

بررسی تغییرات غلظت فلزات سنگین و شاخص‌های آلودگی رسوبات سطحی رودخانه ماشلک نوشهر (استان مازندران)

محبوبه رادمهر^۱، علی مقیمی کندلوس^{۲*}، مژگان صلواتی^۳ و سعید حکیمی آسیاب^۴

۱- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

۲، ۳ و ۴- استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

نویسنده مسئول: Ali.moghimi.ks@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۴ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۶

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

رودخانه ماشلک یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های منتهی به دریای خزر در باختر استان مازندران می‌باشد. به منظور پایش‌های زیست‌محیطی تعداد ۲۵ نمونه از رسوبات بستر این رودخانه برداشت گردید و مورد آنالیز دانه‌بندی و ICP-MS قرار گرفت. مطالعات رسوب‌شناسی نشان دهنده بافت گراول ماسه‌ای برای نهشته‌های رودخانه ماشلک می‌باشد. بررسی غلظت فلزات سنگین نشان داد که بیشترین غلظت فلزات سنگین به ترتیب متعلق به V, Cr, Zn, Ni, Cu, Pb, Co و Mo می‌باشد. بر اساس استانداردهای کیفیت رسوب، رسوبات ماشلک نسبت به فلز کروم و نیکل دارای آلودگی می‌باشند. شاخص غنی‌شدگی دو فلز کروم و نیکل نشان‌دهنده آلودگی متوسط و سایر فلزات نشان‌دهنده آلودگی کم می‌باشد. شاخص زمین‌انباشت فقط برای فلز کروم آلودگی کم تا متوسط را نشان می‌دهد. بررسی خطر اکولوژیک فلزات سنگین در نهشته‌های رودخانه ماشلک حاکی از نبود آلودگی این نهشته‌ها دارد و نشان‌دهنده خطر کم منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج تحلیل همبستگی نشان‌دهنده همبستگی مثبت و بالای فلز Al با کلیه فلزات سنگین و رابطه مثبت و معنی‌دار متوسط ذرات در اندازه گل با غلظت این فلزات می‌باشد. آزمون تحلیل مؤلفه اصلی نیز منجر به شناسایی ۲ فاکتور اصلی گردید. فاکتور اصلی شامل فلزات Ni, Cu, V, Al, Co, Zn و Cr است که نشان‌دهنده منشا زمین‌زاد برای فلزات سنگین می‌باشد، فاکتور دوم نیز شامل ذرات در اندازه گل و Mo می‌باشد. تلفیق نتایج آماری نشان‌دهنده منشأ زمین‌زاد فلزات سنگین در نهشته‌های رودخانه ماشلک و نقش ذرات در اندازه گل در حمل و انتقال این فلزات می‌باشد. در مجموع به علت عدم تمرکز مراکز صنعتی و همچنین صعب‌العبور بودن کرانه رودخانه ماشلک در بالادست که امکان فعالیت‌های انسانی در منطقه را محدود می‌کند، رسوبات این رودخانه آلودگی ناچیزی را نسبت به فلزات سنگین دارند و عمده آلودگی‌های این رسوبات به صورت نقطه‌ای و به علت فعالیت‌های کشاورزی و یا ایستگاه پساب محل دفن زباله و شهرک صنعتی در محدوده‌های پایین دست رودخانه می‌باشد.

واژگان کلیدی: آلودگی، فلزات سنگین، رودخانه ماشلک، شاخص غنی‌شدگی، محل دفن زباله، خطر اکولوژیکی

۱- پیشگفتار

در بین آلاینده‌های مختلف زیست‌محیطی، فلزات سنگین به واسطه سمیت، ماندگاری بالا و تجزیه ناپذیری مورد توجه خاصی قرار می‌گیرند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ بنیتز و همکاران، ۲۰۲۰؛ کریمیان و همکاران، ۲۰۲۰). فلزات سنگین، پایدارترین و پیچیده‌ترین آلاینده‌ها از نظر پایش در طبیعت هستند (چوپانی و همکاران، ۱۴۰۰؛ ساریخانی و همکاران، ۱۴۰۰). فلزات سنگین نه تنها کیفیت اتمسفر، پیکره‌های آبی و محصولات غذایی را کاهش می‌دهند، بلکه سلامت و رفاه حیوانات و انسان‌ها را به خطر می‌اندازند (چن و همکاران، ۲۰۱۹؛ فانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛

قرارگیری مناطق شهری و روستایی و همچنین مراکز صنعتی در اطراف رودخانه‌ها باعث ورود انواع آلاینده‌ها به رودخانه‌ها می‌شود و چنانچه ورود این آلودگی‌ها از ظرفیت خود پالایی رودخانه بیشتر باشد، در این صورت مشکلات زیست‌محیطی در آن‌ها بروز خواهد کرد. رشد سریع جمعیت و توسعه مراکز مسکونی، تجاری، صنعتی و کشاورزی سبب شده تا زباله‌ها و فاضلاب‌های انسانی افزایش یافته و موجب آلودگی بوم‌سامانه‌های مختلف از جمله محیط‌های رودخانه‌ای شوند.

عبور از اراضی جنگلی، زمین‌های کشاورزی و ناحیه مسکونی شهر نوشهر در نهایت به دریای خزر ختم می‌گردد (شکل ۱). در مسیر این رودخانه تعداد متعددی روستا، کارخانه شن و ماسه و ایستگاه پساب دفن زباله و سد بتنی الوارگیر متعلق به دهه ۱۳۸۰ وجود دارد (شکل ۲). سرچشمه رودخانه ماشلک از یک چشمه واقع در سنگ آهک مارنی کرتاسه شروع می‌شود و بعد از عبور از سازند آهکی تیزکوه وارد نهشته‌های دشت آبرفتی می‌شود (شکل ۳). شاخه‌های فرعی و فصلی نیز از سازندهای آهکی تیزکوه و تشکیلات مارنی (کرتاسه فوقانی) ماسه‌سنگی و سیلانی (میوسن میانی و پسین) به این رودخانه منتهی می‌گردد. در بالادست رودخانه که پوشیده از جنگل می‌باشد، مورفولوژی رودخانه شامل صخره‌های خشن و صعب‌العبور مربوط به سازند تیزکوه می‌باشد و در ادامه رودخانه وارد نهشته‌های دشت آبرفتی با کاربری کشاورزی شده و به دریای خزر ختم می‌گردد. حوزه رودخانه ماشلک به دلیل برخورداری از پوشش جنگلی و مورفولوژی خشن آهکی دارای فرسایش سطحی زیادی نیست اما در مواقع سیلابی با افزایش شدن دبی حجم زیادی از رسوبات و آوردهای مربوط به درختان مانند برگ، شاخه و ... در کانال رودخانه حرکت کرده و سبب افزایش احتمال سیل در پایین دست رودخانه با مورفولوژی دشت می‌گردد.

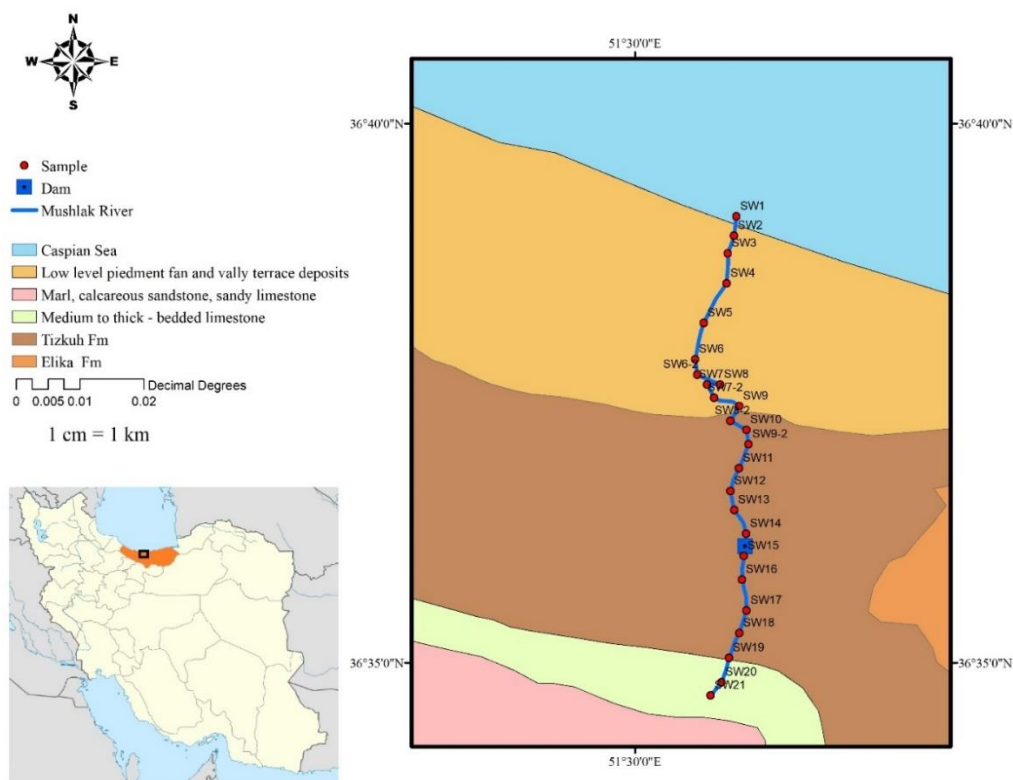
مرتضوی‌مه‌ریزی و همکاران، ۱۳۹۸). منابع اصلی انسان پدید فلزات سنگین عبارتند از مناطق صنعتی، سرباره معدن، دفع زباله‌های حاوی مقادیر بالای فلز، بنزین و رنگ حاوی سرب، کاربرد کودهای شیمیایی، کود دامی، لجن فاضلاب، آفت‌کش‌ها، آبیاری با پساب، بقایای احتراق زغال‌سنگ، نشت فرآورده‌های پتروشیمی و نهشته‌های اتمسفری حاصل از منابع مختلف (آلووی، ۲۰۱۲؛ زارع‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷b؛ الله‌آبادی و ملوندی، ۲۰۱۸). رسوبات رودخانه با توانایی حمل و نگهداری فلزات سنگین یک نشانگر و شاخص برای آلودگی رودخانه‌ها محسوب می‌شوند (راج و همکاران، ۲۰۱۳؛ ملوندی، ۲۰۱۷). از سویی دیگر داده‌های رسوب‌شناسی همچون بافت رسوبات در شناخت شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی حاکم بر یک محیط رسوبی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (کنس، ۲۰۱۲؛ فیلیپ و همکاران، ۲۰۱۳؛ روی، ۲۰۱۲). با توجه به نگرانی‌های زیست‌محیطی و سلامت انسان در ارتباط با فلزات سنگین، همچنین نقش اساسی رسوب و کیفیت آن در سلامت اکوسیستم، آگاهی از تغییرات غلظت این عناصر به عنوان شاخصی مهم در پیش‌بینی خطرات، بیماری‌های ناشی از این فلزات و تعیین استانداردهای کیفیت ضروری به نظر می‌رسد. رودخانه ماشلک یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های شمال کشور ایران می‌باشد که با



شکل ۱. موقعیت رودخانه ماشلک و ایستگاه‌های نمونه‌برداری



شکل ۲. الف: بستر رودخانه ماشلک و دیواره‌های جانبی با مورفولوژی ستبر در بالادست رودخانه؛ ب: سد الوارگیر و حجم آب و رسوب پشت سد در رودخانه ماشلک؛ ج: ورود آلودگی و پساب ایستگاه زباله به کانال رودخانه ماشلک و د: مصب رودخانه ماشلک و دریای خزر و وجود زباله‌های شهری در این منطقه



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۸)

۲- مواد و روش‌ها

به منظور بررسی‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمیایی و بر مبنای روش‌های رایج در رسوب‌شناسی فیزیکی و شیمیایی مانند (تاگر، ۱۹۸۹؛ خدابخش و صحرارو، ۱۳۹۲) تعداد ۲۵ نمونه رسوب سطحی از رسوبات کف کانال این رودخانه

برداشت گردید (شکل ۱). نمونه‌ها توسط بیلچه پلاستیکی و از عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شده و با انتقال به کیسه‌های نمونه‌برداری برچسب‌گذاری شده و به آزمایشگاه منتقل گردید. با توجه به رطوبت بالای رسوبات، ابتدا نمونه‌ها را در محیط هوای آزاد در مدت ۲۴ ساعت

انتخاب گردید و از عنصر Al نیز به علت اینکه کمترین سطح آلودگی را دارد (چاندراکاران و همکاران، ۲۰۱۵) به عنوان فلز مینا استفاده شده است. ضریب ۱/۵ ضریب تصحیح می‌باشد که به منظور کمینه کردن اثر تغییرات احتمالی در غلظت‌های زمینه که عموماً به تغییرات سنگ‌شناسی خاک و تأثیر عوامل انسانی نسبت داده می‌شود، اعمال شده است. این ضریب با تفکیک نوسانات طبیعی موجود در غلظت یک ماده معین در محیط، تغییرات حتی اندک ناشی از اثرات انسان‌زاد را نمایان می‌سازد (رشید شمالی و خداوردیلو، ۱۳۹۱). مولر هفت رده مختلف (جدول ۱) را برای این شاخص عنوان کرد که مقادیر عناصر در بالاترین رده حداقل ۱۰۰ برابر مقادیر مرجع است (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۲- فاکتور غنی‌شدگی^۲

ضریب غنی‌شدگی (EF) روش مناسبی جهت تفکیک منشأ طبیعی و انسان پدید آلودگی است (سادرلند، ۲۰۰۰). برای تعیین این شاخص، یک عنصر را به عنوان رفرنس در نظر می‌گیرند که این عنصر باید غیرمتحرک^۳ بوده و تحت تأثیر فعالیت‌های بشر قرار نگیرد، مانند Al، Li، Sc، Fe، Ti و Zr. ضریب غنی‌شدگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EF = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{\text{Sample}}}{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{\text{Background}}}$$

که در این معادله EF فاکتور غنی‌شدگی، $\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{\text{Sample}}$ نسبت غلظت فلز مورد نظر (اندازه‌گیری شده در خاک) به فلز مینا در نمونه مورد مطالعه و $\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{\text{Background}}$ نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مینا در مقادیر زمینه می‌باشد. در این پژوهش میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته بالایی به عنوان مقدار زمینه و غلظت فلز Al نیز به عنوان فلز مینا انتخاب گردید. اگر مقدار EF کمتر از یک باشد آن عنصر منشأ طبیعی دارد و در حالتی که بیشتر از ۱۰ باشد، منشأ آلودگی عنصر مورد نظر عمدتاً عوامل انسانی است (رشک و همکاران، ۲۰۱۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۶). هرچه مقدار فاکتور غنی‌سازی بیشتر باشد نشان می‌دهد سهم عوامل انسانی در افزایش آلودگی فلز مورد

نگه داشته سپس در آن با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید (تاکر، ۱۹۸۹). بعد از اتمام این فرایند رسوبات را توزین کرده و با استفاده از دستگاه الک شیکر دانه‌بندی رسوبات انجام گردید. به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین بر روی نمونه‌های مذکور ذرات زیر ۶۳ میکرون نمونه‌ها برای آنالیز ICP-MS به آزمایشگاه شرکت زرآرما ارسال گردید. محاسبات شاخص‌های آلودگی توسط نرم‌افزار Excel و تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SPSS-20 انجام گرفت. همچنین از آزمون K-S برای تست نرمال بودن داده‌ها استفاده گردید و برای پذیرش فرضیه نرمال بودن مقدار P، بالاتر از ۰/۰۵ مورد پذیرش قرار گرفت (کلپرتزیس، ۲۰۱۴؛ چائو و همکاران، ۲۰۱۵) و از رابطه Log برای نرمال کردن داده‌ها استفاده گردید (لی و همکاران، ۲۰۱۳). از آزمون آماری تحلیل همبستگی پیرسون و آزمون تحلیل مولفه اصلی (PCA) برای ارزیابی رابطه بین آلاینده‌های مختلف خاک استفاده گردید، در واقع آزمون PCA برای تعیین روابط و خاستگاه مشترک بین فلزات سنگین استفاده می‌گردد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ پریس و همکاران، ۲۰۰۷؛ لو و همکاران، ۲۰۱۲؛ یوان و همکاران، ۲۰۱۳؛ کلپرتزیس، ۲۰۱۴). بررسی داده‌های حاصل از آزمایشگاه توسط نرم‌افزار SPSS و بر اساس روابط تعریف شده شاخص‌های مختلف تعریف شده بین‌المللی محیط زیستی، همچون شاخص زمین انباشت، فاکتور غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی، فاکتور خطر اکولوژیکی و اکولوژیکی بالقوه انجام شده است که توضیحات مختصری در باره این فاکتورها ارائه می‌گردد.

۲-۱- شاخص زمین‌انباشت (I_{geo})

یک روش متداول برای تخمین آلودگی خاک به فلزات سنگین، به دست آوردن غلظت فلزات سنگین در خاک به غلظت زمینه فلز با استفاده از شاخص I_{geo} است که توسط مولر (مولر، ۱۹۶۹) ارائه گردید.

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right)$$

که در آن I_{geo} شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی، C_n غلظت فلز سنگین در خاک و B_n غلظت زمینه می‌باشد. از دید بسیاری از پژوهشگران مقدار غلظت فلزات سنگین در پوسته بالایی به عنوان مقدار زمینه

³ immobile element

¹ Geo-accumulation Index

² Enrichment factor

و خاک‌ها از لحاظ عناصر سنگین به کار می‌رود (کوالسکا و همکاران، ۲۰۱۸):

$$E_r^i = T_r^i \times PI_i$$

که در آن، T_r^i شدت آلاینده‌گی و PI_i شاخص آلودگی است. جدول ۴ کلاس‌بندی آلودگی بر اساس فاکتور اکولوژیکی خطر را نشان می‌دهد.

۲-۵- خطر اکولوژیکی بالقوه (RI)^۶

خطر اکولوژیکی بالقوه (RI) شاخصی برای ارزیابی میزان خطر اکولوژیکی ناشی از غلظت فلزات سنگین در آب، هوا و همچنین خاک است. این شاخص اولین بار توسط Hakanson در سال ۱۹۸۰ ارائه شد که با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i$$

در این رابطه n تعداد فلزات سنگین و E_r^i شاخص خطر اکولوژیکی می‌باشد. کیفیت خاک بر اساس خطر اکولوژیکی بالقوه به پنج کلاس طبقه‌بندی شده است (جدول ۵).

نظر در خاک منطقه بیشتر شده است، که کلاس‌بندی مقادیر آن به صورت جدول ۲ می‌باشد.

۲-۳- فاکتور آلودگی^۴ (CF)

با این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد:

$$CF = \frac{C_n}{B_n}$$

که در این رابطه CF فاکتور آلودگی و C_n غلظت عنصر در نمونه آلوده و B_n غلظت همان عنصر در نمونه استاندارد زمین و یا غلظت طبیعی منطقه می‌باشد. طبق طبقه‌بندی هانکسون (۱۹۸۰) برای فاکتور آلودگی جهت ارزیابی آلاینده‌گی فلزات سنگین، اگر مقدار فاکتور آلودگی بیش از یک باشد، آلودگی متوسط تا بسیار بالا است (جدول ۳). اگر فاکتور آلودگی برابر یک باشد نشان می‌دهد که آلودگی ناچیز است.

۲-۴- فاکتور خطر اکولوژیکی^۵ (E_r^i)

فاکتور خطر اکولوژیکی (E_r^i) پیش‌تر برای کنترل کیفیت آب به کار می‌رفت، ولی امروزه برای ارزیابی کیفیت رسوبات

جدول ۱. رده‌بندی کیفیت خاک بر مبنای مقدار I_{geo} (مولر، ۱۹۶۹)

کلاس	مقدار	کیفیت خاک
۱	$0 >$	غیرآلوده
۲	$1-0$	غیرآلوده تا آلودگی متوسط
۳	$2-1$	آلودگی متوسط
۴	$3-2$	آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد
۵	$4-3$	آلودگی زیاد
۶	$5-4$	آلودگی زیاد تا بسیار زیاد
۷	>5	آلودگی بسیار زیاد

جدول ۲. مقادیر شاخص ضریب غنی‌شدگی EF (کوالسکا و همکاران، ۲۰۱۸)

EF	سطح آلودگی	طبقه
$EF < 2$	کم	۱
$5 \leq EF < 2$	متوسط	۲
$20 \leq EF < 5$	زیاد	۳
$40 \leq EF < 20$	بسیار زیاد	۴
$EF \geq 40$	بی‌نهایت زیاد	۵

⁶ Potential ecological risk

⁴ Contamination factor

⁵ Ecological risk factor

جدول ۳. درجه بندی فاکتور آلودگی (CF) رسوبات (هانکسون، ۱۹۸۰)

فاکتور آلودگی	رده آلودگی	طبقه
$CF < 1$	آلودگی کم	۱
$3 \leq CF < 1$	آلودگی متوسط	۲
$6 \leq CF < 3$	آلودگی زیاد	۳
$CF \geq 6$	شدیداً آلوده	۴

جدول ۴. کلاس آلودگی بر اساس فاکتور خطر اکولوژیکی (کوالسکا و همکاران، ۲۰۱۸)

E_r^i	رده آلودگی	طبقه
$E_r^i < 40$	کم	۱
$40 \leq E_r^i < 80$	متوسط	۲
$80 \leq E_r^i < 160$	زیاد	۳
$160 \leq E_r^i < 320$	خیلی زیاد	۴
$E_r^i \geq 320$	بینهایت	۵

جدول ۵. طبقه بندی کیفیت خاک بر اساس خطر اکولوژیکی بالقوه (کوالسکا و همکاران، ۲۰۱۸)

خطر اکولوژیکی بالقوه	RI
کم	< 90
متوسط	$90 - 180$
زیاد	$180 - 360$
خیلی زیاد	$360 - 720$
بی نهایت زیاد	$720 \geq$

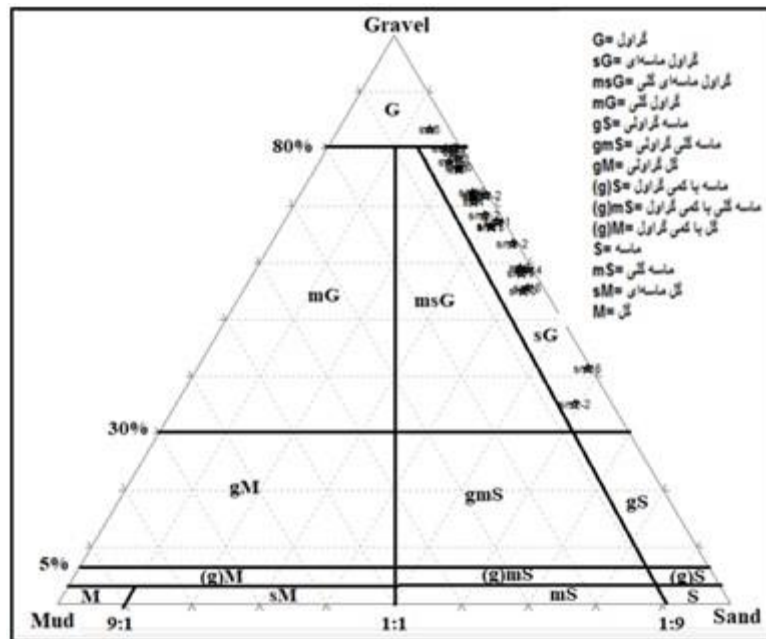
نشان دهنده نزدیکی این نهشته‌ها به منشأ می‌باشد (دن و دنیل، ۲۰۱۵). بررسی روند تغییرات اندازه ذرات در شکل ۵ نشان می‌دهد که در تمام طول رودخانه برتری با ذرات در اندازه گراول است هرچند در نهشته‌های پشت سد الوارگیر و پایین دست رودخانه تا مصب به مقدار ذرات گلی افزوده می‌شود اما این افزایش به اندازه‌ای نیست که سبب تغییر بافت رسوبی ذرات گردد. به نظر می‌رسد علت افزایش ذرات در اندازه گل در پشت سد به دلیل رسوب گذاری این ذرات در پشت سد بوده و این مهم با مشاهده کدورت آب که در پشت سد گل آلود و در پایین سد شفاف می‌باشد نیز قابل اثبات می‌باشد. در پایین دست رودخانه نیز با افزایش فاصله از منشأ و ورود رسوب از کانال‌های کشاورزی و همچنین ورود رسوب ساحل توسط امواج به دهانه انتهایی رودخانه بر حجم گل این نهشته‌ها افزوده شده است. نتایج آزمایش ICP-MS در جدول ۶ ارایه و همچنین تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی و مشخصه‌های آماری بر روی نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۷ ارایه شده است. بیشینه میانگین غلظت فلزات سنگین در نهشته‌های رودخانه ماشلک به ترتیب متعلق به فلزات Ni, Zn, Cr, V, Cu, Pb و Co می‌باشد.

۲-۶- استاندارد کیفیت رسوب SQGS

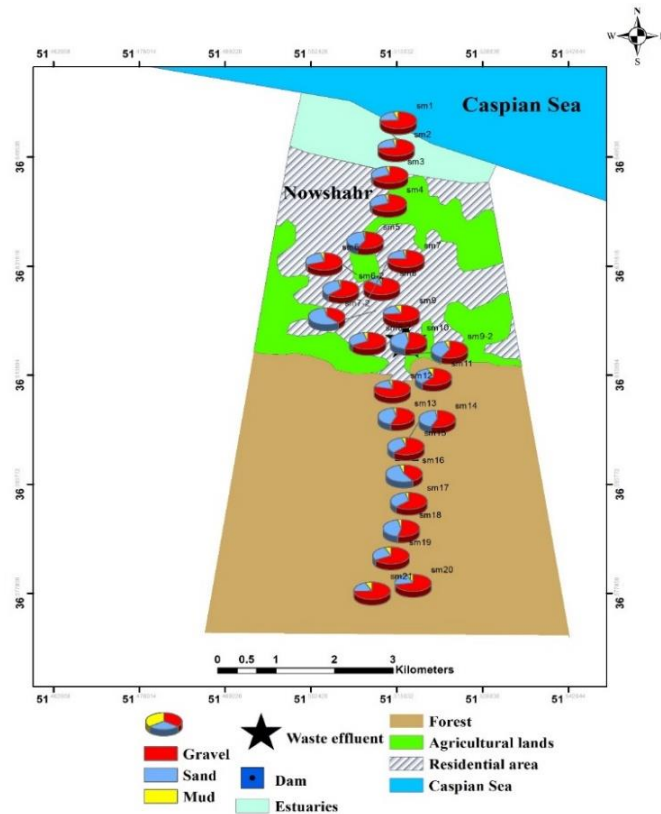
برخی از این حدود مجاز براساس زیان‌های وارده به سلامت انسان از راه تماس مستقیم با خاک و برخی دیگر بر اساس خطرات بوم شناختی و یا سایر محورها وضع شده‌اند. در این پژوهش از استاندارد SQGS برای مقایسه غلظت‌های فلز استفاده می‌گردد (لانگ و همکاران، ۱۹۹۵؛ مکدونالد و همکاران، ۱۹۹۶؛ مکدونالد و همکاران، ۲۰۰۰).

۳- بحث و نتایج

بررسی‌های رسوب‌شناسی نهشته‌های رودخانه ماشلک نشان داد، که میانگین میزان گراول در نمونه‌ها ۶۵/۲ درصد، ماسه ۳۰ درصد و گل (سیلت+رس) ۴/۸ درصد است. این دانه بندی با توجه به واحدهای سنگ‌شناسی و کوهستانی بودن بالا دست قابل توجیه می‌باشد. بر مبنای طبقه بندی فولک (۱۹۸۰) نهشته‌های رودخانه ماشلک در رده گراول ماسه‌ای قرار گرفته‌اند و تنها یک نمونه دارای بافت گراولی می‌باشد (شکل ۴). فراوانی ذرات گراولی و حضور کم ذرات گلی در نهشته‌های رودخانه ماشلک به علت جنس سنگ بستر و سازندهای بالادست است که فرسایش پذیری کمی دارند از طرفی بافت گراول ماسه‌ای



شکل ۴. مثلث طبقه‌بندی رسوبات رودخانه ماشلک بر اساس ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها (فولک، ۱۹۸۰)



شکل ۵. نقشه پراکندگی مقدار ذرات در اندازه گراول، ماسه و گل در نمونه‌های رودخانه ماشلک

رسوبات پشت سد نسبت به بعد از سد باشد که باعث تجمع بیشتر فلزات در پشت سد شده است. از سویی دیگر با توجه به وجود اراضی جنگلی در بالادست و ورود آوردهای مختلف از قبیل، گراول‌های درشت و بعضاً صخره مانند و یا شاخ و برگ درختان به رسوب رودخانه و تجمع

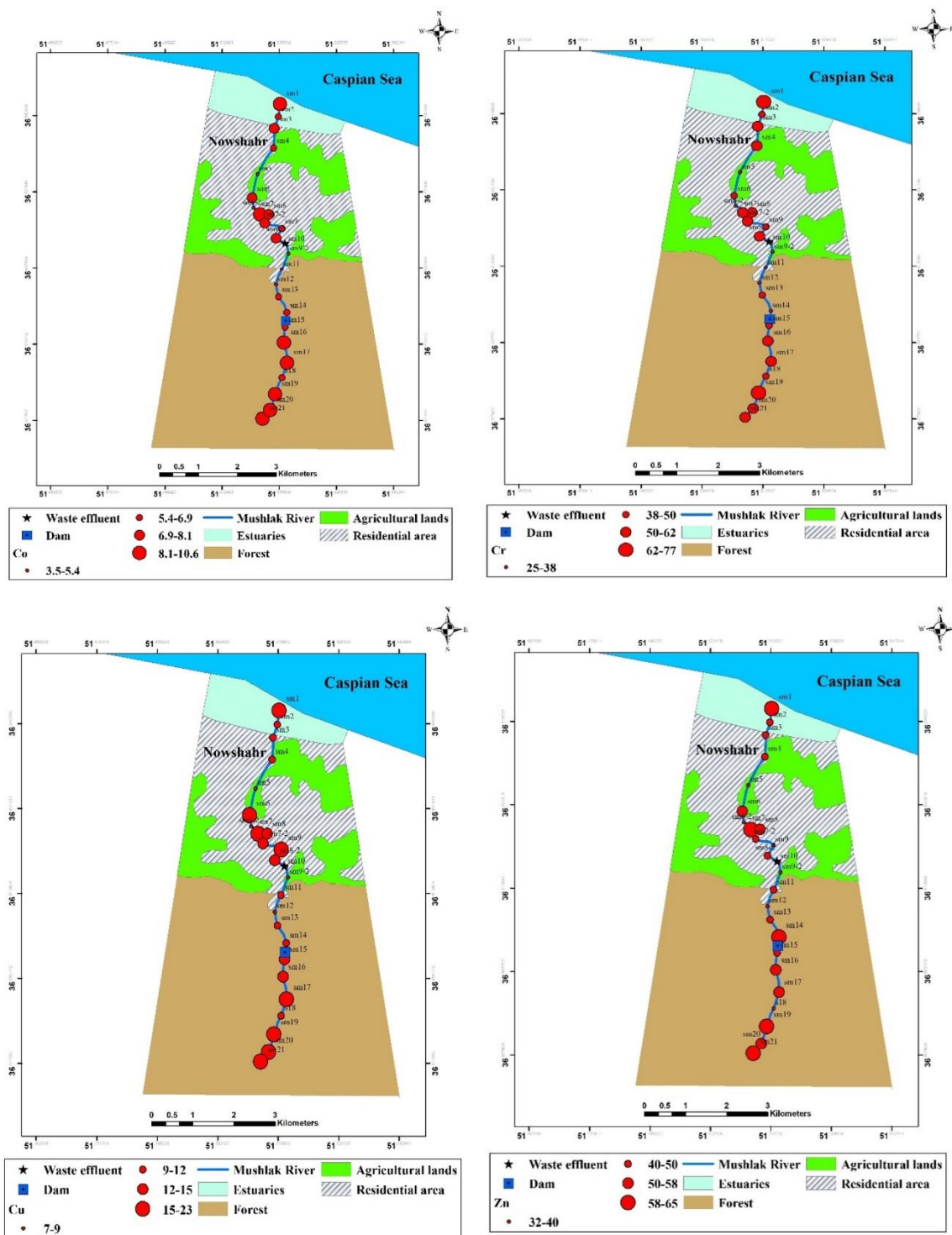
بر مبنای نقشه پراکندگی غلظت فلزات در شکل ۶ غلظت فلزات سنگین در طول رودخانه ماشلک تغییرات واضحی دارند. ایستگاه‌هایی که بلافاصله بعد از سد قرار دارند، کاهش واضحی از غلظت فلزات سنگین را نشان می‌دهند؛ که این مهم می‌تواند به دلیل وجود ذرات بیشتر گل در

گذاشته و یکی از منابع ورود فلزات به این منطقه از رودخانه فاضلاب‌ها و پساب‌های کشاورزی نیز می‌باشد. در انتهای رودخانه و مصب رودخانه ماشک به دریای خزر، مجدداً افزایش غلظت فلزات سنگین مشهود می‌باشد که این مهم به علت آلودگی‌های مرتبط با بارگیری در اسکله می‌باشد. ترکیبات رنگ، حمل و نقل و فاضلاب‌های شهری و صنعتی سبب افزایش میزان فلز Pb در خاک می‌شوند (سی‌سیرم، ۱۹۸۷؛ لوما و رینباو، ۲۰۰۸؛ تقی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹) و غلظت بالای فلز نیکل نیز در ارتباط با تردد وسایل نقلیه و فاضلاب‌های شهری و صنعتی می‌باشد (پورنگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ تخی و همکاران، ۲۰۰۸). غلظت فلزهای Zn و Cu عموماً به دلیل فعالیت‌های صنعتی و آلودگی‌های ترافیکی ایجاد می‌شود (توخی و همکاران، ۲۰۰۸؛ لو و همکاران، سعیدی و همکاران، ۲۰۱۲).

چندساله رسوبات در پشت سد عملیات‌های فنی و ساخت‌سازی در پشت سد به منظور کاهش حجم این رسوبات و استحصال این رسوبات در حال انجام بوده و لذا می‌توان به نقش آلاینده‌های انسانی مرتبط به این ابنیه فنی نیز اشاره کرد. در ادامه در طول مسیر روخانه مجدداً یک افزایش غلظت فلزات در پایین‌تر از ایستگاه پساب زباله در طول رودخانه ماشک مشهود می‌شود که این مهم در ارتباط مستقیم با فاضلاب‌های این ایستگاه پساب و یا در پایین‌تر آن در ارتباط با فاضلاب‌های خانگی و فاضلاب‌های مرتبط با شهرک صنعتی این منطقه می‌باشد. تغییرات زیاد در غلظت فلزات سنگین در بین ایستگاه‌های پساب زباله یعنی S10 تا S5 علاوه بر فاضلاب‌های شهری و خانگی در ارتباط با کانال‌های زهکشی آب از اراضی کشاورزی می‌باشد که بر روند تغییرات غلظت فلزات تاثیر مستقیمی

جدول ۶. نتایج آزمایش ICP-MS (برحسب میکروگرم بر کیلوگرم)

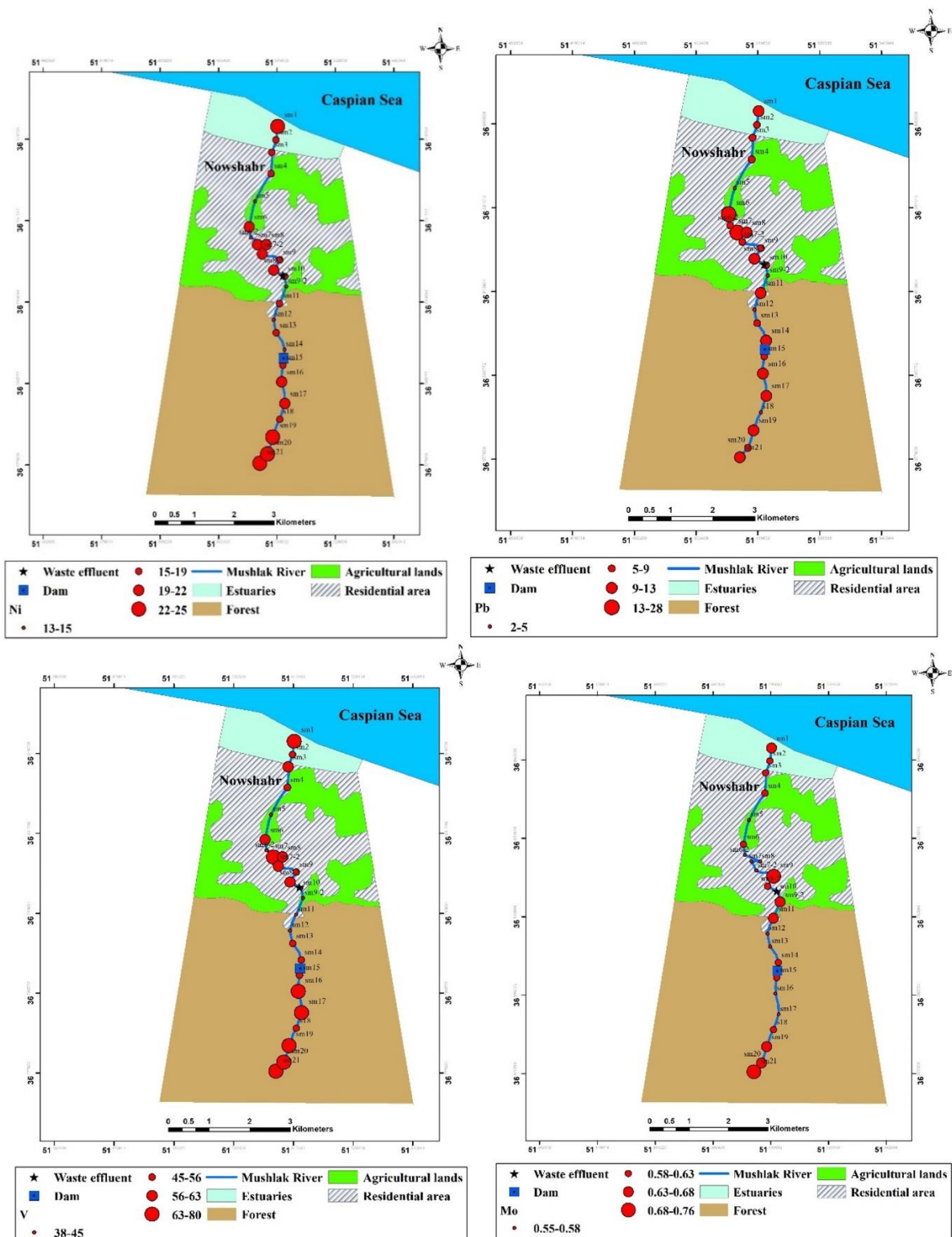
نمونه‌ها	Co	Cr	Cu	Al	Mo	Ni	Pb	V	Zn
S1	۶۰/۱۰	۷۷	۲۳	۴۳۲۵۸	۶۶/۰	۲۵	۱۲	۷۸	۶۴
S2	۲۰/۶	۴۶	۱۱	۲۸۳۱۱	۶۱/۰	۱۶	۷	۵۱	۴۱
S3	۲۰/۷	۵۸	۱۲	۳۱۱۶۷	۶۱/۰	۱۹	۸	۵۸	۴۷
S4	۷۰/۶	۵۳	۱۰	۲۸۱۳۲	۵۹/۰	۱۷	۷	۵۶	۴۶
S5	۱۰/۵	۳۴	۸	۲۲۲۱۴	۵۵/۰	۱۴	۳	۴۴	۳۵
S6	۱۰/۸	۵۰	۱۸	۳۴۷۶۸	۵۹/۰	۲۱	۲۰	۶۳	۵۵
S6-2	۵۰/۳	۲۵	۷	۱۷۷۴۹	۵۷/۰	۱۳	۶	۳۸	۳۲
S7	۸۰/۹	۵۴	۲۳	۳۹۴۱۵	۵۷/۰	۲۲	۲۸	۷۰	۶۵
S7-2	۸۰/۰	۵۱	۱۳	۳۲۷۸۹	۵۶/۰	۲۱	۸	۵۹	۴۸
S8	۸۰/۷	۵۶	۱۵	۳۳۵۱۵	۵۶/۰	۲۲	۱۰	۶۲	۵۲
S8-2	۳۰/۷	۵۷	۱۳	۳۱۴۳۹	۶۳/۰	۲۱	۱۰	۵۷	۴۵
S9	۴۰/۶	۴۴	۱۹	۲۹۱۶۹	۷۲/۰	۱۸	۶	۵۳	۴۰
S9-2	۱۰/۵	۳۴	۸	۲۲۸۹۵	۶۵/۰	۱۵	۵	۴۴	۳۲
S10	۸۰/۴	۳۴	۸	۲۱۲۵۱	۵۸/۰	۱۶	۶	۴۳	۳۴
S11	۴۰/۵	۲۸	۱۱	۲۳۳۱۱	۶۷/۰	۱۷	۱۲	۴۵	۴۵
S12	۲۰/۵	۳۱	۹	۲۳۰۴۲	۵۸/۰	۱۳	۲	۴۵	۳۴
S13	۶۰/۶	۴۳	۱۲	۲۹۷۶۴	۵۸/۰	۱۷	۸	۵۴	۴۶
S14	۹۰/۶	۲۸	۱۲	۲۹۳۶۶	۶۳/۰	۱۵	۱۳	۵۲	۶۰
S15	۹۰/۶	۴۰	۱۳	۲۷۶۹۹	۶۲/۰	۱۷	۷	۵۵	۵۰
S16	۶۰/۹	۵۹	۱۵	۳۷۶۷۵	۵۶/۰	۲۱	۱۱	۶۹	۵۸
S17	۶۰/۹	۵۹	۱۷	۳۹۹۰۰	۵۶/۰	۲۱	۱۱	۶۹	۵۸
S18	۹۰/۵	۴۴	۱۰	۲۷۳۳۱	۶۰/۰	۱۶	۵	۵۱	۳۹
S19	۷۰/۹	۶۸	۱۸	۴۲۸۱۲	۶۸/۰	۲۳	۱۰	۷۵	۶۲
S20	۷۰/۹	۵۵	۱۸	۴۰۸۶۸	۶۸/۰	۲۳	۹	۷۳	۵۷
S21	۴۰/۱۰	۶۲	۱۸	۴۴۱۸۲	۷۶/۰	۲۵	۱۱	۸۰	۶۳



شکل ۶. پراکندگی غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه ماشلک

می‌باشد (جدول ۸). به توجه به تحلیل کاربری منطقه مورد مطالعه و عدم وجود فعالیت صنعتی برجسته در منطقه به نظر می‌رسد آلودگی رسوبات این رودخانه به فلز نیکل و کروم در ارتباط با کاربری‌های مسکونی، فاضلاب‌های خانگی و شهری باشد.

ارزیابی آلودگی رسوبات بر اساس استاندارد SQGS بر اساس مقایسه رسوبات رودخانه ماشلک با معیارهای کیفیت رسوب با استانداردهای SQGS، رسوبات این رودخانه نسبت به فلزات مس، سرب و روی بدون آلودگی می‌باشد. از سویی دیگر ۱۶ درصد نمونه‌ها نسبت به فلز کروم و نیکل بدون آلودگی و ۸۴ درصد دارای آلودگی



ادامه شکل ۶. پراکنندگی غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه ماشلک

رودخانه هراز و کمتر از رسوبات رودخانه کارون و تجن می‌باشد. غلظت سایر فلزات یعنی مس، نیکل، سرب و روی در رسوبات رودخانه ماشلک کمتر از غلظت این فلزات در رودخانه‌های کارون، تجن و هراز می‌باشد.

مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین در بازه مورد مطالعه با سایر پژوهش‌های مشابه در ایران مانند رودخانه هراز، تجن و کارون در جدول ۹ ارائه شده است. غلظت فلز کروم در رسوبات رودخانه ماشلک بیش از غلظت این فلز در

جدول ۷. غلظت فلزات سنگین و پارامترهای آماری فلزات سنگین رسوبات رودخانه ماشلک (برحسب میکروگرم بر کیلوگرم).

Co	Cr	Cu	Al	Mo	Ni	Pb	V	Zn	عناصر
۷/۳۰	۴۸/۴۰	۱۳/۶۴	۳۱۲۸۰/۸۸	۰/۶۱۴۸	۱۸/۷۲	۹/۴۰	۵۷/۷۶	۴۸/۳۲	میانگین
۱۰/۶۰	۷۷/۰۰	۲۳/۰۰	۴۴۱۸۲/۰۰	۰/۷۶	۲۵/۰۰	۲۸/۰۰	۸۰/۰۰	۶۵/۰۰	بیشینه
۳/۵۰	۲۵/۰۰	۷/۰۰	۱۷۷۹۴/۰۰	۰/۵۵	۱۳/۰۰	۲/۰۰	۳۸/۰۰	۳۲/۰۰	کمینه
۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۵۱	۰/۱۸	۱/۰۳	۰/۱۱	۲/۹۹	۰/۳۱	۰/۰۰۶	کج شدگی
۱/۹۳	۱۲/۲۸	۴/۴۹	۷۳۷۷/۸۲	۰/۰۵	۳/۵۴	۵/۲۳	۱۱/۶۰	۱۰/۴۹	انحراف استاندارد معیار
۲۶/۵۳	۲۵/۳۸	۳۲/۹۷	۲۳/۵۸	۸/۷۷	۱۸/۹۰	۵۵/۷۲	۳۰/۰۹	۲۱/۷۰	ضریب تغییرات
۵۰/۰۰	۳۵/۰۰	۲۵/۰۰	۸۲۳۰۰/۰۰	۲/۱۰	۲۰/۰۰	۲۰/۰۰	۱۶۰/۰۰	۷۱/۰۰	میانگین غلظت پوسته بالایی

جدول ۸. مقایسه غلظت فلزات سنگین رسوب رودخانه ماشلک با استاندارد کیفیت رسوب SQGS (سطح اثر احتمالی PEL)

Element	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
SQGS	۳.۳۷	۷.۳۵	۹.۱۵	۳۵	۱۲۳
PEL	۹۰	۱۹۷	۸.۴۲	۱.۹۳	۳۱۵
رودخانه ماشلک					
مینیمم	۲۵	۷	۱۳	۲	۳۲
ماکزیمم	۷۷	۲۳	۲۵	۲۸	۶۵
میانگین	۴.۴۸	۶۴.۱۳	۷۲.۱۸	۴.۹	۳۲.۴۸
درصد نمونه‌ها در هر معیار					
درصد نمونه زیر SQGS	۱۶	۱۰۰	۱۶	۱۰۰	۱۰۰
بین SQGS و PEL	۸۴	۰	۸۴	۰	۰
بالتر از PEL	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۹. مقایسه میانگین غلظت فلزات در رسوبات رودخانه ماشلک با رسوبات رودخانه کارون، تجن و هراز

River/Area	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	References
ماشلک	۴۸/۴	۱۳/۶۴	۱۸/۷۲	۹/۴۰	۴۸/۳۲	مطالعه حاضر
کارون	۴۷/۷	۱۷/۲۳	۶۲/۱	۹/۲۲	۵۲/۶۳	راست‌منش و همکاران، ۱۳۹۴
تجن	۵۴/۲۹	۱۸	۳۳/۴۲	۱۷/۸۸	۵۰/۰۰	غریب رضا و همکاران، ۱۳۹۹
هراز	۲۸/۱	۳۲/۱	۴۳/۶	۲۶/۳۵	۷۳/۸۰	ناصرآبادی و همکاران، ۲۰۱۰

ایستگاه‌های S6، S7، S9 و S11 شاخص غنی‌شدگی این فلز در کلاس آلودگی متوسط قرار دارد. فلز مولیبدن، دیگر فلز سنگین نهشته‌های رودخانه ماشلک در ایستگاه‌های S5، S6-2، S9، S10، S11 و S12 غنی‌شدگی متوسط و در سایر نمونه‌ها غنی‌شدگی کمی را دارد. فلز مس نیز در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای غنی‌شدگی کم و تنها در ایستگاه S9 دارای غنی‌شدگی متوسط می‌باشد (شکل ۸).

شاخص زمین‌انباشت: نتایج شاخص زمین‌انباشت در نهشته‌های رودخانه ماشلک به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول ۱۱ و شکل ۵ ارایه شده است. بر مبنای این شاخص تنها فلز کروم دارای میانگین شاخص زمین‌انباشت بیشتر از یک بوده است و آلودگی کم تا

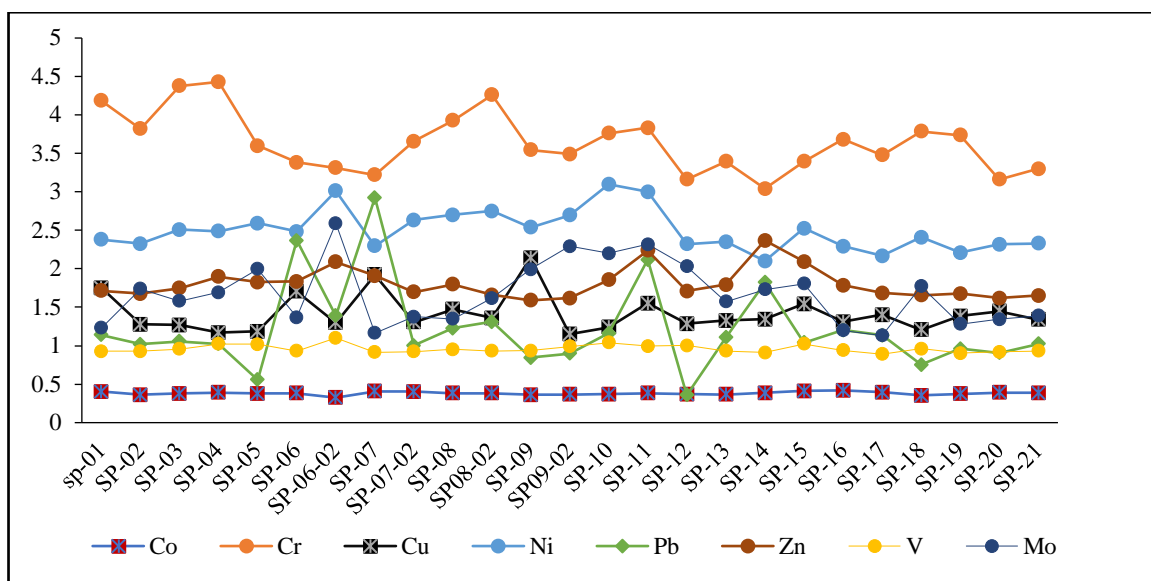
شاخص غنی‌شدگی: نتایج شاخص غنی‌شدگی در نهشته‌های رودخانه ماشلک نشان داد (جدول ۱۰، شکل ۷) که میانگین بیشترین شاخص غنی‌شدگی به ترتیب متعلق به فلزات کروم، نیکل، روی، مولیبدن، مس، سرب، وانادیوم و کبالت می‌باشد. شاخص غنی‌شدگی دو فلز کروم و نیکل در تمامی نمونه‌ها بین ۲ و ۵ است و نشان‌دهنده آلودگی متوسط نهشته‌های رودخانه ماشلک نسبت به این دو فلز می‌باشد. شاخص غنی‌شدگی دیگر فلزات سنگین مانند کبالت، وانادیوم و مس نشان‌دهنده غنی‌شدگی کم و سطح آلودگی کم نهشته‌های رودخانه ماشلک نسبت به فلزات مذکور می‌باشد. بررسی جزئی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در این رودخانه نشان می‌دهد که فلز سرب در تمامی نمونه‌ها غنی‌شدگی و آلودگی کمی دارد و تنها در

ایستگاه‌های S1، S19، S21، S16، S8، S8-2 و S3 می‌باشد.

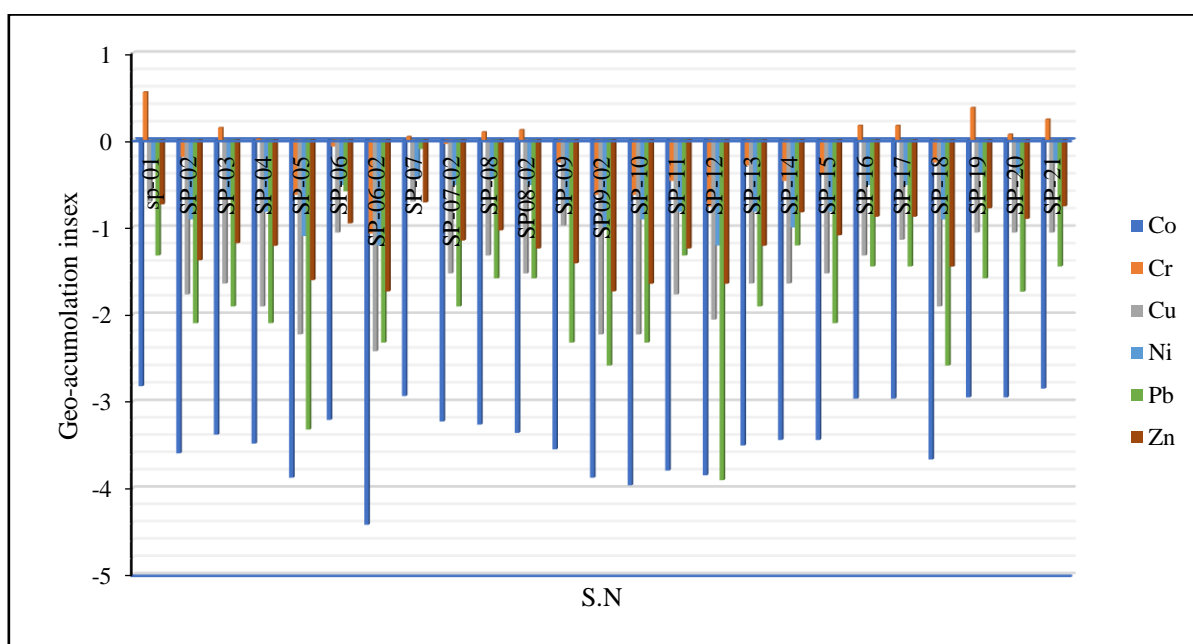
متوسط را نشان می‌دهد. میانگین شاخص زمین‌انباشت دیگر فلزات در این نهشته‌ها در طبقه غیرآلوده قرار دارند. بیشترین شاخص زمین‌انباشت فلز کروم به ترتیب در

جدول ۱۰. پارامترهای آماری شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب رودخانه ماشک.

Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	V	Mo	
۰/۳۸	۳/۶۴	۱/۴۲	۲/۵۰	۱/۲۱	۱/۸۱	۰/۹۶	۱/۶۷	میانگین
۰/۴۲	۴/۴۳	۲/۱۴	۳/۱۰	۲/۹۲	۲/۳۷	۱/۱۰	۲/۵۹	بیشینه
۰/۳۲	۳/۰۴	۱/۱۵	۲/۱۰	۰/۳۶	۱/۵۹	۰/۸۹	۱/۱۳	کمینه
۰/۰۲	۰/۳۷	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۵۴	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۳۹	انحراف معیار استاندارد
۵/۱۳	۱۰/۰۹	۱۶/۳۸	۱۰/۰۸	۴۴/۲۱	۱۰/۶	۵/۱۷	۲۳/۲۱	ضریب تغییرات



شکل ۷. شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین رسوبات رودخانه ماشک به تفکیک هر ایستگاه



شکل ۸. شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین رسوبات رودخانه ماشک به تفکیک هر ایستگاه

تا متوسط قرار دارد و ایستگاه‌های S6-2، S9-2، S10 و S12 آلودگی متوسط این فلز را نشان می‌دهند. فلز نیکل دیگر فلز سنگین مورد مطالعه، در ایستگاه‌های S6، S7، S8، S8-2، S16، S17، S19، S20 و S21 دارای آلودگی کم تا متوسط می‌باشد. فلز سرب نیز در همه ایستگاه‌ها آلودگی کم را نشان می‌دهد به جز در ایستگاه S7 که آلودگی کم تا متوسط را نشان می‌دهد.

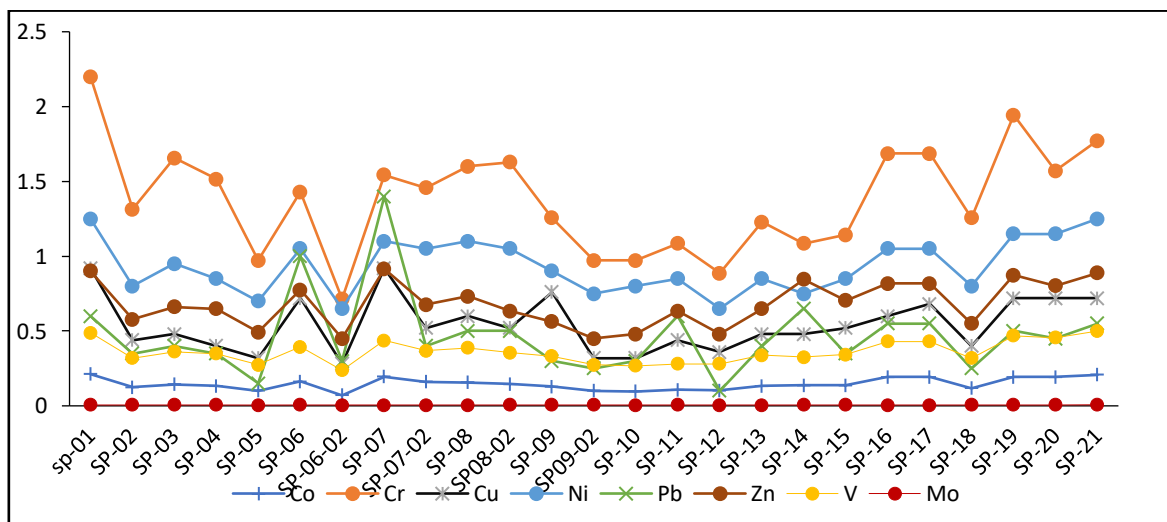
شاخص آلودگی: نتایج شاخص آلودگی نهشته‌های رودخانه ماشلک در جدول ۱۲ و شکل ۹ ارایه شده است. بیشترین میانگین شاخص آلودگی فلزات در نمونه‌های رودخانه ماشلک به ترتیب متعلق به فلزات کروم، نیکل، روی، مس، سرب و کبالت می‌باشد. به لحاظ کیفی، شاخص آلودگی فلز کروم در رسوبات رودخانه ماشلک نشان‌دهنده آلودگی متوسط و فاکتور آلودگی دیگر فلزات آلودگی کم را نشان می‌دهد. فلز کروم در تمامی ایستگاه‌ها در کلاس آلودگی

جدول ۱۱. پارامترهای آماری شاخص زمین‌انباشت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب رودخانه ماشلک

Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn	
-۳/۴۱	-۰/۱۷	-۱/۵۴	-۷/۹۶	-۰/۷۱	-۱/۸۷	-۲/۰۸	-۱/۱۸	میانگین
-۲/۸۲	۰/۵۵	-۰/۷۱	-۷/۶۵	-۰/۲۶	-۰/۱	-۱/۵۸	-۰/۷۱	بیشینه
-۴/۴۲	-۱/۰۷	-۲/۴۲	-۸/۱۲	-۱/۲۱	-۳/۹۱	-۲/۶۶	-۱/۷۳	کمینه
۰/۴	۰/۳۸	۰/۴۸	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۷۷	۰/۳۹	۰/۳۲	انحراف معیار استاندارد
-۱۱/۷۸	-۲۳۰/۲۵	-۳۱/۲۲	-۱/۵۴	-۳۹/۲۳	-۴۰/۹۷	-۱۳/۹۵	-۲۷/۵۹	ضریب تغییرات

جدول ۱۲. پارامترهای آماری فاکتور آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب رودخانه ماشلک

Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	V	Mo	
۰/۱۵	۱/۳۸	۰/۵۵	۰/۹۴	۰/۴۷	۰/۶۸	۰/۳۶	۰/۰۰۶	میانگین
۰/۲۱	۲/۲۰	۰/۹۲	۱/۲۵	۱/۴۰	۰/۹۲	۰/۵۰	۰/۰۰۷	بیشینه
۰/۰۷	۰/۷۱	۰/۲۸	۰/۶۵	۰/۱	۰/۴۵	۰/۲۳	۰/۰۰۵	کمینه
۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۰۰۴	انحراف معیار استاندارد
۲۶/۵۳	۲۵/۳۹	۳۲/۹۸	۱۸/۹	۵۵/۷۳	۲۱/۷۱	۰/۳۱	۱/۰۳	ضریب تغییرات



شکل ۹. شاخص آلودگی فلزات سنگین رسوبات رودخانه ماشلک به تفکیک هر ایستگاه

پتانسیل خطر اکولوژیکی بالقوه (RI) نیز در منطقه مورد مطالعه ۱۱/۵۴ می‌باشد که نشان‌دهنده ریسک بهداشتی پایین در گستره مورد مطالعه می‌باشد. هرچند در یک روند خطی از بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست رودخانه

ریسک اکولوژیکی: بررسی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در نهشته‌های رودخانه ماشلک حاکی از نبود آلودگی این نهشته و نشان‌دهنده ریسک اکولوژیکی کم منطقه مورد مطالعه می‌باشد (جدول ۱۳). میانگین

مهم نشان از منشأ مشترک و رفتار ژئوشیمیایی مشابه این فلزات می‌باشد. از سویی دیگر بین اندازه ذرات در حد گل و Mo رابطه مثبت و معنی‌دار بالایی وجود دارد، به نظر می‌رسد ذرات در حد گل و ترکیب کانی‌شناسی این ذرات می‌تواند علت وجود این رابطه مثبت باشد. بین ذرات در اندازه گل و فلزات Al, Ni, Cu, Cr, Co و V رابطه مثبت و معنی‌دار متوسط وجود دارد که این مهم می‌تواند در ارتباط با فرایندهای حمل و نقل فلزات سنگین توسط ذرات ریزدانه باشد هرچند بررسی‌های دقیق‌تر در این زمینه مورد نیاز می‌باشد.

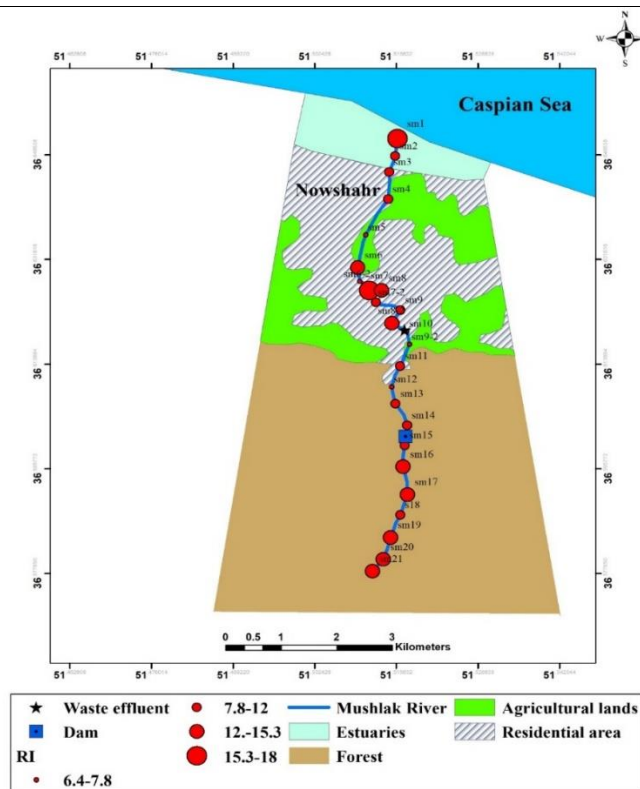
این شاخص دارای یک روند افزایشی است و این مهم می‌تواند به علت وجود و افزایش آلودگی در طول مسیر رودخانه باشد (شکل ۱۰).

آنالیزهای آماری

به منظور بررسی دقیق روابط بین غلظت فلزات و درصد اندازه ذرات آزمون همبستگی پیرسون بر روی نمونه‌ها صورت گرفته و نتایج در جدول ۱۴ ارائه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بین کلیه فلزات باهم به جز فلز Mo رابطه مثبت و معنی‌دار بالایی وجود دارد و این

جدول ۱۳. شاخص‌های آماری ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب رودخانه ماشلک

Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Er
۲/۷۷	۲/۷۳	۰/۹۴	۲/۳۵	۲/۷۷	میانگین
۴/۴۰	۴/۶۰	۱/۲۵	۷/۰۰	۴/۴۰	بیشینه
۱/۴۳	۱/۴۰	۰/۶۵	۰/۵۰	۱/۴۳	کمینه
۰/۷	۰/۹۰	۰/۱۸	۱/۳۱	۰/۷۰	انحراف معیار استاندارد
۲۵/۳۹	۳۲/۹۸	۱۸/۹۰	۵۵/۷۳	۲۵/۳۹	ضریب تغییرات



شکل ۱۰. پراکندگی ریسک اکولوژیک بالقوه در رسوبات رودخانه ماشلک

واریانس را شامل می‌شود و شامل فلزات کبالت، آلومینیوم، وانادیوم، مس، نیکل، روی، کروم می‌باشند (جدول ۱۶) و مؤلفه دوم نیز که ۱۵/۹۰ درصد کل واریانس را شامل می‌شود ارتباط مثبت و مستقیمی با مولیبدن و ذرات در

نتایج آزمون تحلیل مولفه اصلی (PCA) نیز، منجر به شناسایی ۲ شاخص اصلی گردید که ۸۸/۲۹ درصد کل واریانس را شامل می‌شوند (جدول ۱۵ و شکل ۱۱). فاکتور اول که اصلی‌ترین فاکتور می‌باشد و ۷۲/۳۸ درصد از کل

می‌باشد. نتایج تحلیل مولفه اصلی نیز دارای همپوشانی با تحلیل همبستگی پیرسون می‌باشد هرچند همبستگی متوسط ذرات در اندازه گل و فلزات در این آزمون دیده نمی‌شود که این مهم می‌تواند در ارتباط با محدوده همبستگی پیرسون باشد که بین ۰/۲۷ تا ۰/۴۷ بوده است و در آزمون PCA و ۲ فاکتور اصلی لحاظ نشده است.

اندازه گل در ارتباط می‌باشد. فاکتور اول نشان‌دهنده منشأ زمین‌زاد فلزات و فاکتور دوم که تنها فلز مولیبدن با گل در ارتباط هست نشان‌دهنده رفتار متفاوت ژئوشیمیایی این فلز نسبت به سایر فلزات می‌باشد. از سویی دیگر غلظت فلز مولیبدن نسبت به سایر فلزات ارتباط بیشتری با اندازه ذرات دارد و در نهشته‌های ریزدانه غلظت این فلز بیشتر

جدول ۱۴. نتایج آزمون تحلیل همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات و اندازه رسوبات رودخانه ماشک

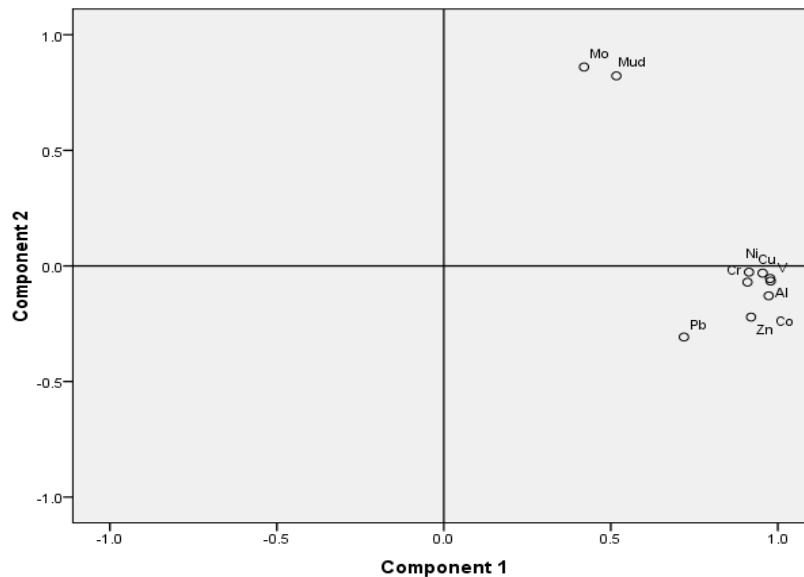
	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Al	Mo	V	Mud	Pb
Co	۱									
Cr	**۰/۸۹	۱								
Cu	**۰/۸۷	**۰/۷۶	۱							
Ni	**۰/۹۳	**۰/۹۱	**۰/۸۴	۱						
Zn	**۰/۹۲	**۰/۷۸	**۰/۸۳	**۰/۸۲	۱					
Al	**۰/۹۸	**۰/۹	**۰/۸۷	**۰/۹۳	**۰/۹۰	۱				
Mo	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۲۵	-۰/۳۳	۱			
V	**۰/۹۸	**۰/۹۱	**۰/۸۶	**۰/۹۳	**۰/۹	**۰/۹۹	۰/۳۴	۱		
Mud	*۰/۳۹	*۰/۴۱	*۰/۴۴	*۰/۴۷	۰/۲۷	*۰/۴۴	**۰/۸۷	*۰/۴۵	۱	
Pb	**۰/۶۵	**۰/۵۵	**۰/۶۹	**۰/۶۷	**۰/۷۸	**۰/۶۳	۰/۱۳	**۰/۶۱	۰/۱۴	۱

جدول ۱۵. نتایج آزمون تحلیل مولفه اصلی بین فلزات سنگین و کانی‌های رسوبات رودخانه ماشک

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۷/۲۴	۷۲/۳۸	۷۲/۳۸	۷/۲۴	۷۲/۳۸	۷۲/۳۸
۲	۱/۵۹	۱۵/۹	۸۸/۲۹	۱/۵۹	۱۵/۹	۸۸/۲۹
۳	۰/۵۶	۵/۶۵	۹۳/۹۴			
۴	۰/۲۱	۲/۱۲	۹۶/۰۶			
۵	۰/۱۸	۱/۷۹	۹۷/۸۶			
۶	۰/۱۰	۱/۰۲	۹۸/۸۸			
۷	۰/۰۷	۰/۷۶	۹۹/۶۴			
۸	۰/۰۲	۰/۲۲	۹۹/۸۶			
۹	۰/۰۰۸	۰/۰۸۲	۹۹/۹۴			
۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۵۳	۱۰۰			

جدول ۱۶. ضریب همبستگی بین فلزات سنگین و دو مؤلفه اصلی

	Component		Component		
	۱	۲	۱	۲	
Al	۰/۹۷۹	-۰/۰۶۶	Cu	۰/۹۱۴	-۰/۰۲۷
V	۰/۹۷۷	-۰/۰۵۴	Cr	۰/۹۰۹	-۰/۰۷۰
Co	۰/۹۷۳	-۰/۱۲۹	Pb	۰/۷۱۹	-۰/۳۰۸
Ni	۰/۹۵۵	-۰/۰۳۱	Mo	۰/۴۲	۰/۸۶۰
Zn	۰/۹۲	-۰/۲۲۱	Mud	۰/۵۱	۰/۸۲۲



شکل ۱۱. نمودار دو بعدی تحلیل مولفه اصلی

نتیجه‌گیری

مطالعات رسوب‌شناسی بر روی رودخانه ماشلک نشان داد که ترکیب رسوب‌شناسی این نهشته‌ها عموماً گراول ماسه‌ای است و از بالادست به سمت پایین‌دست و مصب رودخانه اندازه ذرات گل و ماسه افزایش می‌یابد و این بافت رسوب‌شناسی نشان‌دهنده نبود فرسایش‌پذیری ترکیبات سازندی بالادست و نزدیکی نهشته‌ها به منشأ می‌باشد. بررسی غلظت فلزات نیز نشان داد که بیشترین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رودخانه ماشلک به ترتیب متعلق به وانادیوم، کروم، روی، نیکل، مس، سرب، کبالت و مولیبدن می‌باشد. در مقایسه با میانگین غلظت پوسته بالایی تنها میانگین غلظت فلز کروم بیش از این استاندارد است و غلظت سایر فلزات کمتر از میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته بالایی می‌باشد و این مهم نشان از پتانسیل آلودگی فلز کروم در رسوبات رودخانه ماشلک دارد. در یک روند خطی از بالادست رودخانه تا پایین‌دست رودخانه و ورود رودخانه ماشلک به دریای خزر سه پیک واضح در تغییرات فلزات سنگین در طول رودخانه مشهود بوده است که در ارتباط مستقیم با سد، ایستگاه پساب دفن زباله و مصب رودخانه می‌باشد. در پایین‌دست سد کاهش غلظت فلزات سنگین به نظر می‌رسد در ارتباط به کاهش ذرات در اندازه گل در پشت سد و در پایین‌دست ایستگاه پساب زباله و ورودی رودخانه به دریا یعنی مصب رود، افزایش غلظت فلزات سنگین وجود دارد و این مهم

نشان‌دهنده دخالت بشر در تغلیظ این فلزات می‌باشد. هرچند تحلیل‌های دقیق‌تر نیازمند بررسی‌های توأم و هماهنگ رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی و حتی خصوصیات فیزیکوشیمیایی رسوبات از جمله TOC در کنار غلظت فلزات سنگین می‌باشد. اما آنچه در رسوبات رودخانه ماشلک مشهود می‌باشد به علت عدم وجود فعالیت‌های صنعتی و یا پتروشیمی پرخطر در مسیر رودخانه ماشلک، غلظت فلزات سنگین در رسوبات این رودخانه نسبت به استانداردهای جهانی افزایش محسوسی پیدا نکرده و فاقد خطر بهداشتی می‌باشند و تغییر در میزان این فلزات عموماً در ارتباط با فعالیت‌های کشاورزی، ترافیکی و فاضلاب‌های شهری می‌باشد که به صورت نقطه‌ای باعث ایجاد آلودگی در این نهشته‌ها شده است. براساس استانداردهای کیفیت رسوب SQGS، رسوبات ماشلک نسبت به فلزات مس، سرب و روی بدون آلودگی است اما رسوبات نسبت به فلز کروم و نیکل آلودگی دارد. بررسی شاخص غنی‌شدگی در نهشته‌های رودخانه ماشلک نشان داد که میانگین بیشترین شاخص غنی‌شدگی به ترتیب متعلق به فلزات کروم، نیکل، روی، مولیبدن، مس، سرب، وانادیوم و کبالت می‌باشد. شاخص غنی‌شدگی دو فلز کروم و نیکل نشان‌دهنده آلودگی متوسط نهشته‌های رودخانه ماشلک نسبت به این دو فلز است. شاخص غنی‌شدگی دیگر فلزات نشان‌دهنده غنی‌شدگی کم و سطح آلودگی کم نهشته‌های رودخانه ماشلک نسبت به این فلزات می‌باشد. بر مبنای شاخص

بدین وسیله از مساعدت‌های حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، همچنین از حسن نظر سردبیر محترم نشریه رسوب‌شناسی کاربردی دانشگاه بوعلی همدان و دقت نظر داوران محترم این نشریه تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

تقی‌پور، م.، خادمی، ح.، ایوبی، ش (۱۳۸۹) تغییرات مکانی غلظت سرب و روی در خاک‌های سطحی و ارتباط آن با مواد مادری و نوع کاربری در بخشی از استان همدان، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). دوره ۱، شماره ۲۴، ص ۱۴۴-۱۳۲.

چوپانی، س.، رضایی، پ.، غریب‌رضا، م. ر (۱۴۰۰) ارزیابی میزان آلودگی و توزیع فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون در بازه پل پنجم تا فارسیت با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و تحلیل‌های آماری. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی. دوره ۹، جلد ۱۸، ص ۱۳۳-۱۵۱.

خدابخش، س.، صحرارو، ن (۱۳۹۴) آزمایش‌های رسوب شناسی، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ۱۱۹ ص.

راست‌منش، ف.، زراسوندی، ع.، مسلم، ف (۱۳۹۴) ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. دوره ۹، شماره ۱۷، ص ۲۲-۱۱.

رشید شمالی، آ.، خداوردیلو، ح (۱۳۹۱) آلودگی خاک‌ها و گیاهان پیرامون بزرگراه ارومیه-سلماس به برخی فلزهای سنگین، نشریه دانش آب و خاک. دوره ۳، شماره ۲۲، ص ۱۷۲-۱۵۷.

ساریخانی، ر.، جمشیدی، ا.، بهرامی، ش.، قاسمی‌دهنوی، آ (۱۴۰۰) بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های شهرستان فریدون‌شهر، استان اصفهان، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۹، شماره ۱۷، ص ۱۳۱-۱۴۴

غریب‌رضا، م.، ر.، معصومی، ح.، جعفری‌گرزین، ب.، رحیم-زاده، ح.، اصغری‌پور دشت بزرگ، ن (۱۳۹۹) ارزیابی کیفیت رسوبات سطحی رودخانه تجن و تعیین سطح آلودگی بوم‌شناسی. مجله محیط‌زیست و مهندسی آب. دوره ۶، شماره ۴، ص ۵۰۰-۴۸۵.

قریب، ف.، مدنی‌گیوی، م.، سعیدی، ع.، حسین‌خان‌ناظر، ن (۱۳۸۳) گزارش ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ نوشهر. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ورقه شماره ۶۳۶۳.

زمین‌انباشت تنها فلز کروم آلودگی کم تا متوسط را نشان می‌دهد، دیگر فلزات در این نهشته‌ها در طبقه غیرآلوده قرار دارند. به لحاظ کیفی، فاکتور آلودگی فلز کروم در رسوبات رودخانه ماشلک نشان‌دهنده آلودگی متوسط و فاکتور آلودگی دیگر فلزات آلودگی کم را نشان می‌دهد. بررسی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در نهشته‌های رودخانه ماشلک حاکی از عدم آلودگی این نهشته‌ها دارد و نشان‌دهنده ریسک اکولوژیک کم منطقه مورد مطالعه می‌باشد. میانگین پتانسیل خطر بهداشتی کل منطقه (RI) نیز در منطقه مورد مطالعه ۱۱/۵۴ می‌باشد که نشان‌دهنده ریسک پایین بهداشتی می‌باشد. نتایج آزمون تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، منجر به شناسایی ۲ فاکتور اصلی گردید که ۸۸/۲۹ درصد کل واریانس را شامل می‌شوند. فاکتور اول شامل فلزات کبالت، آلومینیوم، وانادیوم، مس، نیکل، روی و کروم است و منشأ زمین‌زاد این فلزات را نشان می‌دهد، مؤلفه دوم نیز ارتباط مثبت و مستقیمی با فلز مولیبدن و ذرات در اندازه گل داشته است. بررسی تحلیل همبستگی نیز نشان‌دهنده رابطه مثبت معنی‌دار بالا همه فلزات به جز فلز Mo باهم و با فلز Al است که تایید کننده نتایج آزمون PCA می‌باشد. از سویی دیگر فلزات سنگین رابطه مثبت و معنی‌دار متوسطی با ذرات در اندازه گل دارند که این مهم در آزمون PCA کمتر مشهود است و به نظر می‌رسد می‌تواند نشان‌دهنده نقش ذرات ریزدانه در حمل، انتقال و تجمع فلزات سنگین در بستر رودخانه ماشلک باشد. به نظر می‌رسد با توجه به مورفولوژی سخت رودخانه در بالادست و کاربری اراضی جنگل که امکان فعالیت‌های انسانی و صنعتی را در منطقه محدود می‌کند، رسوبات این رودخانه آلودگی ناچیزی را نسبت به فلزات سنگین دارند و عمده آلودگی‌های این رسوبات به صورت نقطه‌ای و به علت فعالیت‌های کشاورزی و یا ایستگاه پساب زباله و شهرک صنعتی در محدوده‌های پایین‌دست رودخانه می‌باشد و به نظر می‌رسد رسوبات این رودخانه هنوز توانایی پالایش این آلودگی‌ها را دارند.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری تخصصی رشته زمین‌شناسی زیست‌محیطی تحت عنوان رسوب‌شناسی، ژئوشیمی زیست‌محیطی و آلودگی رسوبات رودخانه ماشلک نوشهر در منطقه باختر استان مازندران می‌باشد.

- Karimian, S., Chamani, A., Shams, M (2020) Evaluation of heavy metal pollution in the Zayandeh-Rud River as the only permanent river in the central plateau of Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 192(5): 1-13.
- Kelepertzis, E (2014) Accumulation of heavy metals in agricultural soils of Mediterranean: insights from Argolida basin, Peloponnese, Greece. *Geoderma*, 221: 82-90.
- Kowalska, J. B., Mazurek, R., Gąsiorek, M., Zaleski, T (2018) Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination—A review. *Environmental geochemistry and health*, 40: 2395–2420.
- Li, F., Huang, J., Zeng, G., Yuan, X., Li, X., Liang, J., Bai, B (2013) Spatial risk assessment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake, Middle China. *Journal of Geochemical Exploration*, 132: 75-83.
- Long, E. R., MacDonald, D. D., Smith, L., Calder, F. D (1995) Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19: 81–97.
- Luo, X., Ding, J., Xu, B., Wang, Y. J., Li, H. B., Yu, S (2012) Incorporating bioaccessibility into human health risk assessments of heavy metals in urban park soils. *Science of the Total Environment*, 424: 88-96.
- Luoma, S. N., Rainbow, P. S (2008) Metal contamination in aquatic environments: science and lateral management. Xiv, Cambridge: Cambridge University Press, 573 p.
- MacDonald, D. D., Car, R. S., Calder, F. D., Long, E. R., Ingersoll, C. R (1996) Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*, 5: 253-278.
- MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G., Berger, T (2000) Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(1): 20-31.
- Malvandi, H (2017) Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the Zarrin- Gol River sediments, Iran. *Mar. Pollut. Bull*, 117: 547–553.
- Müller, G (1969) Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2: 108-118.
- Nasrabadi, T., Nabi Bidhendi, G., Karbassi, A., Mehrdadi, N (2010) Evaluating the efficiency of sediment metal pollution indices in interpreting the pollution of Haraz River sediments, southern Caspian Sea basin. *Environ. Monit. Assess*, 171: 395–410.
- مرتضوی‌مهریزی، م.، فیاضی بروجنی، م.، خانه‌باد، م (۱۳۹۸) مطالعه ژئوشیمی رسوبات رودخانه مولید، جنوب خاور قائن به منظور تعیین نرخ هوازدگی، میزان آلودگی رسوبات و ارزیابی خطر زیست‌محیطی عناصر فلزی، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۷، شماره ۱۴، ص ۱۰۹–۱۲۱.
- Alahabadi, A., Malvandi, H (2018) Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 133: 741-749.
- Alloway, B. J (Ed.) (2012) Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer Science & Business Media, 22: 614p.
- Benítez, Á., Torres, S., Morocho, R., Carrillo, W., Donoso, D. A., Calva, J (2020) *Platyhypnidium aquaticum* as Bioindicator of Metal and Metalloid Contamination of River Water in a Neotropical Mountain City. *Plants*, 9(8): 974.
- Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., Zhou, N (2015) Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502: 224-235.
- CCREM (Canadian Council of Resource and Environment Ministers) (1987) Canadian water quality guidelines. Task Force on Water Quality Guidelines. Ottawa, Canada.
- Chandrasekaran, B., Yi, H. G., Blanco, N. J., McGeary, J. E., Maddox, W. T (2015) Enhanced Procedural Learning of Speech Sound Categories in a Genetic Variant of FOXP2. *Journal of Neuroscience*, 35(20): 7808–7812.
- Chen, X., Zhao, Y., Zeng, C., Li, Y., Zhu, L., Wu, J., Wei, Z (2019) Assessment contributions of physicochemical properties and bacterial community to mitigate the bioavailability of heavy metals during composting based on structural equation models. *Bioresource technology*, 289p.
- Dan, G., Daniel, F (2015) *Geomathematical and Petrophysical Studies in Sedimentology: An International Symposium*, herzien. 286 pp.
- Fang, X., Peng, B., Wang, X., Song, Z., Zhou, D., Wang, Q., Tan, C (2019) Distribution, contamination and source identification of heavy metals in bed sediments from the lower reaches of the Xiangjiang River in Hunan province, China. *Science of The Total Environment*, 689: 557-570.
- Folk, R. L (1980) *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill publishing company.
- Hakanson, L (1980) Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Journal of Water Research*, 14: 975–1001.

- Peris, M., Micó, C., Recatalá, L., Sánchez, R., Sánchez, J (2007) Heavy metal contents in horticultural crops of a representative area of the European Mediterranean region. *Science of the Total Environment*, 378: 42-48.
- Pourang, N., Tanabe, S., Rezvan, S., Dennis, J. H (2005) Trace elements accumulation in edible tissues of five sturgeon species from the Caspian Sea. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 100: 89-108.
- Raj, S., Jee, P. K., Panda, C. R (2013) Textural and heavy metal distribution in sediments of Mahanadi estuary, East coast of India. *Indian J. Mar. Sci*, 42: 370-374.
- Saeedi, M., Li, L.Y., Salmanzadeh, M (2012) Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of hazardous materials*, 227: 9-17.
- Sutherland, R. A (2000) Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ Geol*, 39: 611-627
- Tokhi, M., Abdelgawad, E., Lotfy. M. M (2008) Impact of Heavy Metals and Petroleum Hydrocarbons Contamination of the East Port Said Port area, Egypt. *Applied Sciences Research*, 4: 1788-1798.
- Tuker, M (1989) *Thechnique in sedimentology*. Blackwel Scientific Publication, London. 394p.
- Yuan, GL., Sun, T.H., Han, P., Li, J (2013) Environmental geochemical mapping and multivariate geostatistical analysis of heavy metals in topsoils of a closed steel smelter: Capital Iron & Steel Factory, Beijing, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 130:15-21.
- Zarezadeh, R., Rezaee, P., Lak, R., Masoodi, M., Ghorbani, M (2017b) A study of textural and accumulation heavy metals of sediments in mangrove ecosystem of Persian Gulf, South Iran. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 46(01): 85-78.
- Zhang, L., Ye, X., Feng, H., Jing, Y., Ouyang, T., Yu, X., Liang, R., Gao, C., Chen, W (2007) Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 974-982.
- Zhang, M., Li, X., Yang, R., Wang, J., Ai, Y., Gao, Y., Yu, H (2019) Multipotential toxic metals accumulated in urban soil and street dust from Xining City, NW China: spatial occurrences, sources, and health risks. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 76(2): 308-330.