



ارزیابی زیست‌محیطی آلودگی عناصر بالقوه سمی در رسوبات آبراهه‌ای منطقه سعدآباد، جنوب کاشان

رضوان مهوری^{۱*} و سیدحسن طباطبایی^۲

(۱) باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

(۲) دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۱، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳

چکیده

منطقه سعدآباد در ۳۰ کیلومتری جنوب کاشان و در استان اصفهان قرار گرفته است. این منطقه بخشی از پهنه فلززایی ارومیه دختر را تشکیل می‌دهد. مهم‌ترین واحدهای سنگ‌شناختی منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و توده‌های نفوذی الیگومیوسن هستند. واحدهای آتشفشانی منطقه به شدت دگرسان شده و دگرسانی‌های پروپیلیتیک و آرژیلیک از انواع اصلی دگرسانی در منطقه محسوب می‌شوند. بررسی‌های آماری بر روی داده‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های رسوب برای ۸ عنصر As، Cd، Fe، Co، Cu، Pb، Zn و S صورت گرفت که شامل پردازش و نرمال کردن یافته‌ها، بررسی متغیرهای تک متغیره و چند متغیره و رسم و تفسیر نقشه بی‌هنجاری عناصر است. بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین عامل آلودگی عناصر Fe و Co به ترتیب ۱/۰۵ و ۰/۲۷، عناصر Pb، Cu، Zn به ترتیب دارای عامل آلودگی ۰/۸۱، ۱/۳۳ و ۰/۹۹ و برای عناصر As و Cd ۱/۲۲ و ۱/۴۰ است. نتایج به دست آمده از عامل غنی‌شدگی بر روی نمونه‌های رسوب نشان می‌دهد که عناصر As (۱۰/۷۴) و Co (۰/۶۱) به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان غنی‌شدگی هستند. بنابراین نتایج حاصل از عامل غنی‌شدگی نشان‌دهنده آن است که علاوه بر عوامل طبیعی (واحدهای سنگی، کانه‌زایی و دگرسانی)، عوامل انسانی (معدن‌کاری) نیز در تمرکز برخی از عناصر در نمونه‌های رسوب نقش داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی، عامل آلودگی، عامل غنی‌شدگی، عناصر بالقوه سمی، کاشان

مقدمه

سمی^۱ به‌طور طبیعی در سنگ‌ها و خاک‌ها وجود دارند؛ اما مقدار این عناصر در خاک‌ها به علت فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی بشر رو به افزایش است (Houshmand Firoozabadi)

مطمئن‌ترین روش در ارزیابی دقیق میزان آلودگی و منشأیابی، استفاده از علم ژئوشیمی خاک و رسوب است. عناصر بالقوه

*مسئول مکاتبات: r.mehvary@gmail.com

منطقه قهرود توسط قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2015) انجام شد. منطقه قهرود در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر واقع شده است. در این پژوهش، پژوهشگران سعی داشتند که علاوه بر تعیین درجه عناصر سمی خاک‌های سطحی، ارتباطی منطقی بین تغییرات ژئوشیمیایی خاک‌های سطحی با لیتولوژی و فعالیت‌های گرمایی (هیدروترمال) منطقه قهرود پیدا کنند. نمونه خاک‌های سطحی برای تجزیه‌های شیمیایی (Cu, Ni, Zn, Pb, As, Co, V, Mo) مورد استفاده قرار گرفت و نتایج به دست آمده با استفاده از روش‌های زمین‌آزمایی متعددی اشاره به درجه بالای آلودگی عناصر Cu, Zn, Pb, Mo در خاک‌های سطحی منطقه دارد؛ لذا این پژوهشگران با توجه به بررسی‌های دورسنجی انجام شده، پیشرفت دگرسانی‌های متعدد و نزدیکی به توده‌های نفوذی را از جمله عوامل مؤثر در افزایش غلظت عناصر سمی در خاک‌های سطحی منطقه قهرود برشمردند. سعدآباد در ۳۰ کیلومتری جنوب کاشان میان عرض‌های شمالی ۴۵° ۳۳' تا ۵۶° ۳۳' و طول‌های خاوری ۱۲° ۵۱' تا ۲۷° ۵۱' قرار گرفته است. این منطقه جزو پهنه زمین‌ساختی ارومیه-دختر بوده و در شمال غرب بر گره ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشان واقع شده است. پهنه ارومیه-دختر به واسطه حضور طیف گسترده‌ای از سنگ‌های آتشفشانی، آذرآوری و توده‌های نفوذی با ویژگی‌های غالب کالک‌آلکان و در برخی مناطق با ویژگی‌های شوشونیتی و آداکیتی (Sayari and Sharifi, 2016) مشخص می‌شود. از جمله فرایندهای طبیعی که به رهاسازی عناصر سمی در محیط زیست منجر می‌شوند، می‌توان به فرایندهای گرمایی، مناطق دگرسان شده و فعالیت‌های معدنی بر روی مناطق کانی‌سازی اشاره کرد. با توجه به گسترش پهنه‌های مختلف دگرسانی گرمایی و حضور تعداد زیاد اندیس‌های متالیک و پلی‌متال در منطقه مورد بررسی، حضور عناصر سمی در رسوبات سطحی منطقه دور از انتظار نیست. از این رو، با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی بر روی آلودگی محیط زیست و منابع آلاینده در منطقه سعدآباد انجام نشده است، سعی بر آن شد تا در این پژوهش، به ارزیابی غلظت PTEs و تعیین

(et al., 2014). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خاک و رسوب در طی چند دهه اخیر، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های انجام شده توسط مومبا و همکاران (Mumba et al., 2008)، ونوگوپال و همکاران (Venugopal et al., 2009)، بی‌آتی و همکاران (Biati et al., 2010)، احمد و همکاران (Ahmad et al., 2010)، مر و همکاران (Moore et al., 2012)، قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2015) و هاتفی و همکاران (Hatefi et al., 2016) اشاره کرد. خاک و رسوب جاذب نهایی فلزات سنگین در محیط‌های آلوده در نظر گرفته می‌شوند (Priju and Narayana, 2007; Ahmed and Al-Hajri, 2009; Øygard and Gjengedal, 2009). از این رو در بررسی‌های ژئوشیمیایی، آنها را به عنوان شاخص آلودگی عناصر بالقوه سمی محیط در نظر می‌گیرند. آلاینده‌های مختلف از جمله PTEs از طریق فعالیت‌های طبیعی (هوازگی شیمیایی سنگ‌ها و شست‌وشوی خاک‌ها) و بشرزادی شامل فعالیت‌های معدن‌کاری (استخراج، فراوری و ذوب فلزات)، احتراق سوخت‌های فسیلی، فعالیت‌های کشاورزی و همچنین ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به محیط زیست راه پیدا می‌کنند. تأثیر مستقیم و غیرمستقیم PTEs بر روی سلامت جوامع انسانی به نوبه خود بیان‌کننده اهمیت بررسی آلودگی عناصر سمی در محیط‌های مختلف (خاک و رسوب) است (Resmi et al., 2010; Hatefi et al., 2016).

چندین پژوهش در ارتباط با آلودگی زیست‌محیطی PTEs در پهنه ماگمایی ارومیه-دختر انجام شده است که در زیر به نمونه‌هایی از آن می‌پردازیم:

مر و همکاران (Moore et al., 2012) در طی پژوهشی اثرهای آلودگی زیست‌محیطی ناشی از کانی‌سازی طبیعی و معدن‌کاری در کانسار مس دره‌زار را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش بیانگر غنی‌شدگی خاک و رسوبات منطقه به عناصر سمی (مس، مولیبدن، سرب و آنتیموان) تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است. بررسی‌های زمین‌زیست‌محیطی عناصر سمی در

منشأ عناصر (طبیعی و بشرزاد) در رسوبات منطقه سعدآباد
بپردازیم.

زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقه سعدآباد در امتداد رشته کوه‌های کرکس و در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب شهرستان کاشان (شمال‌غربی استان اصفهان) قرار دارد. از نظر زمین‌شناسی، منطقه سعدآباد در پهنه ماگمایی ارومیه-دختر واقع شده است. بر پایه بررسی‌های زمین‌شناسی انجام شده، قدیمی‌ترین سنگ‌های این منطقه، شیل‌های تیره تا سیاه‌رنگ ماسه‌سنگ همراه با میان‌لایه‌های آهکی به سن تریاس پسین و معادل سازند نایبند و در جنوب شرقی محدوده مورد بررسی قرار دارد. واحدهای مربوط به ژوراسیک از شیل‌های متورق سیاه‌رنگ ضخیم و لایه‌های ماسه‌سنگی ریزدانه با میان‌لایه‌های آهکی - شیلی تشکیل شده‌اند و معادل سازند شمشک در نظر گرفته می‌شوند. واحد کرتاسه پایینی از ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز رنگ تشکیل شده که معمولاً به صورت دگرشیب بر روی لایه‌های قدیمی‌تر قرار گرفته است. کرتاسه میانی از شیل‌های خاکستری تیره همراه با میان‌لایه‌هایی از آهک و کرتاسه بالایی از آهک‌های مارنی، آهک‌های ماسه‌ای - سیلتی و آهک‌های شیلی متورق تشکیل شده‌اند که از ضخامت چندانی برخوردار نیستند (Emami, 1993).

سازندهای آتشفشانی - رسوبی ائوسن به صورت دگرشیب بر روی آهک‌های کرتاسه زیرین و گاهی سازند شمشک قرار گرفته است. بخش‌های رسوبی و آذرآواری ائوسن، لایه‌بندی کاملاً واضح و مشخصی را نشان می‌دهند؛ اما گدازه‌ها، توف‌ها و برش‌های آتشفشانی بیشتر توده‌ای هستند. ولکانیک‌های ائوسن دارای درز و شکستگی‌های فراوان بوده و به شدت دگرسان شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه از نوع آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریولیت هستند (Mehvari et al., 2016). طبق پژوهش مهوری (Mehvari, 2017)، دگرسانی‌های متعدد و گسترده‌ای در منطقه قابل مشاهده هستند که عبارتند از پروپلیتیک، آرژلیک، آرژلیک پیشرفته

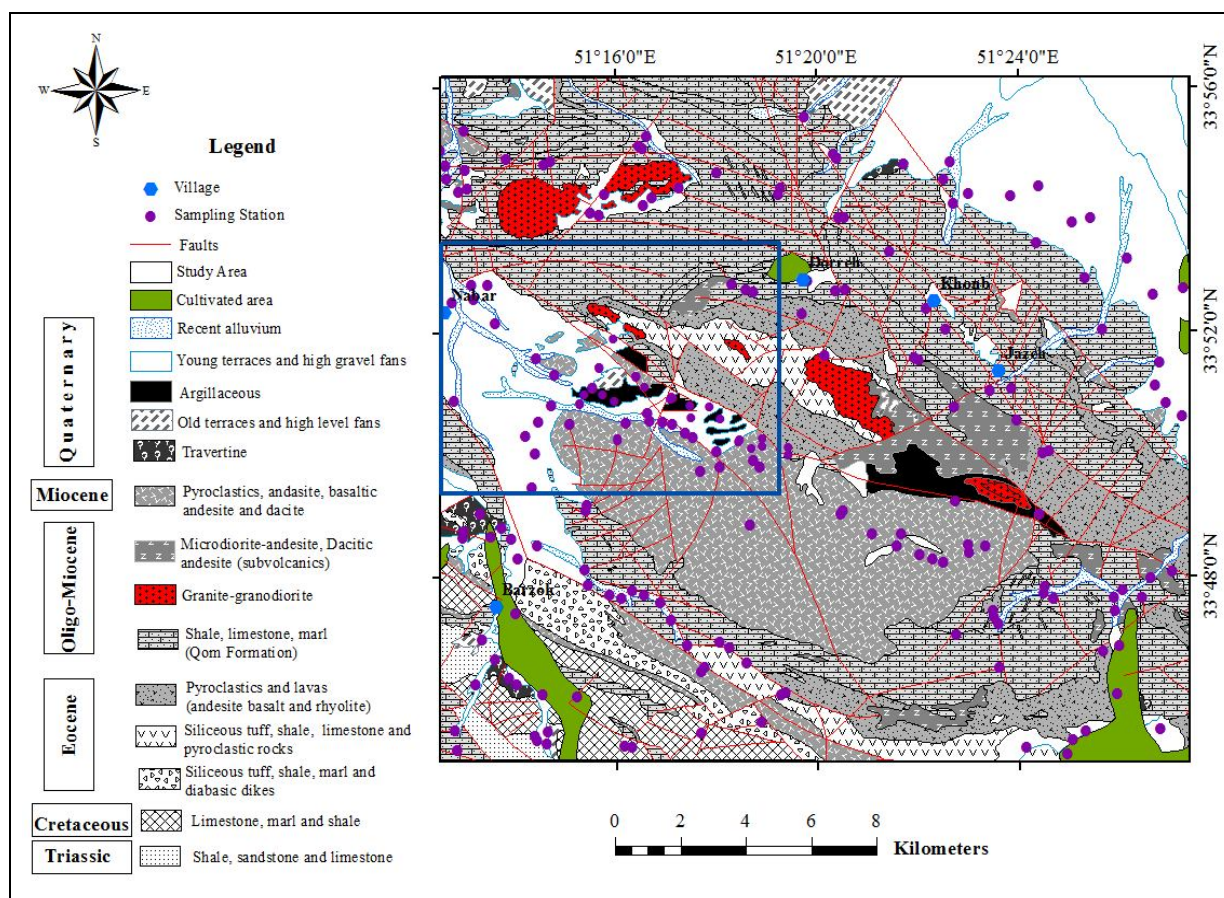
و سیلیسی. در پایان ائوسن، حرکات زمین‌ساختی پیرنه‌ای تغییرات قابل‌توجهی در این قلمرو به وجود آورد و مجموعه سنگ‌های قدیمی‌تر را تحت تأثیر قرار داد. مجموعه سنگ‌های الیگومیوسن در منطقه به صورت دو واحد متفاوت وجود دارند که عبارتند از واحدهای دریایی سازند قم و توده‌های نفوذی. در محدوده مورد بررسی، واحدی از سازند قم که از مارن‌های سبز رنگ، شیل‌های خاکستری و مارن‌های ماسه آهک‌های تیره رنگی بر فراز ناپیوستگی‌ها تشکیل شده است، معمولاً با دگرشیبی و گاهی با هم‌شیبی آشکار بر روی واحدهای رسوبی - آتشفشانی پالئوژن قرار می‌گیرد. توده‌های نفوذی الیگومیوسن به صورت توده‌های باتولیتی، تونالیتی و گرانودیوریتی هستند. این توده‌ها نهشته‌های قدیمی‌تر از ائوسن را گسسته و باعث دگرگونی مجاورتی به نسبت گسترده‌ای پیرامون خود شده‌اند. جوان‌ترین لایه‌هایی که از این دگرگونی متأثر شده، لایه‌های آهکی سازند قم هستند و سبب اسکارن‌زایی شده‌اند. توده‌های یادشده دارای روند ساختاری شمال‌غرب - جنوب‌شرق هستند. فعالیت ماگمایی در میوسن به صورت آتشفشانی در منطقه برون‌زد یافته است که بخش‌های پایینی آن شامل مواد پیروکلاستیکی و برش آندزیتی با پورفیرهای سبز تا خاکستری همراه با میان‌لایه‌های آهکی است که در محیطی نیمه‌دریایی تشکیل شده و به‌طور هم‌شیب و پیوسته بر روی آهک‌های سازند قم قرار گرفته است که بیانگر آغاز فعالیت این واحد در میوسن زیرین است. بخش‌هایی بالایی آن شامل ردیف‌هایی از سنگ‌های پیروکلاستیکی و گدازه‌های داسیتی، آندزیتی - بازالتی به رنگ قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره است و اغلب دارای شکستگی است. جوان‌ترین واحدهای منطقه رسوبات کواترنری هستند که به صورت تراورتن، نهشته‌های سخت نشده قله‌دار و ریگ و ماسه‌های ریزدانه در منطقه قابل مشاهده هستند (Mahlooji, 2006) (شکل ۱).

روش مطالعه

در این پژوهش، نمونه‌های رسوب برای بررسی‌های ژئوشیمیایی

رسوبات برداشت شده در ناحیه نیز از فرسایش سنگ‌های بالادست و رسوب آنها در طول آبراهه‌ها حاصل شده‌اند. برای بررسی وضعیت آلودگی زیست‌محیطی رسوبات مورد مطالعه، شبکه نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شد که نمونه‌های رسوب برداشت شده بیشترین سازگاری را با چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی، زمین‌ساخت و کاربری اراضی منطقه داشته باشند.

در طول آبراهه‌های منطقه سعدآباد برداشت شدند. ماهیت سنگ‌های بالادست نمونه‌های رسوب برداشت شده از لحاظ سنگ‌شناسی از نوع شیل، مارن، کنگلومرا، آهک، ماسه‌سنگ، دولومیت، سنگ‌های آذرین نفوذی (گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت)، سنگ‌های آذرین خروجی (آندزیت، داسیت)، سنگ‌های آذرآواری (توف) و تراورتن‌ها هستند. بنابراین



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه سعدآباد همراه با موقعیت نقاط نمونه‌برداری (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشان) (Emami, 1993)

Fig. 1. Geological map of Saadabad area along with the location of sampling points (taken from map 1:100000 Kashan) (Emami, 1993)

وزن حدود ۲ کیلوگرم برداشت شد (Hassani-Pak, 1992). در مجموع بیش از ۱۷۰ نمونه از کل منطقه مورد مطالعه برای بررسی ژئوشیمیایی رسوبات منطقه و غلظت آلاینده‌ها در آنها برداشت شد (شکل ۲). پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها در داخل کیسه پلاستیکی نگهداری شدند و پس از خشک شدن در هوای

نمونه‌برداری به شیوه مرکب انجام شد، به این صورت که در موقعیت نمونه‌برداری، یک قطعه ۲۰×۲۰ متر و داخل آن به صورت V سه قطعه ۳×۳ متر زده شد. سپس تعداد ۵ نمونه رسوب به صورت ضربدری از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر برداشت شد و پس از مخلوط کردن آنها یک نمونه مرکب به

منابع بشرزاد فلزات سنگین در خاک‌های منطقه، روش‌های زمین‌آماری چند متغیره از قبیل تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش از ترکیب میانگین پوسته به عنوان ماده زمینه برای بررسی‌های آماری استفاده شد. تحلیل‌های آماری داده‌های ژئوشیمیایی با استفاده از بسته نرم‌افزاری SPSS (Vs. 17) محاسبه شد. نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های آلودگی هر یک از عناصر مورد بررسی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS (vs. 9.3) تهیه شد.

نتایج و بحث

غلظت کل عناصر سمی در نمونه‌های رسوب و ارزیابی آلودگی آنها در منطقه سعدآباد

پس از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها، مؤلفه‌های آماری غلظت عناصر از قبیل (حداقل، حداکثر، انحراف استاندارد و واریانس) در جدول ۲ آمده است. هیستوگرام فراوانی و نمودار جعبه‌ای عناصر مورد بررسی، ترسیم و در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است. با توجه به شکل‌های ۳ و ۴، تمرکز طبیعی عناصر Co، Fe، As، Cd، Pb، Zn و Cu دارای توزیع نرمال در محیط نیستند؛ زیرا مقدار میانه غلظت آنها به صورت نامتقارن (برای عناصر As، Cd، Pb، Zn و Cu چولگی و عدم تقارن بیشتر است) و برخی از نمونه‌ها در خارج از محدوده قرار گرفته‌اند. داده‌های ژئوشیمیایی چندین نمونه رسوب (۶۱، ۶۲، ۷۴، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۱۰۶، ۱۰۸، ۱۱۲، ۱۰۵، ۱۵۱ و ۱۵۲) در آستانه بالا جامعه داده‌ها قرار گرفته‌اند و به عنوان داده‌های خارج از رده مجموعه داده در بیشتر موارد شناخته شده‌اند. یکی از فرضیات لازم برای انجام آنالیزهای آماری نرمال بودن توزیع داده‌هاست (Hassani-Pak, 2012)، لذا در این پژوهش، پس از انجام Test of Normality (روش کولوموگراف-اسمیرنوف) بر اساس میانگین و انحراف استاندارد داده‌ها، یک روش مناسب ترانسفورم انتخاب شد تا داده‌هایی که از توزیع نرمالی برخوردار نبودند، به توزیع نرمال نزدیک شوند.

آزاد، برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها مورد بررسی به صورت ضعیف به هم متصل بودند. به همین دلیل برای پراکنده کردن نمونه و از بین بردن تجمعات موجود در نمونه (کلوخه‌ها)، نمونه خشک شده را در داخل هاون ریخته و با استفاده از حرکت بالا و پایین دسته هاون، کلوخه‌ها به آرامی کوبیده شدند؛ به گونه‌ای که فقط دانه‌های تشکیل دهنده آنها از یکدیگر جدا شوند و قطر ذرات تشکیل دهنده نمونه‌ها تغییر نکند. در این موقع نمونه برای انجام آزمایش‌های مختلف از قبیل تعیین مؤلفه‌های شیمیایی آماده است. مقدار معینی از نمونه با روش مخروطی و چهار قسمتی جدا شد و باقی مانده نمونه در ظروف پلی اتیلنی ریخته شد و با برچسب، شماره و موقعیت نمونه بر روی آن مشخص شد. در آزمایشگاه ابتدا تمام نمونه‌ها در آون (۶۰ درجه سانتی‌گراد) خشک شده و سپس از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند تا اندازه ذرات به کمتر از ۷۲ میکرون برسد. مقدار مشخصی از محلول Aqua Regia به هر نمونه اضافه شد و به مدت یک ساعت در حمام آب داغ ($T > 95^{\circ}\text{C}$) قرار داده شدند و پس از سرد شدن محلول، با ۵٪ HCl به حجم رسانیده شدند. در هر ۲۰ میلی لیتر محلول، ۱ گرم از نمونه رسوب وجود دارد. غلظت عناصر فرعی نظیر As، Cd، Pb، Zn، Cu، Co، Ag در محلول‌های حاصل از هضم نمونه‌ها به روش طیف سنجی جرمی پلاسما جفت شده القایی^۱ در آزمایشگاه زرا آزمایشگاه تجزیه قرار گرفتند و نتایج تجزیه شیمیایی در جدول ۱ آمده است. در این پژوهش، درستی و دقت اندازه‌گیری‌ها با استفاده از محلول‌های استاندارد و دو مرتبه اندازه‌گیری غلظت عناصر در تعداد ۲۰ نمونه کنترل شد. همچنین با توجه به مقدار کمتر از ۱۰ درصد شاخص انحراف معیار نسبی^۲ داده‌ها از دقت خوبی برخوردارند.

برای ارزیابی آلودگی رسوبات منطقه PTES، شاخص‌های مختلف زیست محیطی از قبیل عامل آلودگی و عامل غنی‌شدگی عناصر مختلف محاسبه شد. همچنین برای تفکیک منشأ طبیعی از

1 Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

2. Relative Standard Deviation

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر سمی (mg/kg) نمونه‌های رسوب منطقه سعدآباد

Table 1. Chemical analysis of toxic elements (mg/kg) of sediment samples of Saadabad area

Sample No.	As	Cd	Co	Pb	Zn	Cu	Fe	S
1	13.50	0.33	18.84	51.13	144.23	32.50	70991.40	178.32
2	8.50	0.18	19.08	40.12	108.78	37.77	54040.90	125.64
3	12.50	0.10	17.33	23.58	87.18	34.61	51424.00	159.52
4	13.50	0.14	16.44	24.59	85.24	35.78	47358.30	332.38
5	10.50	0.11	16.47	25.50	85.12	46.78	52915.90	170.09
6	13.00	0.15	17.10	24.51	85.81	47.19	59410.20	927.84
7	13.50	0.10	16.79	24.07	84.44	41.51	53608.20	158.61
8	14.00	0.10	18.31	23.62	77.18	63.04	65636.50	4201.68
9	15.50	0.21	18.48	26.70	98.01	49.27	63730.50	793.49
10	14.00	0.10	17.48	21.41	68.03	43.01	58586.70	1130.17
11	10.50	0.10	18.08	24.85	85.31	50.88	55303.50	543.13
12	16.00	0.11	18.65	30.68	114.95	54.17	60965.90	2208.00
13	15.50	0.16	20.04	24.76	90.73	58.82	66745.40	1203.58
14	12.00	0.15	16.70	25.81	85.38	40.64	56848.40	948.06
15	14.00	0.17	21.53	24.39	95.45	47.11	62684.50	133.58
16	13.00	0.10	20.47	25.14	93.81	51.94	62641.20	156.19
17	10.50	0.11	22.26	27.97	93.14	50.61	61232.40	104.79
18	11.50	0.22	17.61	32.42	93.40	36.91	60163.50	207.55
19	13.50	0.10	19.44	29.82	96.34	50.52	62213.90	142.47
20	12.00	0.44	19.70	39.11	203.23	49.62	65154.80	85.80
21	12.50	0.20	18.80	28.34	119.36	54.75	61972.70	111.29
22	11.50	0.20	19.25	27.98	112.50	66.36	57308.70	210.87
23	10.00	0.10	18.35	27.39	112.44	44.09	61541.90	86.24
24	11.50	0.42	20.24	46.77	171.69	68.30	63020.40	118.26
25	13.50	0.51	20.80	101.28	203.09	49.44	64362.20	267.05
26	12.50	0.21	17.30	28.92	127.75	52.88	58608.40	116.33
27	10.50	0.10	13.60	22.46	72.64	30.96	45230.60	270.54
28	9.00	0.10	10.88	15.95	50.36	20.87	35927.90	265.02
29	13.50	0.10	18.96	25.68	76.37	44.70	50062.50	152.97
30	11.50	0.15	16.60	32.70	107.23	34.87	47035.60	176.30
31	7.50	0.10	14.27	20.07	82.81	29.05	46814.80	149.82
32	9.00	0.10	11.39	14.76	53.92	22.75	40426.30	241.42
33	10.00	0.17	13.03	18.44	64.41	26.10	48631.80	191.90
34	9.50	0.13	14.47	17.09	69.45	30.49	45969.10	198.09
35	10.50	0.10	12.04	16.03	65.24	28.99	42419.50	224.45
36	14.00	0.10	14.81	27.24	85.73	38.76	54841.30	174.41
37	9.00	0.10	15.40	15.20	69.41	35.35	57913.50	167.90
38	10.50	0.10	15.28	16.84	76.20	38.67	53242.30	150.35
39	11.00	0.10	13.18	17.50	62.56	26.23	40469.70	182.69
40	11.00	0.31	17.40	26.34	97.36	39.34	62076.00	120.32
41	12.50	0.18	15.51	30.22	99.28	40.15	55421.30	124.48
42	16.50	0.10	15.63	28.34	100.39	36.22	49122.20	145.86
43	16.50	0.10	13.42	24.13	85.34	35.77	45921.70	205.24
44	10.50	0.32	12.14	21.07	85.13	42.29	46444.70	119.45
45	9.50	0.20	11.54	14.57	80.33	35.19	50227.90	107.21

ادامه جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر سمی (mg/kg) نمونه‌های رسوب منطقه سعدآباد

Table 1 (Continued). Chemical analysis of toxic elements (mg/kg) of sediment samples of Saadabad area

Sample No.	As	Cd	Co	Pb	Zn	Cu	Fe	S
46	11.00	0.26	9.39	13.38	66.54	26.83	43599.30	276.73
47	9.00	0.10	11.31	7.13	76.42	36.37	59029.20	60.94
48	5.50	0.32	12.99	16.87	111.96	49.80	56513.10	72.97
49	11.00	0.17	9.32	8.60	66.30	29.97	47806.00	100.58
50	12.00	0.22	14.81	13.62	95.17	44.59	66062.00	119.42
51	14.00	0.28	11.43	13.28	86.87	54.55	52930.90	99.91
52	18.00	0.36	11.48	19.01	97.61	43.80	50508.60	430.39
53	22.00	0.58	10.45	15.82	62.32	27.68	39094.70	464.99
54	20.00	0.48	9.48	13.39	66.16	28.25	41815.60	356.95
55	14.00	0.30	7.96	14.44	68.45	39.74	36856.40	292.57
56	12.50	0.30	7.97	15.76	66.71	37.31	39378.50	271.60
57	14.00	0.33	9.46	20.33	75.32	35.17	42999.90	289.55
58	19.00	0.39	11.77	20.95	95.68	47.28	54396.70	234.15
59	15.50	0.23	10.35	17.98	80.35	33.27	44524.70	253.68
60	14.50	0.39	10.34	18.33	69.18	37.59	43464.30	320.98
61	28.00	0.90	12.09	43.17	199.92	26.94	43555.00	141.94
62	65.00	1.88	11.13	24.00	102.92	51.82	44970.80	93.04
63	20.00	0.44	11.95	12.33	72.09	35.97	46524.70	87.54
64	13.50	0.29	9.20	17.46	92.54	32.56	39698.10	208.73
65	13.50	0.33	8.55	16.16	76.90	27.76	38341.60	177.90
66	10.50	0.22	9.18	14.35	79.21	29.20	37729.10	423.78
67	19.00	0.40	10.03	25.58	118.04	38.70	47949.50	140.16
68	18.00	0.40	9.78	30.72	113.81	36.39	46910.50	137.00
69	21.50	0.58	19.20	33.86	158.69	45.17	55064.20	159.63
70	18.00	0.46	11.17	29.14	107.06	34.77	41773.80	208.20
71	12.50	0.36	10.46	21.33	113.48	35.78	41840.40	156.76
72	25.00	0.67	10.16	36.06	128.65	48.65	50711.70	957.06
73	23.00	0.59	10.18	32.25	104.57	35.23	50674.80	243.61
74	28.00	0.72	10.61	34.50	119.67	43.78	51288.70	196.51
75	45.00	1.29	15.82	28.09	108.45	89.83	56551.80	188.03
76	55.00	1.69	9.40	16.78	93.33	32.99	41963.00	161.32
77	39.00	0.91	11.32	44.50	151.36	56.01	56900.20	249.89
78	22.00	0.70	8.90	23.66	91.52	33.03	40349.90	205.35
79	13.50	0.34	9.64	21.08	114.80	39.33	44498.70	171.79
80	13.00	0.28	11.02	18.91	123.11	38.23	51442.10	163.29
81	14.00	0.28	11.36	17.81	91.45	34.87	48920.50	156.94
82	9.00	0.20	13.93	14.46	103.24	32.68	57661.00	134.72
83	17.00	0.48	12.32	22.62	93.90	43.57	51938.90	133.57
84	19.00	0.62	11.39	19.06	91.16	36.50	46588.70	142.51
85	20.00	0.57	8.16	17.32	65.85	22.44	36382.60	197.14
86	16.00	0.48	11.79	20.19	94.71	22.53	47567.50	314.53
87	13.50	0.39	13.26	21.15	86.97	28.11	52831.50	248.99
88	17.00	0.50	13.31	22.47	80.10	27.45	49188.10	190.07
89	9.50	0.21	11.35	22.05	81.68	28.78	49333.20	227.26
90	18.00	0.55	13.11	12.74	75.44	24.75	44795.60	267.52

ادامه جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر سمی (mg/kg) نمونه‌های رسوب منطقه سعدآباد

Table 1 (Continued). Chemical analysis of toxic elements (mg/kg) of sediment samples of Saadabad area

Sample No.	As	Cd	Co	Pb	Zn	Cu	Fe	S
91	16.00	0.50	14.75	15.12	58.52	27.12	45708.60	139.22
92	19.00	0.51	12.00	13.90	61.46	27.11	49251.40	94.51
93	20.00	0.69	14.64	16.59	59.63	24.93	42287.40	216.11
94	17.00	0.44	8.91	23.15	58.99	18.46	43091.30	183.13
95	20.00	0.68	12.76	15.91	55.25	18.35	34054.30	631.18
96	18.00	0.53	12.14	13.71	49.08	25.81	41745.60	116.85
97	20.00	0.57	14.87	18.73	48.74	22.12	39398.80	105.93
98	20.00	0.68	13.97	18.01	61.81	25.17	49311.30	100.94
99	18.50	0.45	12.70	14.89	58.15	28.80	45422.60	248.93
100	25.00	0.72	13.38	34.46	64.49	29.22	46322.30	131.60
101	18.50	0.75	10.43	31.94	64.77	29.87	45276.40	187.40
102	7.00	0.18	15.51	15.47	73.41	22.65	38668.70	203.59
103	11.50	0.27	11.72	17.89	70.84	34.14	52224.30	160.67
104	9.00	0.18	11.67	13.10	68.06	27.04	46635.90	263.53
105	120.00	4.51	9.64	24.42	62.04	22.13	35479.00	289.48
106	75.00	3.36	10.21	24.14	66.78	20.94	25024.20	4025.27
107	20.00	0.72	5.91	16.36	44.56	16.63	31649.30	569.16
108	60.00	2.06	8.94	26.84	77.33	23.00	36016.00	707.09
109	18.00	0.44	8.81	20.63	58.27	22.88	36340.70	907.19
110	25.00	0.78	9.65	18.69	63.44	23.41	44940.80	328.94
111	20.00	0.64	11.36	23.09	87.11	29.27	62454.70	218.17
112	15.00	0.67	15.57	85.11	272.04	57.52	54718.00	166.17
113	8.50	0.14	13.72	13.84	81.70	33.78	58767.80	139.50
114	10.00	0.17	14.48	16.02	101.32	34.76	72603.50	125.73
115	6.50	0.16	15.33	11.25	98.69	32.08	61274.80	124.17
116	12.00	0.37	17.74	15.85	89.66	48.73	55222.00	105.02
117	12.00	0.31	13.11	36.22	165.96	46.65	61620.70	218.59
118	11.00	0.34	14.52	22.94	134.10	44.25	61077.60	308.40
119	10.50	0.25	14.52	20.35	90.39	49.42	47295.60	643.30
120	12.00	0.33	12.26	20.94	85.92	31.61	64324.00	180.71
121	9.50	0.25	17.07	18.39	100.57	38.44	46978.40	334.70
122	15.50	0.36	11.44	26.64	82.65	29.61	59393.20	173.12
123	10.50	0.33	17.53	16.95	88.89	42.36	61319.80	224.05
124	10.00	0.31	17.30	25.22	105.95	48.20	50938.20	153.05
125	12.00	0.32	13.51	23.30	90.43	36.30	60010.60	281.32
126	12.00	0.36	17.62	17.20	87.56	47.90	43645.00	242.15
127	10.00	0.30	10.57	21.87	75.71	24.39	41571.00	237.57
128	11.00	0.19	9.98	22.13	74.56	24.20	44792.70	215.11
129	9.00	0.24	12.10	20.87	80.53	26.20	40432.40	268.91
130	10.00	0.26	10.76	21.61	66.83	22.21	39615.00	250.97
131	13.00	0.38	10.07	27.88	73.72	26.37	31901.10	239.86
132	11.00	0.48	6.86	23.11	73.49	21.48	41395.50	232.89
133	11.00	0.34	10.00	26.69	75.28	23.90	42153.10	277.64
134	11.00	0.37	10.04	21.37	69.61	22.71	35304.30	206.04
135	11.00	0.41	7.88	22.94	58.10	19.28	35630.70	305.27

ادامه جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر سمی (mg/kg) نمونه‌های رسوب منطقه سعدآباد

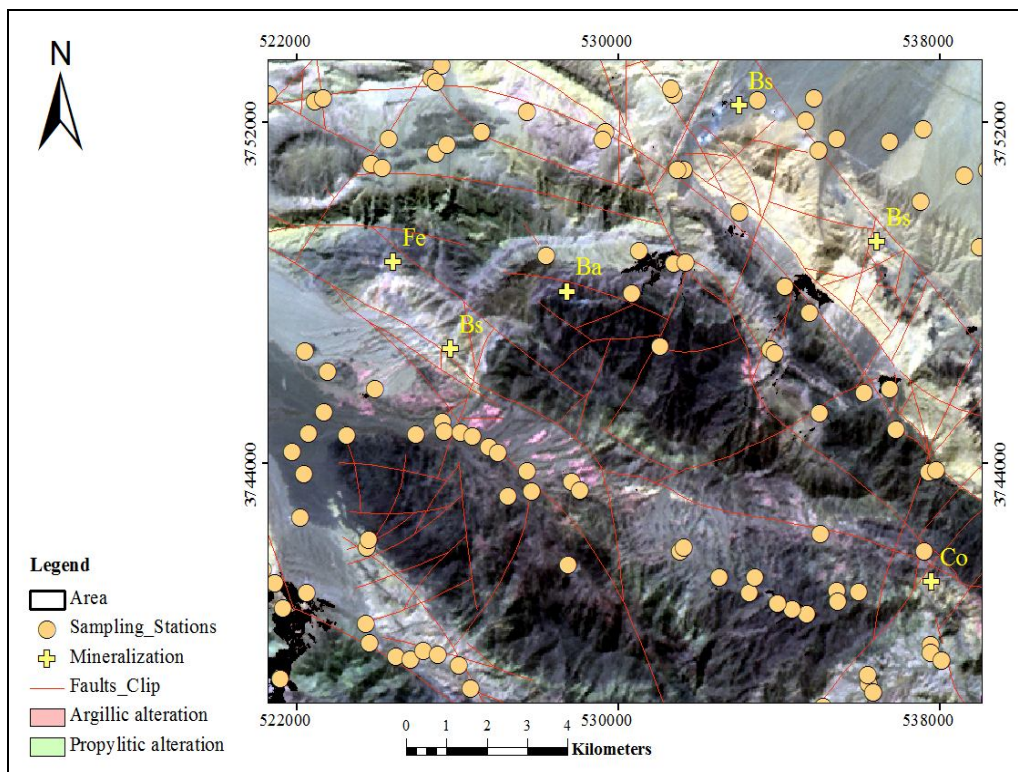
Table 1 (Continued). Chemical analysis of toxic elements (mg/kg) of sediment samples of Saadabad area

Sample No.	As	Cd	Co	Pb	Zn	Cu	Fe	S
136	13.00	0.45	7.41	22.24	65.46	19.67	37419.10	261.01
137	12.00	0.41	8.86	25.02	82.34	22.60	42262.30	370.58
138	12.00	0.33	11.80	26.95	82.39	26.95	60191.30	197.43
139	20.00	0.36	12.78	15.39	119.04	39.63	50787.50	941.10
140	15.00	0.61	19.03	11.95	113.35	43.01	49070.10	258.87
141	11.00	0.25	14.40	7.35	115.70	40.84	42128.20	452.90
142	9.00	0.27	12.40	33.07	97.11	36.19	45973.00	520.34
143	11.00	0.36	14.83	37.88	126.97	40.96	38149.30	239.00
144	12.00	0.30	12.26	32.33	77.15	26.41	69865.50	843.32
145	15.00	0.46	19.23	37.02	123.17	40.63	41093.80	591.06
146	10.00	0.37	12.74	47.59	98.67	31.22	43319.30	361.25
147	12.00	0.53	14.05	42.57	136.33	30.66	39221.80	485.58
148	13.00	0.46	13.17	43.40	122.38	28.89	41259.80	810.73
149	10.00	0.34	17.78	20.40	60.88	37.94	49677.30	2524.00
150	20.00	0.90	14.89	169.86	305.42	99.94	64432.10	1555.72
151	12.00	0.67	16.85	109.78	154.62	60.07	43166.70	1128.27
152	14.00	0.37	20.45	30.37	143.40	60.49	70758.10	262.45
153	12.00	0.42	19.73	27.86	149.09	67.34	69142.80	137.74
154	15.00	0.43	16.50	33.24	150.37	37.38	59958.10	200.76
155	15.00	0.55	11.09	131.18	194.22	60.72	43515.30	1813.74
156	13.00	0.48	11.39	37.28	86.73	27.45	40295.10	353.39
157	14.00	0.40	18.77	25.43	87.10	40.79	53087.10	269.43
158	16.00	0.35	14.48	28.03	100.00	40.00	44025.40	1666.55
159	14.00	0.48	12.29	40.66	76.34	26.14	41737.10	529.65
160	13.00	0.40	11.19	28.96	76.81	25.28	40274.20	316.44
161	14.00	0.41	13.69	35.04	84.52	33.05	43891.20	303.35
162	14.00	0.35	11.71	21.75	74.54	26.30	42185.40	224.69
163	13.00	0.61	13.59	41.54	74.68	23.93	42741.80	203.00
164	11.00	0.36	12.36	19.10	77.91	26.86	46133.90	212.60
165	14.00	0.39	11.82	28.43	74.49	25.93	42036.60	203.23
166	10.00	0.24	13.71	20.83	82.34	32.50	47463.90	180.31
167	10.00	0.27	14.76	17.68	88.17	35.83	51191.20	203.59
168	14.00	0.35	10.92	23.42	69.08	21.47	39211.90	183.34
169	15.00	0.34	14.67	35.19	89.85	29.47	58086.10	167.65
170	15.00	0.34	13.95	25.21	82.11	29.01	48743.70	180.63
171	15.00	0.36	15.03	32.98	88.32	33.04	51914.20	179.29
172	14.00	0.33	14.80	23.56	102.99	27.18	48581.10	155.15
173	11.50	0.42	15.63	23.39	87.25	29.25	52084.70	181.05
174	13.00	0.55	20.10	30.27	121.95	48.59	61486.40	178.48

جدول ۲. مؤلفه‌های آماری داده‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های رسوب منطقه سعد آباد

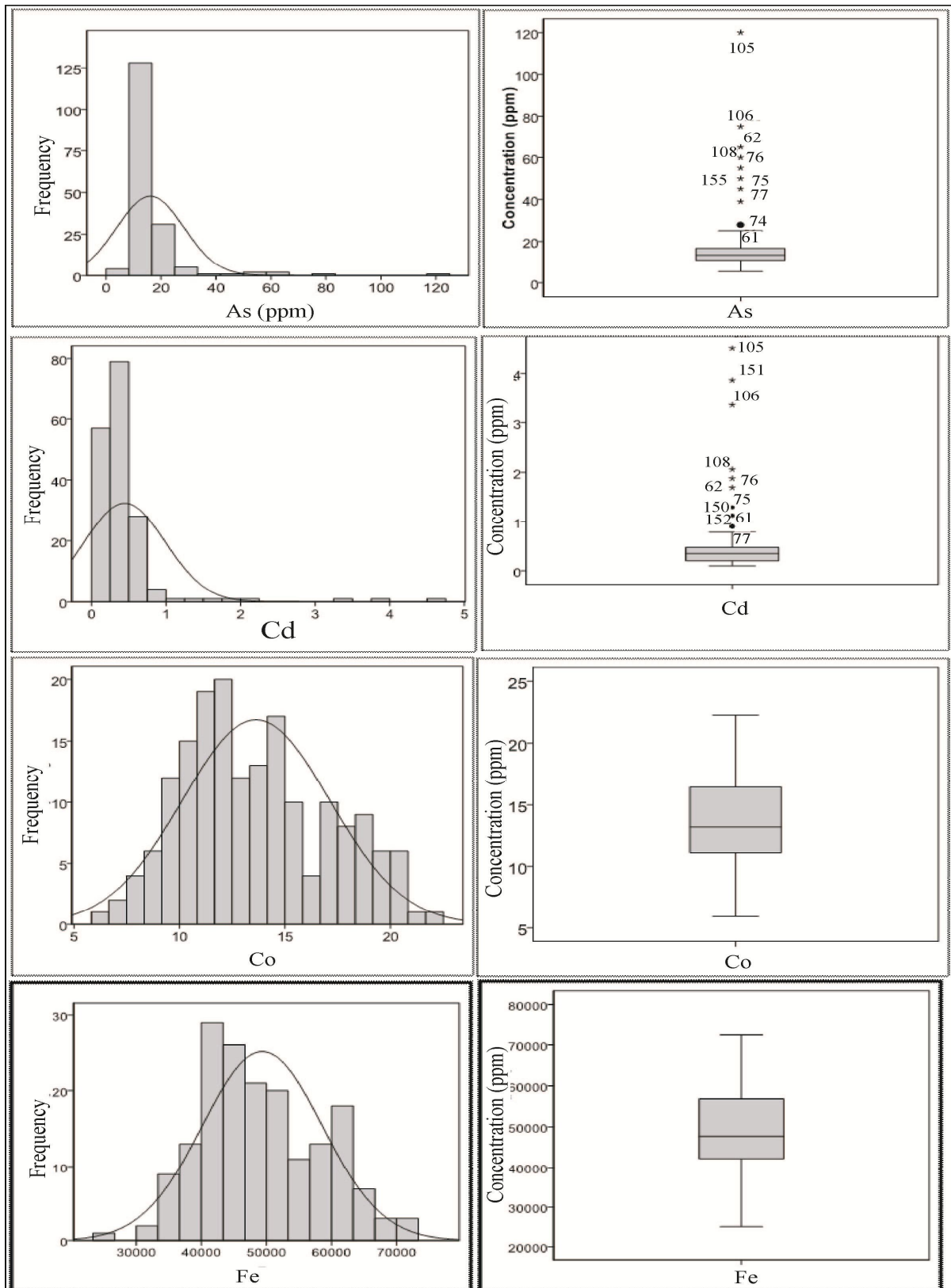
Table 2. Statistical parameters of geochemical data of sediment samples in Saadabad

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
As	174	5.50	120.00	15.90	12.05	145.20
Cd	174	0.10	4.51	0.42	0.48	0.23
Co	174	5.91	22.26	13.60	3.50	12.28
Fe	174	25024.18	72603.54	49389.52	9352.41	87467513.44
Pb	174	7.13	169.86	26.54	18.69	349.34
Zn	174	44.56	305.42	94.30	36.09	1302.64
Cu	174	16.63	99.94	36.59	12.71	161.62
S	174	60.94	4201.68	355.08	516.37	266635.80



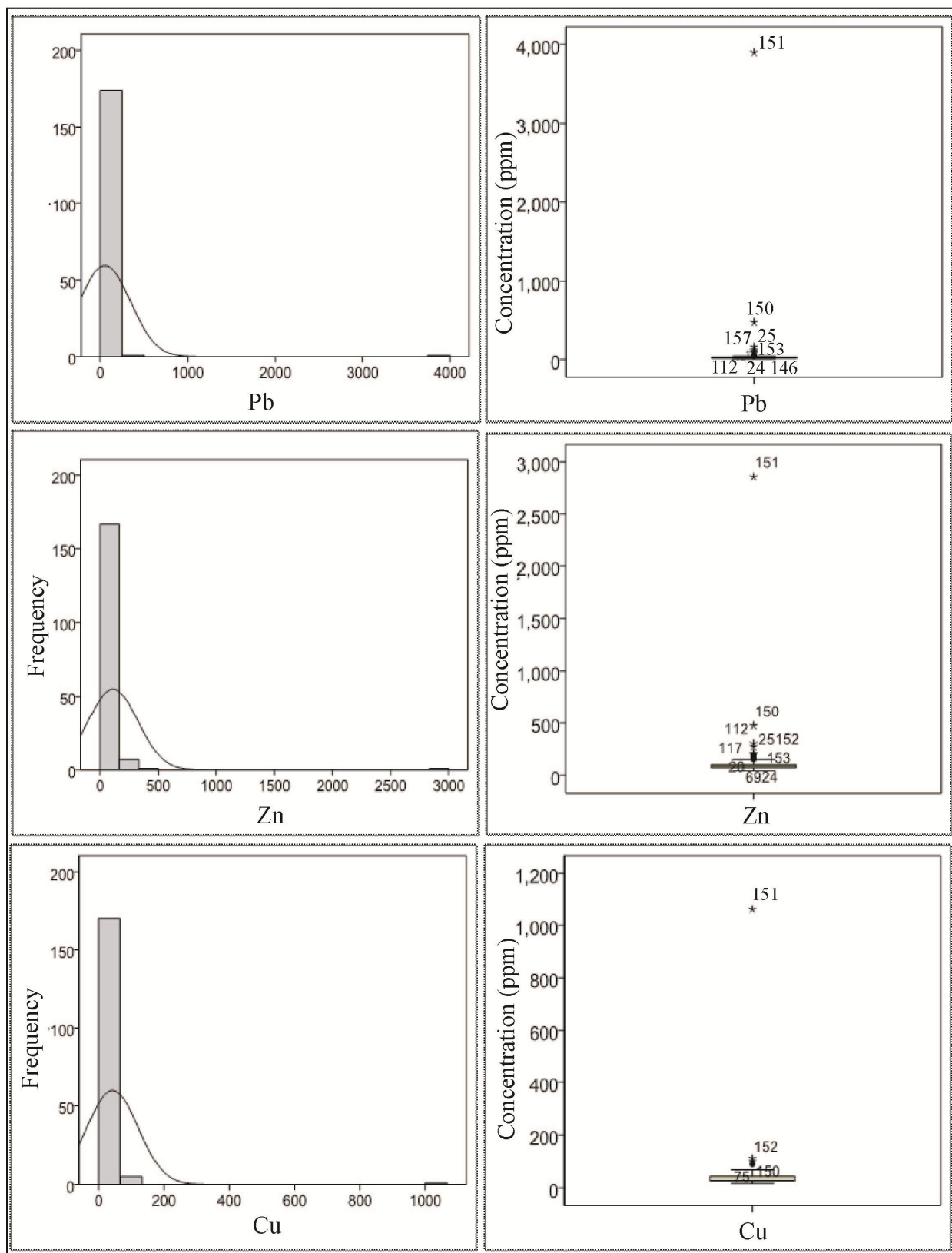
شکل ۲. موقعیت نمونه‌های رسوب برداشت شده بر روی تصویر RGB (468) منطقه سعد آباد

Fig. 2. Location of taken sediment samples on the RGB image (468) of the Saadabad area



شکل ۳. هیستوگرام و نمودار جعبه‌ای داده‌های خام عناصر As، Cd، Co و Fe در رسوبات منطقه سعدآباد

Fig. 3. Histogram and box diagram of crude data of As, Cd, Co, and Fe in sediments of Saadabad area



شکل ۴. هیستوگرام و نمودار جعبه‌ای داده‌های خام عناصر Pb، Zn و Cu در رسوبات منطقه سعدآباد

Fig. 4. Histogram and box diagram of crude data of Pb, Zn and Cu in sediments of Saadabad area

ارزیابی آلودگی عناصر

ارزیابی آلودگی زیست محیطی عناصر سمی در رسوبات

سطحی منطقه سعدآباد

برای ارزیابی زیست محیطی در رسوبات سطحی منطقه دگرسانی سعدآباد، شاخص‌های زیست محیطی متعددی از قبیل عامل آلودگی، درجه آلودگی و عامل غنی‌شدگی آلاینده‌هایی نظیر Fe, Cu, As, Zn, Pb و Co مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های ذکر شده توسط پژوهشگران مختلف برای ارزیابی آلودگی محیط به PTEs مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Reboredo, 1993; Loska et al., 1995).

توزیع آماری PTEs در منطقه سعدآباد

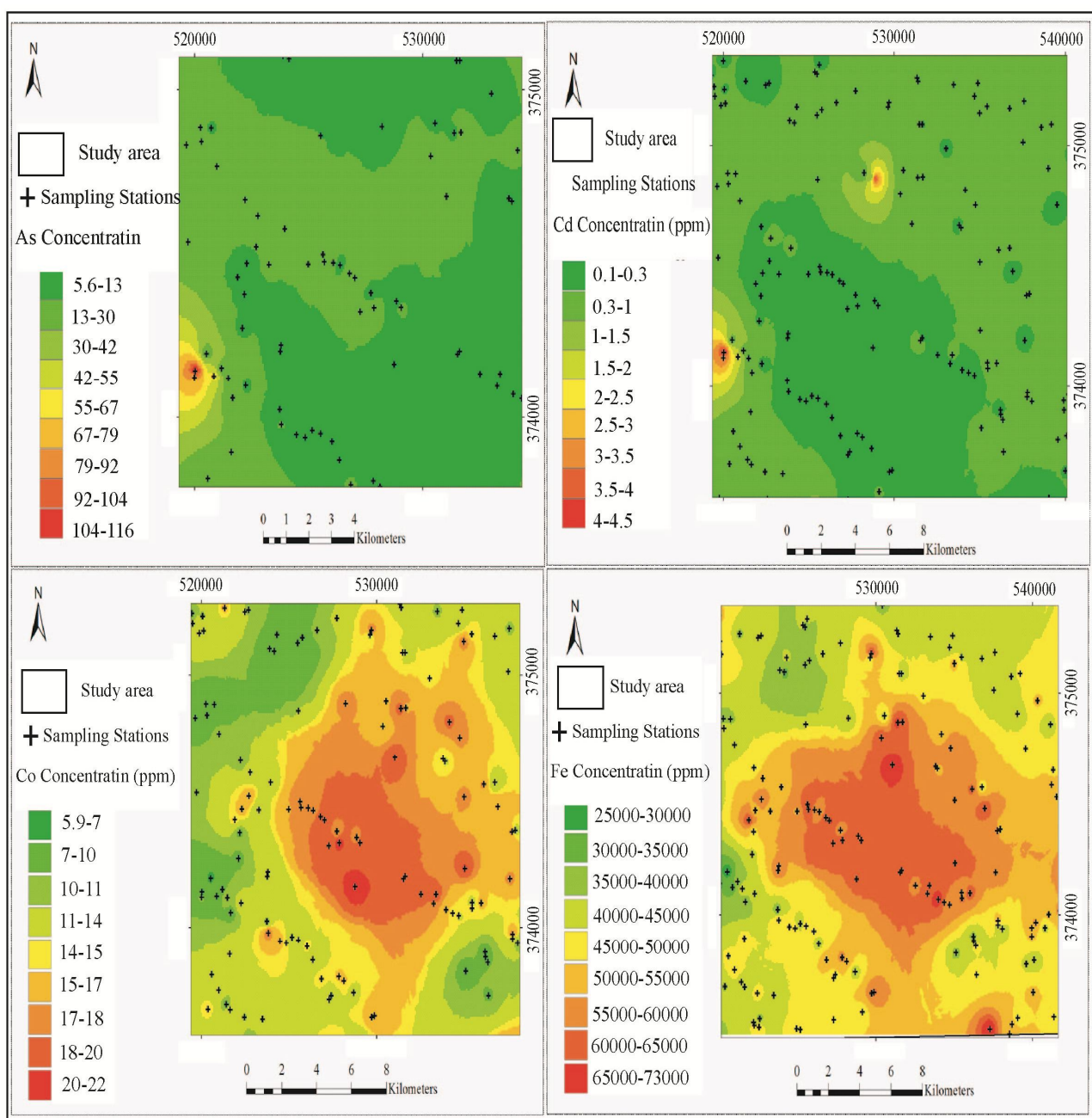
در بررسی‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش‌های آماری متعددی، نقشه ناهنجاری‌های عناصر مختلف تهیه می‌شود. این نقشه‌ها، نقشی مؤثر در تعیین مناطق پر خطر ایفا می‌کنند.

در شکل ۵، نقشه‌های پهنه‌بندی غلظت عناصر در منطقه دگرسانی سعدآباد نشان داده شده است. نتایج بررسی‌های اولیه نشان داده است که برحسب وجود همبستگی‌هایی بین عناصر مختلف مورد بررسی، الگوی پراکندگی عناصر مختلف در رسوبات منطقه سعدآباد، شباهت‌های قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر دارند. برای تعیین ناهنجاری غلظت PTEs در رسوبات منطقه، میانگین غلظت آنها در نمونه‌های مورد بررسی با مقدار میانگین پوسه زمین (Mason and Moore, 1982) مقایسه شده است و این مقایسه نشان می‌دهد که غلظت عناصر آرسنیک، کادمیم، سرب، روی و گوگرد در نمونه‌های رسوب سعدآباد از میانگین پوسه‌ای بیشتر است. نحوه توزیع As در رسوبات سطحی منطقه در شکل ۵ نشان داده شده است. چنان‌که در این شکل مشاهده می‌شود، در میان ایستگاه‌های مورد بررسی، حداقل و حداکثر غلظت As به ترتیب عبارت از ۵/۵۰ و ۱۲۰ mg/kg هستند. ناهنجاری مشاهده شده As در قسمت جنوب غربی منطقه را می‌توان به وجود تراورتن‌ها در این بخش نسبت داد؛ زیرا یکی از منابع اصلی آرسنیک سنگ‌های رسوبی (تراورتن‌ها) هستند (Smedley and Kinniburgh, 2005). نقش عوامل

لیتوژنیکی و انسانی در آزادسازی آرسنیک در رسوبات توسط پژوهشگران مختلفی از جمله میسون و مر (Mason and Moore, 1982)، ونگرونسولد (Vangronsveld, 1998)، سمانتا و همکاران (Samanta et al., 1996) و کاباتا پندیاز و پندیاز (Kabata-Pendias and Pendias, 2000) مورد بررسی قرار گرفته است. در حدود ۹۰ درصد رسوبات جمع‌آوری شده از منطقه، غلظت Cd بین ۰/۱ تا ۱ mg/kg است. با وجودی که منشأ غلظت بالاتر از حد مجاز Cd تمرکز یافته در رسوبات سطحی بیشتر مناطق دنیا ناشی از فعالیت‌های انسانی گزارش شده است (Kabata-Pendias and Pendias, 2000)، پژوهشگران مختلفی از جمله نریاگو و پاسینا (Nriagu and Pacyna, 1988)، باویه و همکاران (Baveye et al., 1999)، لو و همکاران (Luo et al., 2009)، خان و همکاران (Khan et al., 2010)، ژاکوب و همکاران (Jacob et al., 2013) و ژیوتی و همکاران (Jyoti et al., 2015) به منشأ زمین‌زاد این عنصر فلزی اشاره داشته‌اند. در منطقه سعدآباد غلظت Cd در رسوبات مشتق شده از سنگ‌های آذرین دگرسان شده و سنگ‌های رسوبی بین ۰/۱ تا ۱ mg/kg متغیر است. این مقدار در محدوده غلظت میانگین Cd در رسوبات سطحی کشورهای مختلف (۰/۰۶ تا ۱/۱ mg/kg) قرار گرفته است (Kabata-Pendias and Pendias, 2000). بیشترین غلظت Cd (۴/۵ mg/kg) در قسمت جنوب غربی منطقه سعدآباد (منطبق بر تراورتن‌های منطقه) مشاهده شده است (شکل ۵). این مسئله با حضور بیشترین غلظت As (mg/kg) در رسوبات جنوب غربی منطقه منطبق است (شکل ۵). با توجه به همبستگی خوبی که بین As و Cd در این پژوهش مشاهده شده است ($r = 0.74$) و انطباق این عناصر بر تراورتن‌های منطقه، این مسئله را می‌توان به تجمع As و Cd در تراورتن‌ها و فعالیت معدن کاری در این قسمت منطقه سعدآباد ارتباط داد (Smedley and Kinniburgh, 2005). روند توزیع غلظت Cd در رسوبات منطقه سعدآباد در شکل ۵ آورده شده است. غلظت این عنصر فلزی در رسوبات سطحی منطقه بین

غلظت Co (۲۰ تا ۲۲mg/kg) و Fe (۶۵۰۰۰ تا mg/kg) در بخش مرکزی منطقه سعدآباد انطباق کاملی با محل قرارگرفتن سنگ‌های آذرین و رسوبی و دگرسانی‌های گرمایی ناشی از آن و همچنین اسکارن‌زائی در منطقه دارد (شکل ۵).

۵/۹۱ تا ۲۲/۲۶ mg/kg با میانگین ۱۳/۶ mg/kg متغیر است. غلظت Cd در خاک و رسوب ارتباط مستقیمی به جنس مواد مادری دارد. سنگ‌های آذرین، پیروکلاستیک و رسوبی و دگرسانی ناشی از آنها در منطقه سعدآباد به عنوان منشأ اصلی عناصر Fe و Co در منطقه محسوب می‌شوند. تمرکز بیشترین

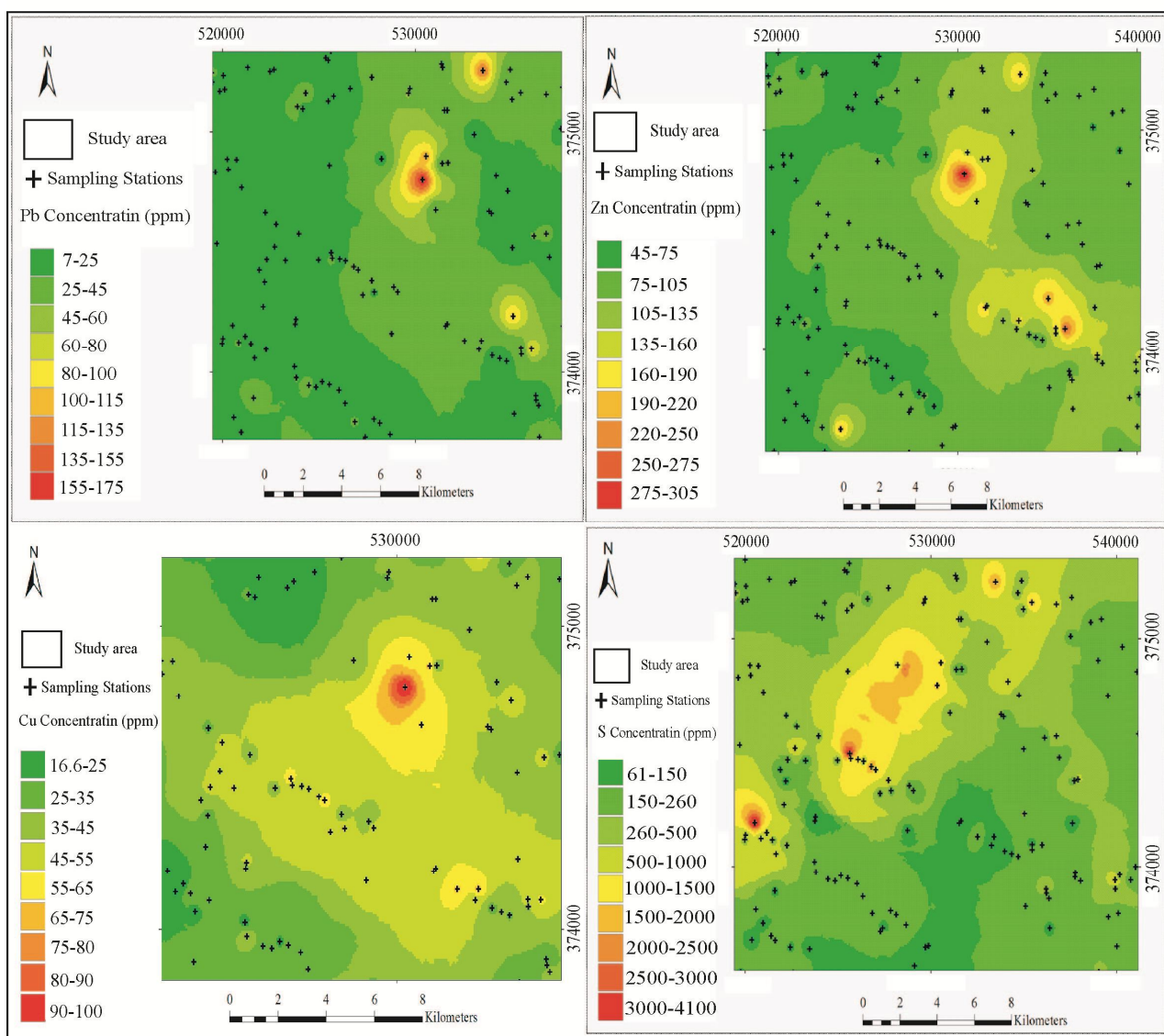


شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی غلظت عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت و آهن در نمونه‌های رسوب منطقه سعدآباد

Fig. 5. Concentration zoning map of As, Cd, Co, and Fe in sediment samples of Saadabad area

غنی‌شدگی عناصر مس، سرب و روی در رسوبات منطقه سعدآباد به‌خصوص در قسمت مرکزی منطقه به‌کانه‌زایی سولفیدی (معدن باریت درین کاشان) و دگرسانی گرمایی در منطقه اشاره دارد (شکل ۶). عناصر مس، سرب و روی در رسوبات منطقه سعدآباد به ترتیب دارای میانگین غلظت ۳۶/۵۹، ۲۶/۵۴ و ۹۴/۳۰ mg/kg هستند. همبستگی بالای مشاهده شده بین آنها، روند تقریباً یکسان پراکندگی آنها در رسوبات منطقه را توجیه می‌کند. روند مشاهده شده تقریباً با روند پراکندگی گوگرد در رسوبات منطقه یکسان است (شکل ۶).

در نتیجه بالا بودن میزان هوازدگی شیمیایی سنگ‌های آذرین، احتمال اکسیده شدن کانی‌های سولفیدی موجود در آنها (پیریت) افزایش پیدا می‌کند. عملکرد منابع آبی در منطقه (سطحی و زیرزمینی) و فرسایش سطحی زمین و در پی آن فرسایش شیمیایی به مهاجرت عناصر از سنگ‌های آذرین منجر می‌شود. پس از خروج عناصر از محیط سنگی به دلیل تغییر شرایط اکسیداسیون سولفیدها، شرایط Eh-pH جدیدی در منطقه حاکم خواهد شد که نتیجه آن غنی‌شدگی و پایداری غلظت عناصر آلاینده در سطح منطقه است (Hawkes, 1957).



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی غلظت عناصر سرب، روی، مس و گوگرد در نمونه‌های رسوب منطقه سعدآباد

Fig. 6. Concentration zoning map of Pb, Zn, Cu and S in sediment samples. of Saadabad area

عوامل آلودگی PTEs در منطقه سعدآباد

عامل آلودگی

برای ارزیابی آلودگی خاک و رسوب به یک فلز، از عامل آلودگی C_f استفاده می‌شود. این عامل آلودگی به طریقه زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۱) و مقادیر آن در جدول ۳ توصیف شده است (Reboredo, 1993):

رابطه ۱:

$$CF = C_m \text{ Sample} / C_m \text{ Background}$$

در فرمول بالا:

$C_m \text{ Background}$: غلظت فلز در پوسته زمین

C_m : غلظت فلز در رسوب

جدول ۳. توصیف مقادیر عامل آلودگی (Satyanarayana et al. 1994)

Table 3. Description of contamination factor values (Satyanarayana et al. 1994)

CF	CF < 1	1 ≤ CF < 3	3 ≤ CF < 6	CF ≥ 6
Pollution intensity	Low	Moderate	Considerable	Very high

نقشه پراکندگی عامل آلودگی PTEs در شکل‌های ۷ و ۸ آمده است.

عامل غنی‌شدگی نرمال شده

فلزات در اثر فرایندهای طبیعی (فرسایش و هوازدگی سنگ‌ها) و یا از منابع بشرزاد وارد محیط زیست شده و در نهایت در خاک‌ها و رسوبات جای می‌گیرند. در بررسی‌های مختلف از عامل غنی‌شدگی (رابطه ۲) برای تمایز منشأ طبیعی از منشأ انسانی استفاده می‌شود (Chen et al., 2007; Zourarah et al., 2007). طبق این روش غلظت عناصر باید با ویژگی‌های بافتی خاک‌ها و رسوبات نرمالیزه شود (Loska et al., 1995). در محیط‌های طبیعی مانند رسوب، معمولاً عناصر Ti, Sc, Al و Zr به عنوان عناصر شاخص در تعیین عامل غنی‌شدگی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ زیرا این عناصر اغلب از پوسته یا منابع زمین‌زاد منشأ گرفته‌اند (Davoodifard et al., 2019). با توجه به اینکه آلومینوسیلیکات‌ها ترکیب غالب خاک‌های منطقه هستند؛ از این رو آلومینیم به عنوان عنصر شاخص این ترکیبات، برای نرمالیزه کردن غلظت عناصر مورد استفاده قرار گرفت.

رابطه ۲:

$$E_f = \frac{\left[\frac{C_{1Me^{+n}}}{C_{1n}} \right]}{\left[\frac{C_{2Me^{+n}}}{C_{2n}} \right]}$$

در رابطه ۲:

$C_{1Me^{+n}}$: غلظت فلز در محیط مورد بررسی

$C_{2Me^{+n}}$: غلظت همان فلز در یک محیط مبنا (پوسته زمین)

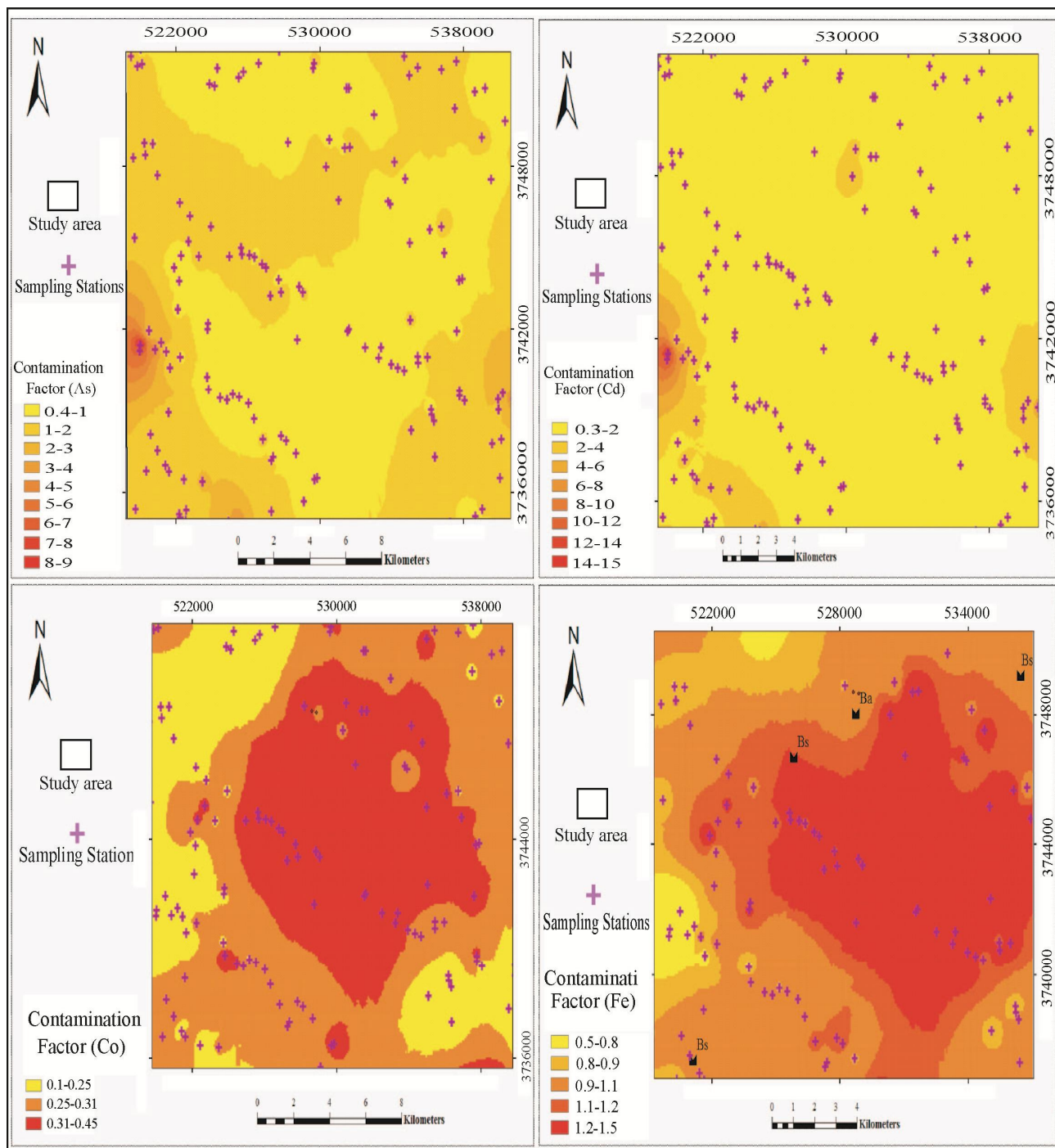
C_{1n} : غلظت فلز مبنا در محیط مورد بررسی

C_{2n} : غلظت عنصر مبنا در محیط مبنا (پوسته زمین)

در محاسبه عامل غنی‌شدگی می‌توان از ترکیب میانگین پوسته زمین، رسوب غیرآلوده منطقه و ترکیب متوسط خاک‌های غیرآلوده به عنوان ماده زمینه استفاده کرد (Khorasanipour, 2011 and Aftabi). با توجه به اینکه منطقه سعدآباد تحت تأثیر دگرسانی گرمایی قرار گرفته است و عدم اطمینان از آلوده نبودن رسوب در منطقه سعدآباد، در این پژوهش از ترکیب میانگین پوسته زمین به عنوان محیط مبنا استفاده شد. به طور کلی از عامل غنی‌شدگی برای ارزیابی غنی‌شدگی فلزی یک محیط توسط محیطی دیگر (مانند غنی‌شدگی رسوب توسط آب، غنی‌شدگی رسوبات کف توسط سنگ و خاک بستر و غنی‌شدگی رسوبات بستر توسط رواناب) استفاده می‌شود (Loska et al., 1995). بر اساس عامل غنی‌شدگی، می‌توان شدت غنی‌شدگی رسوب به فلز را در شش دسته جای داد (جدول ۴) (Chen et al., 2007). اگر عامل غنی‌شدگی یک

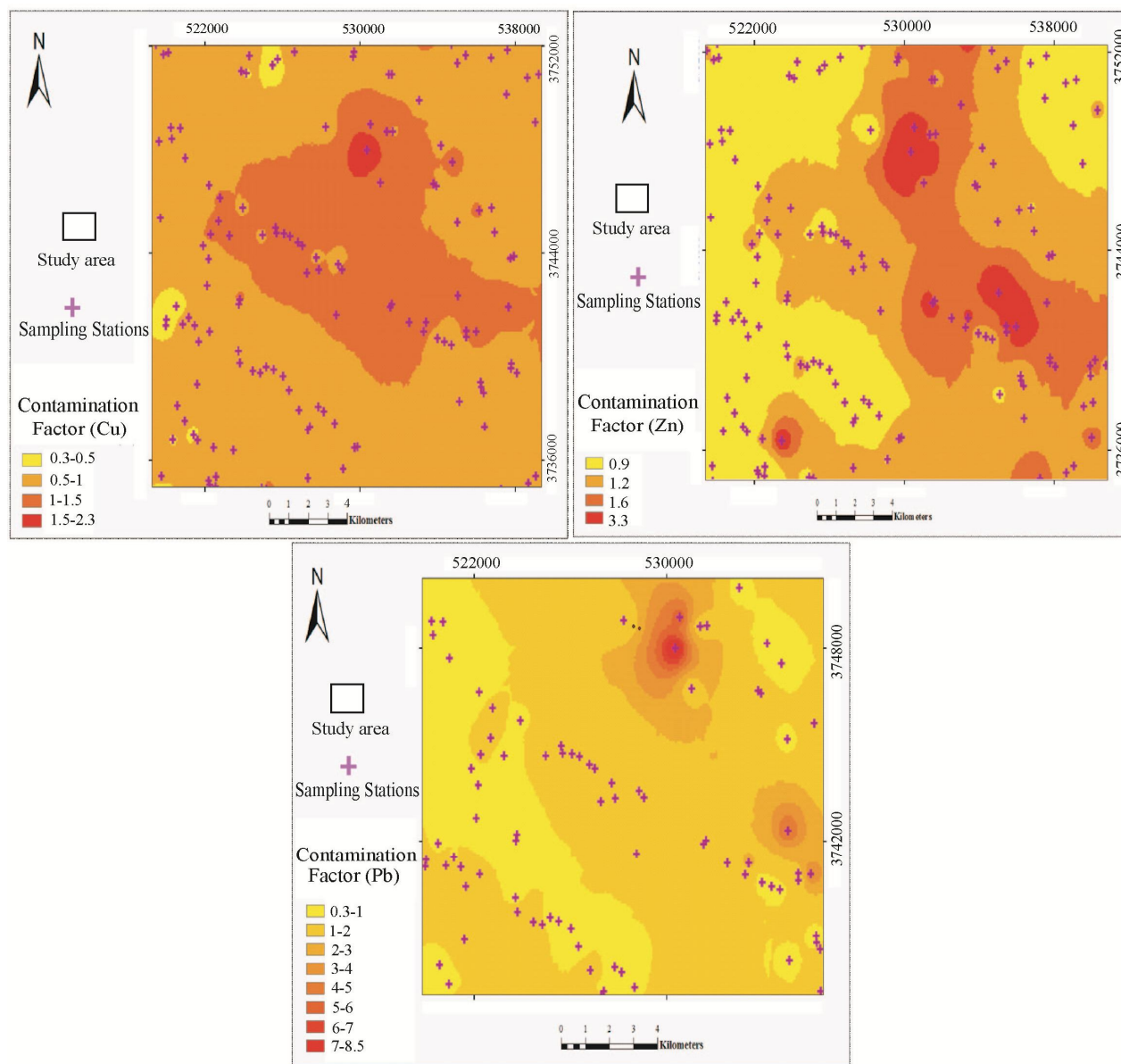
بزرگ‌تر از یک به منشأهای مختلف طبیعی و بشرزاد فلز در رسوب اشاره دارد (Rey et al., 2009).

فلز خاص مقادیری نزدیک به یک داشته باشد، عنصر موردنظر از منابع زمینی وارد رسوب شده است؛ در حالی که مقادیر



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی ضریب آلودگی عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت و آهن در رسوبات منطقه سعدآباد

Fig. 7. Mapping of contaminant factor of As, Cd, Co, and Fe in sediments of Saadabad area



شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی ضریب آلودگی عناصر مس، روی و سرب در رسوبات منطقه سعدآباد

Fig. 8. Mapping of contaminant factor of Cu, Zn, and Pb in sediments of Saadabad area

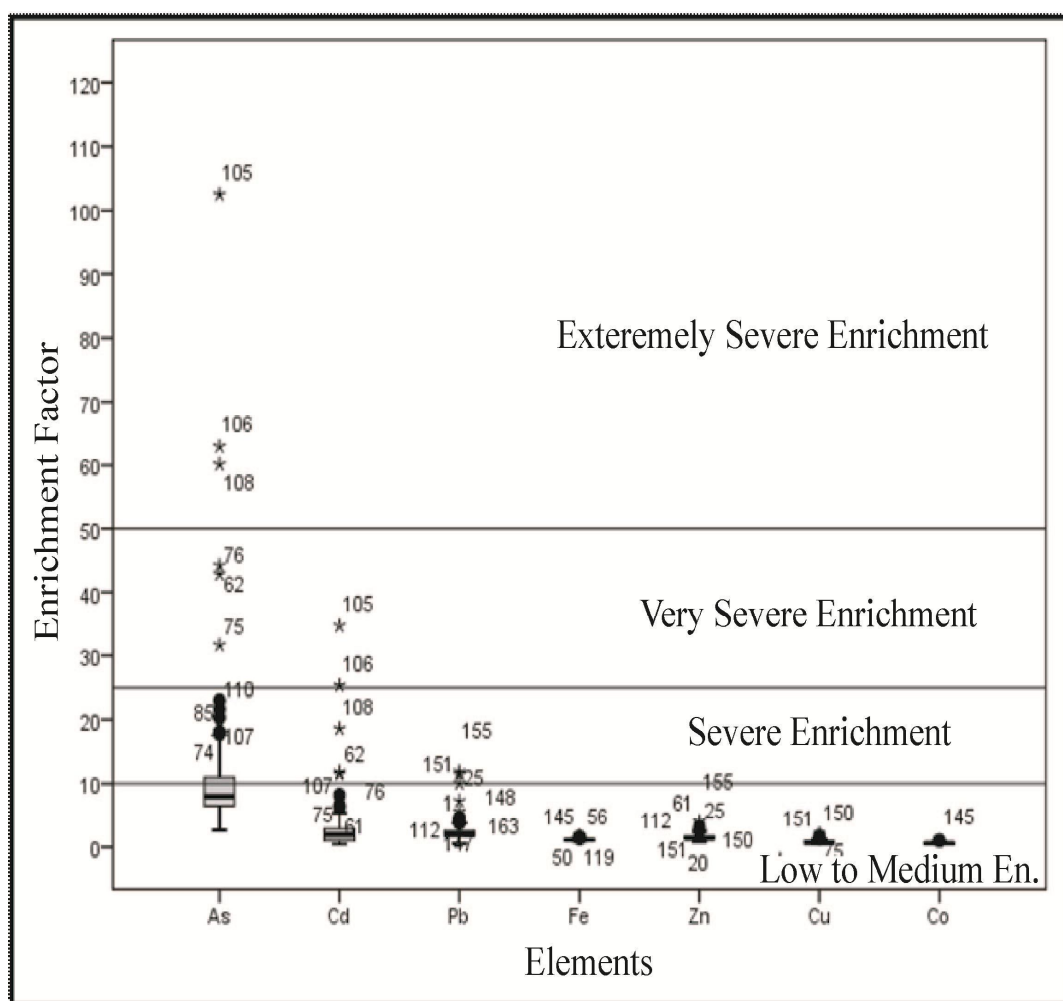
جدول ۴. رده‌بندی شدت غنی‌شدگی خاک‌ها (Chen et al., 2007)

Table 4. Classification of enrichment intensity of soils (Chen et al., 2007)

EF	1<EF	1<EF<3	3<EF<5	5<EF<10	10<EF<25	25<EF<50	EF >50
Enrichment intensity	No enrichment	Minor enrichment	Moderate enrichment	Moderately severe enrichment	Severe enrichment	Very severe enrichment	Extremely severe enrichment

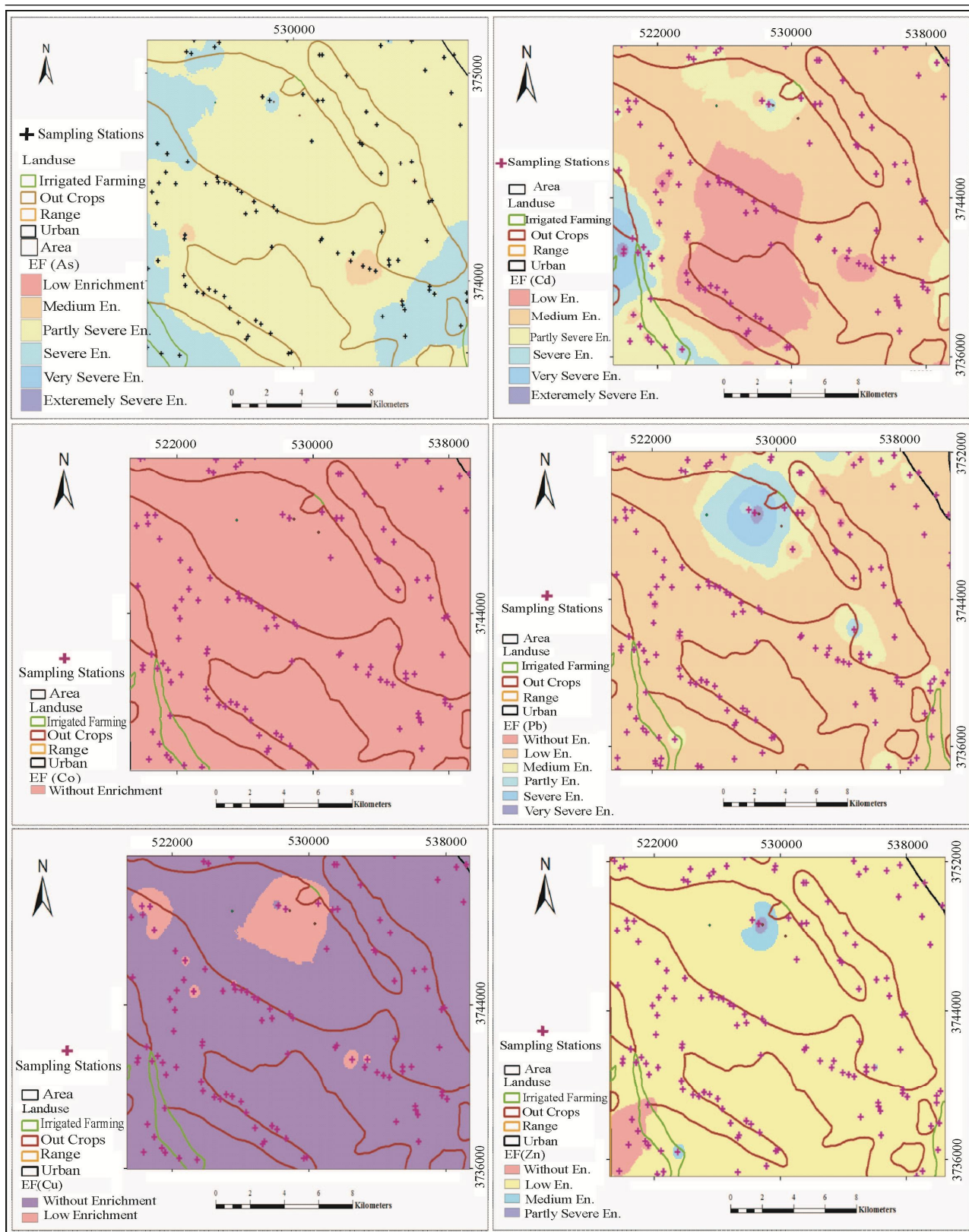
وجود تراورتن‌ها و معدن کاری آنها در قسمت جنوب غربی منطقه را می‌توان از دلایل عمده تمرکز As (بیشترین عامل غنی‌شدگی ۱۰۲/۵۲) و Cd (بیشترین عامل غنی‌شدگی ۳۶/۴۷) در رسوبات این بخش از منطقه سعدآباد برشمرد (شکل ۱۰). عناصر آهن، کبالت و مس غنی‌شدگی اندکی در رسوبات منطقه نشان دادند. غنی‌شدگی متوسط تا زیاد سرب و روی در منطقه نزدیک معدن باریت درین مشاهده شده است (شکل ۱۰). غنی‌شدگی اندک Fe، Co، Cu، Pb و Zn در بیشتر مناطق سعدآباد به منشأ لیتوژنیک آنها در رسوبات منطقه اشاره دارد.

با توجه به رابطه ۲ و غلظت عناصر مورد بررسی در پوسته زمین (Mason and Moore, 1982)، عامل غنی‌شدگی نمونه‌های رسوب در ایستگاه‌های مورد بررسی محاسبه شد. نتایج این بررسی به غنی‌شدگی کم آهن (Mean = 1.10)، روی (Mean = 1.85)، کادمیم (Mean = 2.76)، غنی‌شدگی متوسط سرب (Mean = 4.89) و غنی‌شدگی شدید آرسنیک (Mean = 10.74) در منطقه اشاره دارد. دو فلز کبالت (Mean = 0.61) و مس (Mean = 0.89) غنی‌شدگی در رسوبات منطقه نشان ندادند. مقادیر کمترین، بیشترین و میانگین عامل غنی‌شدگی هر یک از عناصر در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹. مقادیر عامل غنی‌شدگی عناصر مختلف در نمونه‌های رسوب برداشت شده از منطقه سعدآباد

Fig. 9. Amounts of enrichment factor of different elements in sediment samples collected from Saadabad area



شکل ۱۰. نقشه پهنه‌بندی عامل غنی‌شدگی عناصر در رسوبات منطقه سعدآباد

Fig. 10. Mapping of enrichment factor of elements in sediments of Saadabad area

آنالیز خوشه‌ای

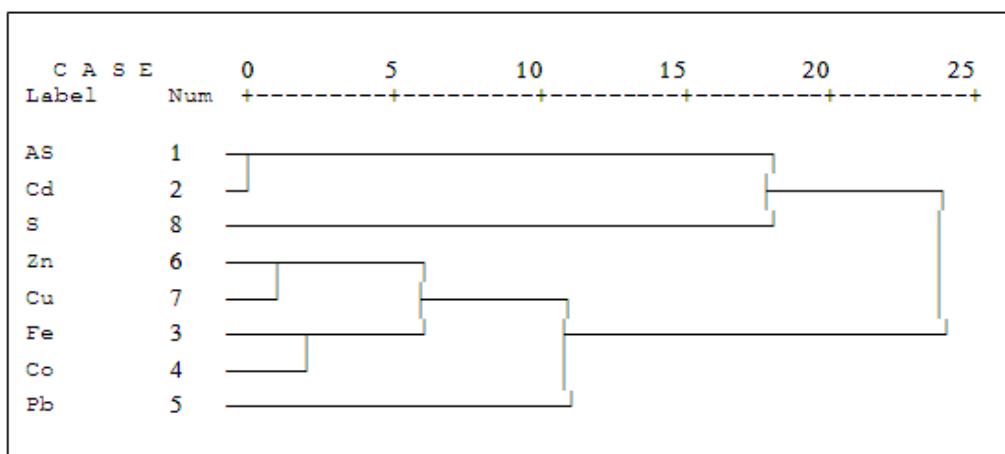
در بررسی‌های ژئوشیمیایی یکی از روش‌های مورد استفاده برای تعیین منشأ ترکیبات مختلف در آب و خاک یک منطقه استفاده از روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای بین متغیرهاست. در این پژوهش، از معیار فاصله همبستگی برای تعیین فاصله متغیرها و از معیار متوسط همبستگی برای اندازه‌گیری فاصله دو گروه از متغیرها استفاده شده است. دندوگرام آنالیز خوشه‌ای داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات منطقه سعدآباد در شکل ۱۱ آورده شده است. بر اساس دندوگرام ذکر شده متغیرهای ژئوشیمیایی رسوبات منطقه مورد بررسی در سه گروه طبقه‌بندی شده‌اند و هر سه دسته در فاصله اقلیدسی ۲۵ به یکدیگر متصل می‌شوند (شکل ۱۱). نمودار دندوگرام آنالیز خوشه‌ای رسوبات در منطقه سعدآباد (مشمول بر سه گروه) را می‌توان به صورت زیر تفسیر کرد:

گروه اول: آرسنیک و کبالت تنها عناصر تشکیل دهنده گروه اول محسوب می‌شوند که در فاصله حدود ۱ به یکدیگر متصل می‌شوند.

گروه دوم: گوگرد تنها عنصر تشکیل دهنده این گروه است که در فاصله حدود ۱۹ به گروه اول می‌پیوندد و چون این فاصله نسبتاً زیاد است، بنابراین گوگرد به تنهایی یک گروه مجزا را تشکیل می‌دهد.

گروه سوم: این گروه از سه زیرشاخه تشکیل شده است. در زیرشاخه اول متغیرهای Zn و Cu قرار دارند که در فاصله حدود ۲ به یکدیگر می‌پیوندند. در این گروه دو متغیر Fe و Co به زیرشاخه دوم را تشکیل می‌دهند که در فاصله حدود ۳ به یکدیگر و در فاصله اقلیدسی ۶ به زیرگروه اول متصل شده‌اند. سرب زیرشاخه سوم از گروه سوم است که در فاصله ۱۱ به دو زیرشاخه اول می‌پیوندد.

بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که شباهت‌هایی میان واکنش‌های تبادل یونی، ته‌نشینی و یا منابع ورودی عناصری که در یک گروه قرار گرفته‌اند، وجود دارد (Sartaj et al., 2005).



شکل ۱۱. دندوگرام R-mode آنالیز خوشه‌ای متغیرهای ژئوشیمیایی رسوبات منطقه سعدآباد

Fig. 11. R-mode dendrogram analysis of cluster geochemical variations of sediments in Saadabad area

نهایت زیرمجموعه‌ای از متغیرهای مستقل (مؤلفه) ایجاد می‌کند که واریانس را در مجموعه داده‌ها توضیح می‌دهد (Anazawa

آنالیز مؤلفه‌های اصلی

آنالیز مؤلفه‌های اصلی یک روش آماری چند متغیره است که در

به‌طور کلی در یک آنالیز مؤلفه‌های اصلی، توضیح واریانس حدود ۷۵ تا ۹۹ درصد داده‌های اصلی ایده‌آل محسوب می‌شود (Jöreskog et al., 1976). در این پژوهش، آنالیز مؤلفه‌های اصلی پس از آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات منطقه اعمال شد تا عوامل اصلی مسئول واریانس داده‌ها تعیین شود.

این مؤلفه‌ها به‌طور کلی شرایط ژئوشیمیایی حاکم بر رسوبات منطقه مورد بررسی را مشخص می‌کنند. مؤلفه‌های اصلی مجموعه داده ژئوشیمیایی رسوبات منطقه بر اساس معیار Kaiser انتخاب شده‌اند (جدول‌های ۵ و ۶).

(and Ohmori, 2005). از دیدگاه آماری، این روش مشخص‌کننده واریانس متغیرهای عادی است و می‌توان این روش را بر پایه همبستگی بین متغیرها در نظر گرفت. به‌طور کلی روش ذکر شده برای به‌دست آوردن یک الگوی واریانس مابین متغیرها و نیز کاهش مجموعه داده‌های بزرگ مقیاس به تعداد اندکی عامل که به راحتی قابل تحلیل هستند، استفاده می‌شود. تعداد مؤلفه‌های اصلی که با استفاده از این روش تولید می‌شوند، مشخص‌کننده منشأ احتمالی واریانس در مجموعه داده‌هاست. با توجه به اینکه مؤلفه‌ها به ترتیب اولویت مرتب می‌شوند، اولین عامل مهم‌ترین منشأ واریانس در مجموعه داده محسوب می‌شود.

جدول ۵. درصد کل و تجمعی واریانس داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات منطقه سعدآباد

Table 5. Total and Cumulative percent of variance of geochemical data of sediments of Saadabad area

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	3.113	38.908	38.908	3.006	37.574	37.574
2	2.105	26.317	65.225	2.016	25.203	62.777
3	1.004	12.545	77.770	1.199	14.993	77.770
4	0.684	8.544	86.314			
5	0.419	5.241	91.555			
6	0.290	3.619	95.174			
7	0.242	3.023	98.197			
8	0.144	1.803	100.000			

جدول ۶. نتایج PCA چرخشی متغیرها همراه با بارگذاری و مقادیر ویژه هر عامل در رسوبات منطقه سعدآباد

Table 6. Results of PCA rotation of variations with loading and specific values of each factor in sediments of Saadabad area

	Component		
	1	2	3
As	-0.047	0.866	0.058
Cd	-0.078	0.933	0.071
Pb	0.609	0.314	0.467
Zn	0.860	0.202	0.094
Cu	0.866	-0.075	0.027
S	-0.046	0.035	0.946
Fe	0.772	-0.316	-0.261
Co	0.735	-0.385	-0.020

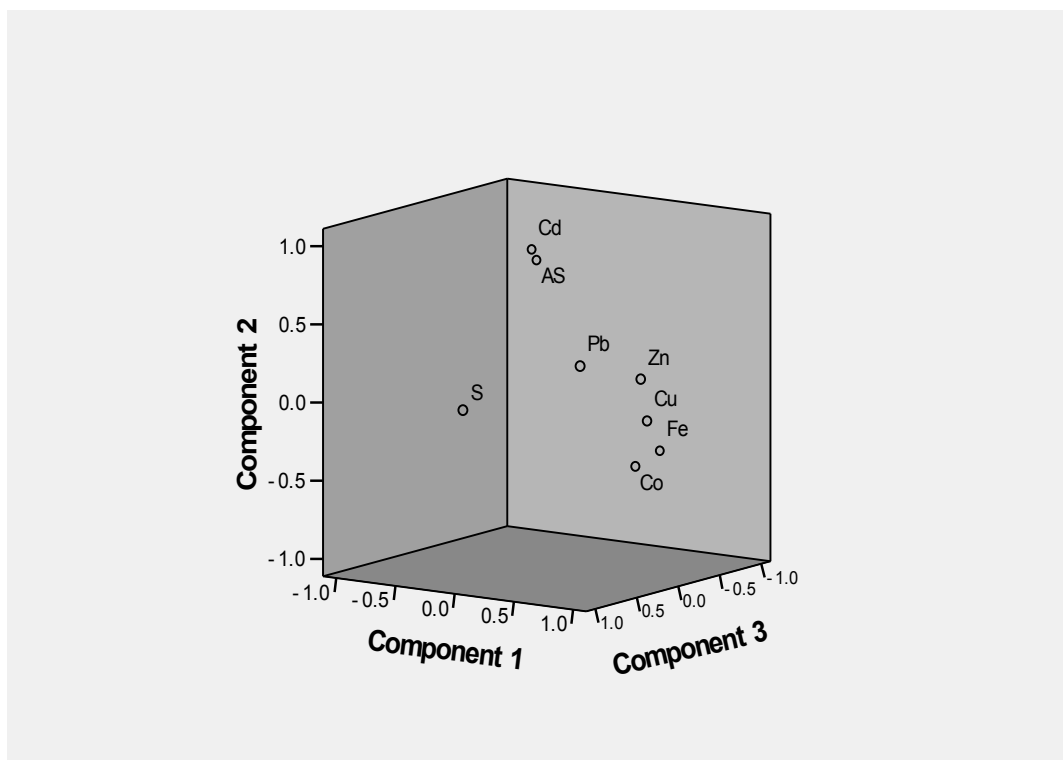
مؤلفه دوم: در این مؤلفه متغیرهای As و Cd به عنوان مهم‌ترین متغیرها و توجیه‌کننده واریانس داده‌ها در نظر گرفته می‌شوند (جدول ۵). با توجه به بار عاملی بالای As و Cd با این مؤلفه (به ترتیب ۰/۸۶۶ و ۰/۹۳۳)، می‌توان دلیل جدا بودن آنها از مؤلفه اول را منشأ یا رفتار زمین‌شیمیایی متفاوت آنها با عناصر موجود در مؤلفه اول در نظر گرفت.

از مقایسه نقشه زمین‌شناسی با نقشه پهنه‌بندی آلودگی As و Cd در رسوبات منطقه می‌توان نتیجه گرفت که آلودگی بالای این دو عنصر در بخش جنوب غربی منطقه در ارتباط با حضور سنگ‌های تراورتن در این بخش است.

مؤلفه سوم: گوگرد به تنهایی بار عاملی بالا با مؤلفه سوم (۰/۹۴۶) نشان می‌دهد و از سایر عناصر تفکیک شده است. این عنصر می‌تواند محصول هوازدگی و تخریب کانه‌های پیریت باشد. نمودار پراکنش این متغیرها در شکل ۱۲ آورده شده است.

بر اساس این معیار تنها مؤلفه‌هایی با مقادیر ویژه بزرگ‌تر یا مساوی با یک به عنوان منشأ احتمالی واریانس در مجموعه داده‌ای در نظر گرفته می‌شوند. در این حالت امتیاز بیشتر به مؤلفه‌هایی با مقادیر بزرگ‌تر داده می‌شود (Mande et al., 2011). مجموع ۷۷/۷۷ درصد از کل واریانس توسط سه مؤلفه اصلی توضیح داده می‌شود. مؤلفه اول حدود ۳۷/۵۷ درصد از مجموع کل واریانس داده‌ها را توجیه می‌کند و مؤلفه دوم و سوم هریک با توزیع ۲۵/۲۰ و ۱۴/۹۹ درصد از مجموع کل واریانس در رده‌های بعدی اهمیت قرار می‌گیرند.

مؤلفه اول: در این مؤلفه متغیرهای Zn، Cu، Fe، Co و Pb با بار عاملی بالایی (۰/۶۱ تا ۰/۸۶۶) به عنوان مهم‌ترین متغیرهای توجیه‌کننده واریانس داده‌ها هستند (جدول ۵). بنابراین بیشتر عناصر سمی در این گروه قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده منشأ مشترک (واحدهای سنگی مستعد (شیل، آهک و توده نفوذی) و کانه‌زایی) و آزادسازی هم‌زمان آنها در آب‌های منطقه است.



شکل ۱۲. نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای متغیرهای مورد بررسی در رسوبات آبراهه‌ای منطقه سعدآباد

Fig. 12. The factor analysis plot for the studied variabls in stream sediments of Saadabad area

نتیجه گیری

مقدار میانگین عناصر سمی آرسنیک، کادمیم، کبالت، آهن، مس، روی، سرب و گوگرد در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای منطقه سعدآباد بیشتر از میانگین جهانی این عناصر است. با توجه به بررسی‌های آماری انجام‌شده، مشخص شد که عناصر As و Cd همبستگی بالایی دارند و از آلودگی بالایی در منطقه برخوردارند. با توجه به نقشه‌های توزیع عامل غنی‌شدگی، مشخص شد که قسمت مرکزی، شمال و جنوب غربی منطقه بیشترین غنی‌شدگی را برای عناصر مورد بررسی (آرسنیک، کادمیم، سرب، روی، مس، آهن و کبالت) دارد و در بخش‌های دیگر منطقه تمرکز غیرعادی عناصر مورد بررسی وجود ندارد.

آنالیز خوشه‌ای ارتباط معناداری بین عناصر مورد بررسی در این پژوهش نشان می‌دهد؛ به گونه‌ای که ارتباط موجود بین عناصر Pb، Zn، Cu، Co و Fe به منشأ یکسان آنها در بخش‌های مرکزی و شمال منطقه (واحدهای سنگی مستعد تمرکز بالای برخی از عناصر، کانه‌زایی سولفیدی و اسکارن‌زایی) در رسوبات منطقه سعدآباد اشاره دارد. همچنین As و Cd نیز در یک گروه قرار می‌گیرند که دلالت بر منشأ یکسان این دو عنصر و منطبق بر سنگ‌های رسوبی (تراورتن) است. طبق عامل آلودگی محاسبه‌شده برای نمونه‌های مورد بررسی، عناصر Fe، As، Cd و Pb آلودگی متوسط و Co، Cu، Zn آلودگی کم از خود نشان می‌دهند. بر اساس شاخص غنی‌شدگی (EF) محاسبه‌شده

برای نمونه‌های رسوب مورد بررسی، As غنی‌شدگی شدید، Pb غنی‌شدگی متوسط و عناصر Fe، Cd و Zn غنی‌شدگی کم و دو فلز Co و Cu بدون غنی‌شدگی در رسوبات هستند. بنابراین غنی‌شدگی اندک Fe، Co، Cu و Zn اغلب به منشأ طبیعی (زمین‌زاد) آنها در رسوبات بخش‌های مرکزی منطقه دلالت دارد که در ارتباط با کانی‌سازی‌ها، دگرسانی‌ها و واحدهای سنگی مستعد تمرکزهای بالای عناصر یادشده است. از طرفی حضور تراورتن‌ها، دلیل تمرکز دو عنصر As و Cd در رسوبات جنوب غربی منطقه سعدآباد محسوب می‌شوند. بررسی ژئوشیمی زیست‌محیطی PTEs در نمونه‌های رسوب منطقه سعدآباد دلالت بر آن دارد که عواملی نظیر واحدهای سنگی، کانه‌زایی، دگرسانی گرمایی همراه با فرسایش سنگ‌های معدنی و فروشویی خاک سبب افزایش غلظت عناصر سمی و ورود آنها به آب‌ها شده است. از این رو، عناصر یادشده در سایت‌هایی از منطقه متمرکز شده‌اند. لذا به نظر می‌رسد که فعالیت‌های معدن‌کاری نیز در افزایش تمرکز برخی از عناصر نظیر آرسنیک، کادمیم، سرب، روی و تا حدودی آهن نیز بی‌تأثیر نبوده است.

قدردانی

نویسندگان مقاله از داوران محترم به دلیل پیشنهادهای ارزشمندشان قدردانی می‌نمایند.

References

- Ahmad, M.K., Islam, S., Rahman, S., Haque, M.R. and Islam, M.M., 2010. Heavy Metals in Water, Sediment and Some Fishes of Buriganga River, Bangladesh. *International Journal of Environmental Research*, 4(2): 321–332. <https://doi.org/10.22059/ijer.2010.24>
- Ahmed, T.A. and Al-Hajri, H.H., 2009. Effects of Treated Municipal Wastewater and Sea Water Irrigation on Soil and Plant Characteristics.

- International Journal of Environmental Research*, 3(4): 503–510. <https://doi.org/10.22059/ijer.2010.65>
- Anazawa, K. and Ohmori, H., 2005. The hydrochemistry of surface waters in andesite volcanic area, Norikura volcano, central Japan. *Chemosphere*, 59(5): 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.018>
- Baveye, P., McBride, M.B., Bouldin, D., Hinesly, T.D., Dahdoh, M.S.A. and Abdel-sabour,

- M.F., 1999. Mass balance and distribution of sludge-borne trace elements in a silt loam soil following long-term applications of sewage sludge. *Science of the Total Environment*, 227(1): 13–28. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(98\)00396-9](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(98)00396-9)
- Biati, A., Moattar, F., Karbassi, A.R. and Hassani, A.H., 2010. Role of Saline Water in Removal of Heavy Elements from Industrial Wastewaters. *International Journal of Environmental Research*, 4(1): 177–182. <https://doi.org/10.22059/ijer.2010.168>
- Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F. and Dong, C.D., 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, 66(8): 1431–1440. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.09.030>
- Davoodifard, M., Forghani Tehrani, G. Ghorbani, H. and Ghasemi, H., 2019. Distribution of potentially toxic elements in the tailing, mine and agricultural soils around the Irankuh Pb-Zn Mine, SW Esfahan. *Journal of Economic Geology*, 10(2): 537–559. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.v10i2.62158>
- Emami, M.H., 1993. Geological map of Kashan, scale 1: 100000. Geological Survey of Iran.
- Ghasemi, A., Tabatabaei Manesh, S.M., Tabatabaei, S.H. and Mokhtari, A.R., 2015. Geoenvironmental studies and heavy metal mapping in soil: the case of Ghohroud area, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 74(6): 5221–5232. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4532-2>
- Hassani-Pak, A.A., 1992. Mining Sampling. University of Tehran, Tehran, 304 pp. (in Persian)
- Hassani-Pak, A.A., 2012. Principles of geochemical (inorganic) exploration. University of Tehran, Tehran, 621 pp. (in Persian)
- Hatefi, R., Khezri, M., Khodaei, K., Shahsavari, A.A., Modaberi, S. and Asadiyan, A., 2016. Estimation of Pollution and Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Soils around the Granitoids of Ahar Region - East Azarbaijan. *Journal of Researches in Earth Sciences*, 7(26): 1–20. (in Persian with English abstract) Retrieved September 4, 2021 from https://esrj.sbu.ac.ir/article_95915.html
- Hawkes, H.E., 1957. Principals of Geochemical Prospecting. Geological Survey Bulletin, United States, Report 1000, 130 pp. Retrieved September 4, 2021 from <https://pubs.er.usgs.gov/publication/b1000F>
- Houshmand Firoozabadi, F., Karimian, A.A., Elmi, M.R. and Azimzadeh, H.R., 2014. Investigation of Heavy Metals Distribution in Soils of Bamu National Park due to Human Activities. *Iranian Journal of Soil Research (IJSR)*, 28(3): 585–597. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2014.100026>
- Jacob, D.L., Yellick, A.H., Kissoon, L.T.T., Asgary, A., Wijeyaratne, D.N., Saini-Eidukat, B. and Otte, M.L., 2013. Cadmium and associated metals in soils and sediments of wetlands across the Northern Plains, USA. *Environmental Pollution*, 178(1): 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.005>
- Jöreskog, K.G., Klován, J.E. and Reymont, R.A., 1976. Geological Factor Analysis. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 237 pp. Retrieved September 4, 2021 from https://www.vgls.vic.gov.au/client/en_AU/VGLS-public
- Jyoti, V., Saini-Eidukat, B., Hopkins, D. and DeSutter, T., 2015. Naturally elevated metal contents of soils in northeastern North Dakota, USA, with a focus on cadmium. *Journal of Soils and Sediments*, 15(7): 1571–1583. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1122-6>
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 2000. Trace elements in soils and plants. Chemical Rubber Company Press, Florida, 365 pp.
- Khan, S., Rehman, S., Khan, A.Z., Khan, M.A. and Shah, M.T., 2010. Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73(7): 1820–1827. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.08.016>
- Khorasanipour, M. and Aftabi, A., 2011. Environmental geochemistry of toxic heavy metals in soils around Sarcheshmeh porphyry copper mine smelter plant, Rafsanjan, Kerman, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 62(3): 449–465. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0539-x>
- Loska, K., Chebual, J., Pelczar, J., Wiechla, D. and Kwapulinski, J., 1995. Use of environment and contamination factors together with

- geoaccumulation indexes to elevate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. *Water, Air and Soil pollution*, 93(1): 347–365. Retrieved September 4, 2021 from <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1022121615949>
- Luo, L., Ma, Y.B., Zhang, S.Z., Wei, D.P. and Zhu, Y.G., 2009. An Inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *Journal of Environmental Management*, 90(8): 2524–2530. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.011>
- Mahlooji, H., 2006. *Encyclopedia of Kashan (Geology and Geomorphology)*. Culture's Foundation of Kashan, Kashan, 150 pp. (in Persian)
- Mande, S.A., Liu, M., Liu, F., Djaneye-Bouindjou, G., Bawa, M.L. and Chen, H., 2011. Factor analysis as an example of qualitative and quantitative method for modelling hydrogeochemical processes of coastal sedimentary basin of Togo. *African Journal of Microbiology Research*, 5(31): 5554–5559. <https://doi.org/10.5897/AJMR10.739>
- Mason, B. and Moore, K.B., 1982. *Principles of Geochemistry*. John Wiley and Sons Ltd, English, 352 pp.
- Mehvari, R., 2017. *Petrological studies of volcanic rocks and hydrothermal alteration zones, with emphasize on their environmental geochemistry in Saadabad, southwest of Kashan*. Ph.D. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 364 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved September 4, 2021 from <https://lib.ui.ac.ir/DL/Search/>
- Mehvari, R., Noghreyan, M., Sharifi, M., Mackizadeh, M.A., Tabatabaei, S.H. and Torabi, G., 2016. Mineral chemistry of clinopyroxene: guidance on geothermobarometry and tectonomagmatic setting of Nabar volcanic rocks, South of Kashan. *Journal of Economic Geology*, 8(2): 493–506. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.V11I4.7115>
- Moore, F., Soltani, N., Keshavarzi, B., Karimi, M. and Ismailzadeh M., 2012. Environmental geology of water, soil and sediments of the deposit of copper in Dare Zar (Kerman). *Journal of Advanced Applied Geology*, 1 (3): 29–37. (in Persian with English abstract) Retrieved September 4, 2021 from <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=238690>
- Mumba, P.P., Chibambo, B.Q. and Kadewa, W., 2008. A Comparison of The Levels of Heavy Metals in Cabbages Irrigated with Reservoir and Tap Water. *International Journal of Environmental Research*, 2(1): 61–64. <https://doi.org/10.22059/ijer.2010.176>
- Nriagu, J.O. and Pacyna, J.M., 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. *Nature*, 333(6169): 134–139. Retrieved September 4, 2021 from <https://www.nature.com/articles/333134a0>
- Øygaard, J.K. and Gjengedal, E., 2009. Uranium in Municipal Solid Waste Landfill Leachate. *International Journal of Environmental Research*, 3(1): 61–68. <https://doi.org/10.22059/ijer.2009.33>
- Priju, C. P. and Narayana, A.C., 2007. Heavy and Trace Metals in Vembanad Lake Sediments. *International Journal of Environmental Research*, 1(4): 280–289. <https://doi.org/10.22059/ijer.2010.138>
- Reboredo, F., 1993. How differences in the field influence Cu, Fe and Zn uptake by *Halimione portulacoides* and *Spartina maritime*. *Science of the Total Environment*, 133(1–2): 111–132. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(93\)90116-N](https://doi.org/10.1016/0048-9697(93)90116-N)
- Resmi, G., Thampi, S.G. and Chandrakaran, S., 2010. *Brevundimonas vesicularis*: A Novel Bio-sorbent for Removal of Lead from Wastewater. *International Journal of Environmental Research*, 4(2): 281–288. <https://doi.org/10.22059/ijer.2010.20>
- Rey, R.D., Fierros, F.D. and Barral, M.T., 2009. Normalization strategies for river bed sediments: A graphical approach. *Microchemical Journal*, 91(2): 253–263. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2008.12.004>
- Samanta, G., Mandal, B.K., Roy Chowdhury, T., Chanda, C.R., Chowdhury, P.P., Basu, G.K. and Chakraborti, D., 1996. Arsenic in groundwater in six districts of West Bengal, India. *Environmental Geochemistry and Health*, 18(1): 5–15. <https://doi.org/10.1007/BF01757214>

- Sartaj, M., Fatollahi, F. and Filizadeh, Y., 2005. An Investigation of the Evolution of Distribution and Accumulation of Heavy Metals (Cr, Ni, Cu, Cd, Zn and Pb) in Anzali Wetland's Sediments. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources)*, 58(3): 623–634. (in Persian with English abstract) Retrieved September 4, 2021 from <https://www.researchgate.net/publication/257129428>
- Satyanarayana, D., Panigrahy, P.K. and Sahu, S.D., 1994. Metal pollution in Harbor and coastal sediments of visakhapatnam, east coast of India. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 23(1): 52–54. Retrieved September 4, 2021 from <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/37525>
- Sayari, M. and Sharifi, M., 2016. Application of clinopyroxene chemistry to interpret the physical conditions of ascending magma, a case study of Eocene volcanic rocks in the Ghohrud area (North of Isfahan). *Journal of Economic Geology*, 8(1): 61–78. (in Persian with English abstract) <http://doi.org/10.22067/econg.v8i1.38857>
- Smedley, P. and Kinniburgh, D.G., 2005. Arsenic in Groundwater and the Environment. In: O. Selinus (Editor), *Essentials of Medical Geology*. Elsevier, Amsterdam, pp. 263–299. http://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_12
- Vangronsveld, J., 1998. Case studies in the field—arsenic contaminated kitchen gardens. In: J. Vangronsveld and S.D. Cunningham (Editors), *Metal-Contaminated Soils: In-Situ Inactivation and Phytoremediation*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 227–228. Retrieved September 4, 2021 from <https://www.researchgate.net/publication/280070169>
- Venugopal, T., Giridharan, L. and Jayaprakash, M., 2009. Characterization and Risk Assessment Studies of Bed Sediments of River Adyar—An Application of Speciation Study. *International Journal of Environmental Research*, 3(4): 581–598. <http://doi.org/10.22059/ijer.2010.74>
- Zourarah, B., Maanan, M., Carruesco, C., Aajjane, A., Mehdi, K. and Conceição Freitas, M., 2007. Fifty year sedimentary of heavy metal pollution in the lagoon of Oulidia (Moroccan Atlantic coast). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 72(1–2): 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.11.007>

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



How to cite this article

Mehvari, R. and Tabatabaei, S.H., 2021. Environmental Evaluation of Potentially toxic Elements Pollution in Sediments of Waterways of Saadabad Region, South of Kashan. *Journal of Economic Geology*, 13(2): 267–293. (in Persian with English abstract) <https://dx.doi.org/10.22067/econg.v13i2.82109>



Environmental Evaluation of Potentially toxic Elements Pollution in Sediments of Waterways of Saadabad Region, South of Kashan

Rezvan Mehvari^{1*} and Seyed Hassan Tabatabaei²

1) Young Researchers Club, Khorasgan Branch Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2) Department of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Submitted: July 23, 2019

Accepted: May 02, 2020

Keywords: Alteration, Contamination Factor, Enrichment Factor, Potentially toxic Elements, Kashan

Introduction

Soil and sediments are considered to be the main places for absorption of heavy metals in contaminated environments (Priju and Narayana, 2007; Øygard and Gjengedal, 2009; Ahmed and Al-Hajri, 2009). Therefore, they are used in Heavy Metals Pollution Index in geochemical studies.

Saadabad area that is a part of the Urumieh-Dokhtar magmatic belt is located at 30 km south of Kashan. The natural processes along with hydrothermal processes, altered areas and mineral activities on mineralization areas have potential for releasing toxic elements in the environment. Therefore, the presence of toxic elements in sediments of the Saadabad is expected.

The purpose of this study is to evaluate the concentration of toxic elements and determine their source in the sediments of the Saadabad region.

Material and Methods

To investigate the status of environmental pollution of sediments, 174 samples were collected from the surface of sediments in the Saadabad area. The samples were analyzed by ICP-MS spectroscopy for determination of elements such as As, Cd, Pb, Zn, Cu, Co in the Zarazma Laboratory, Tehran, Iran.

Discussion and Results

Geochemical studies are carried out using various statistical techniques to map the various elemental abnormalities. These maps play an important role

in determining high-risk areas. The results of preliminary investigations showed that according to the correlations between the various elements studied the patterns of dispersion of various elements in the sediments of the Saadabad region are similar to each other. The anomalies observed of As and Cd in the southwest of the region can be attributed to the presence of travertine in this part of the region (Smedley and Kinniburgh, 2005).

Maximum concentrations of Co and Fe in the central part of the Saadabad region are consistent with the location of igneous and sedimentary rocks, skarnification and hydrothermal alterations. The enrichment of elements Cu, Pb, and Zn in sediments of the Saadabad region, emphasizes the effective role of sulfide mineralization and hydrothermal alteration processes in the region.

Several methods that are applied for the assessment of trace elements contamination as follows:

1- Contamination Factor (CF) is defined as follows (Reboredo, 1993):

1) $CF = C_m \text{ Sample} / C_m \text{ Background}$

According to the calculated CF, Cd, As, Fe and Pb have moderate levels and Co, Cu and Zn have low levels of contamination.

2- Enrichment Factor (EF)

According to Chen et al. (2007), Enrichment Factor is defined as follows:

2)

$$E_f = \frac{\left[\frac{C_{1Me^{+n}}}{C_{1n}} \right]}{\left[\frac{C_{2Me^{+n}}}{C_{2n}} \right]}$$

*Corresponding author Email: r.mehvary@gmail.com

The value of the EF of the toxic elements was computed for the sediments of the area. The highest value of 102 for an enrichment factor is associated with As. Next came those for Cd, and Pb, 36.47, and 11.89, respectively.

3- Cluster analysis

Based on this method, target trace elements were divided into three groups. The first group comprises of the elements As, and Cd. The second group comprises of the element S, and the third group, has been subdivided into three subgroups. Subgroup 1 comprises of the elements Zn, and Cu; subgroup 2, comprises the elements Fe, and Co; and subgroup 3, comprises of the element Pb.

4- Factor analysis (FA)

Factor analysis is a multivariate statistical method that ultimately produces a subset of independent variables (components) that explain variance in the dataset (Anazawa and Ohmori, 2005). According to the factor analysis, the trace elements originate from 1) natural and 2) anthropogenic sources.

Acknowledgements

The authors would like to thank the respectable reviewers of the Journal of Economic Geology for their valuable suggestions and comments.

References

Ahmed, T.A. and Al-Hajri, H.H., 2009. Effects of Treated Municipal Wastewater and Sea Water Irrigation on Soil and Plant Characteristics. *International Journal of Environmental*

Research, 3(4): 503–510. <https://doi.org/10.22059/ijer.2010.65>

Anazawa, K. and Ohmori, H., 2005. The hydrochemistry of surface waters in andesite volcanic area, Norikura volcano, central Japan. *Chemosphere*, 59(5): 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.018>

Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F. and Dong, C.D., 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, 66(8): 1431–1440. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.09.030>

Øygaard, J.K. and Gjengedal, E., 2009. Uranium in Municipal Solid Waste Landfill Leachate. *International Journal of Environmental Research*, 3(1): 61–68. <https://doi.org/10.22059/ijer.2009.33>

Priju, C. P. and Narayana, A.C., 2007. Heavy and Trace Metals in Vembanad Lake Sediments. *International Journal of Environmental Research*, 1(4): 280–289. <https://doi.org/10.22059/ijer.2010.138>

Reboredo, F., 1993. How differences in the field influence Cu, Fe and Zn uptake by *Halimione portulacoides* and *Spartina maritime*. *Science of the Total Environment*, 133(1–2): 111–132. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(93\)90116-N](https://doi.org/10.1016/0048-9697(93)90116-N)

Smedley, P. and Kinniburgh, D.G., 2005. Arsenic in Groundwater and the Environment. In: O. Selinus (Editor), *Essentials of Medical Geology*. Elsevier, Amsterdam, pp. 263–299. http://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_12