

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات آبرفتی کواترنر با بهره‌گیری از GIS و RS در منطقه نصرت آباد، باختر زاهدان

نسرین صدرمحمدی*؛ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه خوارزمی تهران
خلیل رضایی؛ عضو هیئت علمی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران
علی قربانی؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور زمین‌شناختی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۰

چکیده

مطالعات زیست‌محیطی بر رسوبات پهنه‌های کواترنر امروزه با اهداف مختلف به طور روزافزون در حال گسترش است. با هدف ارزیابی میزان آلودگی رسوبات کواترنر در این مطالعه، ابتدا واحدهای سنگ‌شناسی (پهنه افیولیتی) نصرت‌آباد، با استفاده از سنجش از دور تفکیک شدند. با استفاده از داده‌های ژئوشیمی رسوبات آبراه‌ای (۳۵۰ نمونه) برای شناسایی هر چه بهتر مناطق آلوده یا در معرض آلودگی به فلزات سنگین عناصر نیکل، سرب، روی، مس و مولیبدن اقدام به تهیه نقشه‌های پراکنش شاخص آلودگی (Igeo) و فاکتور آلودگی (CF) شد. از دو روش آماری چندمتغیره ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای، به منظور منشأیابی آماری عناصر، تعیین وضعیت روند آلودگی خاک و پهنه بندی هر یک از شاخص‌های محاسبه شده با روش درونیابی کریجینگ استفاده شد. برای شناسایی مناطق آلودگی دارای تراکم زیاد و کم در مقیاس محلی نیز از روش وزن‌دهی عکس مجذور فاصله (IDW) در محیط GIS و برای محاسبات پارامترهای آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. نتایج نشان دادند قسمت جنوب شرقی منطقه از لحاظ وجود عنصر نیکل دارای آلودگی بسیار بالا بوده و عنصر مس دارای آلودگی متوسط در جنوب منطقه است. با توجه به تفکیک واحدهای افیولیتی منطقه توسط سنجش از دور، سنگ‌های با ماهیت بازیگ (گابروها و بازالت‌ها) بعنوان دربرگیرنده و منشأ عناصر Ni و Cu موجود در منطقه شناسایی شدند. کلیدواژه‌ها: آنالیز خوشه‌ای، افیولیت، سنجش از دور، رسوبات آبراه‌ای، وزن‌دهی معکوس.

مقدمه

آلودگی خاک و رسوبات کواترنر تهدیدی روزافزون برای سلامتی و کیفیت محیط زیست انسان‌ها به شمار می‌رود. یکی از مکان‌هایی که فلزات سنگین در آن به‌وفور یافت می‌شود خاک است (سیادی و همکاران ۲۰۱۷). بین آلاینده‌های خاک و محیط زیست، محققان در چند دهه گذشته به عناصر سنگین بیشتر توجه کرده‌اند؛ به دلیل مشکلات زیست‌محیطی فراروی بشر و توانایی بالقوه این عناصر در آسیب‌رسانی به سلامت انسان‌ها و حیوانات. تاریخچه حیات بشری حاکی از بهره‌مندی و استفاده وی از عناصر حاکی موجود در محیط و در نتیجه تغییر توزیع سطحی مواد خاک و پوشش‌های گیاهی بر سطح زمین است (محمدی و بویراحمدی ۱۳۸۷). فلزات سنگین به دلیل سمیت و ماندگاری در محیط زیست در گروه آلاینده‌های بسیار

خطرناک قرار دارند (بوآمپونسم و همکاران ۲۰۱۰؛ کساوینا و همکاران ۲۰۱۲). روند انباشته شدن عناصر سنگین در رسوبات کواترنر بسیار کند و اثر آن پس از دهها سال نیز قابل مشاهده است. ولی، به دلیل اینکه فرایند انباشت عناصر تقریباً فرایندی برگشتناپذیر است، در درازمدت موجب کاهش کیفیت خاک و در نهایت سبب تخریب اراضی کشاورزی خواهد شد (کاباتا و پندیاس ۱۹۹۴). تمرکز فلزات سنگین در حد مقادیر زمینه ژئوشیمیایی خطری ندارد. ولی اگر به حد مقادیر ناهنجار و بالاتر از میزان مجاز برسد، باید محیط را از آن‌ها پاکسازی کرد. حضور فلزات سنگین در محیط زیست بسیار مشکل‌ساز است. این موضوع به پایداری طولانی‌مدت آن‌ها مربوط می‌شود. زیرا این آلاینده‌ها از طریق فعل و انفعالات شیمیایی و دیگر فرایندها در طبیعت تجزیه نمی‌شوند (کاباتا و همکاران ۲۰۰۷).

آلودگی و از بین رفتن خاک و قابل استفاده نبودن آن باعث مشکلاتی در درازمدت می‌شود که جبران آن‌ها بسیار مشکل است و هزینه‌های سنگینی را طلب می‌کند که آن هم فقط در مدت زمان طولانی امکان‌پذیر است. داده‌های ماهواره‌ای، به دلیل اینکه محدوده گسترده‌ای را پوشش می‌دهند، برای بررسی‌های اولیه و پایه می‌توانند به کار روند. فناوری سنجش از دور، در زمینه کنترل و پایش آلودگی‌های مختلف، با جمع‌آوری داده‌های مناسب، در مدیریت منابع مختلف بسیار کمک‌رسان است و وضعیت سلامت منابع مختلف را از لحاظ عدم حضور آلودگی‌های گوناگون ارزیابی می‌کند. یکی از مشکلات بسیار مهم محیط زیست آلودگی خاک با فلزات سنگین است. با کاربرد فناوری سنجش از دور و استفاده از داده‌های چندطیفی و با یاری گرفتن از مطالعات میدانی می‌توان ارتباط میان ساختار پوشش گیاهی، خواص فیزیک و شیمیایی، و خواص زیستی سیستم پوشش گیاهی خاک و درجه آلودگی آن به فلزات سنگین را بررسی کرد. همچنین یکی از مزایای روش سنجش از دور به حداقل رساندن بررسی‌های سطحی، به‌ویژه در مناطق غیرقابل دسترس، بر اساس اطلاعات طیفی به‌دست‌آمده از مقایسه با نقاط دیگر با کانی‌سازی معلوم است. این روش قادر است در کوتاه‌ترین زمان ممکن محل‌های محتمل را در نقاط دورافتاده و خشک و بیابانی مشخص کند (روون و همکاران ۲۰۰۶؛ تنجستانی و همکاران ۲۰۰۸؛ رنجبر و شهریاری ۱۳۸۵). بنابراین از داده‌های دورسنجی می‌توان در زمین‌شناسی زیست‌محیطی و بررسی آلودگی‌ها استفاده کرد. منطقه نصرت‌آباد در استان سیستان و بلوچستان یکی از نقاطی است که آلودگی احتمالی خاک آن را منابع متعدد گزارش کرده‌اند، که از آن جمله می‌توان به بررسی غلظت فلزات سنگین (آهن، نیکل، مس، روی، سرب) در خاک کشاورزی بخش مرکزی سیستان (جوان‌سیامردی و همکاران ۱۳۹۳)، بررسی آلودگی خاک به فلزات سنگین با استفاده از شاخص فاکتور آلودگی در محل دفن زباله شهری زاهدان (بزی و همکاران ۱۳۹۶)، و بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهر زاهدان (کمائی و همکاران ۱۳۹۶) اشاره کرد. در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده استر، مربوط به ماهواره ترا، و از داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای، به تعداد ۳۵۰ نمونه، به منظور بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. در واقع، بازسازی انواع لیتولوژی موجود در منطقه نصرت‌آباد سیستان و بلوچستان توسط سنجش از دور، به‌خصوص واحدهای افیولیتی منطقه، که منشأ وجود عناصر سنگین در رسوبات کواترنری است، و بررسی شاخص‌های آلودگی، نظیر ضریب آلودگی و شاخص زمین‌انباشتگی و ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای، با استفاده از داده‌های ژئوشیمی، هدف اصلی این پژوهش است، تا نحوه توزیع فلزات سنگین مانند Ni, Pb, Zn, Cu, Mo در رسوبات آبرفتی منطقه مطالعه و ارزیابی و نقشه‌پراکنده‌گری آن تهیه شود.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

منطقه نصرت‌آباد در شرق ایران (بلوچستان)، حاشیه جنوب خاوری پهنه لوت، و در مرز جنوب باختری زمیندرز سیستان، در طول جغرافیایی $30^{\circ} 59'$ تا $60^{\circ} 17'$ شرقی و عرض جغرافیایی $32^{\circ} 32'$ تا $30^{\circ} 13'$ شمالی، با ارتفاع متوسط ۱۱۱۹ متر از سطح دریا، در ۹۵ کیلومتری باختر زاهدان قرار گرفته است. این منطقه از نظر زمین‌شناسی در پهنه رسوبی ساختاری فلیشی شرق ایران، در حاشیه پهنه ساختاری سیستان (نوگل‌سادات ۱۳۷۲)، بین دو گسل بزرگ نصرت‌آباد و کهورک، واقع شده است. بخش مرکزی این منطقه به شدت تحت تنش تکتونیکی است که آبراهه‌های منطقه نیز از این شکستگی‌ها تبعیت می‌کنند (شوقی ۱۳۸۶؛ بربریان و همکاران ۱۳۶۲؛ درویش‌زاده ۱۳۷۰).

در زمینه تاریخچه زمین‌شناسی این منطقه این باور وجود دارد که با گسترش اقیانوس نئوتتیس در زمان کرتاسه میانی (بارمین) و حتی آلبین شاخه‌هایی از آن به صورت گسل‌های ترانسفورم به داخل ایران کشیده شده و خرده‌قاره‌های جدا از هم پدیدار گشته‌اند؛ که به جدا شدن بلوک لوت از بلوک افغان و پدیدار شدن اقیانوس نئوبلوچ در حد فاصل این دو بلوک منجر شده است (بربریان و همکاران ۱۳۶۲). این وضعیت در اواخر کرتاسه - پالئوسن در حدود پنجاه میلیون سال به طول انجامیده و طی فاز لارامید در اثر تصادم بین بلوک لوت و افغان از بین رفته است که در نهایت چین‌های جنوب خاور ایران با روند شمالی - جنوبی به وجود آمده‌اند. قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه فلیش‌های کرتاسه و افیولیت‌ها هستند (آقاناتی ۱۳۸۳). مجموعه افیولیتی نصرت‌آباد تکتونیزه و بخشی از افیولیت‌های درونی ایران است که در شرق خردقاره ایران مرکزی قرار گرفته است. توالی گوشته‌ای این مجموعه شامل پریدوتیت‌ها و توالی پوسته‌ای درونی شامل دیاباز و بازالت است. گابرو و لایه‌های آتشفشانی نیز دربردارنده گزاره بالشی است. افیولیت‌های منطقه به صورت نوارهای باریک و طویل در راستای پهنه گسلی نصرت‌آباد - کهورک واقع شده است. بلوک لوت، با ماهیت پوسته قاره‌ای و دارای پی‌سنگ، به سن کامبرین، در باختر این افیولیت‌ها قرار دارد. کانه‌زایی‌های مس و نیکل و کبالت را اولین بار سازمان زمین‌شناسی (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور ۱۳۹۲) در نوار افیولیتی شمال نصرت‌آباد معرفی کرد. در بخش زیرین توده لایه‌بندی تقریباً افقی گابروئیدها، همراه نوارهایی از آذرین‌های روشن، وجود دارد که با ارتباطات نامشخص به گابروئید اولترابازیک‌های جریان‌ی سیاه با ویژگی ساختمانی آفانیتی متصل می‌شود. از نظر ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها با پریدوتیت گابرو مطابقت می‌کنند. همچنین، کانه‌زایی سولفیدی شامل پیروتیت و کالکوپیریت و پنتلانیدیت و کانه‌های دیگر است که در کل سولفیدها ۱ تا ۲ درصد سنگ را تشکیل می‌دهند (نییی ۱۳۸۹؛ مسلمی مهنی و همکاران ۱۳۹۱؛ پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور ۱۳۹۲). سنگ‌های مافیک واقع در پهنه گسلی نصرت‌آباد - کهورک به توالی از سنگ‌های پریدوتیت، دیاباز، گابرو، بازالت بالشی، و رادیولاریت وابسته‌اند که نشان‌دهنده ماهیت افیولیتی آن‌هاست و بخشی از پوسته اقیانوسی است. این سنگ‌ها از پلاژیوکلاز، پیروکسن، کلریت، کلسیت، و مگنتیت تشکیل شده‌اند و فاقد الیون‌اند. سنگ‌های گابرویی موجود در مجموعه افیولیتی منطقه به رنگ خاکستری تیره تا سبز تیره به شدت تحت تأثیر فرایندهای زمین‌ساختی قرار گرفته و گسله شده‌اند، که همین عامل در تسریع هوازدگی و تجزیه واحدهای گابرویی نقشی بسزا داشته است (مجددی‌مقدم و احمدی ۱۳۹۴). رخنمون‌های افیولیتی منطقه نمایانگر باقی‌مانده‌های لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس در حد فاصل بلوک‌های قاره‌ای لوت و افغان‌اند و پریدوتیت‌های گوشته‌ای

بیشترین حجم سنگ‌های متعلق به مجموعه افیولیتی را به خود اختصاص داده‌اند و عمدتاً شامل هارزبورژیت تا کلینوپیروکسن - هارزبورژیت هستند (ابراهیمی و همکاران ۱۳۹۶).

در خاور افیولیت‌ها، توالی چین‌خورده - گسله و رسوبات فلیشی دگرگون‌شده خاور ایران مشاهده می‌شود. ادامه فلیش کرتاسه بالایی قدیمی‌ترین دنباله سنگی رخنمون‌یافته در زمیندرز سیستان است که دارای دگرگونی کم اما دگرشکلی بسیار و شامل توالی سنگ‌هایی از توفیت، سیلتستون، ماسه‌سنگ‌های آرکوزی، شیل‌های سبزرنگ، کوارتزیت، و گریوک‌اند. ردیف رسوبی، که دارای دگرگونی کم اما دگرشکلی زیاد به سن ائوسن است، دربرگیرنده شیل‌های سبز و خاکستری با میان‌لایه‌هایی از آهک‌های آرژیلیتی است که بخش اصلی این زیرزون است. سنگ‌های افیولیتی با پوشش رسوبات پلاژیک به صورت واحدهای آمیزه رنگین، همراه رسوبات دارای سن ائوسن، در این زیرزون دارای رخنمون‌اند. علاوه بر توالی‌های سنگی اولترامافیک‌ها و فلیش‌های کرتاسه (کامپ و گریفیس ۱۹۸۲)، فلیش‌های ائوسن به شکل آمیزه تکتونیک، کنگلومرای الیگوسن، و آبرفت‌های پلیوکواترنر (شکل ۱) نیز مشاهده می‌شوند (تیرول و همکاران ۱۹۸۳). با توجه به این موضوع که گسل کهورک واحدهای به سن پلیوسن را قطع کرده است، سن آغاز فعالیت این گسل در منطقه مورد مطالعه جوان‌تر از پلیوسن است. روند خطی این گسل در آبرفت‌های کواترنر شاهد خوبی مبنی بر فعالیت این گسل در عهد حاضر است (نبی‌بی و مریدی ۱۳۸۹).

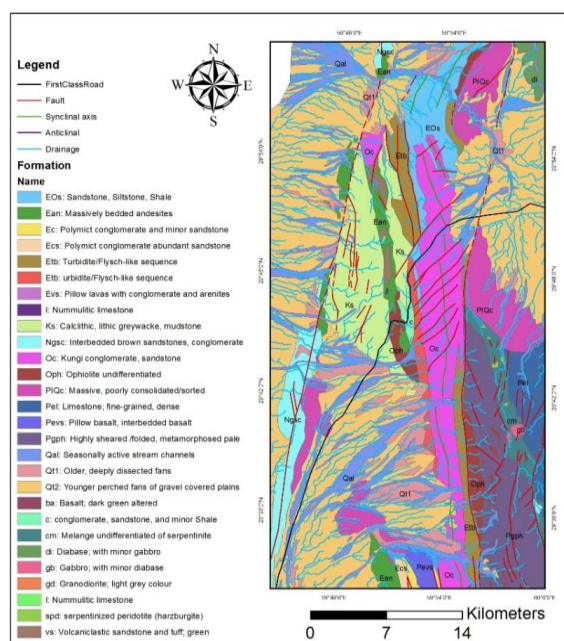
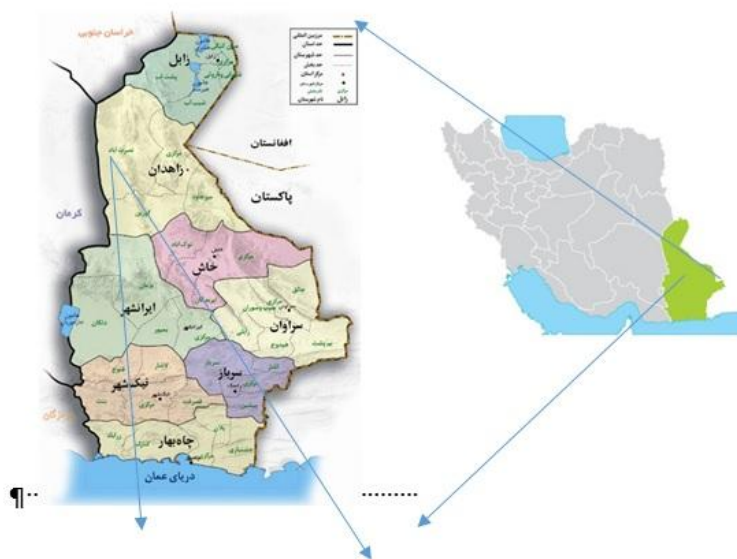
روش کار

در این پژوهش در مرحله اول از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده استر به منظور تفکیک واحدهای پهنه افیولیتی منطقه و منشأیابی آلودگی خاک استفاده شد. پردازش تصویر حساس‌ترین و مهم‌ترین مرحله دورسنجی است که به نحو چشمگیری نتایج نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در پردازش هدفدار تصاویر چندباندی، شناخت و درک رفتار طیفی پدیده مورد مطالعه، در پهنه طیفی باندهای سنجنده، اهمیت زیادی دارد (فراهانی ۱۳۸۴). به منظور بررسی قابلیت‌های سنجنده استر از روش ترکیب‌های رنگی کاذب استفاده شد. کاربرد این روش به‌ویژه در مواجهه با تصاویر چندباندی استر سودمند است. در این روش از ترکیب سه باند ساده در رنگ‌های قرمز و سبز و آبی یا ترکیبی از مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌های باندی و باندهای ساده استفاده می‌شود (آبرامز و همکاران ۱۹۸۳؛ رووان و مارس ۲۰۰۳). همچنین به منظور تفکیک بهتر و جزئی‌تر واحدهای سنگی منطقه از روش نسبت باندی استفاده شد. در مرحله دوم، تعداد ۳۵۰ نمونه ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای آنالیز شد. پس از پردازش‌های آماری اولیه و حذف داده‌های نابه‌هنجار، نقشه پراکنش برای هر عنصر تهیه و مقادیر آن با مقادیر استاندارد مقایسه شد. طبق نتایج، با توجه به وجود و فراوانی عناصر نیکل، سرب، روی، مس، و مولیبدن برای بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات آبرفتی منطقه انتخاب و نقشه‌های پراکنش شاخص آلودگی (Igeo) و فاکتور آلودگی (CF) تهیه شد.

نتایج و آنالیز داده‌های سنجنش از دور

داده‌های ماهواره‌ای استفاده‌شده در این پژوهش داده‌های سنجنده استر ماهواره ترا است. قبل از پردازش تصاویر، پیش‌پردازش‌ها روی داده‌ها انجام گرفت که شامل تصحیح رادیومتریک به روش Subtraction Dark و تصحیح

اتمسفری به روش IAR Reflectance است. به منظور جلوگیری از خطای احتمالی در پردازش داده‌ها، پوشش گیاهی منطقه به روش NDVI شناسایی و با روش Masking نادیده گرفته شد. سپس بهترین باندهای سنجنده استر انتخاب و با توجه به نیاز محدوده مورد پژوهش در تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی منطقه، که بیشتر از نوع افیولیتی است، نوع ترکیب باندی مورد نظر شناسایی و اعمال شدند. برای بهتر نشان دادن نتیجه تفکیک باندی از تکنیک‌های ترکیب رنگی کاذب استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت و نقشه زمین‌شناسی منطقه ناصرت آباد

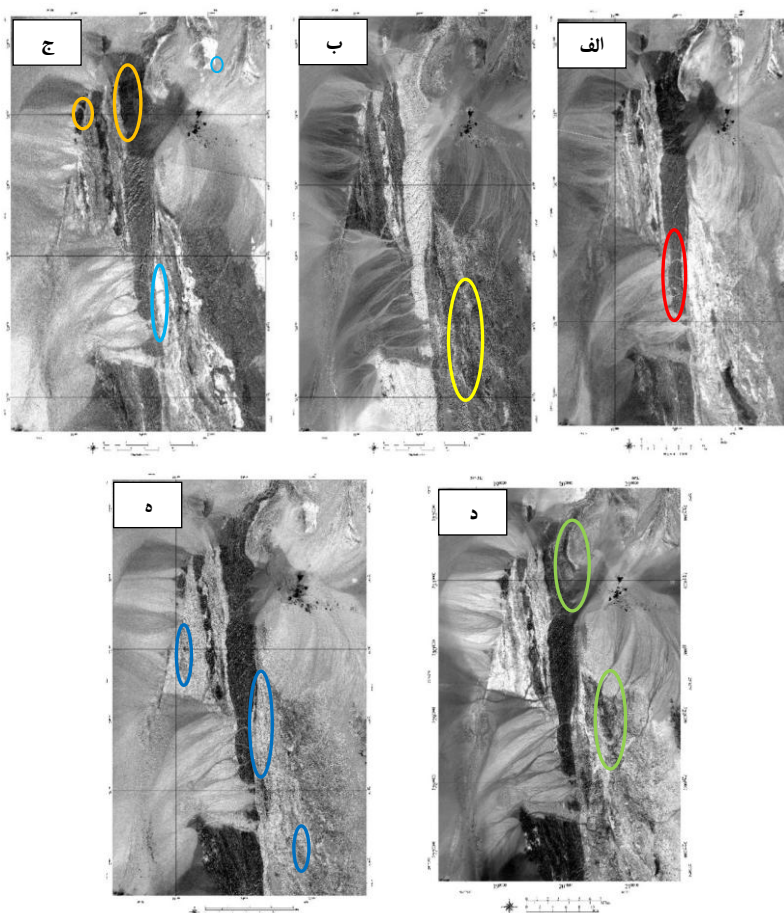
روش نسبت باندی^۱

روش نسبت باندی از طریق تقسیم باند بازتاب به باند جذب یک کانی سبب بارزسازی آن کانی می‌شود (سایینز ۱۹۹۹). در واقع، این روش اختلاف بین درجات روشنایی را آشکار و مرزها را مشخص تر می‌کند (بنت و همکاران ۱۹۹۳). در این مطالعه، در بیشتر موارد، تصاویر تولیدشده در مقایسه با واقعیت زمینی نتایج قابل قبولی ارائه داده‌اند. در نسبت باندی ۴/۷ استر (شکل ۲ الف) سنگ‌های غنی از تالک و سرپانتینیت به وسیله پیکسل‌های روشن در تصویر شناسایی می‌شوند. سنگ‌های گرانیتوئیدی دارای پیکسل‌های هدف روشن روی تصویر حاصل نسبت باندی ۲/۴ هستند؛ درحالی‌که آمفیبولیت‌ها و افیولیت‌های بسیاربریده‌شده به صورت پیکسل‌های خاکستری تیره تا سیاه‌رنگ به نظر می‌رسند (شکل ۲ ب). متاولکانیک‌ها، گابرو - دیوریت‌ها اثر خاکستری در تصویر حاصل از نسبت باندی (۶/۸) دارند؛ درحالی‌که گرانیتوئیدهای نفوذی دارای پیکسل‌های هدف خاکستری تیره تا سیاه‌رنگ‌اند و با سنگ‌های سرشار از آهن (اولترامافیک - مافیک) به‌وضوح با رنگ روشن تفاوت دارند (شکل ۲ ج). گرانودیوریت‌ها و سینوگرانیت‌ها به صورت پیکسل‌های خاکستری تیره در نسبت باندی ۴/۱ نمایان می‌شوند (شکل ۲ د)؛ درحالی‌که سنگ‌های حاوی کوارتز - دیوریت و متاولکانیکی در نسبت باندی ۴/۳ × ۲/۳ دارای پیکسل‌های خاکستری روشن‌اند (شکل ۲ ه) (زهیر و امام ۲۰۱۲).

ترکیب رنگی کاذب^۲

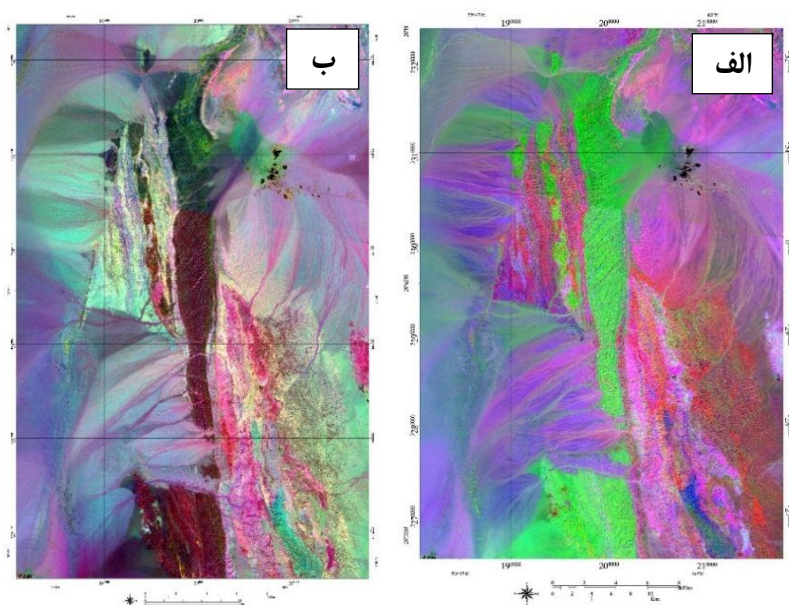
در این روش می‌توان سه باند مختلف را در محیط RGB ترکیب کرد. تصویر حاصل رنگی خواهد بود و پدیده‌های مختلف در رنگ‌های متفاوت نمایان و شناسایی و تفکیک آن‌ها آسان تر می‌شود (بهادری ۱۳۸۶). همچنین، ترکیب رنگی کاذب اطلاعات بسیاری درباره مناطق دگرسانی در اختیار قرار می‌دهد. بر این اساس، چندین ترکیب رنگی مختلف از باندهای استر برای تفکیک بصری دگرسانی‌ها در گزارش محققان مختلف دیده می‌شود که در این مطالعه در تصاویر استر $\{R: 4/7 G: 4/1 B: 2/3\}$ و $\{R: 4/7 G: 2/4 B: 6/8\}$ (عامر و همکاران ۲۰۱۰) تصاویر رنگی کاذبی هستند که به منظور تشخیص همه واحدهای سنگ‌شناسی و مناطق هیدروترمالی، که دچار دگرگونی شده است، در منطقه مورد مطالعه کارایی بیشتری دارند (شکل ۳ الف و ب). در نتایج حاصل از این ترکیب‌های رنگی کاذب تصویر ماهواره‌ای استر اشاره‌شده، مناطق سرپانتینی شده زردرنگ، تالک شسیت با منشأ کربناته با طیف رنگی صورتی مایل به قرمز روشن (ارغوانی)، متابازالت‌ها قرمزرنج، متاگابروها به رنگ سبز مایل به قهوه‌ای (پسته‌ای)، آمفیبولیت‌ها و شیسیت‌های کربنات‌دار قهوه‌ای مایل به قرمز، متاولکانیک‌های عمیق قرمزرنج، متاولکانیک کلاستیک با طیف رنگی بنفش یا آبی مایل به سفید، گابرو - دیوریت قرمز مایل به زرد، گرانیتوئیدها آبی‌رنگ، متاپلیت‌ها آبی تیره، میلونیت‌ها سبزرنگ، و مناطق سیلیسی شده که دارای رگه‌های کوارتز است صورتی روشن در منطقه مورد مطالعه آشکار می‌شوند (شکل ۳ الف).

1. Band ratioing
2. False-color composition



شکل ۲. (الف) نسبت بانندی ۴/۷، سنگ‌های غنی از تالک و سرپانتینیت (هدف: پیکسل‌های روشن)؛ (ب) نسبت بانندی ۲/۴، سنگ‌های گرانیتوئیدی (هدف: پیکسل‌های روشن) و آمفیبولیت‌ها و افیولیت‌های بسیاربریده‌شده (هدف: پیکسل‌های خاکستری تیره تا سیاه)؛ (ج) نسبت بانندی ۶/۸، متاولکانیک‌ها، گابرو - دیوریت‌ها (هدف: پیکسل‌های خاکستری) و گرانیتوئیدهای نفوذی (هدف: پیکسل‌های خاکستری تیره تا سیاه) و سنگ‌های غنی از آهن (الترامافیک - مافیک) (هدف: پیکسل‌های روشن)؛ (د) نسبت بانندی ۴/۱، گرانودیوریت‌ها و سیانوگرانیت‌ها (هدف: پیکسل‌های خاکستری تیره)؛ (ه) نسبت بانندی ۴/۳ × ۲/۳، سنگ‌های حاوی کوارتز - دیوریت و متاولکانیکی (هدف: پیکسل‌های خاکستری روشن)

در تصویر رنگی کاذب استر حاصل باندهای ۴/۳ × ۲/۳، ۱/۴، ۴/۷ گرانودیوریت‌ها و سیانوگرانیت‌ها طیف رنگی سبز دارند که منجر به شناسایی بهتر آن‌ها می‌شود. کوارتز - دیوریت، متاولکانیک‌های کلاستیک، و مناطق آلتراسیونی با رنگ زرد از سایر واحدها متمایز می‌شوند (شکل ۳ ب).



شکل ۳. تصاویر حاصل از ترکیب رنگی کاذب ۳ باند مختلف (قرمز، سبز، آبی): (الف) $R: 4/7, G: 2/4, B: 6/8$ و (ب) $R: 4/7, G: 4/1, B: 2/3 \times 4/3$

بررسی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای برای آلودگی فلزات سنگین منطقه

رسوبات کواترنری و خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، به دلیل پتانسیل بالای این فلزات برای آلوده کردن آب‌های سطحی و زیرزمینی یا ورود به زنجیره غذایی از طریق جذب گیاهان، خطر بزرگی برای سلامتی انسان به شمار می‌روند. آبرفت و خاک یک محیط بسیار حساس ارتباط‌دهنده بین آب و سنگ و هواست. هر گونه تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل‌دهنده خاک، طوری که کارکرد و عملکرد آن با اختلال روبه‌رو شود، آلودگی خاک نامیده می‌شود (دبیری ۱۳۷۹). مهم‌ترین نتیجه آلوده شدن منابع خاک و آب با فلزات سنگین از طریق صنعت، فعالیت‌های بشری، آلودگی محصولات کشاورزی است. بدین ترتیب تجمع فلزات سنگین جذب‌شده در اندام‌های گیاهی در غلظت‌های بیش از حد استاندارد موجب کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی، آلوده شدن زنجیره غذایی، و به خطر افتادن سلامت جوامع انسانی می‌شود (هودجی و جلالیان ۱۳۸۳). امروزه مشخص شده است آلودگی خاک با عناصری مانند: Zn, Pb, Ni و Cu به دلیل فعالیت‌های معدنی سبب نابودی گیاهان حساس می‌شود. این عناصر اغلب در کبد و به‌خصوص در کلیه‌ها تجمع می‌یابند. برخی نیز موجب سردرد، فشار خون بالا، بیماری‌های قلبی و عروقی، و کم‌خونی می‌شوند و حتی در مواردی می‌توانند کشنده باشند (شاه و همکاران ۲۰۱۲).

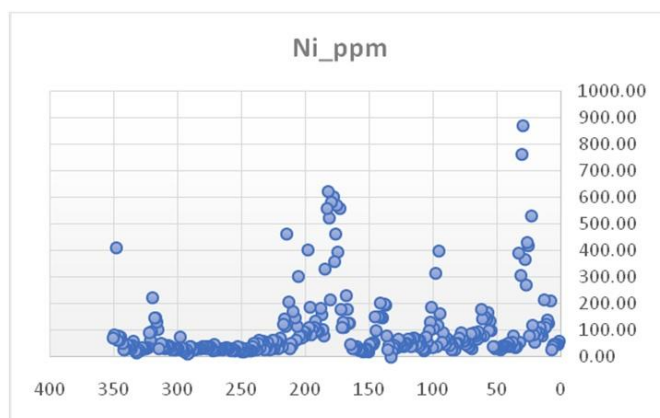
منطقه مورد مطالعه در یک پهنه آفیولیتی واقع شده است و از ویژگی‌های بارز این مناطق می‌توان به وجود خاک‌ها و سنگ‌هایی با غلظت‌های بالای فلزات سنگین اشاره کرد. با توجه به اینکه خاک‌های مناطق آفیولیتی پایداری بالایی ندارند و حاوی فلزات سنگین زیادند، به راحتی می‌توانند وارد منابع آبی و چرخه گیاهی شوند و این‌گونه عناصر را به چرخه غذایی انسان‌ها وارد کنند و مشکلاتی برای سلامت آن‌ها به وجود آورند. همچنین، عاملی تهدیدکننده برای آب آشامیدنی

و محصولات کشاورزی و دامی ساکنان منطقه محسوب می‌شوند. بنابراین، ارزیابی کیفیت آب و خاک منطقه و تعیین درجه آلودگی آن‌ها به فلزات سنگین ضروری به نظر می‌رسد. برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات کواترنری منطقه نصرت‌آباد، داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای برای عناصر مهم نیکل، سرب، روی، مس، و مولیبدن بر اساس نتایج حاصل از تجزیه تعداد ۳۵۰ نمونه (شکل‌های ۴ تا ۹)، که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ نصرت‌آباد برداشت شده، پردازش شد و با تصاویر حاصل از پردازش استر با شاخص هم‌پوشانی روی هم‌اندازی و تلفیق شد تا ارتباط بین ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی با لیتولوژی‌های بالادستی آلتره و افیولیتی مشخص شود. در نهایت نیز تعبیر و تفسیر لازم بر پایه تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی، تفکیک واحدهای افیولیتی منطقه (پردازش تصاویر ماهواره‌ای)، و مطالعات آماری صورت گرفته توسط نرم‌افزار spss از جمله شاخص‌های زمین‌انباشتگی، ضریب آلودگی، ضریب همبستگی، و آنالیز خوشه‌ای انجام شد و با استفاده از نرم‌افزار GIS نقشه‌های پراکنش آلودگی فلزات سنگین موجود در رسوبات آبرفتی منطقه ترسیم شد.

با توجه به نتایج آنالیز نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای منطقه نصرت‌آباد، عنصر نیکل به علت شباهت یونی خود با عنصر منیزیم (پژمان ۱۳۸۴) می‌تواند در کانی‌های پیروکسن و اولیوین و آمفیبول جانشین و در شرایط برون‌زاد نیز به شکل بی‌کربنات نیکل $\text{Ni}(\text{CO}_3)_2$ از ترکیب آن‌ها خارج شود. نیکل از عناصر مؤثر در رشد گیاهان است، که میزان بالای آن در رسوبات می‌تواند موجب مسمومیت گیاهان شود (ارزانی ۱۳۸۷). ورود نیکل به دستگاه گردش خون از راه تنفس یا با مصرف آب‌های زیرزمینی دارای مقادیر بالای نیکل، مانند آب چاه‌های حفر شده در مناطق حاره و زمین‌های لاتریتی، می‌تواند، علاوه بر تخریب اندام‌های درونی بدن، موجب اختلال در سیستم دفاعی بدن شود. این اختلال هم به صورت کم‌کاری و ضعف بدن در مبارزه با عوامل بیماری‌زای بیرونی هم به صورت افزایش تعداد سلول‌های میکروب‌خوار بروز می‌کند. در نتیجه این اختلالات، راه ابتلا به انواع سرطان‌های خون و مغز و استخوان، عفونت‌های موضعی، التهاب، و مرگ هموار می‌شود (حاج‌علی‌لو و وثوق ۱۳۸۸). حد مجاز نیکل با توجه به مرجع استاندارد در رسوبات ۱۰ ppm (NIOSH) و ۷۵ ppm (عباس‌نژاد ۱۳۸۴) و ۵۰ ppm (ودفول ۱۹۹۵؛ تورکین ۱۹۶۴) است. با توجه به نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده در منطقه مورد مطالعه، بالاترین میزان غلظت این عنصر ۸۷۰ ppm و به طور میانگین بین ۱۸۵ - ۳۵ ppm متغیر است (شکل ۴). میزان فوق‌بسیار بالاتر از حد استاندارد توصیه‌شده سازمان‌های بین‌المللی است و از لحاظ زیست‌محیطی در منطقه دارای آلودگی بسیار بالاست. بنابراین، این مسئله بسیار حائز اهمیت است و باید بدان توجه شود. سرب با غلظت‌های متفاوت به طور طبیعی در سنگ‌ها وجود دارد، که طی هوازدگی و فرسایش شیمیایی کانی‌ها وارد خاک و آب و هوا می‌شود و با ورود به گیاهان به زنجیره غذایی راه می‌یابد. میزان سربی که از منابع طبیعی وارد محیط می‌شود در مقایسه با منابع صنعتی و تولیدشده توسط انسان بسیار ناچیز است. سربی که رسوبات را آلوده می‌سازد بیشتر از منابع انسان‌زاد حاصل می‌شود. حد مجاز سرب با توجه به مرجع استاندارد در رسوبات ۱۰۰ ppm (NIOSH) و ۱۵۰ ppm (عباس‌نژاد ۱۳۸۴) و ۲۰ ppm (ودفول ۱۹۹۵؛ تورکین ۱۹۶۴) است. در نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده (شکل ۵) بالاترین میزان غلظت این عنصر در منطقه ۳۸ ppm و به طور میانگین ۱۸ - ۵ ppm است که بسیار پایین‌تر از حد استاندارد توصیه‌شده سازمان‌های بین‌المللی و قابل چشم‌پوشی است و از لحاظ زیست‌محیطی برای منطقه آلودگی

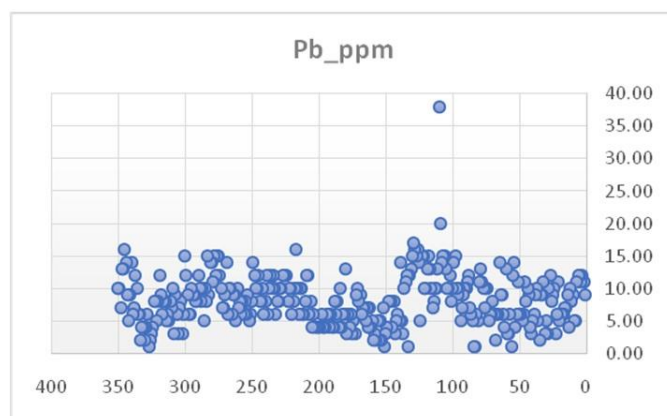
دربرندارد. روی از عناصر فلزی سنگین است که به نظر می‌رسد نقشی حساس و مهم در تغذیه ایفا می‌کند. تا به حال هیچ‌گونه تطابق ناحیه‌ای میان زمین‌شناسی تمرکز این عنصر در آب و خاک به دست نیامده است. حد مجاز روی با توجه به مرجع استاندارد در رسوبات ۵۰۰ ppm (NIOSH) و ۳۰۰ - ۵۰۰ ppm (استاندارد توصیه‌شده در هلند) (عباس‌نژاد ۱۳۸۴) و ۹۵ ppm (ودفول ۱۹۹۵; تورکین ۱۹۶۴) است. بالاترین میزان غلظت این عنصر در منطقه ۷۹ ppm و به طور میانگین ۶۰ - ۴۲ ppm است (شکل ۶) که بسیار پایین‌تر از حد استاندارد آن است. بنابراین، اثر این عنصر قابل چشم‌پوشی است و برای منطقه آلودگی دربرندارد.

بشر از دوران کهن عنصر مس را می‌شناخته و از آن استفاده می‌کرده است. حد مجاز مس با توجه به مرجع استاندارد در رسوبات ۱۰۰ ppm (NIOSH) و ۱۰۰ ppm (استاندارد توصیه‌شده در هلند) (عباس‌نژاد ۱۳۸۴) و ۴۵ ppm (ودفول ۱۹۹۵; تورکین ۱۹۶۴) است. بالاترین میزان غلظت این عنصر در منطقه ۸۵ ppm و به طور میانگین بین ۴۰ ppm - ۱۰ ppm است (شکل ۷) که نزدیک به حد استاندارد توصیه‌شده سازمان‌های بین‌المللی است و از لحاظ ایجاد آلودگی زیست‌محیطی برای منطقه مورد مطالعه باید بدان توجه کرد. عنصر مولیبدن عنصری گوگرد دوست (کالکوفیل) و تا حدی آهن دوست (سیدروفیل) است که با کلارک ناچیز ۱/۵ ppm از عناصر جزئی طبیعت به شمار می‌آید. حضور میزان بالای مولیبدن در رسوبات، به میزان بیش از ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم رسوب، باعث بروز مشکلاتی در چارپایان می‌شود که به مولیبدنوسیس^۱ معروف است. این بیماری موجب کم‌اشتهایی، اسهال، درد مفاصل، و گاه منجر به مرگ می‌شود. بیماری مولیبدنوسیس بیشتر در مناطق دارای مولیبدن بالا و پایین دست رودخانه‌ها و مناطقی که اراضی زهکشی شده آن‌ها مولیبدن بالا دارد مشاهده می‌شود (غضبان ۱۳۸۱). حد مجاز مولیبدن با توجه به مرجع استاندارد در رسوبات ۱۰ ppm (NIOSH) و ۴۰ ppm (استاندارد توصیه‌شده در هلند) است (عباس‌نژاد ۱۳۸۴). بالاترین میزان غلظت این عنصر در منطقه ۳ ppm و به طور عمده میانگین نمونه‌های برداشت‌شده در منطقه ۱ ppm و ۲ ppm است (شکل ۸) که بسیار پایین‌تر از حد استاندارد آن است. نتایج نهایی نشان‌دهنده میزان پراکندگی عناصر مختلف را می‌توان در شکل ۹ مشاهده و آن‌ها را با یک‌دیگر مقایسه کرد.

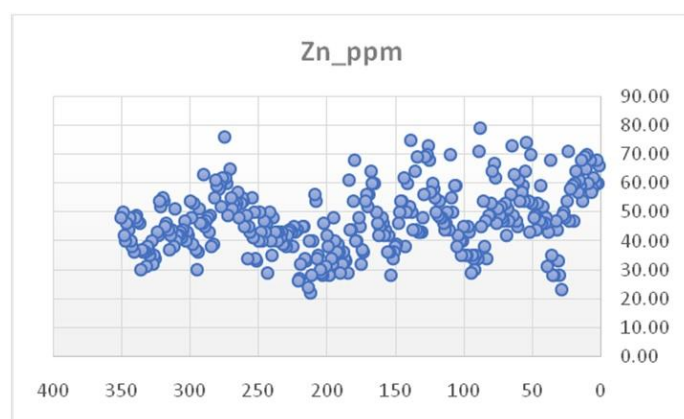


شکل ۴. نمایی از پراکندگی عنصر نیکل در منطقه نصرت‌آباد

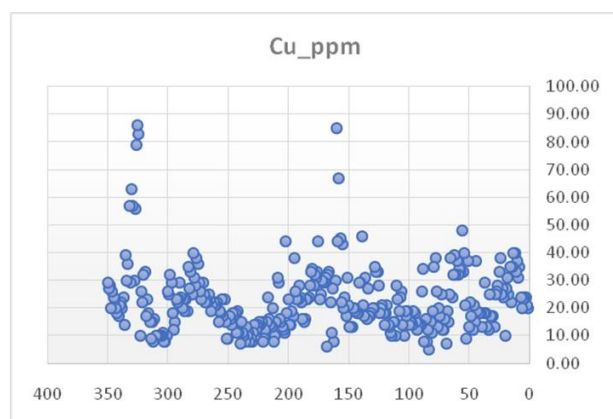
1. Molybdenosis



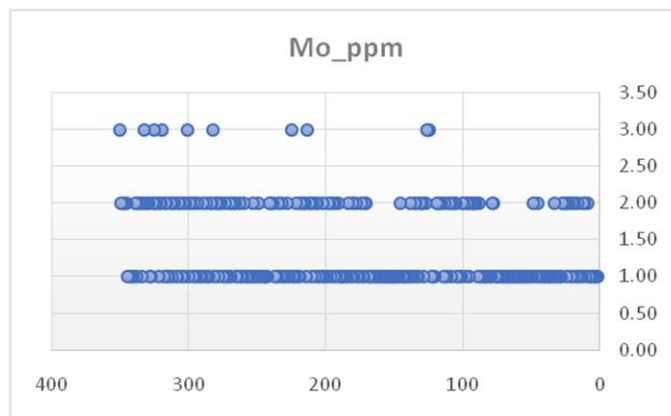
شکل ۵. نمایی از پراکندگی عنصر سرب در منطقه نصرت‌آباد



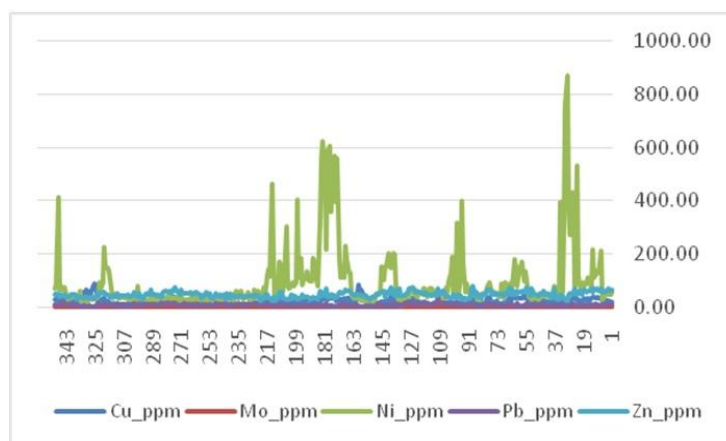
شکل ۶. نمایی از پراکندگی عنصر روی در منطقه نصرت‌آباد



شکل ۷. نمایی از پراکندگی عنصر مس در منطقه نصرت‌آباد



شکل ۸. نمایی از پراکندگی عنصر مولیبدن در منطقه نصرت آباد



شکل ۹. نمودار نهایی حاصل از آنالیز نمونه‌های ژئوشیمیایی عناصر مختلف در منطقه مورد مطالعه

ارزیابی شاخص زمین‌انباشتگی^۱

این شاخص از معیارهای ژئوشیمیایی ارزیابی آلودگی عناصر سنگین موجود در خاک است که مولر (۱۹۶۹) بر اساس رابطه ۱ محاسبه کرده است:

$$I_{geo} = \text{Log}_2 (C_n / 1.5B_n) \quad \text{رابطه ۱}$$

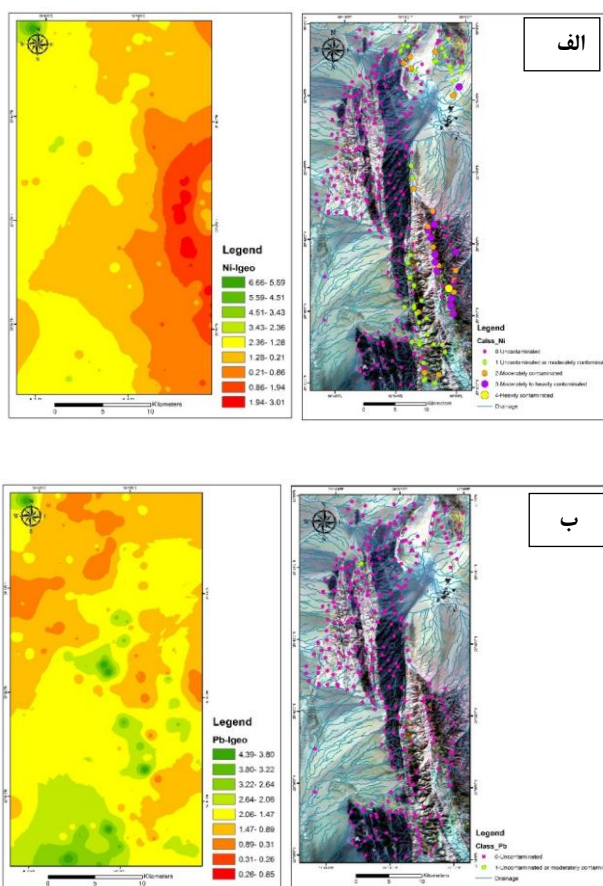
در رابطه ۱، C_n غلظت فلزات مورد آزمون در نمونه‌های خاک، B_n غلظت زمینه‌ای ژئوشیمیایی فلز، و ضریب ۱/۵ ضریب تصحیح تأثیر لیتوژنیکی مقدار غلظت زمینه است. ضریب ۱/۵ برای به حداقل رساندن تأثیر نواسانات احتمالی در مقدار زمینه است. علامت ضرب موجود در رابطه، با تفکیک نواسانات طبیعی موجود در غلظت یک ماده معین در محیط، تغییرات حتی اندک ناشی از اثر انسان‌پدید را نمایان می‌سازد (شمالی و خداوردی‌لو ۲۰۱۲). بر اساس این شاخص، خاک‌ها در هفت گروه طبقه‌بندی می‌شوند: $I_{geo} \leq 0$ (غیرآلوده)، $1 < I_{geo} < 0$ (غیرآلوده تا کمی آلوده)، $2 < I_{geo} < 1$ (کمی آلوده)، $3 < I_{geo} < 2$ (کمی آلوده تا بسیار آلوده)، $4 < I_{geo} < 3$ (بسیار آلوده)، $5 < I_{geo} < 4$ (بسیار آلوده تا به شدت آلوده)، و $I_{geo} \geq 5$ (به شدت آلوده).

1. Geoaccumulation index

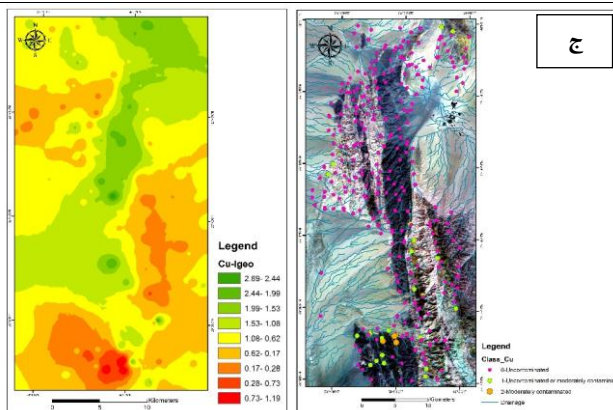
نتایج حاصل از میانگین شاخص زمین‌انباشتگی عناصر رسوبات آبرفتی منطقه در جدول ۱ می‌آید. با توجه به مقادیر طبقه‌بندی، منطقه از لحاظ وجود عنصر نیکل بسیار آلوده، از لحاظ وجود عنصر مس کمی آلوده، و از لحاظ وجود عناصر سرب و روی و مولیبدن غیرآلوده تا کمی آلوده است و برای جلوگیری از خطرات زیست‌محیطی باید به این موضوع توجه شود (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

جدول ۱. مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo) فلزات سنگین رسوبات منطقه

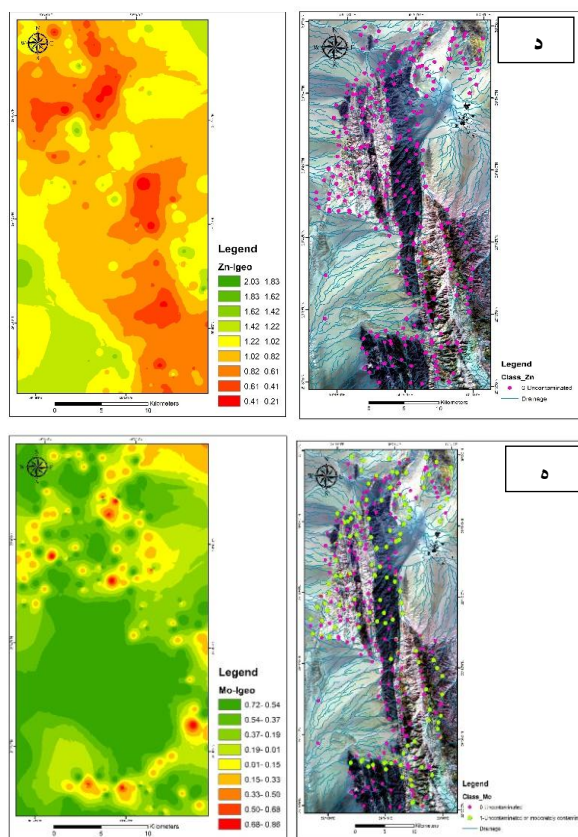
عنصر	شاخص زمین‌انباشتگی	شدت آلودگی منطقه
نیکل	۳/۰۹۲	بسیار آلوده
روی	-۰/۱۸	غیرآلوده
سرب	۰/۸۵	غیرآلوده تا کمی آلوده
مس	۱/۱۹	کمی آلوده
مولیبدن	۰/۸۶	غیرآلوده تا کمی آلوده



شکل ۱۰. پراکنش مکانی شاخص زمین‌انباشتگی (الف) نیکل، (ب) سرب، (ج) مس در خاک سطحی منطقه نصرت‌آباد



ادامه شکل ۱۰



شکل ۱۱. پراکنش مکانی شاخص زمین‌انباشتگی (د) روی و (ه) مولیبدن در خاک سطحی منطقه نصرت‌آباد

ارزیابی ضریب آلودگی^۱

برای بیان وضعیت آلودگی محیط به یک فلز خاص می‌توان از ضریب آلودگی استفاده کرد. بر اساس این ضریب می‌توان مقدار فلزات را نسبت به مقدار طبیعی آن‌ها سنجید و میزان آلاینده‌گی خاک را مطابق رابطه ۲ تعیین کرد:

$$C = \frac{(C)_{\text{Sample}}}{(C)_{\text{Background}}}$$

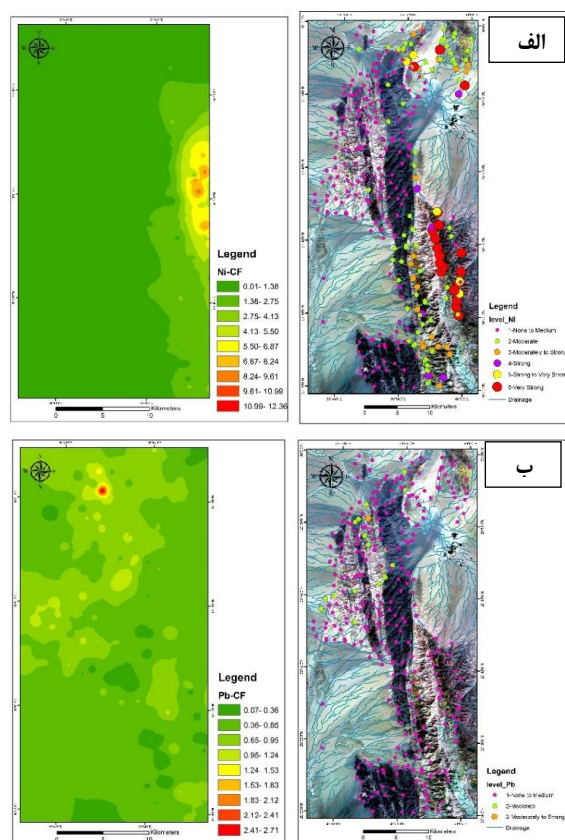
رابطه ۲

1. Contamination Factor

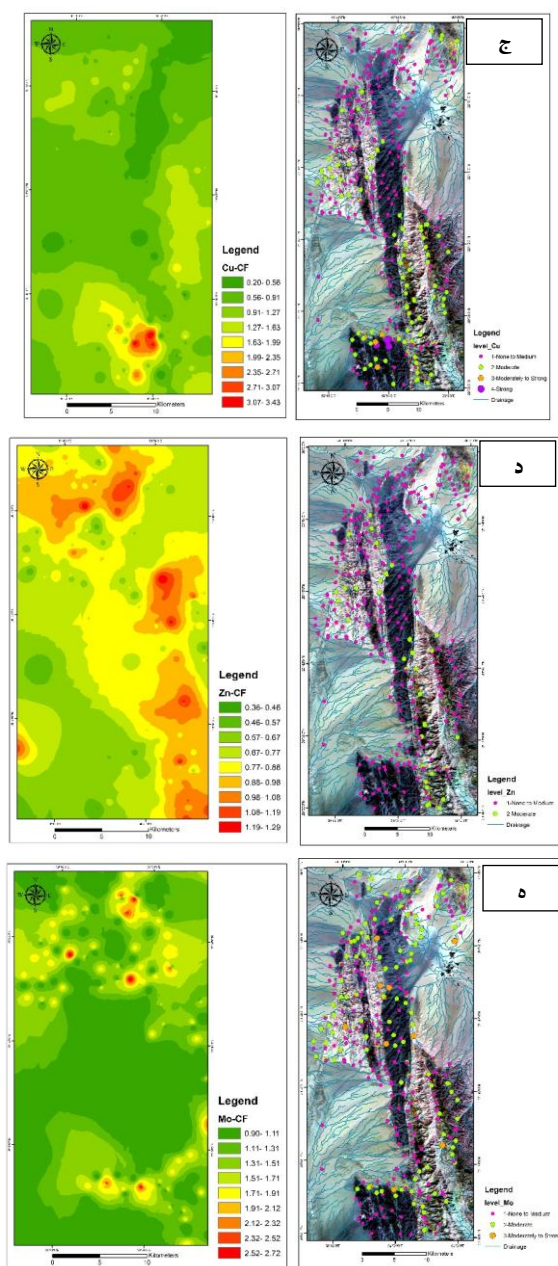
در رابطه ۲، CF ضریب آلودگی، (C)sample غلظت عنصر مورد بررسی، و (C)background غلظت عنصر مینا در نمونه مرجع است. غلظت ماده مرجع میانگین جهانی غلظت عناصر موجود در پوسته زمین است. خاکها از نظر آلودگی به فلزات سنگین در این ضریب به چهار گروه طبقه بندی می شوند: $CF < 1$ (آلودگی کم)، $1 < CF < 3$ (آلودگی متوسط)، $3 < CF < 6$ (آلودگی بالا)، $CF \geq 6$ (آلودگی بسیار بالا) (لئو و همکاران ۲۰۰۷؛ ایسلام و همکاران ۲۰۱۵). نتایج حاصل از ضریب آلودگی عناصر در رسوبات آبرفتی منطقه در جدول ۲ می آید. با استناد به مقادیر حاصل از نتایج، منطقه از لحاظ وجود عنصر نیکل آلودگی بسیار بالا، از لحاظ وجود عنصر مس آلودگی بالا، و از لحاظ وجود عناصر سرب و روی و مولیبدن آلودگی متوسط دارد. بنابراین، باید بدان توجه شود (شکل های ۱۲ و ۱۳).

جدول ۲. مقادیر ضریب آلودگی (CF) فلزات سنگین رسوبات منطقه

عنصر	ضریب آلودگی	شدت آلودگی منطقه
نیکل	۱۲/۷۹	آلودگی بسیار بالا
روی	۱/۳۱	آلودگی متوسط
سرب	۲/۷۱	آلودگی متوسط
مس	۳/۴۴	آلودگی بالا
مولیبدن	۲/۷۲	آلودگی متوسط



شکل ۱۲. پراکنش مکانی ضریب آلودگی (الف) نیکل و (ب) سرب در خاک سطحی منطقه نصرت آباد



شکل ۱۳. پراکنش مکانی ضریب آلودگی (ج) مس، (د) روی، و (ه) مولیبدن در خاک سطحی منطقه نصرت آباد

ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای

مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات می‌تواند برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر، و ارزشیابی زیست‌محیطی وضعیت موجود در یک منطقه مفید باشد (شاجان ۲۰۰۱). در صورت دسترسی نداشتن به امکانات لازم، می‌توان از روش آنالیز خوشه‌ای^۱ برای منشأیابی فلزات سنگین در رسوبات استفاده کرد (دیویس ۱۹۸۶). آنالیز خوشه‌ای یک روش آماری چندمتغیره است که در این پژوهش برای منشأیابی آماری عناصر (آداما و همکاران ۲۰۰۵) و به کمک نرم‌افزار

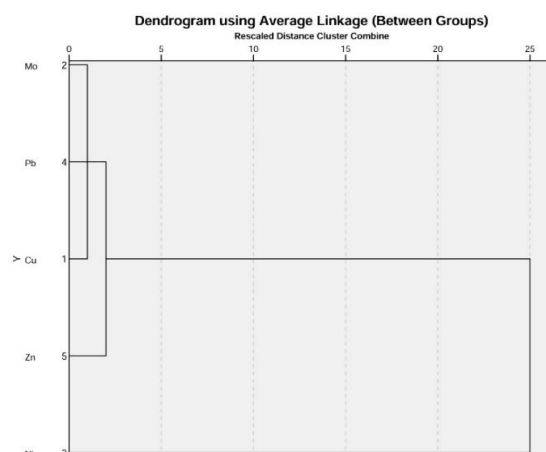
1. Cluster Analysis

SPSS.16 به کار رفت. در حقیقت، روش آنالیز خوشه‌ای یک فرایند رده‌بندی غیرکنترلی است که مواد مورد بررسی را برحسب میزان شباهت یا تفاوت آن‌ها خوشه‌بندی می‌کند. از ضرایب همبستگی، که با نرم‌افزار به دست آمد، برای دستیابی به ضرایب تشابه و رسم دندروگرام استفاده می‌شود. درخت خوشه‌ای گزینه‌های هم‌وزن را به هم متصل می‌کند تا خوشه‌های بزرگ‌تر ایجاد شود و تشابهات بین نمونه‌ها سنجیده و ارزیابی شود (آنزوا و همکاران ۲۰۰۴؛ باینز ۲۰۰۵). همچنین، ضریب همبستگی میزان ارتباط بین دو متغیر را تعیین می‌کند. این ضریب بین دو مقدار +۱ و -۱ قرار دارد و هر چه این مقدار به +۱ نزدیک‌تر باشد همبستگی بین دو متغیر خطی و مستقیم می‌شود و در صورت نزدیک شدن به -۱ همبستگی بین دو متغیر خطی و معکوس می‌شود. در صورتی که مقادیر به صفر نزدیک شود، همبستگی بین دو متغیر از بین خواهد رفت (کریم‌زاده ثمرین ۱۳۹۱).

بر اساس نتایج دندروگرام حاصل، می‌توان سه خوشه اصلی را در نمونه‌های ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه تشخیص داد. خوشه نخست شامل مولیبدن و سرب و مس است که با یکدیگر ارتباط دارند. خوشه دوم شامل سرب و روی است که آن‌ها نیز در یک رده بالاتر در یک گروه قرار دارند. و این دو در رده بالاتر با نیکل در یک گروه، در خوشه سوم، قرار می‌گیرند (شکل ۱۴). براساس این آنالیز خوشه‌ای و نتایج حاصل از دورسنجی، وجود حداقل دو منبع زمین‌زاد متفاوت برای ورود این عناصر به رسوبات پیشنهاد می‌شود. این دو منبع شامل سنگ‌های بالادست نمونه‌ها با ماهیت بازیگ (کابروها و بازالت‌ها) به‌منزله دربرگیرنده و منشأ عناصر Ni و Cu و سنگ‌های با ماهیت اسیدی (دیوریت‌ها، گرانودیوریت، سیانوگرانیت) به‌منزله منشأ عناصر Zn و Pb و Mo در مجموعه‌های افیولیتی منطقه مورد مطالعه هستند. نتایج ضرایب همبستگی فلزات سنگین منطقه در جدول ۳ می‌آید. بر اساس این نتایج، مس بیشترین همبستگی را با روی و سپس با مولیبدن و کمترین همبستگی را با سرب دارد. سرب بیشترین همبستگی را با روی و کمترین همبستگی را با نیکل دارد. روی همبستگی بسیار پایینی با نیکل و مولیبدن نیز همبستگی بسیار اندکی با نیکل دارد. با نگاهی اجمالی به وضعیت مورفولوژی و اقلیم و فرسایش خاک در این منطقه می‌توان دریافت که دو عامل باد و آب‌های جاری فصلی مهم‌ترین عوامل فرسایش خاک و در نتیجه پخش عناصر آلاینده در منطقه‌اند. بنابراین، در اقدامات کنترلی باید به دو عامل باد و آب‌های سطحی در نحوه و میزان پراکنش عناصر در منطقه توجه کرد. کنترل فرسایش خاک ناشی از این دو عامل بسیار مهم است.

جدول ۳. نتایج ضرایب همبستگی فلزات سنگین منطقه

نمونه	Cu	Pb	Zn	Mo	Ni
Cu	1				
Pb	-0.63	1			
Zn	0.325	0.418	1		
Mo	0.136	0.001	0.002	1	
Ni	0.084	-0.0164	-0.113	-0.019	1



شکل ۱۴. نمودار دندوگرام آنالیز خوشه‌ای برای فلزات سنگین در رسوبات منطقه نصرت‌آباد

نتیجه

برای تحقیق و ارزیابی و اثبات آلودگی رسوبات در منطقه نصرت‌آباد سیستان و نیز تشخیص منشأ آن، ابتدا به کمک روش‌های مختلف سنجش از دور واحدهای سنگی منطقه تفکیک و شناسایی شدند. بررسی آلودگی رسوبات به روش‌های مختلف کمی و کیفی همراه روش‌های پهنه‌بندی هم‌زمان درک واضحی از وسعت آلودگی را فراهم می‌سازد. به نقشه درآوردن شاخص‌های آلودگی می‌تواند موقعیت منابع آلاینده را با قطعیت بیشتری شناسایی کند و همچنین اساس و مبنایی برای پژوهش‌های رسوبات آبرفتی باشد. منطقه نصرت‌آباد مقادیر مختلفی از زمین‌انباشت فلزات سنگین، از جمله عنصر Ni، با غلظتی بالاتر از حد استاندارد توصیه‌شده سازمان‌های بین‌المللی، را در محدوده جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. این عنصر طبق رده‌بندی‌های ذکر شده در رده بسیار آلوده قرار دارد. طبق رده‌بندی‌های مختلف عنصر Cu کمی آلوده در محدوده جنوب منطقه و عناصر Pb و Zn و Mo غیر آلوده تا کمی آلوده را نشان می‌دهند؛ به ترتیب فوق $Pb > Cu > Zn > Ni > Mo$. بنابراین، با توجه به وجود معادن قدیمی در منطقه نصرت‌آباد و حضور مجموعه‌های افیولیتی، وجود این عناصر قابل پذیرش است و برای جلوگیری از خطرات زیست‌محیطی باید بدان توجه شود. در اقدامات کنترلی، توجه به دو عامل باد و آب‌های سطحی در نحوه و میزان پراکنش عناصر در منطقه باید مدنظر قرار گیرد و کنترل فرسایش خاک ناشی از این دو عامل موضوعی بسیار مهم است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در منطقه مورد مطالعه بررسی‌های دقیق‌تری انجام شود. در صورت لزوم، می‌توان از اصلاح‌کننده خاک^۱ در منطقه نصرت‌آباد استفاده کرد.

منابع

- ابراهیمی، ر.، دلاوری، م.، دولتی، ا. (۱۳۹۶). «ژئوشیمی پدیدت‌های گوشته‌ای زون سیستان (غرب زاهدان و شمال سهل‌آباد) شرق ایران»، نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، ج ۳، ش ۱.
- ارزانی، ن. (۱۳۸۷). خاک‌شناسی، انتشارات دانشگاه پیام‌نور.

1. Soil amendment

- آقائباتی، ع. (۱۳۸۳). *زمین‌شناسی ایران* (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)، صنوبر، صص ۶۸ - ۷۱.
- بربریان، م. (۱۳۶۲). *دگرریختی قاره‌ای در فلات ایران زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*، ش ۵۲.
- بزی، ف.، رضایی، م.، ر.، صیادی اناری، م.، ج. (۱۳۹۶). «بررسی آلودگی خاک به فلزات سنگین با استفاده از شاخص فاکتور آلودگی در محل دفن زباله شهری زاهدان»، *محیط زیست و مهندسی آب*، د ۳، ش ۲، صص ۱۷۰ - ۱۸۰.
- بهادری، ر. (۱۳۸۶). «ارزیابی پتانسیل معدنی محدوده ۱:۲۵۰۰۰۰ انار با تلفیق داده‌های ژئوفیزیک هوایی و دورسنجی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و متالوژی، دانشگاه یزد.
- پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور (۱۳۹۲). *زمین‌شناسی پتانسیل‌های معدنی و مخاطرات*، وضعیت زمین‌شناسی پتانسیل‌های معدنی و مخاطرات طبیعی استان سیستان و بلوچستان.
- پژمان، ل. (۱۳۸۴). *شناخت پیدایش کانسارها و منابع معدنی از دیدگاه و مبانی ژئوشیمی*، تهران، مهرگل.
- جوان‌سیامردی، ص.، رضایی کهخا، م.، ر.، صفایی‌مقدم، ع.، نوری، ر. (۱۳۹۳). «بررسی غلظت فلزات سنگین (آهن، نیکل، مس، روی، سرب) در خاک کشاورزی بخش مرکزی سیستان»، *مهندسی بهداشت محیط*، د ۲، ش ۱، صص ۴۶ - ۵۳.
- حاج‌علی‌لو، ب. و وثوق، ب. (۱۳۸۸). *زمین‌شناسی پزشکی*، انتشارات دانشگاه پیام‌نور.
- شوقی، ج. (۱۳۸۶). «تحلیل هندسی و جنبشی منطقه نصرت‌آباد و کهورک جهت تعیین زون برشی»، رساله کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صص ۶۴ - ۶۷.
- دبیری، م. (۱۳۷۹). *آلودگی محیط زیست (آب، هوا، و خاک)*، تهران، آنیون.
- درویش‌زاده، ع. (۱۳۷۰). *زمین‌شناسی ایران*، دانش امروز، صص ۶۸ - ۷۶.
- رنجبر، ح. و شهریار، ه. (۱۳۸۵). «مقیاسه داده‌های سنجنده ETM + و سنجنده ASTER جهت نقشه‌برداری مناطق دگرسان شده در بخش مرکزی کمر بند دهج - ساردویی استان کرمان»، *بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، پاییز و زمستان ۱۳۸۵، صص ۳۶۲ - ۳۶۷.
- عباس‌نژاد، ا. (۱۳۸۴). *خاک‌شناسی برای زمین‌شناسان*، انتشارات شهید باهنر کرمان.
- غضبان، ف. (۱۳۸۱). *زمین‌شناسی زیست‌محیطی*، انتشارات دانشگاه تهران.
- فراهانی، م. (۱۳۸۴). «مقیاسه داده‌های سنجنده ASTER و ETM در به نقشه درآوردن مناطق دگرسان‌شده منطقه چهارگنبد استان کرمان»، *بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین*.
- کریم‌زاده‌ترین، ع. (۱۳۹۱). *کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی، ارزیابی، نمایش، و تفسیر*، چ ۲، دانشگاه تبریز.
- کمائی، ح.، حسینی، م.، صفری، غ.، ج.، جعفری، ج.، اشرفی، د.، محوی، ا. ج. (۱۳۹۶). «بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهر زاهدان، سلامت و بهداشت اردبیل، دوره ۸، شماره ۲، صفحات ۱۹۰ - ۱۸۲.
- مجددی‌مقدم، ح.، احمدی، ع. (۱۳۹۴). «سنگ‌شناسی و ژئوشیمی گدازه‌های بالشی و سنگ‌های مافیک در بخش میانی پهنه گسلی نصرت‌آباد - کهورک شرق ایران»، *بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، س ۲۳، صص ۳۰۹ - ۳۲۰.
- محمدی، ج. و بوبراحمدی، م. (۱۳۸۷). *خاک‌پزشکی*، پلک.
- مسلمی مهنی، ع.، احمدی، ع.، مریدی فریمانی، ع.، ا. (۱۳۹۱). «بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی لیستونیت‌های پهنه‌های برشی نه و نصرت‌آباد - کهورک، با تکیه بر ماهیت سنگ مادر»، *شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، انجمن زمین‌شناسی ایران*، دانشگاه شیراز، https://www.civilica.com/Paper-SGSI16-SGSI16_196.html
- نبیعی، م. (۱۳۸۹). «بررسی ساختارهای دگرشکلی در منطقه نصرت‌آباد، جنوب شرق ایران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی

- دانشگاه سیستان و بلوچستان، استاد راهنما: علی اصغر مریدی فریمانی و استاد مشاور: ساسان باقری.
- نبیسی، م. و مریدی، ع. ا. (۱۳۸۹). «بررسی تاریخیچه تکامل ساختاری در منطقه نصرت آباد - کهورک، جنوب شرق ایران»، همایش منطقه‌ای زمین‌شناسی فلات ایران زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زرنند.
- نوگل‌سادات، م. ع. ا. (۱۳۷۲). نقشه تکتونیک ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- هودجی، م. و جلالیان، ا. (۱۳۸۳). «پراکنش آهن، روی، و سرب در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه»، مطالعات زیست‌محیطی، د ۳۰، ش ۳۶، صص ۱۵ - ۲۶.

- Abrams, M. J., Brown, L., Lepley, R., Sadowski, P. (1983). Remote Sensing for porphyry copper deposit in Southern Arizona, *Economic Geology*, Vol. 78, pp. 591-604.
- Adama, P., Arienzo, M., Improato, M., Noimo, D., Nardi, G., Stanzione, D. (2005). Distribution and partition of heavy metals in surface and subsurface sediments of Naples city port, *Chemosphere* 61, pp. 800- 809.
- Amer, R., Timothy, K., Abduwasit, G. (2010). Lithological mapping in the Central Eastern Desert of Egypt using ASTER data, *Journal of African Earth Sciences* 56, No. 2-3: pp. 75-82.
- Anazawa, K., Kaida, Y., Shinomura, Y., Sakamoto, H. (2004). "Heavy Metal Distribution in River Waters and sediments around a "Fire Fly Village". Shikoku, Japan: Application of Multivariate Analysis. J", *Analytical Science*, Vol. 20, pp. 79-84.
- Baeyens (2005). "Correlations, Partitioning and Bioaccumulation of heavy metals between Different Components of Lake Balaton. J", *Science of the total Environment* 341, pp. 211-226.
- Bennett, S. A., Atkinson, W. W., Kruse, F. A. (1993). Use of Thematic Mapper imagery to identify mineralization in the Santa Teresa district, Sonora, Mexico, *International Geology Review*, Vol. 35, pp. 1009-1029.
- Berberian, M. (1984). Continental Degradation on the Iranian Plateau, *Geological Survey of Iran*, Vol 52.
- Boamponsem, L. K., Adam, J. I., Dampare, S. B., Nyarko B. J. B., Essumang, D. K. (2010). Assessment of atmospheric heavy metal deposition in the Tarkwa gold mining area of Ghana using epiphytic lichens. *Nucl. Instrum. Methods*, Vol. 268, pp. 1492-1501.
- Camp, V. E. and Griffis, R. J. (1982). Character, Genesis and Tectonic Setting of Igneous Rocks in the Sistan suture zone, Eastern Iran, *litos*, Vol. 3, pp. 221-329.
- Csavina, J., Field, J. T., Mark, P., Gao, S., Landazuri, A., Betterton, E. A., Sáez, A. E. (2012). A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. *Sci.Total Environ.*, Vol. 433, pp. 58-73.
- Davis, J. C. (1986). *Statistics and data analysis in Geology*, Wiley International, New York.
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Habibullah-Al-Mamun, M., Hoque, M. F. (2015). Preliminary assessment of heavy metal contamination in surface sediments from a river in Bangladesh. *Environmental Earth Sciences*, 73 (4): pp. 1837-1848.
- Kabata, A. A. and Pendias, H. (1994). *Trace elements in soils and Plants*, 2nd edition. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kabata, A. A., pendias, A., Mukherjee, A. B. (2007). *Trace Elements from Soil to Human*. Berlin: Springer.
- Luo, W., Lu, Y., Giesy, J. P., Wang, T., Shi, Y., Wang, G. (2007). Effects of land use on concentrations of metals in surface soils and ecological risk around Guanting Reservoir, China. *Environmental Geochemistry and Health*. 29 (6): pp. 459-71.
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*. 2 (3): pp. 108-18.
- Rowan, L. C. and Mars, J. C. (2003). Lithologic mapping in the Mountain Pass. California area using

- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (Aster) data, Remote Sensing of Environment, Vol. 84, No. 3, pp. 350-366.
- Rowan, L. C., Robert, G. S., John, C. (2006). Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data. Remote Sens. Environ. no.104, pp. 74-87.
- Sabins, F. F. (1999). Remote sensing for mineral exploration, Ore Geology Reviews, 14, pp. 157-183.
- Sayadi, M. H., Rezaei, A., Sayyed, M. R. G. (2017). Grain size fraction of heavy metals in soil and their relationship with land use. Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci., 7 (1), pp. 1-11.
- Shah, M. T., Ara, J., Khan, S., Tariq, S. (2012). Health risk assessment via surface water and subsurface water consumption in the mafic and ultramafic terrain, mohmand agency, northern Pakistan. Journal of Geochemical Exploration, Vol. 8, pp. 120-134.
- Shajan, K. P. (2001). Geochemistry of Bottom sediments from a River- Estuary- Shelf Mixing Zone on the tropical Southwest Coast of India. Bull, Geol. Surv. Japan, Vol. 52, No. 8, pp. 371-382.
- Shomali, A. R. and Khodaverdilo, H. (2012). Contamination of soils and plants along Urmia - Salmas highway (Iran) to some heavy metals. J. Sci. Water Soil. 22, pp. 157-172. (In Persian).
- Tangestani, M. H., Mazhari, N., Ager, B. (2008). Evaluating advance spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semi-arid area, northern shahr-e- Babak, SE Iran. Int. J. Remote Sens. 29 (10), pp. 2833-2850.
- Tirrul, R., Bell, R. I., Grifiss, R. (1983). The Suture Zone of Eastern Iran. *litos*, Vol. 94, p. 134-150.
- Turkian, K. K. and Wedephol, K. H. (1964). Distribution of the elements in some major units of the earth crust, Geological Society of America Bulletin, Vol. 72, pp. 175-192.
- Wedephol, K. H. (1995). The composition of the continental crust, *Geochmica Cosmocheimica Acta*, Vol. 59, pp. 1217-1232.
- Zoheir, B., Emam, A., Grifiss, R. (2012). Integrating geologic and satellite imagery data for high-resolution mapping and gold exploration targets in the South Eastern Desert Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, pp. 22-34.