

بررسی ژئوشیمی رسوبات ناشی از سیلاب‌های ورودی به تالاب هامون

چکیده

هدف از اجرای این پژوهش بررسی ژئوشیمی رسوبات معلق ناشی از سیلاب‌های ورودی به تالاب هامون بود. بدین منظور نمونه‌هایی از رسوبات معلق سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان در ابتدای رودخانه هیرمند و همچنین از رسوبات سطحی بستر ورودی به تالاب هامون برداشت شد. این نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه بر اساس روش XRF تجزیه و تحلیل شد و غلظت عناصر $Ce, Pb, Zn, As, Cr, Cu, Ni, Mo, Y, V, Co$ مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این با استفاده از مطالعات صورت گرفته در کشور افغانستان، نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای، منشاء ژئوشیمی این عناصر در کشور افغانستان تعیین شد. با توجه به اینکه عناصر فلزی و شبه فلزی اهمیت زیادی در رابطه با آلودگی‌های زیست محیطی دارند انواع آنها مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از شاخص زمین انباشت (I_{geo})، میزان آلودگی این عناصر نیز تعیین شد. محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر در طبقه‌بندی شدت آلودگی رسوبات نشان داد که رسوبات حمل شده به تالاب هامون نسبت به عناصر $Ni, Pb, Mo, Zn, As, Cu, Cr, Y$ و V درجاتی از آلودگی (به ترتیب $1/12, 1/10, 1/11, 1/18, 1/71, 1/66, 1/6, 1/53, 1/38, 1/16$) را دارد و نسبت به عناصر Co و Ce غیر آلوده است. همچنین یافته‌ها نشان داد که عوامل زمین‌ساختی و فعالیت‌های انسانی از مهم‌ترین علل آلودگی رسوبات معلق به عناصر مورد ارزیابی می‌باشد.

واژگان کلیدی: رسوب معلق، تالاب هامون، ژئوشیمی رسوبات، عناصر آلاینده.

معین جهان تیغ^{۱*}

منصور جهان تیغ^۲

^۱ دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه گرگان، گرگان، ایران
^۲ دانشیار مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران.

*مسئول مکاتبات:

moienja23@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

کد مقاله: ۱۳۹۸۰۱۰۶۷۷

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

مقدمه

واقع شدن ایران در ناحیه‌ی جغرافیایی خشک جهان با ریزش‌های جوی و پراکنش نا مناسب، باعث شده تا جریانات سیلابی تامین کننده بخش عمده‌ای از نیاز آبی در مناطق خشک و نیمه خشک باشد (جهان تیغ، ۱۳۹۲). اما این درحالی است که سیلاب‌ها بخش زیادی از مواد فرسایش یافته را از مناطق بالادست به صورت بار معلق و بار بستر به نقاط پایین دست منتقل می‌نماید که پیامدهای زیادی در مقصد به دنبال دارد. از جمله پیامدهای حمل رسوبات این است که منبع بالقوه‌ای برای آلودگی به‌شمار می‌روند (Westrich et al., 2007). بطوریکه رسوبات، محل نهایی تجمع عناصر آلاینده در محیط آبی‌اند و انتشار عناصر آلاینده و انتقال آلودگی، خسارات زیانباری به منابع طبیعی و محیط زیست وارد می‌سازد که همواره حیات انسان را نیز تهدید می‌نماید (ذاکری و صادقی، ۱۳۹۲). بررسی ژئوشیمیایی رسوبات موجود در پیکره‌های آبی از جمله رودخانه‌ها، می‌تواند گام موثری در شناخت منشاء عناصر موجود در رسوبات و نیز ارزشیابی زیست محیطی وضعیت آلاینده‌ها در یک منطقه باشد. بطوریکه داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آواری، منبع اطلاعاتی مهمی برای مطالعه آنها از دید رسوبی و زیست محیطی است (Rollinson, 1993). ترکیب شیمیایی این رسوبات محصول پایانی عوامل مختلف زمین‌شناسی مانند جایگاه زمین‌ساختی، ترکیب سنگ منشا، شدت هوازدگی و کانی شناسی در طی حمل و رسوب‌گذاری و نیز فعالیت‌های انسانی است (Roddaz et al., 2006). مطالعات متعددی در زمینه بررسی ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای صورت گرفته است. به عنوان مثال Forstner (۲۰۱۰) بررسی ژئوشیمی رسوبات را به عنوان ابزاری کار آمد برای ارزیابی آلودگی اعلام و از آن در حوضه آبریز رود باریگویی در برزیل استفاده نمود. Ghrefat و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی ژئوشیمی رسوبات سد آل عرب اردن، غلظت عناصر روی، کادمیوم، منگنز، آهن و مس را با استفاده از روش XRF مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های این



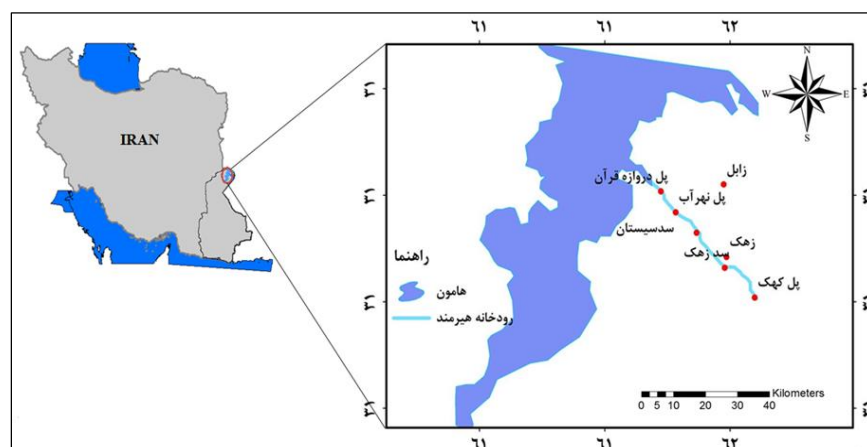
تحقیق بیانگر آلوده بودن رسوبات این سد نسبت به عناصر روی و کادمیوم بود که علت اصلی آلوده‌گی رسوبات را منابع انسانی نزدیک سد مانند کودها، آفت‌کش‌ها و پساب مراکز درمانی شهر ایربید گزارش نموده‌اند. نتایج تحقیق Liu و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای در شرق چین با تجزیه و تحلیل شاخص ریسک زیست‌محیطی نشان داد که، مقادیر غلظت آرسنیک، کادمیوم و جیوه بیشتر و مقادیر عناصر کروم، نیکل، مس، روی و سرب کمتر از حد مجاز تعیین شده بود. Mahiques و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی ژئوشیمی موادآلی و معدنی منشاء رسوبات و محدوده انتشار آنها، ضریب نسبت فلزات ویژه مانند (Ti/Al) و (Fe/K) را در حاشیه خلیج پائولو برزیل مورد استفاده قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که تجزیه و تحلیل مواد آلی در رسوبات بستر، قادر به تشخیص وسعت محدوده انتشار فلزات در خارج از فلات قاره و جریان‌ات رودخانه‌ای می‌باشد. در مطالعات صورت گرفته در ایران نتایج تحقیقات قاسمی (۱۳۹۲) در بررسی ژئومورفولوژی و رسوب‌شناسی بخش شرقی دشت مختاران خراسان جنوبی با استفاده از روش XRF نشان داد که رسوبات منطقه مورد مطالعه آلوده به عناصر سنگین نیکل، کروم و آرسنیک و همچنین نیز مقادیر بالای اکسیدهای آهن و منیزیم بود که واحدهای زمین‌شناسی، منشاء اصلی این آلودگی‌ها گزارش شده است. سبحان اردکانی و همکاران (۱۳۹۳) با ارزیابی غلظت عناصر آهن، سرب، کادمیوم و مس در رسوبات تالاب میقان با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر و تجزیه و تحلیل آماری آنها دریافتند که میانگین غلظت عناصر آهن، سرب، کادمیوم و مس در ایستگاه‌های مورد بررسی دارای اختلاف معنی‌دار و رسوبات رودخانه مورد مطالعه نسبت به عناصر مورد ارزیابی دارای آلودگی می‌باشد. در تحقیقی دیگر شهرکی و همکاران (۱۳۹۴) ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه سرباز در جنوب خاور ایران را به منظور تعیین منشا رسوب‌ها و تاثیر آن بر آلودگی‌های زیست محیطی، با استفاده از روش XRF مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت عناصر سرب، کادمیوم و آرسنیک در رسوبات بالا و بر اساس شاخص زمین انباشت (I_{geo}) این عناصر در محدوده مورد مطالعه، بیشترین آلودگی را ایجاد نموده‌است. بررسی پیشینه تحقیق نشان داد مطالعه ژئوشیمی رسوبات، راهکاری مناسب برای شناخت منشاء رسوبات و همچنین تعیین عناصر آلاینده‌ها در محیط زیست است. سیلاب ناشی از بارش‌های صورت گرفته در کشور افغانستان از طریق رودخانه هیرمند وارد منطقه سیستان و به تالاب هامون منتهی می‌گردد. این رودخانه تأمین کننده آب کشاورزی، شرب و مصارف صنعتی در منطقه سیستان است (ابراهیم زاده و همکاران، ۱۳۸۳). بار رسوبی بالای رودخانه هیرمند (۵۰-۳۰ گرم در لیتر) سالانه حجم زیادی از رسوبات را طی جریان‌های سیلابی وارد ایران می‌نماید. با توجه به نبود مطالعات صورت گرفته در زمینه ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای در منطقه سیستان و همچنین نقش حیاتی رودخانه هیرمند در بقاء ساکنان منطقه، انجام چنین مطالعه‌ای در منطقه سیستان امری ضروری است. از طرفی وقوع خشکسالی‌ها اخیر و شرایط نامناسب آب و هوایی با وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و به تبع آن زمینه‌ای مناسب برای انتشار آلودگی در منطقه، ضرورت انجام چنین مطالعه‌ای را در منطقه سیستان دو چندان می‌نماید تا نتایج آن مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی جهت کاهش مضرات ناشی از آلودگی در منطقه سیستان باشد. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی ژئوشیمی رسوبات رودخانه هیرمند، به منظور تعیین منشاء ژئوشیمی رسوبات و عناصر آلاینده به تالاب هامون بود.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در بازه رودخانه سیستان و در نوار مرزی ایران و افغانستان (منطقه کهک در حد فاصل ۱۰ کیلومتری شهر زهک) تا محدوده شهر زابل که خروجی آن به سمت تالاب هامون می‌باشد واقع شده است (شکل ۱). این منطقه در حد واسط ۶۰ درجه و ۱۶ دقیقه و ۴۴ ثانیه تا ۶۱ درجه و ۴۹ دقیقه و ۴۴ ثانیه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۸ دقیقه و ۳۳ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۲ دقیقه و ۶ ثانیه عرض شمالی و با دامنه ارتفاعی ۲۲۰۰-۴۸۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. وسعت حوزه‌های آبریز بالا دست محدوده مورد مطالعه که در خاک افغانستان قرار دارد حدود ۱۱۲ هزار کیلومتر مربع می‌باشد. متوسط بارندگی منطقه مورد مطالعه ۶۰ میلی‌متر در سال است که بیشترین آن در فصل زمستان ریزش می‌نماید. میانگین درجه حرارت، متوسط حداکثر و حداکثر مطلق سالیانه به ترتیب ۱۸، ۲۵، ۴۳ درجه سانتی‌گراد است. این محدوده دارای تبخیر

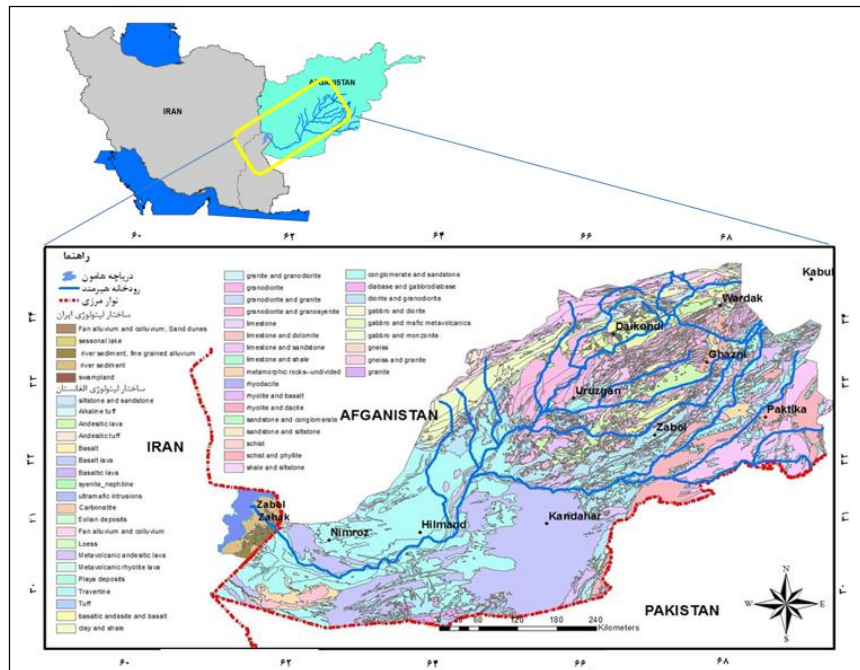
و تعرق بالا و رطوبت کمی است. بطوریکه متوسط رطوبت سالانه آن ۲۸ درصد و تبخیر و تعرق آن حدود ۵ متر گزارش شده است که ۳ متر آن در ماه‌های بحرانی (خرداد، تیر و مرداد) سال انجام می‌پذیرد. با توجه به شرایط اکولوژیکی، محدوده مورد بررسی جزء مناطق خشک و بحرانی کشور محسوب می‌گردد. پوشش گیاهی منطقه فقیر و از نوع شورپسند می‌باشد. بستر رودخانه هیرمند در داخل ایران مربوط به دوره‌های نئوژن-کواترنری و دارای آبرفت‌های ریز، رسوبات رودخانه‌ای، تپه‌های ماسه‌ای، مخروط افکنه جوان، پهنه‌های گراولی و پادگانه می‌باشد. مهم‌ترین مشخصه آب و هوایی در این نقطه از کشور، وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است که از اواسط خرداد ماه شروع به وزیدن می‌کند و تا اوایل مهرماه ادامه دارد که از عواقب آن نیز می‌توان به انتقال شن و ماسه، تشدید فرسایش، ازحیز ارتفاع خارج شدن زمین‌های زراعی، کاهش محصول در واحد سطح و افزایش میزان تبخیر اشاره کرد (جهان‌تیغ، ۱۳۸۷). رودخانه هیرمند که از کشور افغانستان سرچشمه گرفته و طولی‌ترین رود بین سند و فرات است از جمله رودخانه‌های فصلی و حیاتی ایران بشمار می‌رود (بریمانی و اصغری لقمجانی، ۱۳۸۹).

حداقل و حداکثر آورد رودخانه هیرمند در ایران به ترتیب حدود ۲۵ تا ۱۶۴۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که با توجه به بار رسوبی بالای آن (۳۰-۵۰ گرم در لیتر) حجم زیادی از رسوبات (بیش از ۳ میلیون تن) را طی هر جریان سیلابی وارد ایران (رودخانه سیستان) می‌نماید (جهان‌تیغ و همکاران، ۱۳۹۶).



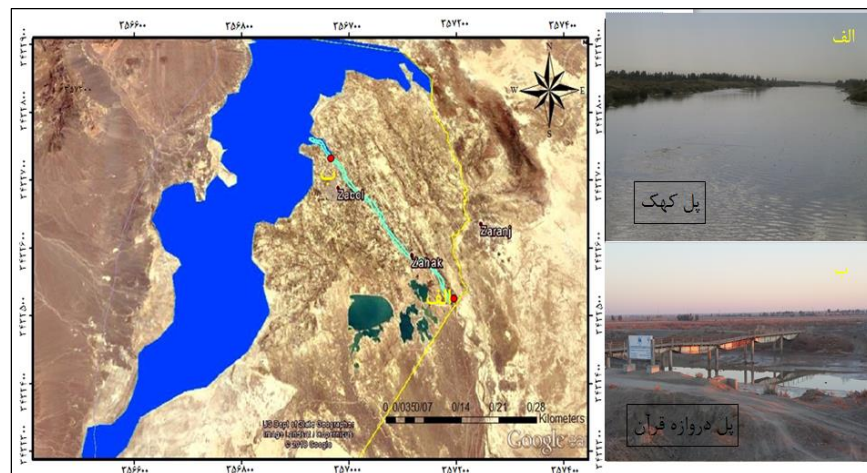
شکل ۱: موقعیت رودخانه هیرمند در کشور و استان.

فرآیند انجام این پژوهش در دو بخش منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای صورت گرفته است. بطوریکه به منظور بررسی منشأ ژئوشیمی رسوبات معلق رودخانه هیرمند، ابتدا با زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره لندست در نرم افزار جی آی اس، کل حوزه آبریز رودخانه هیرمند که از کوه‌های بابا در غرب کابل منشأ و در ایران پس از ورود به شاخه سیستان به تالاب هامون ختم می‌گردد، مشخص و سیستم آبراهه آنها پلی‌گون‌بندی شد. سپس با تعیین بلوک‌های تشکیل دهنده حوزه آبریز هیرمند در کشور افغانستان (شامل بلوک کابل، بلوک هلمند و بلوک فاراد) زمین‌شناسی آن مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این موضوع با استفاده از مطالعات صورت گرفته توسط سازمان ملل، گزارش‌ها و مقالات معتبر ارائه شده ساختار زمین‌شناسی، ترکیبات شیمیایی و حساسیت‌پذیری آنها مورد بررسی قرار گرفت (Suleman, 2016; John and Shroder, 2012; UNEP, 2008; Ministry of Mines and Industry Joint Mineral Resource Assessment Team, 2007; AIMS, 2005; Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region, 1995; Theng, 1979; Watts and Mcouat, 1977). با مشخص کردن مسیر و ساختار زمین‌شناسی رودخانه هیرمند در داخل ایران، مسیر جریان رودخانه‌های حوزه آبریز هیرمند بر روی ساختار زمین‌شناسی دو کشور ایران و افغانستان مشخص شد (شکل ۲).



شکل ۲: مسیر جریان رودخانه هیرمند بروی ساختار زمین‌شناسی ایران و افغانستان.

در ادامه طی عملیات میدانی در داخل ایران، بازدید میدانی از منطقه صورت گرفت و شرایط اکولوژیکی و زیست محیطی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. سپس مناطقی که دسترسی و امکان نمونه‌برداری در طول مسیر رودخانه میسر بود مشخص شد. بدین منظور به صورت میدانی رسوب معلق مورد نیاز به هنگام جاری شدن سیل از کشور افغانستان از آبان سال ۱۳۹۵ تا اسفند ۱۳۹۶ سیلاب‌هایی که وارد ایران (رودخانه سیستان) گردیده نمونه برداری شد. نمونه‌برداری به روش انتگرالسیون عمقی با ظروف پلاستیکی در دبی‌های مختلف در طول تدام جریان سیلاب در اولین نقطه ورود سیلاب به کشور (پل کهک) انجام شد (Edwards and Glysson, 1999). پس از هر بار نمونه برداری محتویات آنها درون ظروف پلاستیکی استریل همراه با برچسب تخلیه گردید. (سبحان اردکانی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین با پایان یافتن سیلاب ورودی به رودخانه هیرمند تعدادی نمونه رسوب سطحی از بستر رودخانه (با استفاده از نمونه‌بردار دستی)، منتهی به تالاب هامون به صورت تصادفی از بخش غیرآشفته و مرطوب برداشت شد (شهرکی و همکاران، ۱۳۹۴). شکل (۳) محل برداشت رسوبات معلق و نیز رسوبات سطحی بستر رودخانه هیرمند (رودخانه سیستان) را نشان داده است.



شکل ۳: محل برداشت رسوبات معلق و نیز رسوبات سطحی بستر رودخانه هیرمند.

الف: پل کهک، محل برداشت رسوبات معلق سیلاب در اولین نقطه ورود سیلاب از کشور افغانستان به ایران و دارای ایستگاه هیدرومتری
ب: پل دروازه قرآن، محل برداشت رسوبات سطحی از بستر رودخانه ۶۰ کیلومتر فاصله نسبت به نقطه اول و فاقد ایستگاه هیدرومتری

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه جهت آماده سازی نمونه‌های رسوب معلق پس از گذشت مدت زمان ۲۴ ساعت، آب مازاد نمونه‌ها (روش تخلیه آزاد) تخلیه شد. برای تعیین ژئوشیمی رسوبات از ۶۵ نمونه رسوب برداشت شده تعداد ۲۰ نمونه انتخاب (۱۲ نمونه رسوب معلق و ۸ نمونه رسوب انباشت شده در بستر رودخانه) و به منظور حذف بخش کربناتی و خرده‌های فسیلی اسیدشویی و پس از خشک و توزین (الک ۶۳ میکرون) برای هریک از نمونه‌ها، پودر تهیه شد. اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی در آزمایشگاه شرکت کانسار بینالود توسط دستگاه XRF بر اساس روش LW03 صورت گرفت (شهرکی و همکاران، ۱۳۹۴). سپس عناصر فلزی و شبه فلزی همانند Ni (نیکل)، Cu (مس)، Cr (کروم)، As (آرسنیک)، Zn (روی)، Pb (سرب)، Ce (سریوم)، Co (کبالت)، V (وانادیوم)، Y (ایتریوم) و Mo (مولیبدن) به منظور انجام محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند. برای ارزیابی آلاینده‌های رسوبات سطحی برداشت شده از پهنه‌های رسوبی از شاخص ژئوشیمیایی مولر (I_{geo}) (رابطه ۱) استفاده شد (Muller, 1969). این شاخص برای اندازه‌گیری و تعریف آلودگی رسوبات، توسط مقایسه غلظت‌های کنونی یک عنصر با میزان آن ماده قبل از صنعتی شدن در رسوبات، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$I_{geo} = \log_2 (Cn / 1.5 \times Bn) \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن Cn غلظت عناصر سنگین اندازه‌گیری شده در رسوبات، Bn مقدار زمینه عنصر در میانگین شیل‌ها و عدد ۱/۵ ضریب تصحیح اثرات سنگ‌شناسی است. لازم به ذکر است که در این تحقیق به دلیل عدم وجود سوابق مطالعاتی در منطقه، در محاسبه شاخص مولر از مقادیر مرجع ارائه شده در میانگین شیل‌ها توسط Turekian و Wedepohl (۱۹۶۱) استفاده شده است. در طبقه‌بندی شدت آلودگی عناصر از جدول زیر استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱: شاخص زمین انباشت و رده‌بندی آلودگی رسوب‌ها (مولر، ۱۹۶۱).

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

به منظور مقایسه غلظت عناصر فلزی و شبه فلزی در نمونه‌های رسوب معلق با مقادیر میانگین پوسته قاره‌ای ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی و به منظور مقایسه از آزمون تی تک نمونه‌ای در نرم افزار spss 23 استفاده شد. همچنین جهت تعیین ارتباط میان عناصر با یکدیگر و منشاء احتمالی آنها، ضرایب همبستگی و تجزیه خوشه‌ای عناصر، محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج

مقادیر تجزیه اکسیدهای اصلی، عناصر فلزی و شبه فلزی رسوبات رودخانه هیرمند پس از انجام آزمایش xrf به ترتیب در جدول (۲ تا ۳) ارائه شده است. مهمترین اکسیدهای اصلی در نمونه‌ها وجود مقادیر بسیار زیاد SiO_2 (با مقدار میانگین ۴۹/۴۵ درصد)، Al_2O_3 (با مقدار میانگین ۱۴/۵۴ درصد)، CaO (با مقادیر میانگین ۷/۷۵ درصد) و Fe_2O_3 (با مقادیر میانگین ۶/۸۷ درصد) بود. در مقابل اکسیدهای MnO ، TiO_2 ، MgO ، Na_2O ، K_2O و P_2O_5 مقادیر میانگین کمتر از ۵ درصد داشتند.

بررسی مقایسه آماری میانگین غلظت عناصر فلزی و شبه فلزی مورد ارزیابی در رسوبات معلق حمل شده در سیلاب‌ها با پوسته قاره‌ای، نشان داد که میانگین غلظت عناصر Ni ، Cu ، Cr ، As ، Zn ، Pb ، Co و Mo در رسوبات حمل شده نسبت به میانگین پوسته قاره‌ای اختلاف معنی‌دار داشته و بیشتر از مقادیر پوسته قاره‌ای می‌باشد ($P < 0.05$) در حالیکه مقادیر عناصر Ce و Y با میانگین پوسته قاره‌ای اختلاف معنی‌داری نداشته است (جدول ۴).

 جدول ۲: مقادیر درصد اکسیدهای اصلی و $L.O.I$ رسوبات رودخانه هیرمند.

نمونه ها	P_2O_5	Mn	Ti	Mg	K_2O	Na_2O	Ca	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	$L.O.I$
۱ *	۱۵۵	۱۲۱	۶۲۷	۵۲	۱۹	۵۸	۷۵	۱۲۶	۱۶۱	۷۲	۳۳
	۰/	۰/	۰/	۴	۲	۷	۷	۵	۴۶	۱۳	
۲ *	۱۳۳	۱۲۵	۶۳۶	۴۲	۱۳	۶۶	۳۶	۶۷۱	۱۰۷	۵۵	۱۸
	۰/	۰/	۰/	۴	۲	۷	۷	۵	۴۹	۱۲	
۳ *	۱۱۷	۱۳۱	۶۳۸	۴۳	۱۷	۶۳	۸	۶۷۵	۱۰۳	۲۶	۱۸
	۰	۰/	۰/	۴	۲			۵	۴۷	۱۳	

Loss on ignition -۱

۴*	۱۲۲	۱۱۷	۶۳۷	۴/۱	۱/۷۲	۰/۱۷۸	۹/۴	۶/۶۳	۱/۱۷۸	۵/۵	۴/۲
۰/	۰/	۰/	۰/	۲	۷	۴	۳	۴	۴۹	۱۲	۱۳
۵*	۱۷۱	۱۲۷	۶۶۵	۶/۱	۰/۵۵	۰/۲	۰/۱۵	۶/۱۵	۱/۰۲	۲/۵	۴/۶
۰/	۰/	۰/	۰/	۳	۸	۶	۱	۶	۴۶	۱۳	۱۳
۶*	۱۴۸	۱۳۳	۶۴۳	۴/۵	۰/۷۶	۰/۵۱	۶/۸۱	۱/۰۶	۱/۳۶	۱/۱۱	۱/۱۱
۰/	۰/	۰/	۰/	۲	۷	۵	۴	۴۹	۱۲	۱۳	۱۳
۷*	۱۳۶	۱۳۳	۶۵۴	۴/۵	۰/۶۳	۰/۲۸	۱/۲۱	۱/۳۷	۱/۳۴	۱/۴۷	۱/۴۷
۰/	۰/	۰/	۰/	۲	۷	۵	۴	۴۸	۱۴	۱۴	۱۴
۸*	۱۴۲	۱۲۵	۶۲۳	۳/۲	۰/۵۷	۰/۷۷	۶/۶۲	۱/۹۱	۱/۳۹	۱/۳۳	۱/۳۳
۰/	۰/	۰/	۰/	۲	۸	۴	۴	۴۷	۱۳	۱۳	۱۳
۹*	۱۷۵	۱۱۳	۶۵۴	۴/۹	۰/۵۹	۰/۱۷	۷/۰۱	۱/۵۴	۱/۰۱	۱/۱۱	۱/۱۱
۰/	۰	۰/	۰/	۲	۸	۵	۴	۴۷	۱۳	۱۳	۱۳
۱۰*	۱۳۵	۱۳۳	۶۲۷	۴/۵	۰/۶۶	۰/۱۹	۶/۷۲	۱/۲۱	۱/۶۵	۱/۲۱	۱/۲۱
۰/	۰/	۰/	۰/	۲	۸	۵	۴	۴۷	۱۳	۱۳	۱۳
۱۱*	۱۳۴	۱۳۱	۶۲۱	۳/۴	۰/۶۱	۰/۷۱	۷/۱	۱/۰۹	۱/۸۳	۱/۱۱	۱/۱۱
۰/	۰/	۰/	۰/	۲	۸	۵	۴	۴۷	۱۳	۱۳	۱۳
۱۲	۱۳۷	۱۳۵	۶۱۴	۵/۳	۰/۶۳	۰/۱۳	۶/۹۳	۱/۸۳	۱/۵۶	۱/۹۸	۱/۹۸
۰/	۰/	۰/	۰/	۲	۸	۵	۴	۴۶	۱۲	۱۲	۱۲
**	۱۲۸	۱۲۹	۶۱۱	۹/۳	۰/۶۴	۰/۷۴	۷/۱۳	۱/۴۳	۱/۳۱	۱/۱۲	۱/۱۲
۰/	۰/	۰/	۰/	۲	۳	۵۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
**	۰/۷۵	۱۴۶	۵۷۳	۴/۲	۱/۳۷	۱/۵۶	۶/۸۹	۱/۶۷	۱/۱۹	۱/۰۱	۱/۰۱
۰/	۰/	۰/	۰/	۲	۶	۴	۴	۵۰	۱۲	۱۲	۱۲
**	۰/۹۸	۱۶۳	۲۸۹	۳/۵	۱/۴	۱/۳	۷/۴	۱/۹۴	۱/۳۶	۱/۲۵	۱/۲۵
۰/	۰/	۰/	۰/	۲	۴	۳	۳	۵۳	۹	۹	۹
**	۰/۰۹	۱۰۷	۴/۱	۶/۳	۱/۵۶	۱/۹۱	۷/۵	۶/۴۹	۱/۷۱	۱/۸۲	۱/۸۲
۰	۰	۰	۰	۴	۱	۳	۳	۵۲	۱۰	۱۰	۱۰
**	۰/۰۴	۱/۱۱	۱/۱۴	۰/۰۹	۲/۱	۰/۸۹	۷	۷/۱	۱۳/۲	۱/۰۱	۱/۰۱
۰	۰	۰	۰	۴	۲	۱	۷	۵۱	۱	۱	۱
**	۱/۱۱	۱/۱۳	۳/۱	۱/۸۶	۱/۱	۸/۹	۶/۹	۱۲/۸	۱	۱/۵	۱/۵
۰	۰	۰	۰	۴/۱	۱/۱	۱/۱	۸/۹	۶/۹	۱۲/۸	۱	۱
**	۰/۹۷	۱/۱۲	۴/۱	۵/۶	۰/۰۷	۱/۴۵	۷/۴	۷/۱	۱۱/۳	۱۲	۱۲
۰/	۰	۰	۰	۳	۲	۱/۴۵	۷/۴	۷/۱	۱۱/۳	۱۲	۱۲
**	۰/۰۷	۱/۱۰	۳/۹	۱/۳۹	۱/۰۷	۱/۱۳	۸/۲	۵/۸	۱۳/۴	۱۱	۱۱
۰	۰	۰	۰	۴/۱	۱/۸	۱/۱۳	۸/۲	۵/۸	۱۳/۴	۱۱	۱۱
میان	۱/۱۲	۱/۱۷	۱/۵۴	۲/۹	۱/۵۵	۰/۸۵	۱/۷۵	۶/۸۷	۱۴/۵	۱/۷۷	۱/۷۷
گین	۰	۰	۰	۴	۲	۷	۷	۴۹	۱۲	۱۲	۱۲

** نمونه رسوب معلق؛ * نمونه رسوب بستر رودخانه

جدول ۳: مقادیر عناصر فلزی و شبه فلزی رسوبات رودخانه هیرمند.

نمونه‌ها	Ni	As	Pb	Cr	Y	V	Co	Ce	Zn	Cu	Mo
۱*	۱۴۶	۱۱	۲۶	۱۳۶	۲۹	۱۹۷	۴	۷۱	۱۱۳	۷۵	۷
۲*	۱۴۵	۵	۲۵	۱۴۶	۳۵	۱۸۶	۵	۴۶	۱۰۳	۶۹	۵
۳*	۱۵۰	۵	۲۷	۱۴۰	۲۸	۲۵۰	۶	۳۷	۱۱۰	۷۳	۶
۴*	۱۳۳	۵	۳۰	۱۳۵	۲۶	۱۵۹	۵	۵۸	۹۹	۷۰	۸
۵*	۱۵۰	۳	۱۴	۱۴۳	۳۴	۲۱۹	۲	۶۶	۱۰۸	۷۷	۶

۶	۷۸	۱۰۴	۶۷	۲	۲۱۹	۲۷	۱۴۸	۲۱	۶	۱۴۲	۶*
۵	۷۴	۱۰۷	۷۴	۴	۲۱۰	۲۵	۱۴۸	۲۵	۱۸	۱۵۱	۷*
۶	۶۸	۱۰۲	۵۵	۲	۱۷۹	۳۶	۱۴۵	۱۹	۱۲	۱۲۸	۸*
۷	۷۳	۱۰۳	۶۲	۳	۲۱۷	۲۹	۱۴۶	۲۵	۱۵	۱۴۸	۹*
۷	۷۳	۱۰۲	۳۹	۳	۲۱۴	۲۸	۱۲۸	۲۸	۱۳	۱۴۱	۱۰*
۵	۷۳	۱۰۴	۴۹	۴	۲۱۳	۲۹	۱۳۹	۲۱	۱۴	۱۴۲	۱۱*
۶	۷۵	۱۰۲	۵۵	۲	۲۱۵	۳۴	۱۲۸	۱۹	۱۲	۱۴۶	۱۲*
۷	۱۱۲	۲۴۱	۴۹	۴	۲۱۱	۴۱	۱۶۰	۵۳	۲۳	۱۶۰	۱۳**
۶	۱۰۱	۲۵۴	۵۵	۲	۲۱۰	۵۳	۱۷۳	۵۶	۳۱	۱۸۴	۱۴**
۷	۹۱	۱۹۳	۵۶	۲	۱۹۱	۶۱	۲۱۱	۶۴	۳۳	۲۰۴	۱۵**
۸	۱۰۸	۲۵۱	۵۹	۳	۲۰۵	۵۲	۱۹۲	۶۴	۲۹	۱۹۷	۱۶**
۶	۱۱۲	۲۳۱	۴۴	۱	۲۳۱	۴۱	۲۳۱	۶۱	۳۶	۲۵۲	۱۷**
۸	۱۰۷	۲۵۲	۴۱	۲	۲۴۱	۴۲	۲۱۰	۵۹	۳۱	۲۳۱	۱۸**
۷	۱۰۰	۲۳۱	۴۲	۳	۲۳۹	۴۵	۲۱۱	۶۱	۲۸	۲۴۱	۱۹**
۹	۹۵	۲۱۸	۵۷	۴	۲۱۶	۶۰	۱۸۴	۶۳	۳۳	۱۹۸	۲۰**

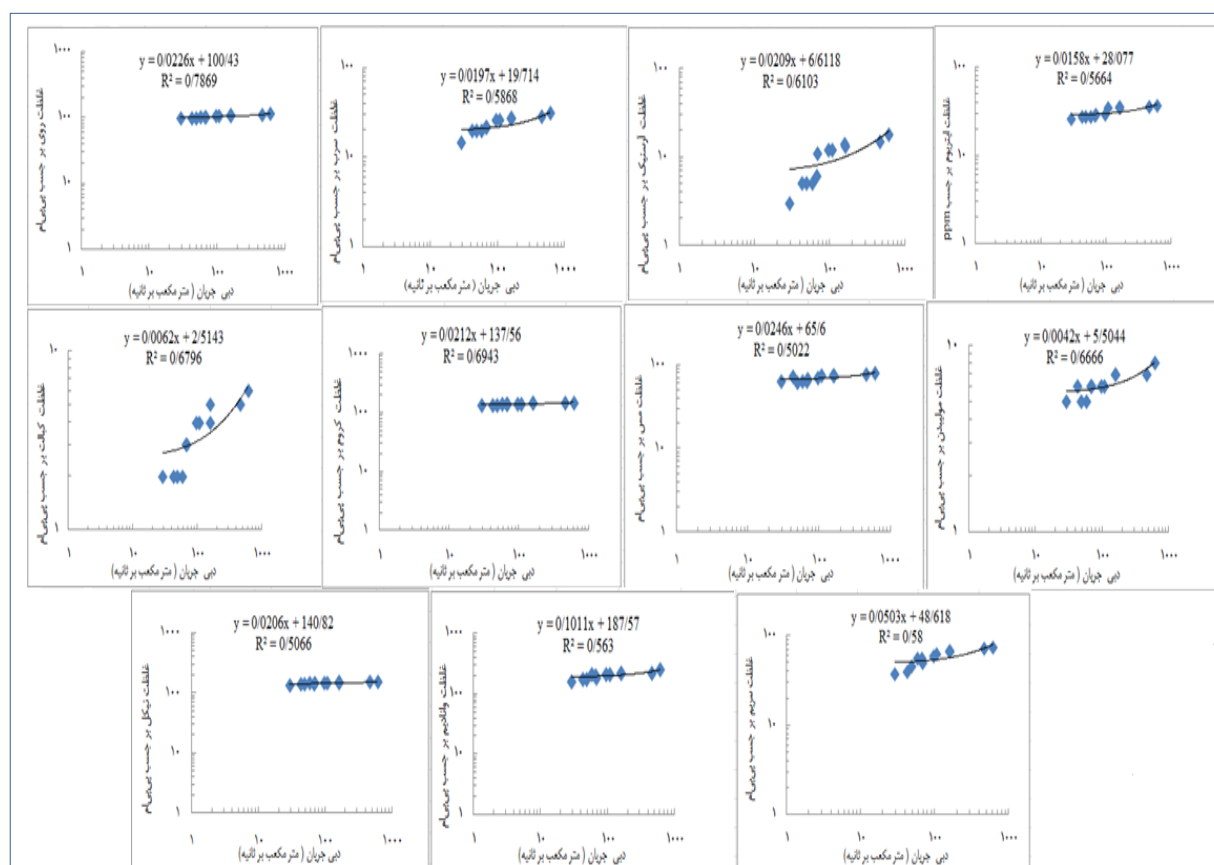
** نمونه رسوب معلق، * نمونه رسوب بستر رودخانه

جدول ۴: نتایج مقایسه آماری میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی در رسوبات معلق با پوسته قاره‌ای.

عناصر	تفاوت میانگین از پوسته	آماره t	df	sig	فاصله اطمینان (%۹۵)	حد بالایی	حد پایینی
Test ۷۵							
Value =							
Ni	۶۹/۲۳	۴۴/۶۲۳	۱۱	۰/۰۰۰	۶۵/۹۱	۷۳/۷۵	
Test ۵۵							
Value =							
Cu	۱۸	۲۰/۴۷	۱۱	۰/۰۰۰	۱۶/۰۶	۹۱/۹۳	
Test ۱۰۰							
Value =							
Cr	۴۱/۷۵	۳۰/۸۱	۱۱	۰/۰۰۰	۳۸/۷۶	۴۴/۷۳	
Test ۱/۸							
Value =							
As	۷/۸۶	۵/۲۱	۱۱	۰/۰۰۰	۴/۵۴	۱۱/۱۸	
Test ۷۰							
Value =							
Zn	۳۴/۷۵	۳۰/۲۴	۱۱	۰/۰۰۰	۳۲/۲۲	۳۷/۲۷	
Test ۱۳							
Value =							
Pb	۱۱	۸/۸۴	۱۱	۰/۰۰۰	۸/۲۶	۱۳/۷۳	
Test ۶۰							
Value =							
Ce	-۲	-۰/۶۴۴	۱۱	۰/۵۳۳	-۸/۸۳	۴/۸۳	
Test ۲۵							
Value =							
Co	-۲۰/۸۳	-۴۲/۵۳	۱۱	۰/۰۰۰	-۳۱/۹۱	-۱۹/۷۵	

				Test ۱۳۵		
				Value =		
۱۶/۳۶	۵۶/۶۳	۰/۰۰۰	۱)	۱۰/۵۸	۷۱/۵	V
				Test ۱۳۵		
				Value =		
۰/۱۴۵	-۴/۴۷	۰/۰۶۴	۱)	-۲/۰۶۳	-۲/۱۶	Y
				Test ۱/۵		
				Value =		
۵/۲۶	۴/۰۷	۰/۰۰۰	۱)	۱۷/۲۴	۴/۶۶	Mo

نتایج محاسبه مقادیر ضریب همبستگی (R^2)، بین عناصر مورد بررسی و دبی جریان سیلاب، نشان داد که همبستگی بالایی (۰/۶۱) بین متوسط دبی سیلاب با غلظت عناصر وجود داشت و با افزایش دبی جریان سیلاب، غلظت عناصر حمل شده نیز افزایش یافت (شکل ۴).



شکل ۴: رابطه بین دبی جریان رودخانه و غلظت عناصر.

شاخص ژئوشیمیایی مولر در طبقه‌بندی شدت آلودگی رسوبات به عناصر مورد ارزیابی، بیانگر آن بود که رسوبات حمل شده رودخانه هیرمند نسبت به عناصر $Cr, Cu, As, Zn, Mo, Pb, Ni$ و V درجتهی از آلودگی را نشان داد ولی نسبت به عناصر Co و Ce غیرآلوده بود (جدول ۵). بطوریکه عناصر نیکل و سرب دارای آلودگی متوسط و عناصر کروم، آرسنیک، مس، روی، وانادیم، ایتیریم و مولیبیدن نیز در طبقه غیرآلوده تا متوسط آلوده قرار دارند.

جدول ۵: مقادیر محاسبه شده شاخص مولر و طبقه‌بندی آلودگی رسوبات رودخانه به عناصر مورد ارزیابی.

عنصر	Min	Max	Mean ($\pm$ SD)	Mean in shale	شاخص مولر	وضعیت آلودگی
Ni	۱۶۰	۲۵۲	($\pm 27/45$) ۲۰۷/۱۱	۶۸	۱/۱۲	متوسط آلوده
Cu	۹۱	۱۱۲	۱۰۳/۲۵ ($\pm 27/27$)	۴۵	۰/۶	غیر آلوده تا متوسط آلوده
Cr	۱۶۰	۲۳۱	($\pm 21/94$) ۱۹۶/۵	۹۰	۰/۵۳	غیر آلوده تا متوسط آلوده
As	۲۳	۳۶	۳۰/۵ ($\pm 3/67$)	۱۳	۰/۶۶	غیر آلوده تا متوسط آلوده
Zn	۱۹۳	۲۵۴	($\pm 19/41$) ۲۳۳/۱۷	۹۵	۰/۷۱	غیر آلوده تا متوسط آلوده
Pb	۵۳	۶۴	۶۰/۱۲ ($\pm 2/68$)	۲۰	۱/۰۱	متوسط آلوده
Ce	۴۱	۵۹	۵۰/۳۷ ($\pm 6/81$)	۵۹	-۰/۸۲	غیر آلوده
Co	۱	۴	۲/۶۲ ($\pm ۰/۹۹۲$)	۱۹	-۳/۴	غیر آلوده
V	۱۹۱	۲۴۱	۲۱۸ ($\pm 16/40$)	۱۳۰	۰/۱۶۲	غیر آلوده تا متوسط آلوده
Y	۴۱	۶۱	۴۹/۳۷ ($\pm 7/76$)	۲۶	۰/۳۵۸	غیر آلوده تا متوسط آلوده
Mo	۳	۸	۵/۷۵ ($\pm 1/56$)	۲/۶	۰/۸۸	غیر آلوده تا متوسط آلوده

با تعیین مسیر رودخانه‌های حوزه آبخیز هیرمند بر روی ساختمان زمین‌شناسی کشور افغانستان، این گونه مشخص گردید که مسیر جریان رودخانه‌های فرعی و اصلی بر روی ساختمان زمین‌شناسی متشکل از سنگ‌های آندزیت، بازالت، سنگ آهک و دولومیت، کلسیت، سیلت سنگ، ماسه سنگ، شیلست، فیلیت، گرانودیوریت، کنگلومرا، توف آندزیتی، شیل، لس و نهشته‌های رسوبی قرار داشت. بلوک‌های تشکیل دهنده حوزه آبخیز هیرمند در کشور افغانستان (بلوک کابل، بلوک هلمند و بلوک فراد)، دارای واحدهای تکتونیکی پیچیده و عمدتاً چین خورده متشکل از رسوبات مس، کرومیت، افیولیت‌ها و ترکیبی از نهشته‌های رسوبی هوازده و حساس به فرسایش است. ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده این واحدها شامل: Au , Mn , Zn , Pb , Ag , Co , Cu , Cr , Rh , Pd , Os , Ir , Pt (عناصر گروه پلاتین شامل: PGE , MnO , TiO_2 , MgO , K_2O , Na_2O , CaO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , V , U و Ru) و P_2O_5 می‌باشد.

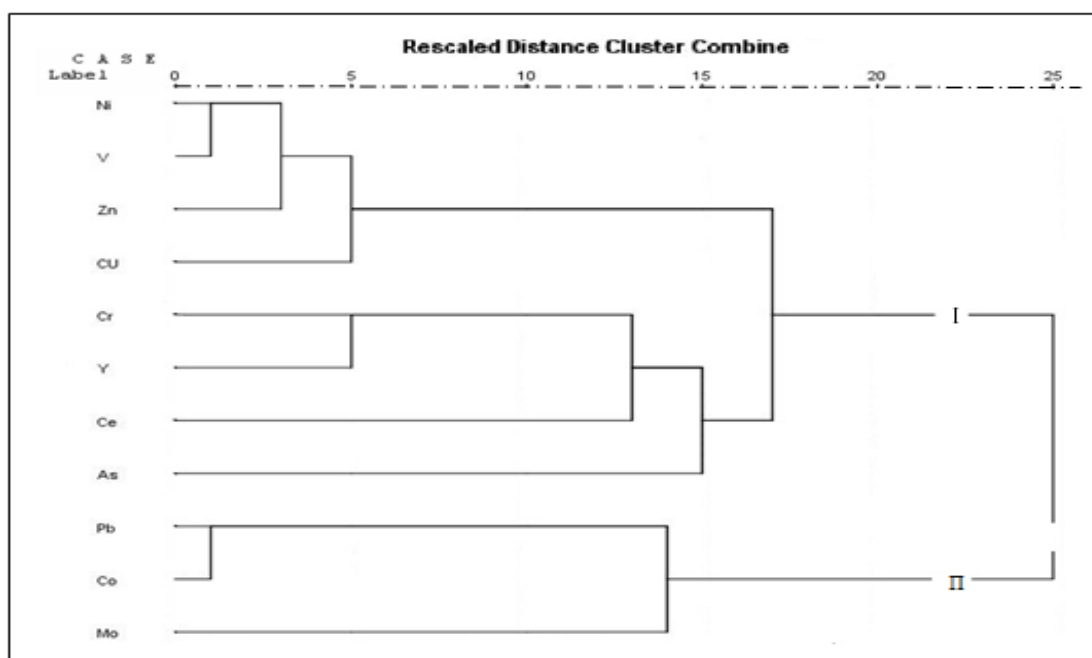
مقادیر ضرایب همبستگی و نمودار خوشه‌ای حاصل از بررسی ضرایب همانندی عناصر مورد بررسی به ترتیب در جدول (۶) و شکل (۵) ارائه شده است. تجزیه خوشه‌ای نمودار به دست آمده نشان دهنده تفکیک دو گروه مختلف است. در گروه اول عنصر سرب و کبالت با همبستگی معنی‌دار با یکدیگر در ارتباط می‌باشند و عنصر مولیبدن نیز با همبستگی کمتر به آنها متصل شده است. در گروه دوم نیز سایر عناصر با ضرایب همانندی معنی‌دار به یکدیگر متصل شده اند. در گروه دوم بیشترین ارتباط مثبت میان عناصر نیکل و وانادیم می‌باشد که عناصر روی و مس با ضریب همانندی کمتر ولی معنی‌دار به این دسته متصل شده است. میان عناصر کروم و ایتیریم نیز ارتباط معنی‌داری وجود دارد و عنصر سربیم و آرسنیک با ضریب همانندی کمتر با این دسته افزوده شده است. این شاخه نیز با ضریب همانندی کمتر با گروه قبل در ارتباط است.

جدول ۶: ضریب همبستگی پیرسون میان عناصر مورد ارزیابی در رسوبات معلق رودخانه هیرمند.

ε نصر	Ni	Cu	Cr	As	Zn	Pb	Ce	Co	V	Y	M_o
N_i	۱										
C_u	۴۷ ^{۰۰}	۱									
C_r	/۳۸۴	/۰۹۵	۱								
A_s	/۱۲۴	/۱۲۵	/۱۸۷	۱							
Z_n	۷۳ ^{۰۰}	۵۵ ^{۰۰}	/۱۰۳	۰۳۳	۱						
P_b	/۲۳۸	۳۹۳ ^{۰۰}	/۳۹۳ ^{۰۰}	۱۵۵	۱۴۹	۱					
C_e	/۱۹۸	۴۹۱ ^{۰۰}	/۲۹۳	۲۰۳	۲۶۵	/۲۹۹	۱				
C_o	/۰۷۴	/۳۲۲	/۳۷۹ ^{۰۰}	۱۶۰	۱۶۲	۶۸ ^{۰۰}	۴۱ ^{۰۰}	۱			
V	۷۳ ^{۰۰}	۵۷ ^{۰۰}	/۱۹۵	۰۲۸	۵۳ ^{۰۰}	/۱۷۶	/۱۹۷	۰۰۸	۱		
Y	/۳۲۴	/۲۶۰	۵۳ ^{۰۰}	۱۴۲	۰۸۰	۵۱ ^{۰۰}	/۱۸۶	۲۳۶	۱۷۰	۱	
M_o	۴۵۹ ^{۰۰}	/۰۸۵	۵۸ ^{۰۰}	۱۴۹	/۲۰	/۴۵۶	/۰۴۴	۰۲۰	۳۱۱	۶۱ ^{۰۰}	۱

** دارای همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۱

° دارای همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۵



شکل ۵: نمودار دندوگرام آنالیز خوشه‌ای عناصر مورد بررسی.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با نمونه‌برداری سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان در رودخانه سیستان، ژئوشیمی رسوبات حمل شده بوسیله سیلاب‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با استفاده از مطالعات، گزارشات ارائه شده و تصاویر ماهواره‌ای، منشاء ژئوشیمی این عناصر تعیین شد. در ادامه با تعیین شاخص آلودگی، میزان آلودگی رسوبات بستر رودخانه به عناصر فلزی و شبه فلزی مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان داد، رودخانه هیرمند که شاه‌رگ حیاتی منطقه سیستان است، سالانه حجم زیادی رسوبات معلق را با خود به منطقه سیستان و تالاب هامون حمل می‌نماید که این رسوبات، آلوده به برخی عناصر فلزی و شبه فلزی می‌باشد. طبقه‌بندی شدت آلودگی رسوبات بر اساس شاخص ژئوشیمیایی مولر، بیانگر آن بود که رسوبات حمل شده رودخانه هیرمند نسبت به عناصر Mo Pb Ni Zn As Cu Cr و Y درجاتی از آلودگی (به ترتیب برابر با $1/12$ ، $1/01$ ، $0/88$ ، $0/71$ ، $0/66$ ، $0/6$ ، $0/53$ ، $0/385$ و $0/162$) را نشان می‌دهد. تعیین مسیر رودخانه هیرمند بر روی ساختمان زمین‌شناسی کشور افغانستان و نیز سازندهای تشکیل دهنده آن با در نظر گرفتن مطالعات صورت گرفته در کشور افغانستان در تعیین منشاء عناصر موجود در رسوبات، بخشی از منشاء این عناصر را می‌توان به رسوبات آبرفتی نهشته شده مربوط دانست. سازندهای تشکیل دهنده این منطقه (سازند گولاخیل، سازند آنجی، سازند چاگی و سازند والجی) به طور عمده پوشیده شده از کنگلومرا، ماسه سنگ، خاک رس، گچ، مارن و رسوبات آبرفتی تضعیف شده است که در این میان سازندهای گولاخیل، چاگی و ساخی از حساسیت بالایی برخوردار می‌باشد (Suleman, 2016; Theng, 1979). مطابق مطالعات صورت گرفته و ژئوهیدرولوژی مسیر رودخانه هیرمند، رسوبات آبرفتی نهشته شده دارای میزان قابل توجهی مس و عناصری مانند کوبالت، سرب، روی، وانادیم و ایتیم می‌باشد (Resources of the ESCAP AIMS, 2005; Atlas of Mineral Region, 1995; Watts and McOuat, 1977). نهشته‌های انباشتی ترکیبی از رسوبات مشتق شده از سنگ‌های چین خورده و هوازده آتشفشانی و دگرگون از نقاط بالا دست است (Abdullah and Chmyriov, 2008). بر این اساس نهشته‌های رسوبی انباشت شده منبع بالقوه‌ای برای مس، سرب، روی، کوبالت، وانادیوم و ایتیم است. همچنین با توجه به اینکه آرسنیک در سنگ‌هایی با کانه‌زایی سولفیدی دیده می‌شود، سنگ‌های آتشفشانی و رسوبات مشتق شده از آنها نیز دارای مقادیر قابل توجهی آرسنیک بوده که با توجه به چین خوردگی و هوازدگی سنگ‌های آتشفشانی در این نقاط، آرسنیک نیز به آسانی از سنگ‌های آتشفشانی انتقال یافته و وارد رسوبات می‌شود (Spencer, 2000). توزیع و انتشار عناصر در رسوبات به فرآیندهای حمل و نقل شرایط هیدرودینامیکی و فیزیکی مسیر رودخانه بستگی دارد. رودخانه هیرمند که بزرگ‌ترین رودخانه بین سند و فرات محسوب می‌شود (۱۱۰۰ کیلومتر طول) در طی مسیر خود از اراضی و رخنمون‌های سنگی مختلف عبور می‌نماید که فرسایش آن‌ها زمینه‌ای مناسب برای حضور عناصر از واحدهای سنگی پیرامون می‌شود. بر این مبنا با توجه به وجود پوسته‌های افیولیتی و همچنین نیز واحدهای سنگی زمین‌شناسی از جنس ماسه سنگ آتشفشانی، توف و شیل انتقال عناصر دیگر از راه فرسایش واحدهای سنگی یاد شده دور از انتظار نیست (Westrich et al., 2007; قاسمی، ۱۳۹۲). علاوه بر موارد فوق توزیع و انتشار عناصر در رسوبات به شرایط شیمیایی (جذب سطحی و تجمع عناصر) محیط رسوبی نیز بستگی دارد. بر این اساس فرآیند جذب آرسنیک توسط اکسید آهن و کانی‌های رسی به دلیل بالا بودن pH در طول مسیر رودخانه هیرمند نیز می‌تواند باعث افزایش غلظت این عنصر باشد (Berkowitz et al., 2008; Willams et al., 1994). شبیه بودن پتانسیل یونی نیکل به منیزیم و شعاع یونی عنصر کروم نسبت به Fe^{+3} ، منیزیم و وانادیوم نیز می‌تواند از علل افزایش غلظت نیکل و کروم در رسوبات معلق رودخانه هیرمند بشمار آید (زرین کوب، ۱۳۸۴). اما دیگر یافته‌های این پژوهش گویای این مطلب است که عامل زمین‌منشاء به تنهایی عامل تولید عناصر موجود در رسوبات معلق رودخانه هیرمند نمی‌باشد و فعالیت‌های انسانی

نیز در آن دخیل است. عدم توسعه یافتگی کشور افغانستان و نامناسب بودن زیرساخت‌های عمرانی آن‌ها در سیستم‌های انتقال و تصفیه فاضلاب صنعتی و انسانی و ورود این فاضلاب‌ها به رودخانه از دیگر عوامل موثر در تولید این عناصر بشمار می‌رود (UNEP, 2008). چنین فرآیندی خود به تنهایی منبع بالقوه‌ای برای تولید فلزات سنگین از جمله Cu, Zn, Ni, Pb, Cr و V است (John and Shroder, 2012 ; AIMS, 2005).

بررسی نتایج منشاء یابی عناصر موجود در رسوبات رودخانه هیرمند بیانگر آن است که عنصر نیکل با همه عناصر همبستگی مثبت دارد و با عناصر سرب و مولیبدن دارای همبستگی منفی می‌باشد که می‌تواند به رفتار ژئوشیمیایی متفاوت سرب و مولیبدن و یا منشاء احتمالا متفاوت این دو عنصر با سایر عناصر بستگی داشته باشد. بطوریکه عنصر مولیبدن نیز با همه عناصر دارای همبستگی منفی و با عنصر سرب بیشترین همبستگی مثبت را دارد. با توجه به نمودار درختی (شکل ۴) عناصری که در شاخه‌های فرعی‌تر قرار دارند از منشاء آلاینده مشترکی ناشی شده‌اند و یا رفتار ژئوشیمیایی همانندی دارند (شهرکی و همکاران، ۱۳۹۴).

با بررسی ژئوشیمی رسوبات معلق و نیز تعیین منشاء و عوامل تولید این عناصر در رسوبات رودخانه هیرمند و ارزیابی شدت آلودگی عناصر فلزی و شبه فلزی موجود در این رسوبات، اینگونه مشخص گردید که رسوبات حمل شده نسبت به این عناصر دارای درجاتی از آلودگی می‌باشد. از آنجا که رودخانه هیرمند بار رسوبی بالایی دارد (۳۵ گرم در لیتر) و طی جریان‌های سیلابی حجم قابل توجهی رسوب را وارد دریاچه هامون می‌کند (جهان تیغ و همکاران، ۱۳۹۶)، لذا انباشت این رسوبات در دریاچه هامون با توجه به شاخص زمین انباشت (I_{geo})، باعث ایجاد آلودگی می‌شود که عمده منابع آلوده کننده این رسوبات، ساختمان زمین شناسی حساس به فرسایش با توجه به ژئوهیدرولوژی مسیر رودخانه هیرمند و نیز فعالیت‌های انسانی در کشور افغانستان است. از این رو یافته‌های این تحقیق با مطالعات صورت گرفته همچون Ghrefat و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی ژئوشیمی رسوبات سد آل عرب اردن؛ Mir mohammad Ali و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر بررسی میزان فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارنافولی بنگلادش؛ شهرکی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی ژئوشیمی رسوبات رودخانه سرباز در جنوب خاور ایران و مطالعات کوشافر و همکاران (۱۳۹۷) در تعیین آلودگی ناشی از فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بهمن شیر، همخوانی دارد.

اما نکته قابل تأمل اثرات سوء عناصر آلاینده در مقصد می‌باشد که انجام مطالعات آتی به منظور شناخت تبعات حمل این عناصر آلاینده به همراه رسوبات در تالاب هامون را الزامی می‌نماید. همچنین بکارگیری اقدامات اصولی با برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه به منظور کنترل منابع آلوده کننده رسوبات در کشور افغانستان امری ضروری بنظر می‌رسد که نیازمند توجه ویژه مسئولین ذی‌ربط برای تحقق این امر می‌باشد.

منابع

ابراهیم زاده، ع.، لشکری پور، غ. ر. و مریدی، ع. ا.، ۱۳۸۳. تاثیر عوامل زمین شناسی در تغییر مسیر رودخانه‌ی هیرمند و نقش تاریخی آن در جابجایی سکونتگاه‌ها در سیستان. مجله علمی- پژوهشی جغرافیا و توسعه دانشگاه سیستان و بلوچستان، سال چهارم، شماره ۱، صفحات ۲۰-۵.

بریمانی، ف. و اصغری لقمجانی، ص.، ۱۳۸۹. تعیین شدت ناپایداری زیست‌محیطی سکونتگاه‌های روستایی سیستان با استفاده از مدل ارزیابی چند معیاری، جغرافیا و توسعه، ۸ (۱۹)، صفحات: ۱۴۴-۱۲۷.

جهان تیغ، م.، ۱۳۸۷. تاثیر فرسایش بادی بر محیط زیست شمال سیستان (مطالعه موردی جنوب دریاچه هامون- روستای زیارت و جهان تیغ). یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان.

- جهان تیغ، م.، ۱۳۹۲.** بررسی و شناخت ویژگی‌های فرسایش حاشیه رودخانه‌ها و مسیل‌های منطقه سیستان. گزارش نه‌ای طرح پژوهشی مرکز تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی سیستان.
- جهان تیغ، م.، تاج‌بخش، م.، میراب شهبستری، غ. ر. و معماریان، ه.، ۱۳۹۶.** نقش رسوب معلق رودخانه هیرمند بر اثرات فرسایش بادی منطقه سیستان. هفتمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. تهران.
- ذاکری، م.ع. و صادقی، ح. ر.، ۱۳۹۲.** تغییرات زمانی و مکانی غلظت رسوب معلق در پایین دست محل برداشت شن و ماسه. پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۱۱، صفحات ۶۳-۵۵.
- زرین کوب، م.، ۱۳۸۴.** پی‌جویی کرومیت در افیولیت منلان‌های جنوب شرق خراسان (بیرجند-گزیک). گزارش طرح پژوهشی گروه زمین‌شناسی دانشگاه بیرجند.
- سبحان اردکانی، س.، جمشیدی، ک.، و نیازی، ع.، ۱۳۹۳.** ارزیابی غلظت عناصر آهن، سرب، کادمیوم و مس در رسوب با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر (مطالعه موردی: تالاب میقان). فصلنامه علمی - پژوهشی اکوبیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال ششم، شماره ۲۰، صفحه ۸۷-۶۷.
- کوشافر، آ.، سواری، ا.، سخایی، ن.، ارچنگی، ب.، کریمی اورگانی، ف.، ۱۳۹۷.** تعیین سطح آلودگی ناشی از فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه بهمن‌شیر. فصلنامه علمی - پژوهشی اکوبیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال دهم، شماره ۳۶، صفحه ۵۳-۶۴.
- شهرکی، م.، محمودی قرایی، م.ح.، موسوی حرمی، ر. و احمدی، ع.، ۱۳۹۴.** ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه سرباز در جنوب خاور ایران به منظور تعیین منشأ رسوب‌ها و تاثیر آن بر آلودگی‌های زیست محیطی. مجله علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره ۹۷، صفحات ۲۳۷-۲۵۰.
- قاسمی، س.، ۱۳۹۲.** رسوب شناسی و ژئومورفولوژی بخش شرقی دشت مختاران. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند.

Afghanistan Geological Survey (2008). Geology and Mineral Resources of Afghanistan, Report Series Book 1, Chapter 3, pp.69-71.

Afghanistan Information Management Service (AIMS), 2005. Flood zoning at National Level.

Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region: Geology and Mineral Resources of Afghanistan, Vol. 11. 1995UN Paperback 85pp.

Barimani, F. and AsghariLafmejani, S. 2010. Determine the Severity of Environmental Instability Sistan Rural Settlements with Using Multiple Criteria Evaluation Model, Geography and Development, 19:127-144.

Berkowitz, B., Dror, I. and Yaron, B., 2008. Contaminant Geochemistry: Interactions and Transport in the Subsurface Environment. Springer-Verlag BerlinHeidelberg.

Edwards, T. K. and Glysson, G. D., 1999. Field methods for measurement of fluvial sediment, USGS Open-File Report, Book 3 Chapter 2, USA.

Forstner, U., 2010. Sediment research, management and policy A decade of JSS.

Ghrefat, H. A., Abu-Rukah, Y. and Rosen, M. A., 2011. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafraïn Dam, Jordan. Environmental monitoring and assessment, 178(1): 95-109.

John, F. and Shroder, Jr., 2012. Afghanistan: rich resource base and existing environmental espoliation, Environ Earth Sciences, 67:1971-1986.

Liu, M., Yang, Y., Yun, X., Zhang, M., Li, Q. and Wang, J., 2014. Distribution and ecological assessment of heavy metals in surface sediments of the East Lake, China. Ecotoxicology, 23(1): 92-101.

Mahiques, M. M., Hanebuth, T. J., Nagai, R. H., Bicego, M. C., Figueira, R. C. L., Sousa, S. H. M., Burone, L., PaulaFranco-Fraguas, P., Taniguchi, S., Salaroli, A. B., Dias, G. P., Prates, D. M. and

Freitas, M. E., 2017. Inorganic and organic geochemical finger printing of sediment source sand ocean circulation on a complex continental margin (São Paulo Bight, Brazil), *Ocean Sci.*, 13: 209–222.

Ministry of Mines and Industry Joint Mineral Resource Assessment Team, 2007. Preliminary mineral resource assessment of selected mineral deposit types in Afghanistan: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007–1005, 44 p., accessed June 1, 2011, at <http://pubs.usgs.gov/of/2007/1005/>.

Mir Mohammad, A., Mohammad loghman, A., Saiful Islam, M. D. and Zillur Rahman, M. D., 2016. Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment to Karnaphuli River. Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 5: 27–35.

Muller, G., 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geology*, 2: 109–118.

Roddaz, M., Viers, J., Brusset, S., Baby, P., Boucayrand, C. and 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, PP. 352.

Spencer, J. E., 2000. Arsenic in ground water. *Arizona Geology. Arizona Geological Survey*, 30(3): 1–4.

Suleman, Y., 2016. Afghanistan's Mineral Resource Potential: A Boon or Bane. *Journal of Current Affairs*, 2: 86–109.

Theng, B. K., 1979. Formation and properties of clay polymer complexes, 9, in *Developments in soil science*: Amsterdam, Elsevier, 362 p.

United Nations Environment Programme (UNEP), 2008. Afghanistan's environment report.

Watts, G. and Mcouat, L., 1977. United Nations Development Programme AFG/74/002 Mineral Evaluation Project, Afghanistan, Volume 1 and 2. *Atlas of Mineral Resources of the ESCAP UN, 1995. Geology and Mineral Resources of Afghanistan*, Vol. 11. Paperback 85pp.

Li, W., Chen, D. and Forstner, U. 2007. 2.2 Requirement on sediment data quality–hydrodynamics and pollutant mobility in rivers.

Willams, T. P., Bubb, J. M. and Lester, J. N., 1994. Metal accumulation within saltmarsh environments: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 28: 277–290.

Turekian, K. K., and 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.

