

# ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه سرباز در جنوب خاور ایران به منظور تعیین منشأ رسوب‌ها و تأثیر آن بر آلودگی‌های زیست محیطی

مهديه شهرکی<sup>۱</sup>، محمدحسین محمودی قرایی<sup>۲</sup>، رضا موسوی حرمی<sup>۳</sup> و علی احمدی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، پردیس بین‌الملل، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۳</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۴</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۱۵

## چکیده

در پژوهش حاضر حوضه آبریز رودخانه سرباز به‌منظور تعیین منشأ رسوب‌ها و بررسی آلودگی‌های احتمالی ناشی از آن مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس ۳۰ نمونه رسوب از بستر رودخانه برداشت و پس از دانه‌بندی و آماده‌سازی در آزمایشگاه به روش XRF و جذب اتمی تجزیه شد. تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب و رسم داده‌ها روی نمودار، ترکیب معادل لیترانیت را نشان می‌دهد. استفاده از نمودارهای تفکیکی بیانگر جایگاه زمین‌ساختی جزایر کماتی و منشأهای رسوبی کوارتزی و آذرین حدواسط برای بیشتر نمونه‌هاست. با توجه به اینکه عناصر فلزی و شبه فلزی اهمیت ویژه‌ای در رابطه با آلودگی‌های زیست محیطی دارند انواع آنها شامل Ni، As، Pb، Se، V، Cu، Fe، Mn، Hg، Cd، Zn، Co، Cr، Cu، Fe، Mn، Hg، Zn در ۳۰ ایستگاه مختلف مورد بررسی قرار گرفت. غلظت عناصر در ۱۷ ایستگاه برای سرب، در ۱۰ ایستگاه برای کادمیم و در ۲۰ ایستگاه برای آرسنیک بیش از حد طبیعی این عناصر در دیگر نقاط جهان است. در مطالعه حاضر با استفاده از شاخص زمین‌انباشت ( $I_{geo}$ ) ارزیابی آلاینده‌های رسوب‌ها صورت پذیرفت. با توجه به این شاخص، عناصر Cu و Cd در جاتی از آلودگی را نشان دادند ولی دیگر عناصر از دید این شاخص، غیرآلوده ارزیابی شدند. مطالعات آماری نشان داد که این عناصر همبستگی بالایی دارند که با توجه به حضور فعالیت‌های آتشفشانی در منطقه نشانگر منشأ مشترک این آلاینده‌ها در حوضه آبریز مورد مطالعه است. همچنین منشأ کروم احتمالاً از افیولیت‌های موجود در منطقه است. بر پایه نتایج به‌دست آمده عوامل زمین‌زاد آلودگی رسوب‌های منطقه را کنترل می‌کنند.

**کلیدواژه‌ها:** ژئوشیمی، شاخص زمین‌انباشت، آلاینده‌های رسوبات، حوضه آبریز سرباز.

\*نویسنده مسئول: محمدحسین محمودی قرایی

E-mail: mhmgharaie@um.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آواری آرشو اطلاعاتی مهمی برای مطالعه آنها از دید رسوبی و زیست‌محیطی است (Rollinson, 1993). ترکیب شیمیایی این رسوبات محصول پایانی عوامل مختلف زمین‌شناسی مانند جایگاه زمین‌ساختی، ترکیب سنگ منشأ، شدت هوازدگی، بلوغ بافتی و کانی‌شناسی در طی حمل و رسوب‌گذاری است (Roddaz et al., 2006). ارزیابی آلاینده‌های رسوبات حوضه آبریز یک رودخانه از آنجا که می‌تواند بر کیفیت آب رودخانه اثر بگذارد اهمیت زیادی دارد. منشأ آلودگی این رسوبات می‌تواند هوازدگی طبیعی سنگ‌ها، ورود فاضلاب‌های صنعتی و خانگی و دیگر فعالیت‌های انسانی باشد (U.S. Environmental Protection Agency, 2001). آلودگی محیط زیست توسط فلزات سنگین مشکلی جهانی است؛ زیرا این عناصر از دید شیمیایی در محیط زیست پایدار هستند، در محیط باقی می‌مانند، وارد چرخه غذایی می‌شوند و بسیاری از آنها اثرات سمی بر موجودات زنده دارند (Ghrafat & Yusuf, 2006). با توجه به اینکه فلزات سنگین اهمیت ویژه‌ای در رابطه با آلودگی‌های زیست محیطی دارند بررسی منشأ آنها که می‌تواند زمین‌زاد و متأثر از برخاستگاه رسوبات باشد، ضروری می‌نماید. بنابراین پیش از نتیجه‌گیری پایانی در رابطه با آلودگی و یا آلاینده‌های رسوبات باید کانی‌شناسی رسوبات و فرایندهای مؤثر در تشکیل آن مورد مطالعه قرار گیرد. از آنجا که عناصر اصلی و کمیاب شاخص‌های مفیدی برای تعیین شرایط ناحیه منشأ رسوبات هستند (Cullers, 2000; Jafarzadeh et al., 2014)، در مطالعه حاضر سعی بر این است تا با استفاده از تجزیه اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی، اطلاعاتی درباره سنگ منشأ و جایگاه زمین‌ساختی رسوبات آواری حوضه آبریز رودخانه سرباز ارائه شود تا در پایان با استفاده از این داده‌ها بتوان منشأ آلودگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه سرباز را مورد ارزیابی قرار داد.

## ۲- زمین‌شناسی منطقه

حوضه آبریز سرباز (شکل ۱) با سطح زهکشی ۲۳۷۷/۸ کیلومتر مربع در جنوب خاور شهرستان ایرانشهر و شمال خاوری نقشه زمین‌شناسی نیکشهر در استان سیستان و بلوچستان، میان طول‌های جغرافیایی ۵۳° ۶۰' الی ۶۱° ۳۰' و عرض‌های ۳۰° ۲۶' الی ۲۷° ۵' شمالی قرار گرفته است (افتخارنژاد و صمدیان، ۱۳۶۷). بر پایه تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران توسط آقائاتی (۱۳۸۳) منطقه مطالعاتی سرباز، با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی آن و سازندهای زمین‌شناسی، در پهنه مکران قرار گرفته است. واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه در دو دسته کهن و جوان قرار می‌گیرند. دسته کهن مربوط به دوره کرتاسه تا تریاس و بیشتر شامل ماسه سنگ همراه با شیل، سنگ آهک، واحدهای افیولیتی و سنگ‌های آذرین است. نهشته‌های جوان بیشتر رسوباتی است که در طی کواترنری (پلیوستوسن و هولوسن) شکل گرفته‌اند. این رسوبات بیشتر در بخش جنوبی حوضه قرار دارند و تشکیل پادگانه‌های مسطح با شیب ملایم را می‌دهند. حوضه یادشده از دید آب‌شناسی از معدود رودخانه‌هایی است که دارای جریان دائمی آب در این منطقه است (سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۷۹). در حوضه مورد مطالعه از آنجا که مقاومت زمین در برابر فرسایش عموماً یکسان است، الگوی فرسایش در بیشتر نقاط شاخه درختی است ولی گاه دیگر شکل‌های فرسایشی مانند داربستی، موازی و نیمه‌موازی نیز به چشم می‌خورد.

## ۳- روش مطالعه

در منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری از کانال‌های رودخانه‌ای، مطابق با پروتکل‌های NAWQA (National Water Quality Assessment) انجام شد (Deacon & Driver, 1999). این نمونه‌ها از بخش غیر آشفته و مرطوب (با رطوبت

#### ۵-۱. رده‌بندی ژئوشیمیایی

در سنگ‌های رسوبی یافتن رابطه‌ای ساده میان کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی رسوبات دشوار است. به این دلیل، رده‌بندی ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌ها از رده‌بندی کانی‌شناختی مرسوم که بر پایه کوارتز-فلدسپار-خرده‌سنگ‌ها استوار است، پیروی نمی‌کند. در عوض، رده‌بندی ژئوشیمیایی می‌تواند سبب تمایز رسوبات بالغ و نابالغ باشد (Rollinson, 1993). رایج‌ترین معیار بلوغ رسوب، مقدار  $\text{SiO}_2$  و نسبت  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  است (Potter, 1978) که نمایانگر فراوانی کوارتز، رس و فلدسپار است. دیگر شاخص بلوغ شیمیایی مقدار کلیایی‌ها ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) است که مقیاسی از مقدار فلدسپار موجود است. طرح‌های مختلف رده‌بندی برای سنگ‌های آواری بر پایه داده‌های شیمیایی سنگ‌ها ارائه شده است. داده‌های حاصل از تجزیه‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی مربوط به نمونه‌های رسوبات مورد مطالعه روی نمودار رده‌بندی (Pettijohn et al., 1987) (شکل ۴) رسم شده است. بر پایه این نمودار بسیاری از نمونه‌های رسوب در محدوده لیتیک‌آرنایت رده‌بندی شدند. افزون بر اینکه ۲ نمونه نیز در منطقه آرکوز و ساب‌آرکوز قرار گرفته‌اند.

#### ۵-۲. سنگ مادر

ترکیب ماسه‌سنگ‌ها توسط نوع سنگ منشأ، مسافت حمل‌ونقل و فرایندهای دیاژنزی کنترل می‌شود، هر چند موقعیت زمین‌ساختی حوضه رسوب‌گذاری نیز در این امر نقش مهمی دارد (Akarish & El-Gohary, 2008). رسم داده‌های عناصر اصلی نمونه‌های رسوب حوضه آبریز سرباز روی نمودار تابع تفکیکی Roser & Korsch (1988) نشان‌دهنده منشأهای رسوبی کوارتزی و آذرین حدواسط برای بیشتر نمونه‌هاست (شکل ۵). افزون بر اینکه یکی از این نمونه‌ها روی مرز منشأ آذرین مافیک قرار گرفته است.

توابع تفکیکی نمودار شکل ۵ به شرح زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} & 30.638 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{total})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382 \\ & 56.500 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{total})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89 \end{aligned}$$

افزون بر نمودار بالا، می‌توان از نمودار  $\text{TiO}_2$  نسبت به  $\text{Al}_2\text{O}_3$  نیز برای تعیین نوع سنگ مادر رسوبات استفاده کرد (Ekosse, 2001; Tao et al., 2013). پس از رسم داده‌ها روی این نمودار نیز نوع سنگ مادر رسوبات مورد مطالعه از نوع گرانیت/بازالت تعیین شد که این موضوع نیز تأییدی بر ترکیب حد واسطی سنگ منشأ است (شکل ۶).

قرار دادن نسبت کروم به وانادیم بیانگر غنی‌سازی کروم بیش از دیگر عناصر کمیاب فرومیزین است. در مقابل، نسبت  $\text{Y/Ni}$  نشان‌دهنده سطح کلی عناصر فرومیزین (Ni) در مقایسه با Y است که یک نماینده برای عناصر REE سنگین است (McLennan et al., 1993). منابع مافیک و اولترامافیک تمایل دارند که مقادیر  $\text{Cr/V}$  بیشتر و  $\text{Y/Ni}$  کمتری داشته باشند. شکل ۷ نشان می‌دهد که همه نمونه‌های مورد مطالعه مقادیر  $\text{Y/Ni}$  کمتر از ۰/۲۵ و نسبت  $\text{Cr/V}$  کمتر از ۸ دارند و تأییدکننده منشأ آذرین حدواسط برای این نمونه‌هاست.

#### ۵-۳. جایگاه زمین‌ساختی و چرخه رسوبی

فرایندهای زمین‌ساخت صفحه‌ای از دو راه بر رسوبات تأثیر ژئوشیمیایی می‌گذارند؛ اول اینکه محیط‌های زمین‌ساختی مختلف ویژگی‌های ناحیه منشأ ویژه‌ای دارند و دوم اینکه، فرایندهای رسوبی ویژه‌ای در آنها رخ می‌دهد که سبب اختلاف در ویژگی رسوبات حاصل می‌شود. حوضه‌های رسوبی را می‌توان به چند جایگاه زمین‌ساختی اصلی از جمله جزایر کماتی، حاشیه فعال قاره‌ای و حاشیه غیر فعال قاره‌ای نسبت داد (Bhatia & Crook, 1986).

در نمودار تفکیکی  $\log (\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$  سه جایگاه زمین‌ساختی حاشیه

دایمی) پهنه‌های رسوبی کانال‌های رودخانه‌ای انتخاب شد. از میان نمونه‌های رسوبی برداشت شده از سرتاسر حوضه، ۳۰ نمونه رسوب برای تعیین عناصر کمیاب به روش جذب اتمی، ۱۵ نمونه رسوب به منظور انجام تجزیه توسط XRF و ۴ نمونه رسوب از هر یک از سرشاخه‌های اصلی حوضه آبریز برای تعیین کانی‌های سازنده رسوبات به روش XRD (مدل PW1800 ساخت کمپانی PHILIPS) انتخاب شدند. نمونه‌های رسوبی انتخاب شده به منظور حذف بخش کربناتی و خرده‌های فسفیلی اسیدشویی شده و پس از خشک شدن و توزین دوباره و تهیه پودر از ۱۵ نمونه رسوب، در آزمایشگاه شرکت کانسارن بینالود توسط دستگاه XRF مدل PW1480 مورد تجزیه اکسیدهای اصلی قرار گرفتند (جدول ۲). تجزیه عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی مدل AA240 ساخت شرکت Varian در آزمایشگاه ژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS (16) استفاده شد. به منظور تعیین رابطه عناصر با یکدیگر و منشأ آنها در رسوبات رودخانه سرباز، ضرایب همبستگی عناصر موجود در رسوبات مورد بررسی قرار گرفت.

#### ۴- کانی‌شناسی رسوبات و تعیین اندازه ذرات آن

نتایج تجزیه XRD نشان داد که کانی‌های اصلی این رسوبات شامل کوارتز، کلسیت، آلپیت، کلریت و کانی‌های فرعی شامل مسکوویت، ایلیت، ارتوکلاز، دولومیت و هورنبلند است (شکل ۲ و جدول ۱).

تعیین اندازه ذرات رسوبات با استفاده از الک خشک و مرطوب انجام شد. پس از رسم نتایج دانه‌بندی روی نمودار مثلثی تعیین نوع رسوبات (Folk, 1974)، بافت نمونه‌ها از نوع گراول، گراول ماسه‌ای، ماسه گراولی، گراول ماسه‌ای گلی و ماسه گلی گراولی تعیین شد (شکل ۳).

#### ۵- ژئوشیمی عنصری رسوبات

بررسی عناصر اصلی نمونه‌های رسوبی حوضه آبریز سرباز در سه سرشاخه اصلی صورت گرفت. رودخانه‌های سرکور، مچ کور، سیاه کور و رگن در سرشاخه اول، رودخانه‌های کوش کور و کوش در سرشاخه دوم و رودخانه‌های گوارمرگ، سنگ مسجد و اسپکار در سرشاخه سوم قرار دارند. به این ترتیب ایستگاه‌های شماره ۱ تا ۹ در سرشاخه اول، ایستگاه‌های شماره ۱۰ تا ۲۰ در سرشاخه دوم و ایستگاه‌های شماره ۲۱ تا ۳۰ در سرشاخه سوم قرار گرفته‌اند. تجزیه عناصر اصلی و فرعی ۱۵ نمونه رسوب رودخانه سرباز در جدول ۲ ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که از میان اکسیدهای اصلی، بیشتر نمونه‌ها دارای مقادیر بسیار زیاد  $\text{SiO}_2$  (با مقدار میانگین ۶۲/۸۵ درصد)،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (با مقدار میانگین ۱۵/۴۱ درصد) و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (با مقدار میانگین ۷/۰۹ درصد) هستند. در برابر آن، اکسیدهای  $\text{MnO}$ ،  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{CaO}$  و  $\text{P}_2\text{O}_5$  مقادیر میانگین کمتر از ۵ درصد دارند. در جدول ۱ کمترین و بیشترین مقدار هر عنصر به ترتیب با اعداد ۱ و ۲ مشخص شده است. برای نمونه بیشترین مقدار  $\text{SiO}_2$  در نمونه شماره ۲۵ و کمترین مقدار آن در نمونه شماره ۶ وجود دارد. در میان این عناصر بیشترین مقدار عنصر  $\text{P}_2\text{O}_5$  در نمونه شماره ۲۲ و کمترین مقدار آن در بیش از یک ایستگاه، در نمونه‌های شماره ۲، ۵، ۶، ۸، ۱۰، ۲۳، ۲۵ و ۲۹ دیده می‌شود. از آنجایی که  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در طی هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی تغییر زیادی نشان نمی‌دهد، معمولاً به عنوان عاملی برای مقایسه میان سنگ‌شناسی‌های مختلف به کار می‌رود. این در حالی است که  $\text{CaO}$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$  به عنوان متغیرترین فازها در ماسه‌سنگ‌ها شناخته می‌شوند (Gateneh, 2000). در برخی از نمونه‌ها روابط مستقیم با وارون میان فراوانی عناصر دیده می‌شود. از داده‌های نتایج تجزیه ژئوشیمی جدول ۲ می‌توان در رده‌بندی و نام‌گذاری رسوبات و همچنین تعیین منشأ و تعیین جایگاه زمین‌ساختی رسوبات به شرح زیر استفاده کرد.

ترکیب سنگ‌های حدواسط آندزیتی- داسیتی را نشان می‌دهد (بومری، ۱۳۸۴؛ Daliran et al., 2005). نزدیکی حوضه آبریز رودخانه سرباز به کوه‌های آتشفشانی یادشده را می‌توان دلیلی برای وجود رسوبات با ترکیب تعیین شده دانست. وجود پی سنگ افیولیتی و عملکرد فازهای زمین‌ساختی فعال همراه با فعالیت‌های آتشفشان و گرمایی در منطقه می‌تواند سبب تغییرات ژئوشیمیایی و در پی آن تمرکز عناصر سنگین در رسوبات شود که از دید زیست‌محیطی بررسی آن اهمیت دارد.

## ۶- عناصر فلزی و شبه‌فلزی در رسوبات رودخانه سرباز

به منظور ارزیابی ژئوشیمی زیست‌محیطی حوضه آبریز رودخانه سرباز در جنوب ایرانشهر، نمونه‌های رسوبی برداشت شده از ۳۰ ایستگاه در این حوضه مورد تجزیه عناصر سنگین شامل V, Se, Pb, As, Ni, Mn, Hg, Fe, Cu, Cr, Co, Cd, Zn قرار گرفت (جدول ۳ و شکل ۱۱). غلظت عناصر در ۷ ایستگاه برای سرب، در ۱۰ ایستگاه برای کادمیم و در ۲۰ ایستگاه برای آرسنیک بیش از غلظت طبیعی تعیین شده برای هر عنصر در چند نقطه از جهان بوده است (جدول ۴). در مطالعه حاضر ارزیابی آلانیدگی رسوبات با استفاده از شاخص زمین‌انباشت ( $I_{geo}$ ) صورت گرفت. شاخص زمین‌انباشت از رابطه زیر به دست می‌آید (Muller, 1969):

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 1.5 \times B_n$$

که در آن  $C_n$  غلظت عناصر سنگین اندازه گرفته شده در رسوبات،  $B_n$  مقدار زمینه عنصر در میانگین شیل‌ها (Turekian & Wedepohl, 1961) و ۱/۵ ضریب تصحیح اثرات سنگ‌شناسی است. شاخص زمین‌انباشت ( $I_{geo}$ ) شامل ۷ رده آلودگی است (جدول ۵).

با توجه به شاخص زمین‌انباشت، عناصر  $Zn$ ,  $Pb$ ,  $Cd$  و  $Cu$  در جاتی از آلودگی را نشان دادند ولی دیگر عناصر از دید این شاخص، غیرآلوده ارزیابی شدند. مطالعات آماری نشان داد که این عناصر همبستگی بالایی نسبت به هم دارند که می‌تواند نشانگر منشأ مشترک این آلانیده‌ها در این حوضه آبریز باشد. همچنین شاخص زمین‌انباشت بر پایه مقادیر میانگین عناصر در نمونه‌های رسوب به دست آمد؛  $Cd$  آلودگی زیادی از خود نشان داد؛ سرب، روی و مس آلودگی متوسط نشان دادند و دیگر عناصر در رده غیرآلوده قرار گرفتند (جدول ۶).

## ۶-۱. تفسیر آماری و تعیین منشأ عناصر سنگین

به منظور تفسیر آماری رابطه عناصر با یکدیگر و تعیین منشأ آنها در رسوبات رودخانه سرباز، ضرایب همبستگی عناصر موجود در رسوبات مورد استفاده قرار گرفته است. سپس این ضرایب به نمودار خوشه‌ای تبدیل شده که به وسیله آن می‌توان ضرایب همانندی نمونه‌های رسوب را مورد بررسی قرار داد. این نتایج در جدول ۷ و شکل ۱۲ ارائه شده است. تجزیه خوشه‌ای از دو شاخه اصلی تشکیل شده است. در یک شاخه عنصر کروم و در شاخه دوم، دیگر عناصر حضور دارند که تحت ضرایب همانندی معنی‌دار به یکدیگر متصل شده‌اند. در شاخه دوم بیشترین ارتباط مثبت میان عناصر آرسنیک و وانادیم، نقره و کادمیم و نیز میان جیوه و سلنیم وجود دارد (شکل ۱۲). منگنز، مس و روی با ضرایب همانندی کمتر ولی معنادار به این دسته متصل شده‌اند. میان آهن و سرب نیز ارتباط معناداری وجود دارد. نیکل و مولیبدن با ضرایب همانندی کمتر به این دسته افزوده شده‌اند. دو شاخه اصلی با ضرایب همانندی بسیار پایین و غیر معنی‌دار به یکدیگر متصل شده‌اند که می‌توان نتیجه گرفت که منشأ عناصر در دو شاخه متفاوت بوده است.

منشأیابی عناصر موجود در رسوبات حوضه آبریز رودخانه سرباز با استفاده از مطالعات آماری صورت گرفته نشان داد که آرسنیک با همه عناصر همبستگی مثبت دارد ولی با کروم همبستگی منفی نشان می‌دهد که می‌تواند به رفتار ژئوشیمیایی متفاوت کروم و یا منشأ احتمالاً متفاوت کروم از دیگر عناصر بستگی داشته باشد (شکل ۱۳ و جدول ۷). با توجه به نمودار درختی، عناصری که در شاخه‌های فرعی‌تر

غیرفعال، حاشیه فعال قاره‌ای و جزایر کمانی را می‌توان تشخیص داد (شکل ۸). رسم نسبت  $\log K_2O/Na_2O$  در برابر  $SiO_2$  نشان‌دهنده جایگاه زمین‌ساختی جزایر کمانی برای بیشتر نمونه‌های مورد بررسی است. در این میان، تنها یک نمونه منشأ حاشیه قاره‌ای فعال را نشان می‌دهد (شکل ۸).

از فرایندهای معمول در چرخه رسوبی می‌توان به هوازدگی اشاره کرد که از راه داده‌های ژئوشیمیایی قابل بررسی است. برای درک رابطه میان شاخص شیمیایی هوازدگی (CIA) به دست آمده و نسبت عناصر، از قرار دادن نسبت‌های  $K/Na$ ،  $Ti/Na$  و  $Al/Na$  در برابر CIA که از راه معادله زیر به دست می‌آید استفاده شده است (Baolin et al., 2013).

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] * 100$$

این نمودارها نشان‌دهنده هوازدگی متوسط کانی‌های سیلیکات هستند (شکل ۹). ارزش CIA در همه نمونه‌ها با نسبت‌های  $K/Na$ ،  $Ti/Na$  و  $Al/Na$  در ارتباط معناداری است. سدیم در پلاژیوکلازها از ابتدا موجود بوده ولی نسبت آلومینیم و تیتانیم به تدریج با افزایش هوازدگی شیمیایی کانی‌های رسی ثانویه در حال افزایش است. از آنجا که رسوبات مورد مطالعه از بستر رودخانه سرباز گردآوری شده‌اند افزایش این نسبت‌ها را می‌توان به آبخیزی رسوبات مورد مطالعه نیز نسبت داد.

شکل ۱۰ نسبت عناصر  $Th/U$  را در برابر  $Th$  نشان می‌دهد (McLennan, 1993). اورانیم به آسانی در طی هوازدگی و چرخه‌های رسوبی انتقال می‌یابد و نتیجه این فرایند افزایش نسبت  $Th/U$  خواهد بود. میانگین نسبت  $Th/U$  در سنگ‌های پوسته بالایی حدود ۳/۸ است (Taylor & McLennan, 1985). نسبت  $Th/U$  در نمونه‌های مورد مطالعه از ۰/۵ تا ۳ متغیر است. بنابراین همه نمونه‌های رسوب مورد مطالعه در زیر حد پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) قرار می‌گیرند. احتمالاً نتیجه زمین‌ساخت فعال در مناطق منشأ است که سبب شده رسوبات از سنگ منشأ با کمترین هوازدگی یا از موادی با کمترین جابه‌جایی و رسوب‌گذاری مشتق شوند.

تعیین منشأ رسوبات بر پایه شواهد زمین‌شناسی و داده‌های ژئوشیمیایی، در مطالعات زیست‌محیطی و آلانیدگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه‌ای اهمیت دارد. حوضه آبریز رودخانه سرباز بخشی از پهنه مکران درونی در جنوب خاور ایران است که پی‌سنگ افیولیتی دارد. از رخنمون‌های موجود در شمال منطقه مورد مطالعه می‌توان به شیل، سنگ‌آهک پلاژیک، رادیولاریت، اسپلیت، آندزیت، بازالت، گابرو، دیاباز، دیوریت، هارزبورژیت و سرپانتینیت اشاره کرد (آقاباتی، ۱۳۸۳). واحدهای افیولیتی و نهشته‌های همراه آن کهن‌ترین رسوبات منطقه به سن کرتاسه هستند که در برخی نقاط توسط شیل‌های آهکی به سن پالئوسن پوشیده می‌شوند (Burg et al., 2012). در این منطقه فلیش‌های الیگوسن توسط رسوبات میوسن و پلیوسن که بیشتر رخساره آواری دارد، با درگرسیبی زاویه‌ای پوشیده شده‌اند. جوان‌ترین رسوبات منطقه ماسه‌سنگ‌های سست و کم‌سیمان پلیو- پلیستوسن هستند که با یادگانه‌های کوارتزری پوشیده شده‌اند (آقاباتی، ۱۳۸۳). فرورانش پوسته اقیانوسی عمان به زیر منشور برافزاینده قاره‌ای مکران سبب چین‌خوردگی‌هایی با روند خاوری- باختری شده و فعالیت‌های آتشفشانی بزمان و تفتان را در قالب یک کمان ماگمایی ایجاد کرده است (Burg et al., 2012). بنابراین داده‌های به دست آمده (شکل‌های ۶، ۷ و ۸) گویای این مطلب است. گودال جازموریان به سوی جنوب پس از کمان‌های ماگمایی به عنوان یک حوضه پیش‌کمانی، به تله‌ای برای تجمع رسوبات تبدیل شده است. استفاده از نمودار تفکیکی (شکل ۸) برای نمونه‌های رسوبات حوضه آبریز سرباز نیز جایگاه زمین‌ساختی جزایر کمانی را نشان می‌دهد که با موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه همخوانی دارد. مطالعات سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی ترکیب رسوبات نشان می‌دهد که رسوبات به احتمال زیاد منشأ ترکیبی از سنگ‌های رسوبی کوارتزی و آذرین حدواسط دارند (شکل‌های ۶ و ۷). ویژگی‌های سنگ‌های آتشفشانی رشته‌کوه‌های تفتان و بزمان

با توجه به یافته‌های بالا می‌توان دسته C را به عنوان آلوده‌ترین گروه معرفی کرد. توزیع و انتشار عناصر در رسوبات به فرایندهای حمل‌ونقل و ته‌نشینی مواد از منشأ تا محل رسوب مواد بستگی دارد. از آنجا که تمرکز عناصر با اندازه ذرات بستگی زیادی ندارد، بنابراین انتقال فیزیکی تنها عامل انتقال عناصر نیست. مهم‌ترین عوامل کنترل میزان تمرکز عناصر کمیاب افزون بر اندازه ذرات، شرایط شیمیایی (همانند جذب سطحی و تجمع عناصر کمیاب) محیط رسوبی (Willams et al., 1994)، تغییرات هیدرودینامیکی، فرایندهای فیزیکی و شیمیایی و عوامل زیستی هستند. تأثیر متفاوت این فرایندها بر همدیگر و نیز بر محیط رسوبی سبب ایجاد انواع متفاوتی از توزیع عناصر در محیط می‌شود. رودخانه سرپاز در طی مسیر خود از رخنمون‌های سنگی مختلف عبور می‌کند که فرسایش آنها زمینه‌ای مناسب برای حضور عناصر از سازندها و واحدهای سنگی پیرامون می‌شود. با توجه به حضور پوسته‌های افیولیتی در پیرامون سرشاخه اول، تمرکز عنصر کروم در میان این نمونه‌ها دور از انتظار نیست. افزون بر آن با توجه به حضور واحدهای سنگی زمین‌شناسی از جنس ماسه‌سنگ آتشفشانی، توف و شیل در شمال و شمال خاور منطقه مورد مطالعه (شکل ۱-ب)، این انتظار وجود دارد که این عناصر از راه فرسایش واحدهای سنگی یاد شده وارد رودخانه سرپاز شده باشند.

#### ۷- نتیجه‌گیری

رده‌بندی ژئوشیمیایی بیشتر رسوبات مورد بررسی نشان‌دهنده ترکیب معادل لیتارنایت است. رسم نمودارهای تفکیکی ترکیب رسوبی کوارتزی و ماگمایی حدواسط را برای منشأ رسوبات تعیین می‌کند. این موضوع با کانی‌شناسی نمونه‌های رسوب همخوانی دارد. نتایج رسم داده‌های ژئوشیمیایی در نمودارهای تفکیکی بیانگر جایگاه زمین‌ساختی جزایر کمانی برای بیشتر نمونه‌هاست.

شاخص شیمیایی هوازدهی به دست آمده نشان‌دهنده هوازدهی متوسط تا شدید در ناحیه منشأ است. مقدار بالای شاخص شیمیایی هوازدهی، طبیعت فعال و پویای سامانه رودخانه‌ای و در پی آن، حذف مواد ناپایدار و باقی ماندن مواد معدنی پایدار، می‌تواند دلیل وجود ترکیب تعیین شده حوضه در منطقه منشأ باشد. افزون بر اینکه ناپایداری پوسته زمین، ناآرام بودن خود حوضه رسوبی و عملکرد فازهی زمین‌ساختی فعال، از عوامل مؤثر در ایجاد ساختارهای زمین‌ساختی و در پی آن تغییرات ژئوشیمیایی موجود در منطقه هستند.

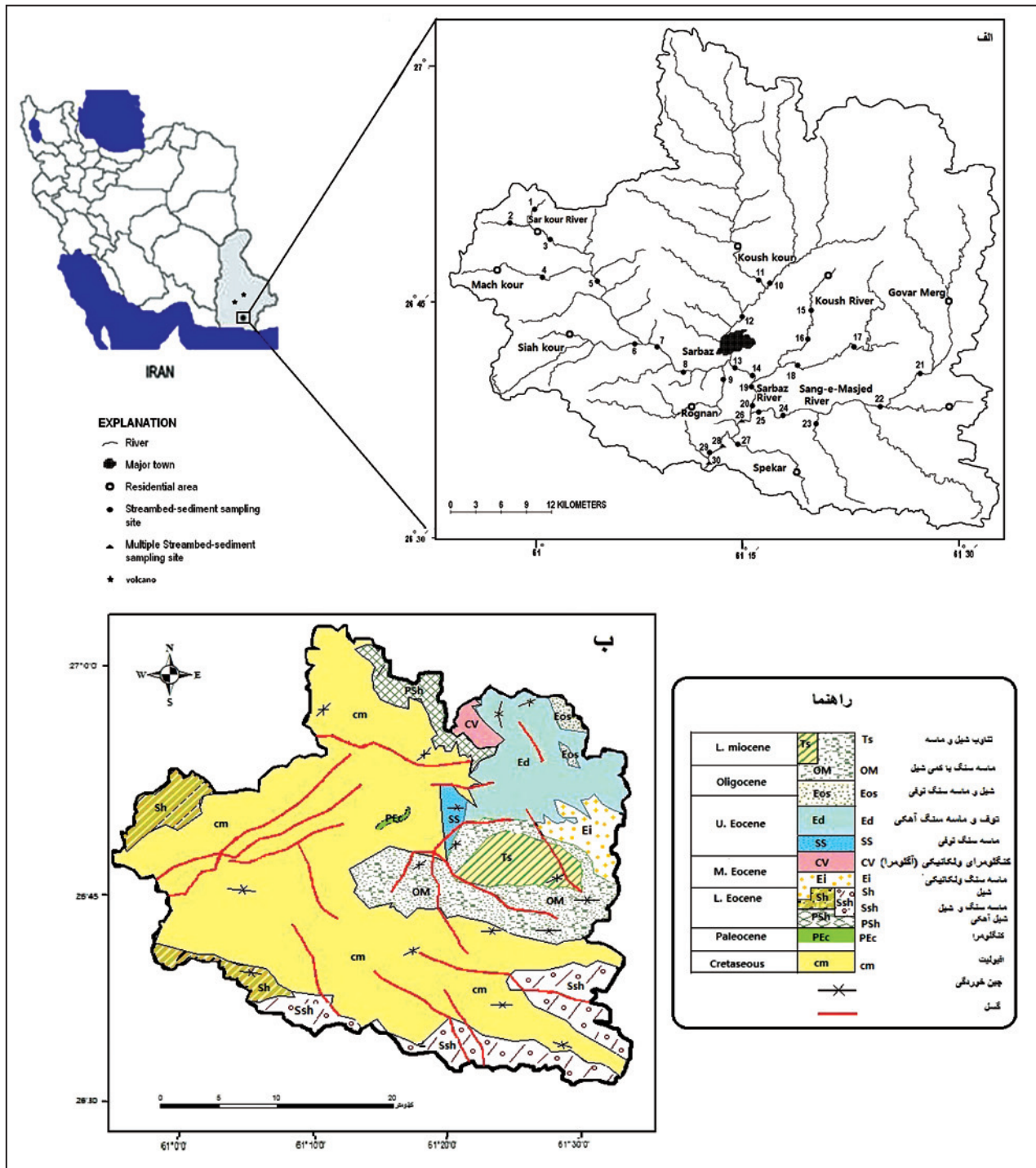
غلظت نسبی برخی از عناصر کمیاب در رسوبات مورد بررسی در مقایسه با دیگر عناصر بیشتر است. این عناصر عموماً از انحلال و هوازدهی واحدهای بالادست منشأ گرفته‌اند. بنابراین میزان متوسط تا شدید هوازدهی شیمیایی و چرخه‌های رسوبی در منطقه مورد بررسی، انحلال و هوازدهی واحدهای بالادست، موقعیت زمین‌ساختی جزایر کمانی، منشأ ماگمایی حدواسط و حضور افیولیت‌ها برای رسوبات حوضه آبریز رودخانه سرپاز در تمرکز و فراوانی نسبی برخی از عناصر در منطقه مورد مطالعه تأثیر داشته است.

با به دست آوردن شاخص زمین‌انباشت بر پایه مقادیر میانگین عناصر در نمونه‌های رسوب، Pb، Zn، Cd و Cu درجانی از آلودگی را نشان دادند ولی دیگر عناصر از دید این شاخص، غیرآلوده ارزیابی شدند. Cd آلودگی زیادی از خود نشان داد. سرب، روی و مس آلودگی متوسط نشان دادند.

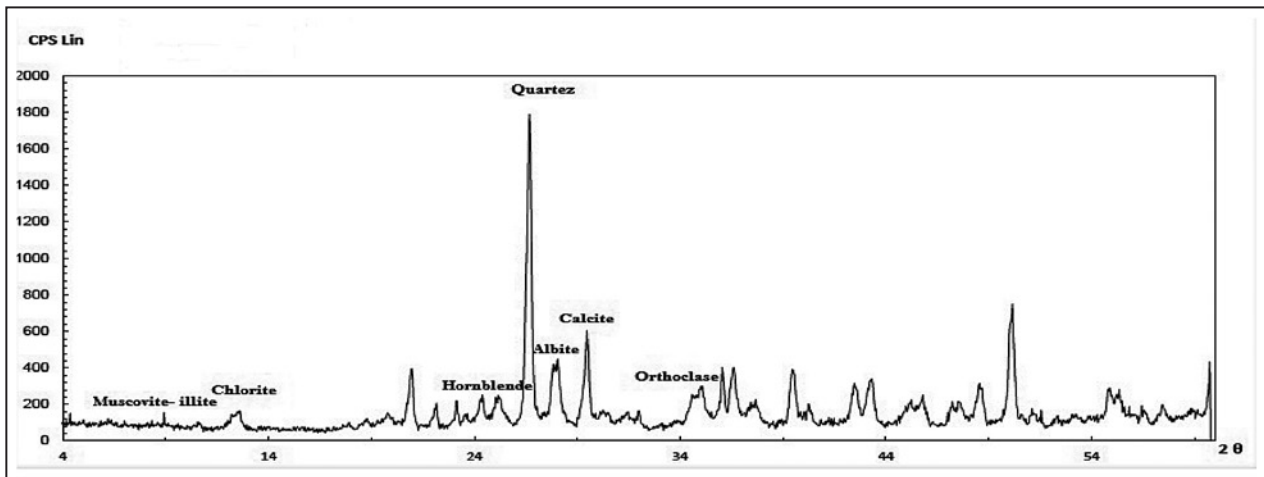
قرار دارند از منشأ آلاینده مشترکی ناشی شده‌اند و یا رفتار ژئوشیمیایی همانندی دارند.

با توجه به اینکه در بیشتر گزارش‌های زمین‌شناسی به بقایای پوسته اقیانوسی تیس در این ناحیه از کشور اشاره شده است (Stocklin, 1974; Berberian, 1981) و همچنین در نقشه زمین‌شناسی منطقه نیز مشهود است (شکل ۱-ب)، تمرکز کروم به میزان قابل توجه در پوسته‌های افیولیتی قابل انتظار است و به‌صورت معادن کرومیت بزریران ایران‌شهر، فوج و سرپاز در منطقه وجود دارد (آقناباتی، ۱۳۸۳). بنابراین منشأ کروم را می‌توان به پوسته‌های افیولیتی بخشی از منطقه مورد مطالعه نسبت داد. از سوی دیگر فعالیت‌های آتشفشانی در منطقه تفتان و بزمان که با خروج گازها و سیال‌هایی از دهانه آن کوه‌ها و نیز وجود چشمه‌های آب گرم همراه است نشانه‌هایی از وجود یک سامانه گرمایی در منطقه است. افزون بر این دگرسانی‌های گسترده گرمایی، وجود رگه‌های کوارتز و بی‌هنجاری‌هایی از جیوه، آرسنیک و طلا در کوه‌های پیرامون گزارش شده است (بومری، ۱۳۸۴؛ Daliran et al., 2005). با توجه به اینکه آرسنیک در سنگ‌هایی با کانه‌زایی سولفیدی در مناطق گرمایی دیده می‌شود، سنگ‌های آتشفشانی و رسوبات مشتق شده از آنها نیز دارای مقادیر قابل توجهی آرسنیک هستند. آرسنیک به آسانی از سنگ‌های آتشفشانی انتقال یافته و وارد رسوبات می‌شود (Spencer, 2000). بنابراین حضور مقادیر آرسنیک موجود در رسوبات بررسی شده در حوضه آبریز را می‌توان به منشأ گرمایی و فعالیت‌های آتشفشانی منطقه نسبت داد. وجود رخنمون‌های سنگی از جنس آگلومرا، توف و ماسه‌سنگ توفی در شمال خاور منطقه مورد مطالعه (شکل ۱-ب) نشانه‌هایی از فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن بالایی در منطقه است. با توجه به نمودار خوشه‌ای شکل ۱۲ حضور دیگر عناصر را نیز می‌توان به منشأ آتشفشانی نسبت داد.

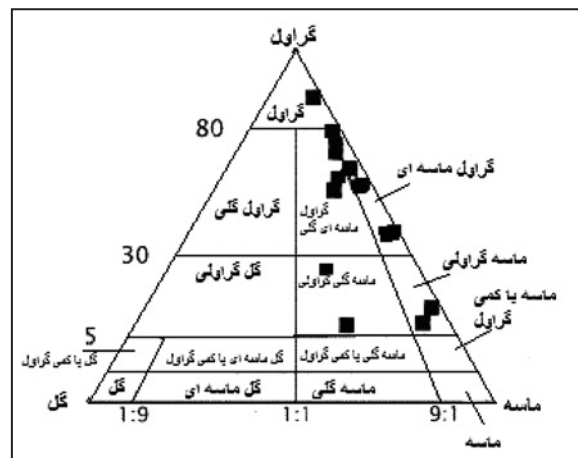
شکل ۱۴ نمودار درختی ارتباط میان نمونه‌های رسوب را نشان می‌دهد. نمونه‌های رسوب با توجه به بیشترین نزدیکی و همانندی به ۳ دسته کلی تقسیم شده‌اند. نمونه‌های رسوب مربوط به هر دسته تحت ضرایب همانندی بالا با یکدیگر ارتباط دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عوامل کنترل کننده رسوبات هر شاخه یکسانند. برای نمونه دسته‌های A و B بیشترین ضریب همانندی را در میان سه شاخه دارند. در حالی که دسته C با کمترین ضریب همانندی به دو شاخه دیگر نشان داده می‌شود (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). نمونه‌های ۱ تا ۹ که در دسته B قرار می‌گیرند مربوط به سرشاخه اول در منطقه مورد بررسی هستند و همانندی‌های رفتاری ژئوشیمیایی دارند. تفاوت‌های کم میان این ایستگاه‌ها را می‌توان به تفاوت‌های محلی منشأ آنها نسبت داد. به طوری که تفاوت کم میان نمونه‌های ۴، ۶ و ۹ با دیگر ایستگاه‌های این گروه احتمالاً به دلیل منشأ گرفتن این نمونه‌ها از آبراهه‌های روبه‌روی هم است. ایستگاه‌هایی که در نزدیکی یکدیگر قرار دارند، طبعاً از یک روند ژئوشیمیایی پیروی می‌کنند. ویژگی آشکار این دسته بیشترین تمرکز عنصر کروم در میان این نمونه‌هاست. دسته‌های A و C به سرشاخه‌های ۲ و ۳ مربوط هستند. در دسته A نمونه‌های ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵ قرار دارند. دیگر نمونه‌ها در دسته C جای گرفته‌اند. دسته C با وجود قرار گرفتن در مرکز دسته A با کمترین همانندی رفتاری ژئوشیمیایی در دسته‌ای جداگانه نسبت به دو دسته دیگر جای گرفته و نسبت به دیگر نمونه‌ها دارای بیشترین تجمع عناصری مانند آرسنیک، سرب و کادمیم است.



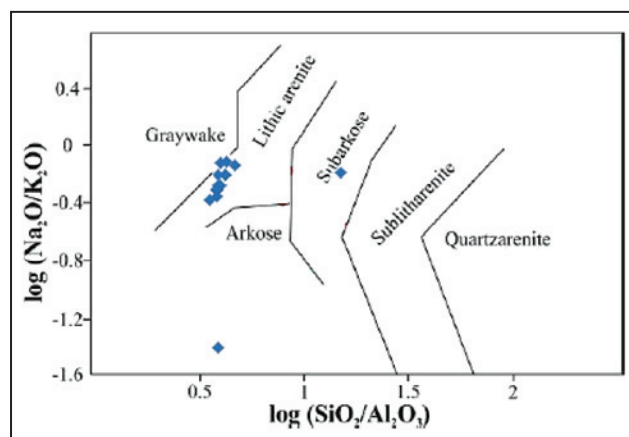
شکل ۱- الف) موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سرباز و ایستگاه‌های نمونه برداری؛ ب) نقشه زمین شناسی حوضه آبریز سرباز (برگرفته از افتخارنژاد و صمدیان، معدنی کشور (۱۳۶۷) و (Sahandi & Huber (1962)).



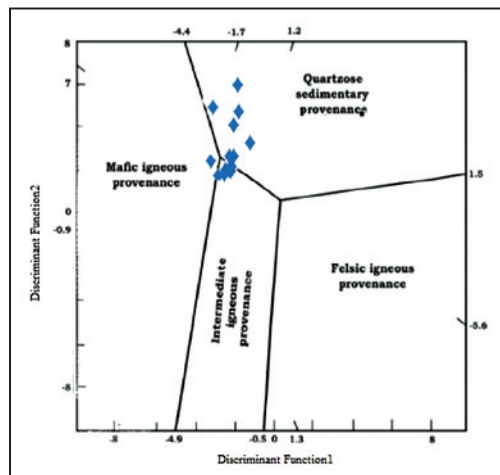
شکل ۲- نمودار XRD برای نمونه شماره ۱۲ که نشان‌دهنده کانی‌های اصلی سازنده رسوب است.



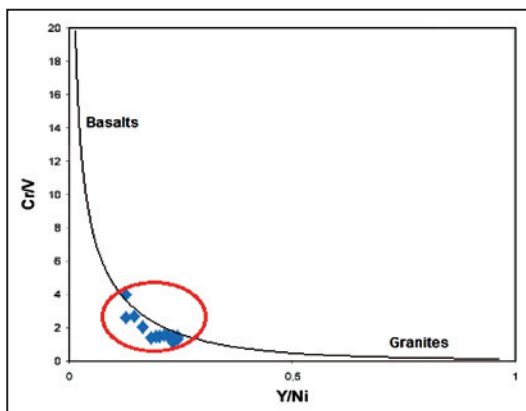
شکل ۳- رده‌بندی رسوب‌ها بر پایه اندازه ذرات سازنده آنها (Folk, 1974).



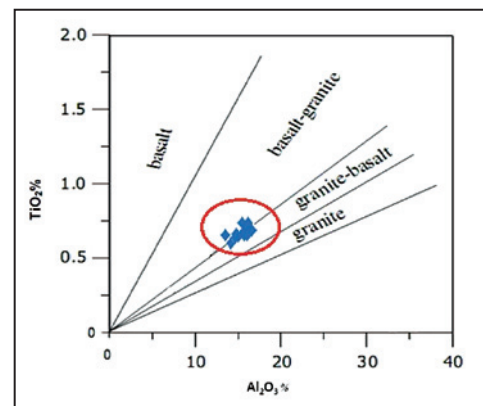
شکل ۴- نام‌گذاری ژئوشیمیایی ماسه‌ها بر پایه رده‌بندی (Pettijohn et al. (1987)



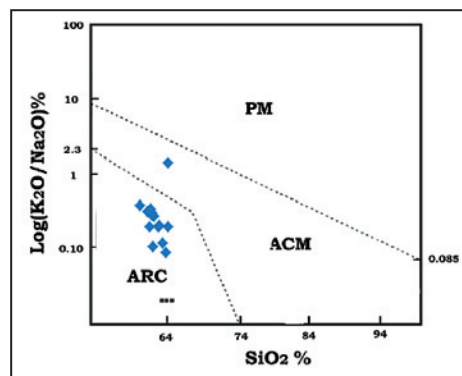
شکل ۵- نمودار تابع تفکیکی تعیین منشأ رسوب‌های با استفاده از عناصر اصلی (Roser & Korsch, 1988). نمونه‌های حوضه آبریز سرباز در محدوده رسوبی کوارتزی و آذرین حد واسط قرار می‌گیرند.



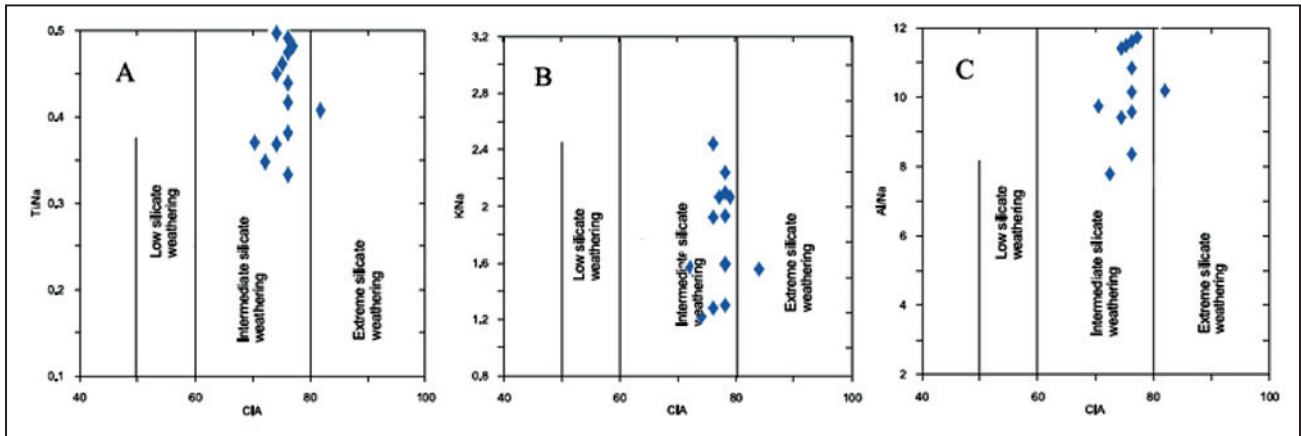
شکل ۷- نمودار تفکیکی نسبت  $Cr/V$  در برابر  $Y/Ni$  (McLennan et al., 1993). نمونه‌های مورد بررسی در محدوده ترکیب حدواسط قرار می‌گیرند.



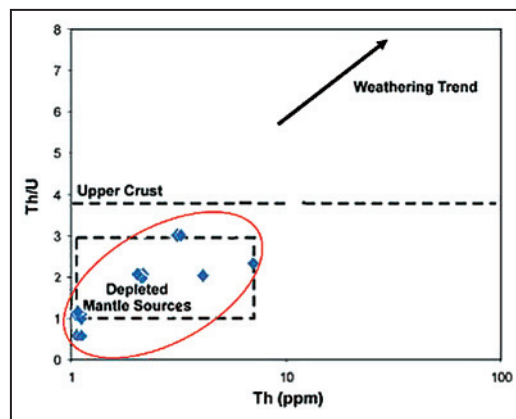
شکل ۶- تعیین منشأ رسوب‌ها (Ekosse, 2001). نمونه‌های منطقه مورد مطالعه ترکیبی حد واسط نشان می‌دهند.



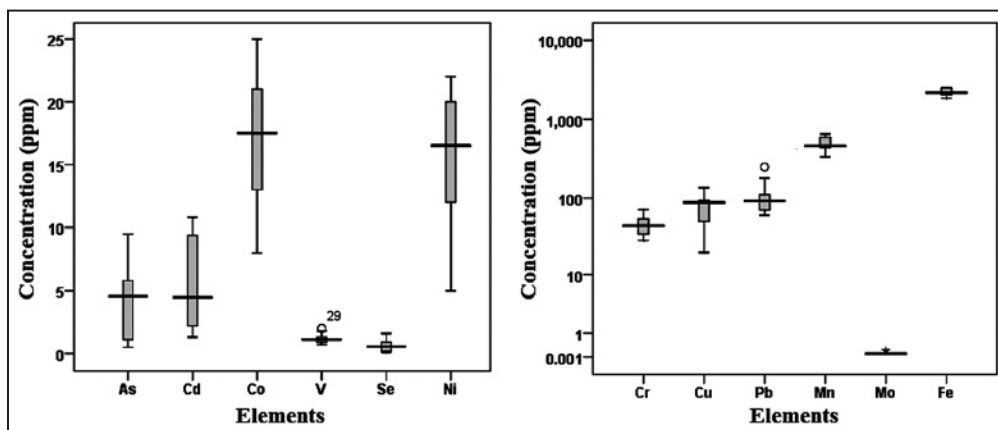
شکل ۸- نمودار تفکیکی  $\log(K_2O/Na_2O) - SiO_2$  (Roser & Korsch, 1986). حاشیه غیرفعال؛ ACM؛ حاشیه فعال قاره‌ای؛ ARC؛ جزایر کماتی.



شکل ۹- نمودارهای پراکنده‌گی شاخص شیمیایی دگرسانی (CIA) در برابر  $Al/Na$  و  $Ti/Na$ ،  $K/Na$  در رسوب‌های رودخانه سرپاز.

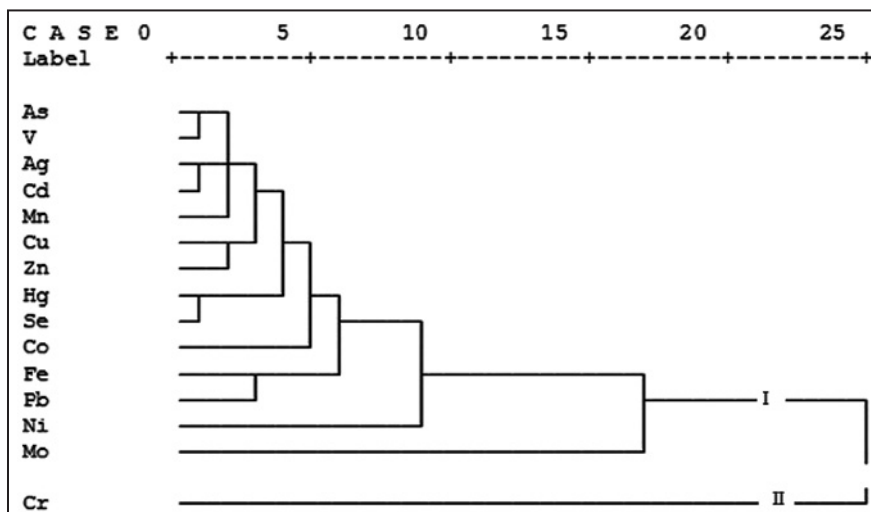


شکل ۱۰- نمودار تفکیکی نشان‌دهنده هوازدگی و چرخه رسوبی (McLennan, 1993).

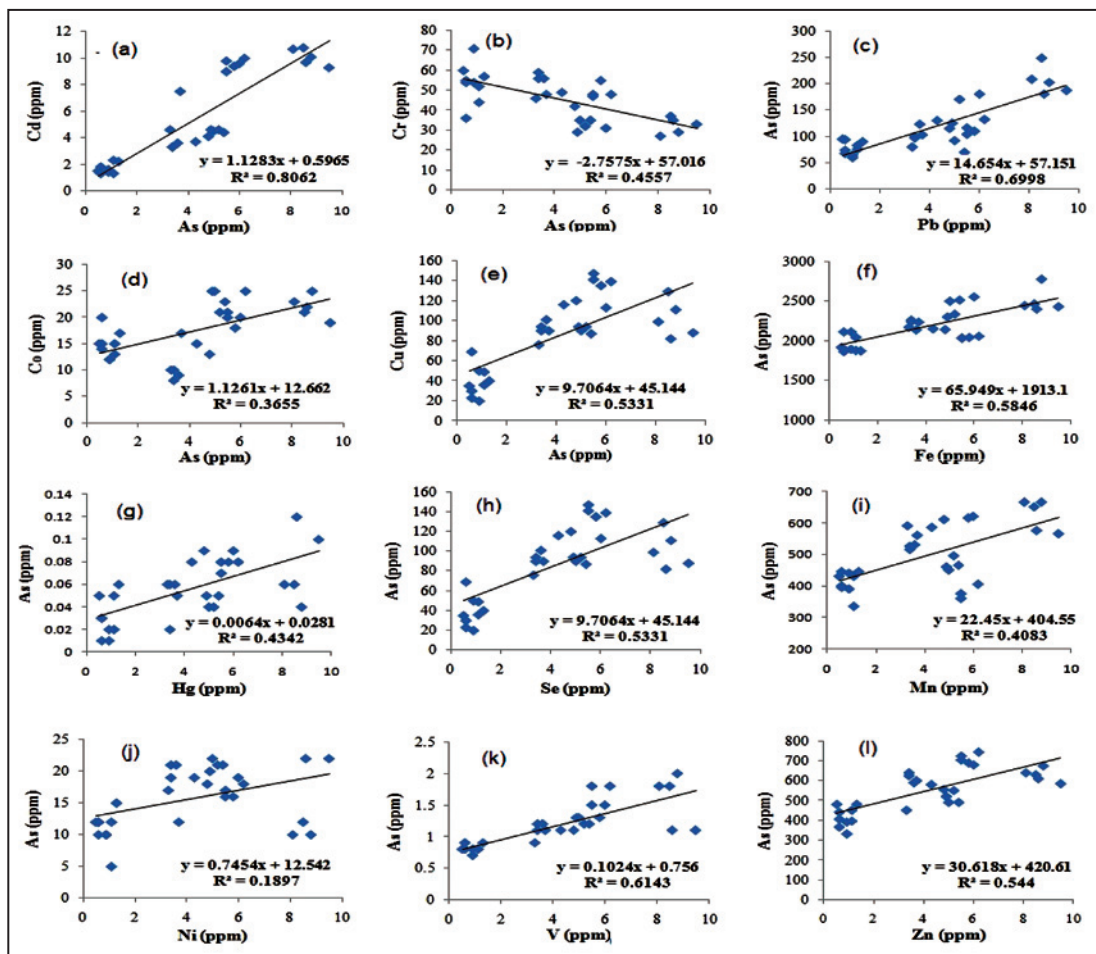


شکل ۱۱- نمودار جعبه‌ای مربوط به فلزات سنگین در حوضه رودخانه سرپاز، عناصر غلظت‌های بالایی دارند.

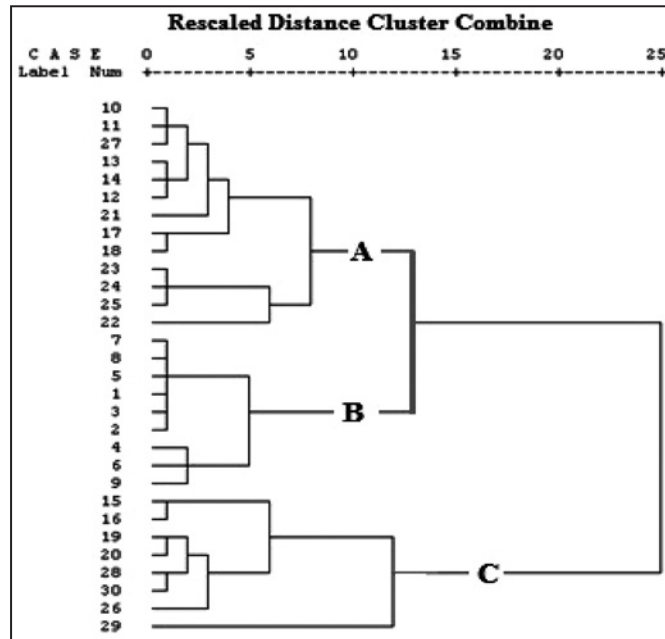




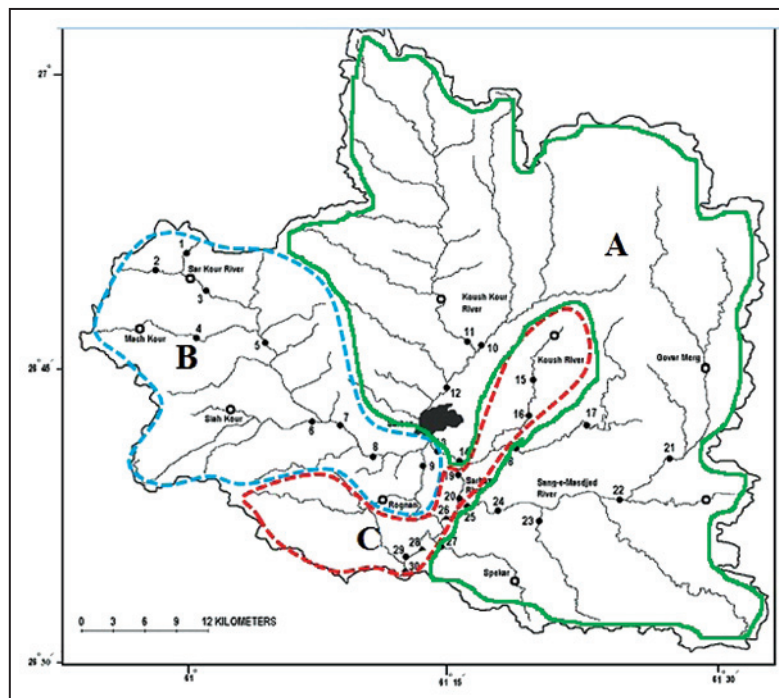
شکل ۱۲- نمودار خوشه‌ای نشان‌دهنده ارتباط میان عناصر مختلف موجود در رسوب‌های رودخانه‌ای مورد مطالعه.



شکل ۱۳- ارتباط آرسنیک با دیگر عناصر موجود در رسوب‌ها، آرسنیک با همه عناصر همبستگی مثبت دارد ولی با کروم همبستگی منفی نشان می‌دهد. احتمالاً منشأ کروم متفاوت از دیگر عناصر است.



شکل ۱۴- نمودار درختی نشان می‌دهد که کدام نمونه‌ها ارتباط نزدیکی با هم دارند؛ نمونه‌های رسوب در چهار دسته کلی قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۵- تقسیم‌بندی حوضه آبریز رودخانه سرباز بر پایه نتایج دست آمده از نمودار درختی.

جدول ۱- نتایج XRD برای نمونه‌های انتخابی حوضه مورد بررسی.

شماره نمونه	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی	کانی‌های کمیاب
SP- ۶	کوارتز، آلپیت، کلریت، کلسیت	مسکوویت- ایلیت، ارتوکلاز	-----
SP- ۱۲	کوارتز، آلپیت، کلسیت، کلریت	مسکوویت- ایلیت، ارتوکلاز	هورنبلند
SP- ۲۲	کوارتز، کلسیت، آلپیت، کلریت	مسکوویت- ایلیت	-----
SP- ۲۹	کوارتز، کلسیت، آلپیت، کلریت	مسکوویت- ایلیت، دولومیت	-----

جدول ۲- درصد فراوانی اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب در نمونه های رسوبی حوضه آبریز رودخانه سرباز (CIA: شاخص دگرسانی شیمیایی؛ ۱: کمترین مقدار یک عنصر در میان ۱۵ نمونه، ۲: بیشترین مقدار یک عنصر در میان ۱۵ نمونه).

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I	CIA	Cr	V	Y	Ni	Th	U
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm
SP2	62.01	15.67	7.69	0.75	1.43	2.78	4.01	0.74	0.06	0.002	4.49	76	188	147	39	159	1	1
SP5	61.63	16.17	7.52	0.15	1.38	2.91	4.21	0.66	0.04	0.002	4.93	78	158 <sup>1</sup>	151	42	169	3	1
SP6	60.38 <sup>1</sup>	16.84 <sup>2</sup>	7.89 <sup>2</sup>	0.13	1.27	3.11	4.21	0.69	0.04	0.002	5.15	78	159	152	43	174	2	1
SP8	63.48	15.89	6.04 <sup>1</sup>	0.5	1.89	2.51	4.44	0.68	0.04	0.002	4.16	76	180	138	35	170	2	1
SP9	63.02	15.02	6.89	0.56	1.47	2.38	5.01	0.66	0.04	0.004	4.57	77	258	134	36	207	1	1
SP10	62.12	14.29	7.36	1.45	1.51	1.97 <sup>1</sup>	5.59	0.6 <sup>1</sup>	0.05	0.002	4.66	74	539	137	32	241	1	1
SP11	61.87	16.27	7.37	0.2	1.29	2.89	4.38	0.69	0.04	0.004	4.7	78	210	145	45	187	7	3
SP12	63.94	13.66 <sup>1</sup>	6.78	1.41	1.75	2.17	4.98	0.66	0.05	0.003	4.4	72	372	143	34	216	1	2
SP13	61.67	14.91	6.89	0.98	1.45	2.28	5.94	0.64	0.05	0.004	4.81	76	342	136	33 <sup>1</sup>	248	2	1
SP16	61.33	16.02	7.91	0.08 <sup>1</sup>	1.38	2.87	4.19	0.69	0.04	0.003	5.2	78	196	153	37	193	1	1
SP19	62.34	16.02	7.67	0.08 <sup>1</sup>	1.39	2.69	4.05	0.68	0.04	0.003	4.83	79	199	149	41	189	3	1
SP22	62.97	15.91	7.19	0.16	1.62	2.57	3.98	0.66	0.05	0.005	4.51	78	204	141	41	181	4	2
SP23	61.98	16.23	7.37	0.42	1.37	2.84	3.97	0.72	0.05	0.002	4.73	78	174	146	41	163	2	1
SP25	64.29 <sup>2</sup>	15.24	6.89	0.26	1.58	2.54	3.89 <sup>1</sup>	0.65	0.04	0.002	4.39	77	173	129 <sup>1</sup>	38	155 <sup>1</sup>	1	1
SP29	64.24	16.34	7.01	0.13	0.108 <sup>1</sup>	2.75	3.89 <sup>1</sup>	0.74	0.03 <sup>1</sup>	0.002	4.42	84	180	136	43	170	1	2
mean	62.85	15.41	7.0909	0.55	1.411	2.51	4.54	0.67	0.04	0.003	4.61	77.3	241	143	39	191	2.1	1.3

جدول ۳- مقادیر اندازه گیری شده عناصر سنگین در رسوب های رودخانه سرباز (بر حسب ppm).

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Se	V	Zn
1	سرکور	0.9	1.4	12	54	20	1890	0.02	440	65	0.3	0.8	390
2	سرکور	0.6	1.3	15	54	23	1860	0.03	400	68	0.1	0.8	365
3	سرکور	0.6	1.3	20	55	30	1890	0.01	395	74	0.3	0.9	405
4	مچ کور	1.1	1.3	13	44	49	2040	0.02	335	76	0.1	0.8	395
5	سرکور	0.5	1.5	15	60	35	1915	0.05	430	95	0.1	0.8	480
6	سیاه کور	0.9	1.6	12	71	50	2110	0.01	390	60	0.1	0.7	330
7	سرکور	1.1	2.3	15	52	36	1875	0.05	430	83	0.1	0.8	450
8	سرکور	1.3	2.2	17	57	40	1870	0.06	445	90	0.2	0.9	480
9	رگتان	0.6	1.8	14	36	69	2110	0.03	445	94	0.1	0.8	440
10	کوش کور	3.4	3.3	8	59	90	2260	0.02	525	100	0.2	1.1	640
11	کوشکور	3.4	3.3	10	56	94	2240	0.06	515	97	0.3	1.2	625
12	کوش کور	3.6	3.6	9	56	101	2135	0.06	530	123	0.2	1.2	590
13	سرباز	4.8	4.1	13	42	120	2140	0.09	610	115	0.5	1.1	555
14	سرباز	4.3	3.7	15	49	116	2150	0.08	585	130	0.6	1.1	580
15	کوش	5.4	4.4	23	35	87	2515	0.05	465	70	0.5	1.2	490
16	کوش	5.0	4.5	25	35	90	2500	0.04	450	92	0.6	1.3	490
17	کوش	4.9	4.6	25	29	94	2300	0.05	460	125	0.5	1.3	520
18	کوش	5.2	4.6	21	32	94	2335	0.04	495	170	0.9	1.2	550
19	سرباز	9.5	9.3	19	33	88	2430	0.10	565	187	1.2	1.1	585
20	سرباز	8.6	9.7	22	35	82	2400	0.12	575	180	1.2	1.1	610
21	گوارمرگ	3.3	4.6	10	46	76	2170	0.06	590	80	0.9	0.9	450
22	سنگ مسجد	5.8	9.4	18	55	135	2040	0.08	615	110	1.2	1.3	690
23	سنگ مسجد	5.5	9.0	21	47	141	2035	0.08	375	104	1.2	1.5	705
24	سنگ مسجد	5.5	9.8	20	48	147	2030	0.07	360	116	1.6	1.8	725
25	سنگ مسجد	6.2	10	25	48	139	2055	0.08	405	132	1.4	1.8	745
26	سرباز	6.0	9.6	20	31	113	2555	0.09	620	180	1.4	1.5	680
27	اسپکار	3.7	7.5	17	48	90	2235	0.05	560	103	0.9	1.1	600
28	سرباز	8.5	10.8	21	37	129	2465	0.06	650	248	0.6	1.8	630
29	سرباز	8.8	10.1	25	29	111	2780	0.04	665	202	0.6	2.0	675
30	سرباز	8.1	10.7	23	27	99	2445	0.06	665	208	0.8	1.8	640

جدول ۴ - غلظت‌های زمینه برخی عناصر در رسوب‌های بستر رودخانه در مقایسه با چند نقطه از جهان (برحسب ppm).

عناصر	حوضه آبریز رودخانه کلرادو <sup>۱</sup>	حوضه آبریز رودخانه پلاته جنوبی <sup>۲</sup>	حوضه آبریز خرم‌آباد <sup>۳</sup>	حوضه آبریز سرباز	محدوده غلظت عناصر در حوضه آبریز سرباز
As	9.4	5.7	5.5	3.3	0.5-9.5
Cd	0.7	0.77	3.5	7.5	1.3-10.8
Pb	31	44	35	170	60-248
Hg	0.05	-	0.06	0.03	0.01-0.12
Se	1.3	1.5	1.2	0.2	0.1-1.6
Zn	190	454	80	440	330-745

۱: غلظت‌های پایه تثبیت شده برای رسوبات بستر رودخانه‌ای حوضه آبریز رودخانه کلرادو (Deacon &amp; Driver, 1999)

۲: غلظت‌های پایه تثبیت شده برای رسوبات بستر رودخانه‌ای حوضه آبریز رودخانه پلاته جنوبی (Heiny &amp; Tate, 1997)

۳: غلظت‌های پایه تثبیت شده برای رسوبات بستر رودخانه‌ای حوضه آبریز خرم‌آباد (ورکوهی، ۱۳۸۲)

جدول ۵ - شاخص زمین‌انباشت و رده‌های مختلف آلودگی رسوب‌ها (Muller, 1969).

رده	شاخص زمین‌انباشت	سطح آلودگی
۰	$I_{geo} \leq 0$	غیر آلوده
۱	$0 < I_{geo} < 1$	غیر آلوده تا متوسط آلوده
۲	$1 < I_{geo} < 2$	متوسط آلوده
۳	$2 < I_{geo} < 3$	متوسط تا زیاد آلوده
۴	$3 < I_{geo} < 4$	زیاد آلوده
۵	$4 < I_{geo} < 5$	زیاد آلوده تا به شدت آلوده
۶	$5 < I_{geo}$	به شدت آلوده

جدول ۶ - مقادیر شاخص زمین‌انباشت عناصر در رسوب‌های مورد مطالعه (برحسب ppm).

عنصر	Min	Max	Mean ( $\pm$ SD)	Mean in shale	$I_{geo}$	
As	0.5	9.5	4.23 ( $\pm$ 2.77)	13	-2.20	غیر آلوده
Cd	1.30	10.8	5.37 ( $\pm$ 4.34)	0.3	3.57	زیاد آلوده
Co	8	25	17.43 ( $\pm$ 5.17)	19	-0.70	غیر آلوده
Cr	27	71	45.33 ( $\pm$ 11.35)	90	-1.57	غیر آلوده
Cu	20	147	86.26 ( $\pm$ 36.95)	45	0.35	غیر آلوده تا متوسط آلوده
Fe	1860	2780	2192.5 ( $\pm$ 239.7)	47200	-5.01	غیر آلوده
Hg	0.01	0.12	0.055 ( $\pm$ 0.027)	0.4	-3.44	غیر آلوده
Mn	335	665	499.67 ( $\pm$ 97.66)	850	-1.35	غیر آلوده
Pb	60	248	119.23 ( $\pm$ 48.69)	20	1.99	متوسط آلوده
Se	0.1	1.60	0.6233 ( $\pm$ 0.46)	0.6	-0.53	غیر آلوده
V	0.7	2.0	1.90 ( $\pm$ 0.36)	130	-6.68	غیر آلوده
Zn	330	745	550.33 ( $\pm$ 115.39)	95	1.95	متوسط آلوده

جدول ۷- ضریب همبستگی پیرسون (n=30) میان عناصر مورد بررسی در رسوب‌های حوضه رودخانه سرابز؛ میان همه عناصر همبستگی مثبتی دیده می‌شود ولی کروم با همه عناصر رابطه منفی دارد.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	V	Zn
As	1												
Cd	.898**	1											
Co	.605**	.605**	1										
Cr	-.675**	-.531**	-.661**	1									
Cu	.730**	.770**	.370*	-.369*	1								
Fe	.765**	.570**	.474**	-.735**	.464**	1							
Hg	.659**	.652**	.278	-.338	.590**	.252	1						
Mn	.639**	.534**	.088	-.436*	.415*	.638**	.454*	1					
Ni	.436*	.230	.161	-.216	.440*	.340	.563**	.212	1				
Pb	.837**	.768**	.487**	-.652**	.536**	.676**	.503**	.695**	.173	1			
Se	.706**	.840**	.522**	-.409*	.715**	.332	.696**	.274	.419*	.476**	1		
V	.784**	.844**	.635**	-.513**	.799**	.581**	.380*	.411*	.188	.703**	.625**	1	
Zn	.738**	.833**	.373*	-.306	.877**	.414*	.640**	.448*	.408*	.614**	.735**	.826**	1

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level

\*Correlation is significant at the 0.05 level

## کتابنگاری

آفانیاتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، چاپ اول، ۶۰۶ ص.

افتخارنژاد، ج. و صمدیان، م. ر.، ۱۳۶۷- نقشه زمین شناسی نیکشهر، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

بومری، م.، ۱۳۸۴- بررسی منابع انرژی زمین گرمایی و کانی سازی آتشفشان تفتان با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار آب. مجله جغرافیا و توسعه، جلد پنجم، صص ۲۵ تا ۴۰.

سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۷۹- مطالعات توجیهی طرح ساماندهی و مهار رودخانه سرابز، گزارش مطالعات زمین شناسی، ژئومورفولوژی، ژئوتکنیک و منابع قرضه، شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، جلد هفتم، صص ۳۸ تا ۴۲.

ورکوهی، ش.، ۱۳۸۲- مطالعات ژئوشیمی محیطی عناصر ردیاب و بیورژوشیمی در حوضه آبریز خرم آباد، پایان نامه دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۲۷۰ ص.

## References

- Akarish, A. I. M. & El-Gohary, A. M., 2008- Petrography and geochemistry of lower Paleozoic sandstones, East Sinai, Egypt: Implications for provenance and tectonic setting. *Journal of African Earth Sciences*, 52: 43-54.
- Baolin, L., Yaping, W., Xin, S. & Houyi, Z., 2013- Elemental geochemistry of northern slope sediments from the South China Sea: Implications for provenance and source area weathering since Early Miocene. *Chemie der Erde*, 73: 61– 74.
- Berberian, M., 1981- Active faulting and tectonics of Iran. In H. K. Gupta and F. M. Delany (eds.), *Zagros-Hindu Kush-Himalaya Geodynamic Evolution*, American Geophysical. Union, Geodynamics Series, 3: 33-69.
- Bhatia, M. R. & Crook, K. A.W., 1986- Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92: 181-193.
- Burg, J. P., Bernoulli, D., Dolati, A., Muller, C., Smit, J. & Spezzaferri, S., 2012- Stratigraphy and Structure of the Iranian Makran. *International Conference and Exhibition*.

- Cullers, R. L., 2000- The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: Implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 51: 181- 203.
- Daliran, F., Paar, W. H., Neubauer, F. & Raschidi, B., 2005- New discovery of epithermal gold at Chahnali prospect, Bazman volcano, SE-Iran. *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*. 917-919.
- Deacon, J. R. & Driver, N. E., 1999- Distribution of trace elements in streambed sediment associated with mining activities in the Upper Colorado River Basin, Colorado, USA, 1995–96. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 37: 7–18.
- Ekosse, G., 2001- Provenance of The Kgwakgwa Kaolin deposit in southeastern Botsswana and its possible utilization. *Applied Clay Science*, 20: 137- 152.
- Folk, R. L., 1974- petrology of sedimentary rocks, Hemphill, Austin, 182p .
- Gateneh, W., 2000- Geochemistry provenance and depositional tectonic setting of the Adigrat Sandstone northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 35: 185-198.
- Ghrefat, H. & Yusuf, N., 2006- Assessing Mn, Fe, Cu, Zn and Cd pollution in bottom sediments of wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere*, 64:2114-2121.
- Heiny, J. S. & Tate, C. M., 1997- Concentration, distribution, and comparison of selected trace elements in bed sediment and fish tissue in the South Platte River Basin, USA, 1992–93. *Arch Environ Contam Toxicol* 32: 246–259.
- Jafarzadeh, M., Harami, R. M., Friis, H., Amini, A., Mahboubi, A. & Lenaz, D., 2014- Provenance of the Oligocene-Miocene Zivah Formation, NW Iran, assessed using heavy mineral assemblage and detrital clinopyroxene and detrital apatite analyses. *Journal of Afr Earth Science*. 89:56–71.
- McLennan, S. M., 1993- Weathering and global denudation. *Geology*, 101: 295–303.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDanniel, D. K. & Hanson, G. N., 1993- Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. In: Johnsson, M.J., Basu, A. (eds.). *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Geological Society of America, Special Paper, 285:21-40.
- Muller, G., 1969- Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geology*, 2:109–118.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R., 1987- *Sand and Sandstone*, 2nd ed. Springer-Verlag, 553p.
- Potter, P. E., 1978- Petrology and chemistry of modern big river sands. *Geology*, 86: 423–449.
- Roddaz, M., Viers, J., Brusset, S., Baby, P., Boucayrand, C. & Herail, G., 2006- Controls on weathering and provenance in the Amazonian foreland basin: insights from major and trace element geochemistry of Neogene Amazonian sediments. *Chemical Geology*, 226: 31-65.
- Rollinson, H. R., 1993- *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific and Technical, New York. 352 p.
- Roser, B. P. & Korsch, R. J., 1986- Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and KO ratio. *Journal of Geology*, 94 (5): 635-650.
- Roser, B. P. & Korsch, R. J., 1988- Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, 67:119–139.
- Sahandi, M. R. & Huber, H., 1962- *Geology Compilation Map of Kuh-i- Birg*, 1:250,000, N.I.O.C.
- Spencer, J. E., 2000- Arsenic in ground water. *Arizona Geology*. Arizona Geological Survey, 30(3), 1-4.
- Stocklin, J., 1974- Possible ancient continental margin in Iran. In: Burk. C. A and Drak. C. L. (Eds). *The Geology of Continental Margines*. Springer, New York, 873-887.
- Tao, H., Wang, Q., Yang, X. & Jiang, L., 2013- Provenance and tectonic setting of Late Carboniferous clastic rocks in West Junggar, Xinjiang, China: A case from the Hala-alat Mountains. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64: 210-222.
- Taylor, S. R. & McLennan, S., 1985- *The Continental Crust: Its composition and Evolution*. Oxford, Blackwell, 312p.
- Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H., 1961- Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72: 175–192.
- U. S. Environmental Protection Agency, 2001- Total coliform rule- A quick reference guide, Office of water, 816: 01-033.
- Willams, T. P., Bubbs, J. M. & Lester, J. N., 1994- Metal accumulation within saltmarsh environments: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 28: 277-290.

# Geochemistry of Streambed Sediments of Sarbaz River, South East of Iran: Determining Sediment Provenance and its Impact on Possible Environmental Pollution

M. Shahraki <sup>1</sup>, M. H. Mahmudy Gharaie <sup>2\*</sup>, R. Moussavi-Harami <sup>3</sup> & A. Ahmadi <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Department of Geology, International Campus, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Associated Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>3</sup> Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

Received: 2014 July 01

Accepted: 2015 May 05

## Abstract

In this research the catchment of the Sarbaz river, SE Iran, has been studied to determine sediment provenance and its possible pollution potential. 30 sediment samples collected from the riverbed were analyzed for major and trace elements, using combined XRF and AAS methods. Based on major and trace element data and identification charts the sediments are identified to be of litharenite composition. Quartz-rich sedimentary and intermediate igneous origin and island arc tectonic setting is proposed for the sediments, mainly inferred from discrimination diagrams. Regarding the hazardous potential of metals and metalloids, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb, Se, V and Zn were studied from 30 locations. Pb, Cd and As concentrations measured respectively in 7, 10 and 20 locations are more than concentrations of the same elements in the world riverbeds. In this research, the polluted sediments were evaluated using the geo-accumulation index (I<sub>geo</sub>). Based on this index, Cd, Pb, Zn and Cu show some degrees of pollution, while other elements are evaluated to be less pollutant. Statistic analysis show strong correlation between studied elements. Volcanic activity in north of the Makran zone can readily justify the common origin of the contaminants in the catchment of the Sarbaz river. Chromium is most probably originated from the nearby Makran ophiolites. It is concluded that geological factors have mainly been the controlling factors for the sediment pollution in the Sarbaz catchment.

**Keywords:** Geochemistry, Geo-accumulation index, Sediment pollution, Sarbaz catchment.

For Persian Version see pages 237 to 250

\*Corresponding author: M. H. Mahmudy Gharaie; E-mail: [mhmgharaie@um.ac.ir](mailto:mhmgharaie@um.ac.ir)