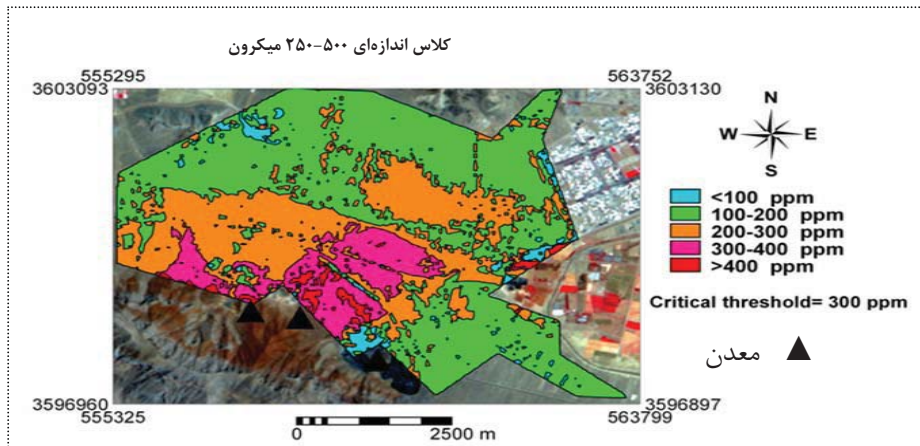
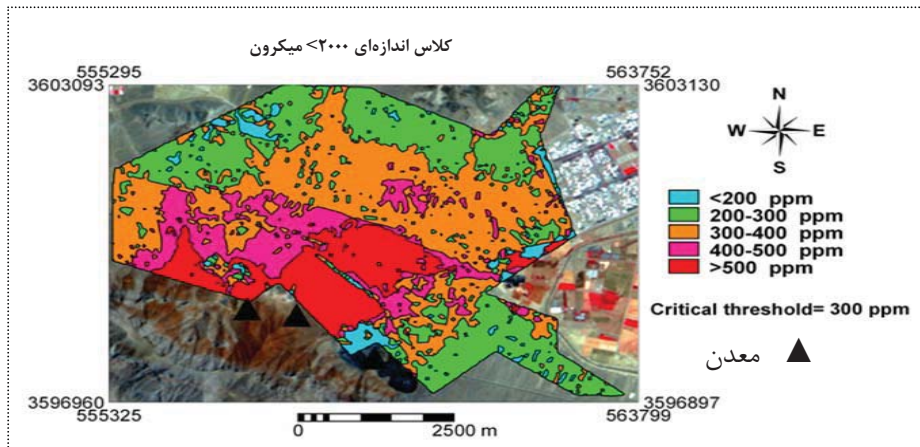
مدل	F	R ²
Zn _{<2000} mg kg ⁻¹ soil = 1642.99 - 7866.96 (band 2) + 3476.74 (band 4)	۲۹**	۰/۴۲**
Zn ₂₅₀₋₅₀₀ mg kg ⁻¹ soil = 1092.35 - 4846.97 (band 2) + 1973.93 (band 4)	۲۱**	۰/۳۵**
Zn ₁₂₅₋₂₅₀ mg kg ⁻¹ soil = 1013.77 - 4768.98 (band 2) + 2056.79 (band 4)	۲۰**	۰/۳۴**
Zn ₇₅₋₁₂₅ mg kg ⁻¹ soil = 1040.99 - 4659.79 (band 2) + 1920.92 (band 4)	۲۰**	۰/۳۵**
Zn ₅₀₋₇₅ mg kg ⁻¹ soil = 1215.3 - 5465.11 (band 2) + 2262.02 (band 4)	۱۷**	۰/۳۰**
Zn _{<50} mg kg ⁻¹ soil = 1650.82 - 7858.93 (band 2) + 3438.06 (band 4)	۱۹**	۰/۳۳**

(P<0.01) : **

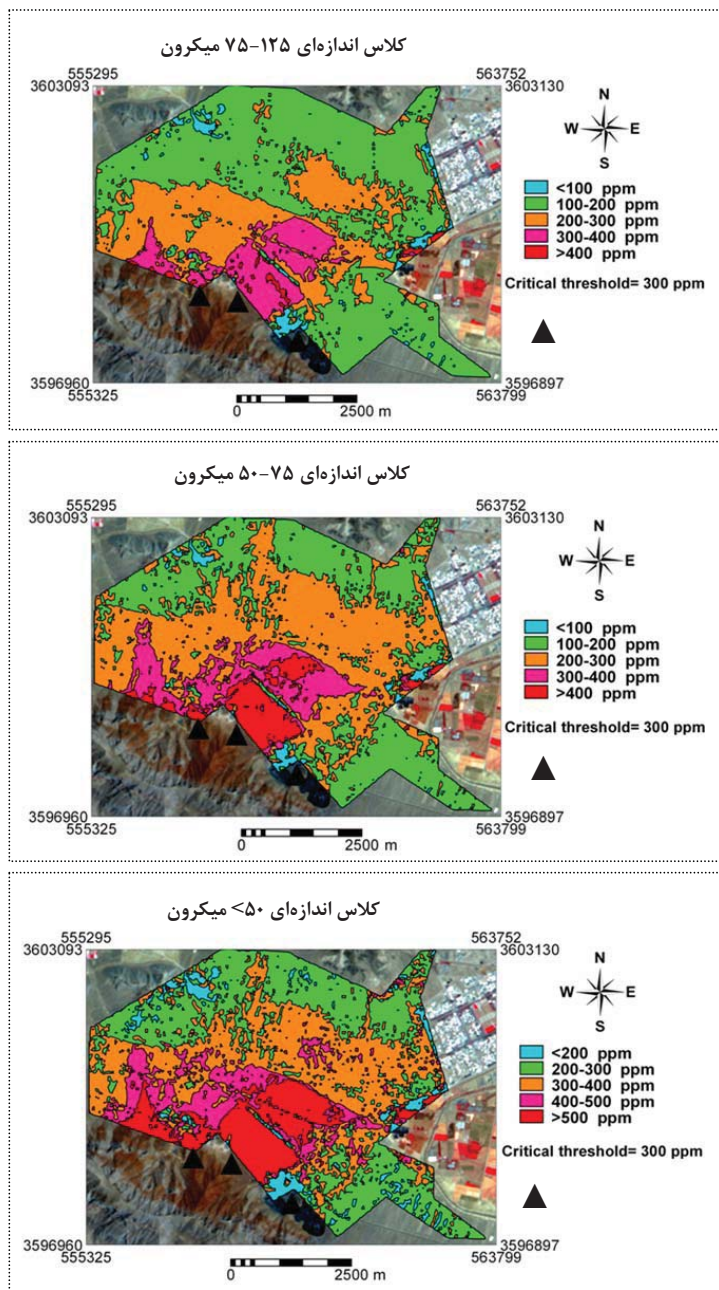
قابلیت استفاده از داده‌های ماهواره IRS-P6LISS-III برای تعیین خاک‌های آلوده به روی

نقشه‌های پراکنش مکانی غلظت روی در کلاس‌های اندازه‌های ذرات خاک تهیه شدند (شکل‌های ۲ و ۳).

همان‌طور که جدول ۴ نشان می‌دهد برای تخمین روی، انعکاس باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک در مدل‌ها وارد شده‌اند. به کمک مدل‌های جدول ۴



شکل ۲. پراکنش مکانی عنصر روی در کلاس‌های اندازه‌های <2000 ، ۲۵۰-۵۰۰ و ۱۲۵-۲۵۰ میکرون خاک‌های منطقه



شکل ۳. پراکنش مکانی عنصر روی در کلاس‌های اندازه‌های ۱۲۵-۷۵، ۷۵-۵۰ و <۵۰ میکرون خاک‌های منطقه

غلظت روی در کلاس‌های اندازه‌های <۲۰۰۰ و <۵۰ میکرون خاک در محدوده ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار دارد، بدین ترتیب در کلاس اندازه‌های

این نقشه‌ها نشان می‌دهند که در اطراف معادن، آلودگی حداکثر است و با افزایش فاصله از معادن، آلودگی کاهش می‌یابد. در زمین‌های نزدیک شهر،

خاک را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ در کلاس‌های اندازه‌ای ۵۰۰-۲۵۰، ۲۵۰-۱۲۵ و ۱۲۵-۷۵ میکرون تقریباً در غلظت‌های کمتر از ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، اندکی بیش‌برآورد وجود دارد و در کلاس‌های اندازه‌ای ۲۰۰۰، ۷۵-۵۰، ۵۰ میکرون تقریباً در غلظت‌های کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، میزان روی اندازه‌گیری شده و برآورد شده نزدیک خط ۱:۱ قرار دارند که نشانه دقت بیشتر معادلات برای تخمین روی در غلظت‌های پایین است. به‌طور کلی مدل‌های مورد بررسی توانستند در غلظت‌های پایین، با دقت مناسبی آلودگی روی را برآورد کنند، ولی در غلظت‌های بالای روی در خاک خطای مدل افزایش می‌یابد و فروتخمین^۱ آلودگی را نشان می‌دهند. مالی و ویلیامز (1997) و چو و دیگران (2008) نیز که به ترتیب در کشورهای کانادا و اسپانیا برای برآورد آلودگی عناصر سنگین از مدل‌های رگرسیونی و انعکاس باندها استفاده کردند، نتایج مشابهی را گزارش دادند.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به غلظت‌های بالای روی در خاک‌های منطقه، تجمع زیاد این عنصر در ذرات ریزتر خاک و گسترش فعالیت‌های معدنی، ساکنان منطقه به‌شدت در معرض خطر آلودگی قرار دارند. به دلیل حساسیت ذرات ریز خاک به فرسایش بادی و اینکه به‌آسانی در هوا معلق می‌شوند، ضروری می‌نماید که از انتشار ذرات خاک در این منطقه جلوگیری شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در مناطق صنعتی و آلوده به فلزات سنگین - از جمله منطقه مورد مطالعه - حفاظت فیزیکی و بیولوژیکی در مقابل فرسایش بادی و آبی صورت گیرد. مطالعه نقشه‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که داده‌های ماهواره IRS قادرند مقادیر و روند تغییرات آلودگی روی را در منطقه به‌خوبی نشان دهند.

۲۰۰۰ میکرون میزان آلودگی نزدیک حد بحرانی و برای کلاس اندازه‌ای ۵۰ میکرون آلودگی خاک بالاتر از حد بحرانی است (۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم). غلظت روی در همه کلاس‌های اندازه‌ای در اطراف معادن بیشتر از حد بحرانی آن در خاک است. با توجه به نقشه‌های به‌دست‌آمده اراضی نزدیک شهر در کلاس‌های اندازه‌ای خاک ۲۰۰۰ و ۵۰ میکرون آلوده به عنصر روی هستند.

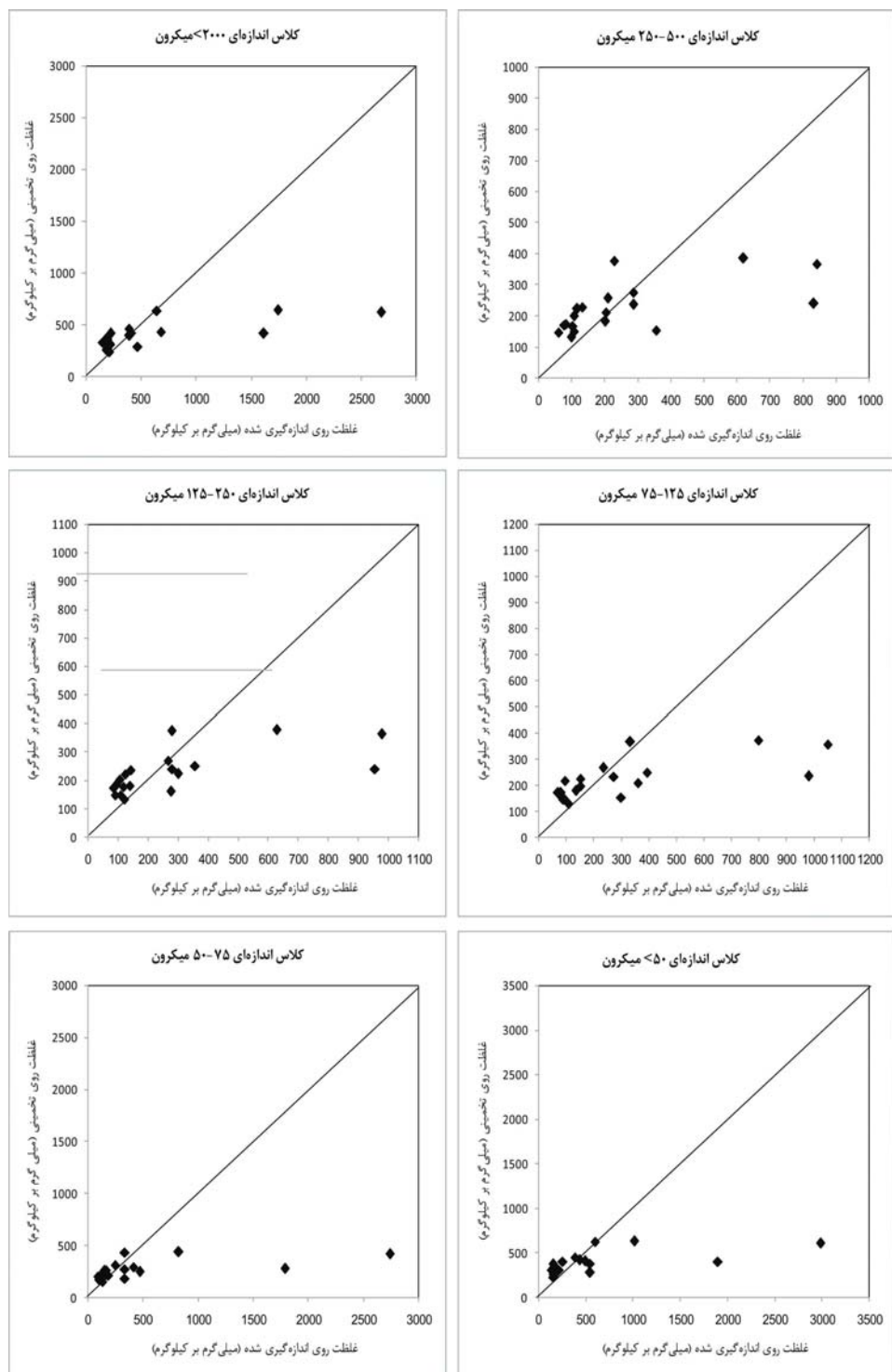
نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه با نتایج مطالعاتی که در دیگر نقاط انجام شده است مطابقت دارد؛ برای مثال مالی و ویلیامز (1997) از روش‌های رگرسیونی حداقل مربعات جزئی و اطلاعات باندهای سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک برای بررسی پراکنش روی در کانادا استفاده کردند. کمپر و سامر (2002) نیز در مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره گام به گام از اطلاعات باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک برای تخمین سرب، و از اطلاعات باندهای قرمز، سبز و مادون قرمز نزدیک برای تخمین روی و کادمیم در اسپانیا استفاده کردند. چو و دیگران (2008) از مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره گام به گام برای بررسی پراکنش عناصر سنگین در اطراف معدن روداکویلاز اسپانیا استفاده کردند و گزارش دادند که اطلاعات باندهای آبی، قرمز و مادون قرمز نزدیک برای تخمین روی وارد مدل‌ها شده‌اند.

۴- اعتبارسنجی معادلات رگرسیون چندمتغیره

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 چندمتغیره، انعکاس‌های خاک در ۲۰ نقطه در باندهای اطلاعات ماهواره‌ای مرتبط مشخص شدند و برای تخمین غلظت روی در مدل‌های مربوط قرار گرفتند و مقادیر تخمینی به‌دست آمدند. شکل ۴ رابطه بین غلظت روی اندازه‌گیری شده و تخمینی در کلاس‌های اندازه‌ای ذرات

1. Under estimation

شهناز محمودی و همکاران



شکل ۴. غلظت‌های روی اندازه‌گیری شده در کلاس‌های اندازه‌های ذرات خاک در مقابل مقادیر تخمینی آنها با استفاده از مدل‌های رگرسیونی

۶- منابع

- Acosta, J.A., Faz Cano, A., Arocena, J.M., Debela, F. and Martinez-Martinez, S., 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., Meer, F., Ruitenbeek, F., Werff, H., Smeth, B. and Kim, K., 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 Sensing of Environment*, 112, 3222-3233.
- Choe, E., Kim, K.W., Bang, S., Yoon, I. and Lee, K.Y., 2009, **Qualitative Analysis and Mapping of Heavy Metals in an Abandoned Au-Ag Mine Area Using NIR Spectroscopy**, *Environmental Geology*, 58, 477-482.
- Dayani, M., Naderi, M., and Mohammadi, J., 2010, **Mapping Concentrations of Pb, Zn and Cd in Soils Using landsat ETM+ Data in Southern Isfahan**, *Journal of water and soil*, 24, 286-296.
- De Miguel, D., Llamas, J., Chacon, E., Berg, T., Larssen, S., Royset, O. and Vadset, M., 1997, **Origin and Patterns of Distribution of Trace Elements in Street Dust: Unleaded Petrol and Urban Lead**, *Atmospheric Environment*, 31, 2733-2740.
- Grossl, P. R., and Sparks, D. L., 1995, **Evaluation of Contamination Adsorption/desorption on Goethite Using Pressure Jump Relaxation Kinetics**, *Geoderma*, 67, 87-101.
- Herngren, L., Goonetilleke, A. and Ayoko, G.A., 2006, **Analysis of Heavy Metals in Road-Deposited Sediments**, *Analytica Chimica Acta*, 571, 270-278.
- Kabata-pendias, A., and Pendias, H. K., 2000, **Trace Elements in Soils and Plants**, Publisher: CRC, Press, United States. 413 p.
- Kemper, T. and Sommer, S., 2002, **Estimate Heavy Metal Contamination in Soil After a Mining Accident using Reflectance Spectroscopy**, *Environmental Science and Technology*, 36, 2742-2747.
- Lin, Z.X., Harsbo, K., Ahlgren, M. and Qvarfort, U., 1998, **The Source and Fate of Pb in Contaminated Soils at the Urban Area of Falun in Central Sweden**, *Science Total Environ*, 209, 47-58.
- Markham, B.L. and Barker, J.L., 1987, **Thematic Mapper Bandpass Solar Exoatmospheric Irradiances**, *International Journal of Remote Sensing*, 517-523.
- Mohammadi, J. and Boyrahmadi, M., 2008, **Pedomedicine**, Pelk, Tehran, 288 p.
- Mohammadi, J., and Chitsaz, V., 2002, **Comparison of Geostatistical Predictors and Linear Regression for Estimation Some Surface Soil Properties Using thematic Mapper Data**, *Journal of water and soil*, 16, 197-205.
- Rodriguez, J. A., Nanos, N., Grau, J. M., Gil, L.

- and Lopez-Arias, M., 2008, **Multiscale Analysis of Heavy metal Contents in Spanish Agricultural Topsoils**, Chemosphere, 70, 1085-1096.
- Sposito, G., Lund, L.J., and Chang, A.C., 1982, **Trace Metal Chemistry in Arid- zone Field Soils Amended Sewage Sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, Pb in Solid Phases**, Soil Science Society of America Journal, 46, 260-264.
- Stat Soft, Inc., **STATISTICA**, (data analysis software system), Version 6.0, 2001.
- Wang, X., Qin, Y. and Chen, Y., 2006, **Heavy Metals in Urban Roadside Soils, Part 1: Effect of Particle Size Fractions on Heavy Metals Partitioning**, Environmental Geology, 50, 1061-1066.
- WWW. USGS.gov
- Yanzaho, W., Jun, C., Xinmin, W. and Qingjiu, T., 2005, **Possibilities of Reflectance Spectroscopy for Assessment of Contamination Element in Suburban Soil**, Applied Geochemistry, 20, 1051-1059.