

## بررسی شدت آلودگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شفارود

\* دکتر عبدالرضا کرباسی

\*\* مهندس آیدا بیاتی

\*\*\* دکتر غلامرضا نبی بیدهندی

### چکیده

در این تحقیق رسوبات رودخانه شفارود جهت تعیین غلظت عناصر سنگین، منشأ عناصر و شدت آلودگی مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. گرچه از سال های ۱۳۵۰ مقایسه نتایج غلظت عناصر سنگین با استانداردهای جهانی رایج بوده است لیکن نتایج تحقیق نشان میدهد که استفاده از میانگین های غلظت عناصر سنگین در پوسته زمین و رسوبات جهانی روش مناسبی جهت برآورد میزان آلودگی در منطقه مورد مطالعه نمی باشد. غلظت عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شفارود توسط واحدهای زمین شناسی منطقه تحت کنترل می باشند و در این میان واحدهای آهکی نقش بیشتر و مهمتری نسبت به دیگر واحدهای زمین شناسی منطقه دارند همچنین مواد آلی طبیعی نیز در جذب عناصر و تولید پیوند آلی- فلزی مؤثر بوده اند. به علت تاثیر مواد آهکی بر غلظت عناصر مشاهده می شود که به طور کل غلظت های بدست آمده در منطقه نسبت به میانگین های جهانی کمتر است. در ادامه تحقیق با استفاده از LOI, Ca, Al به ترتیب به عنوان شاخص های زمینی، بیوژنیکی و مواد آلی نسبت به منشأ یابی عناصر منگنز، آهن، نیکل، مس، روی، سرب و کبالت اقدام شد. گرچه دو عنصر آهن و منگنز مستقیماً با شاخص زمینی ارتباط دارند و منشأ آنها کاملاً زمینی است لیکن دیگر عناصر مورد مطالعه نیز دارای منشأ زمینی بوده و توسط مواد آلی طبیعی و مواد بیوژنیکی طبیعی تحت کنترل می باشند. بدین ترتیب، خوشبختانه اثری از آلودگی فلزی در رودخانه شفارود مشاهده نگردیده است. شاخص ژئوشیمیایی مولر نیز مؤید این امر بوده و خروجی محاسبات این شاخص، شدت آلودگی عناصر منگنز، سرب، نیکل، مس، روی و آهن را در رده غیر آلوده نشان می دهد.

### کلید واژه ها

فلزات سنگین، رسوبات، آلودگی، شفارود

**سرآغاز**

بخشی از غلظت عناصر کمیاب در رسوبات، به طور عمده در اثرهوازدگی سنگهای بستر، واریزه های غیرآلوده و شستشوی حوزه رودخانه های غیر آلوده روی هم انباشته شده و اجزای اصلی رسوبات را تشکیل می دهند. پس از رسیدن عناصر کمیاب به اکوسیستم آبی، ممکن است فرایندهای ژئوشیمیایی محیط زیستی<sup>(۱)</sup> بر غلظت آنها در رسوبات تأثیر بگذارد. عناصر کمیاب به صورت پیوندهای سست، سولفیدی و آلی در رسوبات رودخانه‌ای حضور دارند. بنابراین افزایش غلظت عناصر سنگین توسط منابع آلوده ساز در هر سه پیوند مذکور، امکان پذیر است و معمولاً با تغییرات جزئی در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه، امکان آزادسازی عناصر و ورود آنها به آب رودخانه وجود دارد (Yang & Rose, 2005). ذکر این نکته حایز اهمیت است که علاوه بر سه پیوند فوق که بین منابع طبیعی و آلودگی مشترک است دو پیوند محکم تر تحت عناوین پیوند مقاوم و پیوند میان بطنی نیز در رسوبات وجود دارد که مختص منابع طبیعی است و آلودگی‌ها نمی‌توانند در این دو پیوند قرار گیرند.

مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات پیکره‌های آبی مانند رودخانه ها، مصب‌ها و بستر دریاها، می تواند گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی محیط زیستی وضعیت موجود در یک منطقه باشد (Shajan, 2001). آلاینده‌ها برای مدت طولانی در رسوبات، باقی می‌مانند ولی در اثر فعالیت‌های بیولوژیکی و تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی، وارد آبهای فوقانی می‌شوند (Helling et al., 1990)، لذا اندازه گیری غلظت کل عنصر سنگین، نمی تواند تصویر واقعی از آلودگی یک محیط آبی فراهم سازد. این مسأله، لزوم انجام مطالعات تفکیک شیمیایی را به منظور دستیابی به منشأ و نوع پیوندها، ضروری می سازد (Gupta & Chen, 1975; Chester & Hughes, 1967). در صورت عدم دسترسی به امکانات لازم می توان از علم آنالیز خوشه‌ای برای منشأ یابی عناصر سنگین در رسوبات استفاده نمود (Davis, 1973).

حوزه آبریز رودخانه شفاورد در ارتفاعات شمالی کوه‌های البرز در محدوده جغرافیایی ۴۰' ۴۸" تا ۰۵' ۴۹" طول شرقی و ۲۲' ۳۷" تا ۳۵' ۳۷" عرض شمالی واقع است. مساحت این حوزه ۳۵۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن ۱۵۵۷ متر، شیب متوسط حوزه ۷/۷ درصد و طول رودخانه ۳۴/۵ کیلومتر است. رودخانه شفاورد از رودخانه‌های مستقل حوزه آبریز دریای خزر بوده و در استان گیلان، در بخش هشت پر

طوالش واقع شده و جنوبی‌ترین رودخانه زیر حوزه تالش به شمار می‌رود. پس از این آبراهه، حوزه تالاب انزلی شروع می شود. شفاورد از ارتفاعات ۲۵۸۰ متری، سرچشمه گرفته و بخش مهمی از آن در منطقه کوهستانی قرار دارد (افشین، ۱۳۷۳؛ شرکت مهندسی مشاور نشتاک، ۱۳۷۶؛ شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۷۵). در تحقیق حاضر، سعی شده است از طریق آنالیز شیمیایی رسوبات بستر رودخانه شفاورد، میزان آلودگی را برآورد نمود. در مجموع در حوزه آبریز رودخانه، حدود ۱۷ واحد صنعتی کوچک و متوسط شناسایی شده‌اند که تنها ۲ واحد از آنها احتمال تأثیرگذاری بر کیفیت آب رودخانه را دارا می‌باشند. اولین واحد آلوده ساز رودخانه شفاورد که از طریق شاخه های فرعی می تواند در آلودگی رودخانه نقش داشته باشد، استخرهای پرورش ماهی قزل آلا می باشد. واحد دیگر کارخانه برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه است که می تواند نقش مؤثری در تغییر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه داشته باشد.

**روش و مواد بررسی**

در این تحقیق رسوبات توسط پیترسون گرب<sup>(۲)</sup> (به ابعاد ۱۵×۵×۱۰ سانتیمتر) از ۸ ایستگاه در رودخانه شفاورد جمع‌آوری گردید. نمونه برداری در سال ۱۳۸۴ انجام و مختصات محل‌های نمونه برداری در جدول (۱) ارائه شده است.

**جدول شماره (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاههای**

**نمونه برداری در رودخانه شفاورد**

شماره ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱*	۴۸°-۴۵'-۰۰"	۳۷°-۳۰'-۳۰"
۲	۴۸°-۴۹'-۴۸"	۳۷°-۳۰'-۰۰"
۳	۴۸°-۵۱'-۴۸"	۳۷°-۳۱'-۳۶"
۴	۴۸°-۵۴'-۳۰"	۳۷°-۳۱'-۵۴"
۵**	۴۸°-۵۸'-۰۰"	۳۷°-۳۱'-۲۴"
۶	۴۹°-۰۲'-۴۲"	۳۷°-۳۱'-۰۶"
۷	۴۹°-۰۶'-۴۸"	۳۷°-۳۱'-۳۶"
۸***	۴۹°-۰۷'-۳۰"	۳۷°-۳۳'-۱۸"

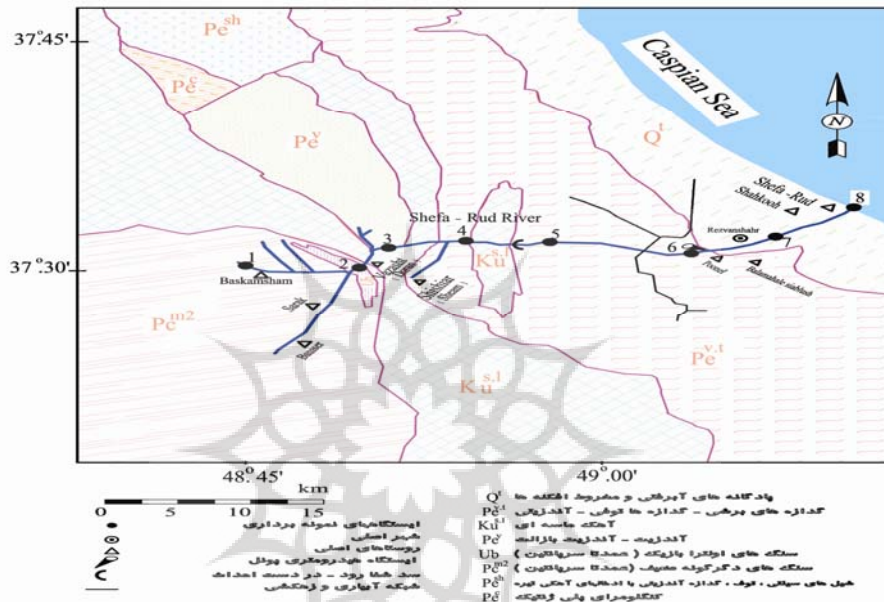
\* بالا دست رودخانه

\*\* میان دست رودخانه

\*\*\* مصب

نمی گیرند. در شکل شماره (۱)، موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری از رسوبات بستر رودخانه و مسیر عبور رودخانه از بسترهای مختلف زمین شناسی نشان داده شده است. وزن نمونه‌های برداشت شده از محل ایستگاه‌های نمونه برداری، حدود ۵ کیلوگرم است.

شایان ذکر است که نمونه برداری از رسوبات بستر رودخانه فقط یک بار صورت گرفته است. برخلاف تغییرات فصلی در غلظت عناصر محلول، چنین شرایطی بر رسوبات بستر حاکم نمی‌باشد و به طور کلی غلظت عناصر در رسوبات بستر، تحت تاثیر شرایط آب و هوایی قرار



شکل شماره (۱): موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری از رسوبات رودخانه شفارود

استاندارد رسوبی MESS-1 مورد استفاده قرار گرفت (کرباسی، ۱۳۷۹) و خطای آزمایشات برای کلیه عناصر، کمتر از ۵٪ براساس این نمونه میباشد (جدول شماره ۲).

آنالیز خوشه‌ای، یک روش پژوهشی چند متغیره<sup>(۳)</sup> است که در این مطالعه به منظور منشأیابی آماری عناصر (Anzawa et al., 2004; Baeyens et al., 2004) & Davis, 1973) و به وسیله نرم افزار Cluster مورد استفاده قرار گرفته است. از ضرایب همبستگی که توسط نرم افزار Explore به دست آمد، برای دستیابی به ضرایب تشابه و رسم دندوگرام استفاده شد. درخت خوشه‌ای، گزینه‌های هم وزن را به هم متصل می‌کند تا خوشه‌های بزرگتر ایجاد شود و تشابهات مابین نمونه‌ها را سنجش و ارزیابی نماید (Anzawa et al., 2004; Baeyens et al., 2004)

کلیه نمونه‌ها تحت دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شدند و پس از جداسازی حدود ۵ گرم از ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرون متر، در هاون عقیق پودر شدند. روش هضم با استفاده از HF- HCl- HNO<sub>3</sub> - HClO<sub>4</sub> صورت گرفته است، دمای هضم ۱۲۵ درجه سانتیگراد، با استفاده از حمام شن بوده است. بار مواد آلی (LOI) با قرار دادن نمونه خشک به مدت ۴ ساعت، تحت دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد و محاسبه اختلاف وزن توسط دستگاه جذب اتمی VARIAN TECHTRO AA-5 به دست آمد. لازم به ذکر است که کلیه اسیدها و سایر مواد شیمیایی مورد استفاده از نوع درجه خلوص بالا بوده، بنابراین حداقل ناخالصی فلزی به نمونه‌ها اضافه شده است. نمونه‌های شاهد و بدل نیز برای مشخص نمودن میزان ناخالصی و بررسی دقت آزمایشات، مورد استفاده قرار گرفتند. برای حصول اطمینان از نتایج تحقیق، نمونه

**جدول شماره (۲): مقایسه نتایج استاندارد \* MESS-1 : غلظتهای به دست آمده و چاپ شده**

عنصر*	نتایج چاپ شده	نتایج به دست آمده
مس	۲۵/۱ (۳/۸)	۲۳/۸
کبالت	۱۰/۸ (۱/۹)	۱۰/۳
سرب	۳۴ (۶/۱)	۳۲/۳
منگنز	۵۱۳ (۲۵)	۴۸۷/۴
نیکل	۲۹/۵ (۲/۷)	۲۸/۰
روی	۱۹۱ (۱۷)	۱۸۱/۵
آهن به صورت Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴/۶۳ (۰/۲۵)	۴/۴۰
آلومینیوم به صورت Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۱/۰۳ (۰/۳۸)	۱۰/۴۸
کلسیم به صورت Cao	۰/۶۷ (۰/۰۶)	۰/۶۴

\* National Research Council of Canada

( ) انحراف معیار

\* کلیه غلظت‌ها برحسب mg/kg و غلظتهای آهن، آلومینیوم و کلسیم برحسب

درصد ارائه شده است.

در نهایت، با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی، نسبت به برآورد شدت آلودگی عناصر مورد مطالعه اقدام شده است (Muller, 1979).

**یافته‌ها**

مقادیر فلزات سنگین و بار مواد آلی اندازه گیری شده در ۸ ایستگاه نمونه برداری در رسوبات رودخانه شفارود، در جدول شماره (۳) ارائه شده است.

آمار این جدول نشان می‌دهد که میانگین غلظت مس و نیکل (۳۵ و ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم) در حد فاصل میانگین غلظت‌های پوسته زمین و رسوبات جهانی قرار گرفته است. اما میانگین غلظت سرب در رسوبات شفارود به میزان کمی از میانگین رسوبات جهانی بالاتر است. البته عدم تغییر در غلظت سرب در طول رودخانه (از بالادست تا مصب) نشان می‌دهد که منشأ سرب علیرغم بالاتر بودن غلظت آن نسبت به میانگین رسوبات جهانی، طبیعی است و با توجه به حضور واحدهای زمین شناسی از جنس آهک در منطقه مورد مطالعه، این انتظار وجود دارد که سرب به صورت کربنات سرب و از طریق فرسایش واحدهای زمین شناسی وارد رسوبات رودخانه شفارود شده باشد.

**جدول شماره (۳): نتایج آنالیز (هضم کامل) رسوبات روخانه شفارود**

شماره ایستگاه	mg/kg				%			مواد آلی		
	مس	نیکل	سرب	کبالت	روی	منگنز	آهن		آلومینیوم	کلسیم
۱	۳۳	۴۹	۲۰	۱۰	۵۶	۵۲۰	۲/۵	۴/۱	۱/۱	۳/۵
۲	۳۴	۴۸	۲۰	۱۰	۵۸	۵۱۰	۲/۵	۴/۲	۱/۲	۳/۲
۳	۳۴	۵۰	۲۰	۹	۵۹	۵۱۵	۲/۵	۴/۱	۱/۱	۳/۶
۴	۳۵	۴۹	۲۰	۸	۵۸	۵۱۷	۲/۵	۴/۱	۱/۳	۳/۴
۵	۳۴	۵۱	۲۱	۱۱	۵۹	۵۱۲	۲/۴	۴/۲	۱/۲	۳/۲
۶	۳۶	۵۱	۲۰	۱۰	۵۷	۵۱۴	۲/۶	۴/۲	۱/۲	۳/۳
۷	۳۵	۵۰	۲۰	۱۰	۵۹	۵۰۰	۲/۴	۴/۱	۱/۲	۳/۶
۸	۴۱	۵۸	۲۱	۱۲	۶۶	۴۴۰	۱/۹	۳/۳	۱/۹	۵/۲
حداقل	۳۳	۴۸	۲۰	۸	۵۶	۴۴۰	۱/۹	۳/۳	۱/۱	۳/۲
حداکثر	۴۱	۵۸	۲۱	۱۲	۶۶	۵۲۰	۲/۶	۴/۲	۱/۹	۵/۲
انحراف معیار	±۲/۵	±۳/۱	±۰/۴۶	±۱/۲	±۳/۰	±۲۶	±۰/۲	±۰/۳	±۰/۲۷	±۰/۶۶
میانگین این مطالعه	۳۵/۲۵	۵۰/۷۵	۲۰/۲۵	۱۰	۵۹	۵۰۳/۵	۲/۴۱	۴/۰۴	۱/۲۸	۳/۶۳
میانگین پوسته زمین	۵۰	۸۰	۱۴	۲۰	۷۵	۹۵۰	۴/۱	۸/۲	۴/۱	—
میانگین رسوبات جهانی	۳۳	۵۲	۱۹	۱۴	۹۵	۷۷۰	۴/۱	۷/۲	۶/۶	—

(Ref. Bowen, 1979)

می‌توان نتیجه گرفت که عوامل کنترل کننده عناصر شاخه A یکسان می‌باشند. مس، کلسیم، نیکل، روی و LOI نیز تحت ضرایب تشابه بسیار بالا و معنی‌دار شاخه B را تشکیل داده‌اند و لذا می‌توان گفت که منشأ یکسان دارند. سرب و کبالت تحت ضرایب تشابه کمتر ولی معنی‌دار به هم پیوسته و شاخه C را تشکیل داده‌اند. شاخه‌های B و C، تحت ضرایب تشابه نسبتاً بالا به هم پیوسته ولی با ضرایب تشابه منفی و بسیار پایین (غیرمعنی‌دار) به شاخه A متصل شده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که منشأ عناصر در شاخه A با شاخه‌های B و C متفاوت است.

### بحث و نتیجه گیری

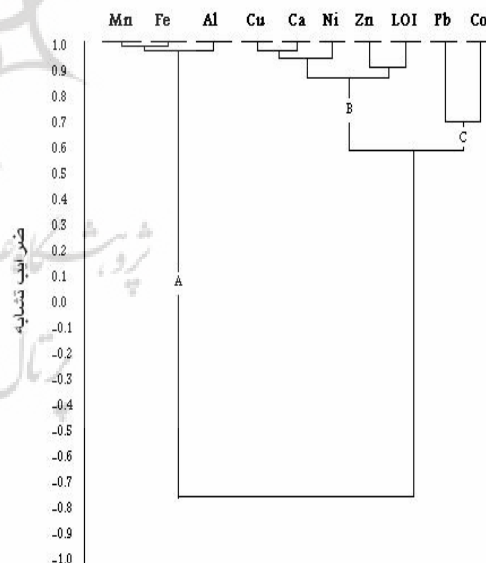
در منشأ یابی عناصر سنگین از طریق آماری، عناصری نظیر آلومینیوم و آهن، کلسیم، وانادیوم و نیکل، بار مواد آلی، به ترتیب به عنوان شاخص‌های زمینی، بیوژنیک، نفتی و آلی در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به دندوگرام آنالیز خوشه‌ای رسوبات رودخانه شفارود، می‌توان نتیجه گرفت که کلیه عناصر در شاخه A می‌توانند دارای منشأ زمینی باشند. منگنز به دلیل هم‌شاخه بودن با آهن و آلومینیوم، دارای منشأ زمینی است. براساس نتایج تجزیه کامل عناصر که در جدول شماره (۳) ارائه شده است، غلظت آهن، آلومینیوم و منگنز در رسوبات شفارود، نسبت به میانگین پوسته زمین و رسوبات جهانی کمتر می‌باشد که این امر خود حاکی از نقش زمین شناسی در کنترل غلظت عناصر سنگین است.

به دلیل حضور کلسیم و مواد آلی می‌توان نتیجه گرفت که عناصر شاخه B دارای میل ترکیبی با مواد آلی و کربناتی می‌باشند. ضمناً در مکان‌هایی که مواد کربناتی در توزیع عناصر، نقش ایفا می‌نمایند، معمولاً غلظت عناصر، نسبت به دیگر محیط‌های رسوبی کمتر است. علت این پدیده را می‌توان چنین توجیه کرد که به دلیل اشباع شدن ظرفیت رسوبات از کلسیم، میزان حضور در فازهای سست بیشتر است و در محیط‌های کم عمق و سرعت زیاد آب رودخانه، پیوند عناصر با ذرات معلق، احتمال آلودگی در رسوبات را کاهش می‌دهد.

همبستگی مثبت با بار مواد آلی (LOI)، نشانه تثبیت پیوند آلی - فلزی در فاز زمینی و کنترل زمین شناسی از طریق کلوئیدهای هموموسی و رسی موجود در خاک منطقه، به خصوص ذرات معلق می‌باشد، یعنی غلظت عناصر توسط زمین شناسی منطقه، تحت کنترل است.

پایین‌تر بودن غلظت‌های کبالت، روی و منگنز نسبت به غلظت‌های پوسته زمین و رسوبات جهانی نیز حاکی از عدم آلوده بودن محیط است. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که غلظت‌های عناصر سنگین در واحدهای مختلف زمین شناسی بسیار متفاوت بوده و مقایسه غلظت‌ها با میانگین‌های پوسته و رسوبات جهانی، نتیجه خاصی را در اختیار نمی‌گذارد. در تأیید این صحبت می‌توان از غلظت‌های آهن، آلومینیوم و کلسیم نیز استفاده کرد که همگی به مراتب کمتر از میانگین‌های پوسته زمین و رسوبات جهانی است و به عبارت دیگر حاکی از متفاوت بودن واحدهای زمین‌شناسی در این منطقه با متوسط‌های جهانی می‌باشد.

ضرایب همبستگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شفارود به منظور تفسیر آماری رابطه عناصر سنگین با یکدیگر و منشأیابی آنها مورد استفاده قرار گرفته است. سپس ضرایب همبستگی به دندوگرام آنالیز خوشه‌ای تبدیل شده و به ضرایب تشابه تغییر نام یافته است. نتایج آنالیز خوشه‌ای در نمودار شماره (۱) ارائه شده است.



نمودار شماره (۱): دندوگرام آنالیز خوشه‌ای عناصر سنگین در رسوبات شفارود

آنالیز خوشه‌ای از سه شاخه A، B و C تشکیل یافته است. در شاخه A سه عنصر آهن، آلومینیوم و منگنز حضور دارند که تحت ضرایب تشابه بسیار بالا و معنی‌دار به یکدیگر متصل شده‌اند بنابراین

مولر استفاده گردید که اساس آن بر فرمول زیر استوار است (Muller, 1979):

$$I_{geo} = \log_2 \left[ \frac{C_n}{1.5} \times B_n \right]$$

I<sub>geo</sub>: شاخص تجمع ژئوشیمیایی و یا شاخص شدت آلودگی در رسوبات؛

C<sub>n</sub>: غلظت فلزات سنگین و سمی در رسوبات ریز با قطر کمتر از ۶۳ میکرون متر؛

B<sub>n</sub>: غلظت فلزات سمی در شیل (Shale) یا غلظت پیشین و اولیه عناصر در زمانی که آلودگی وجود نداشته است.

فاکتور ۱/۵ به دلیل احتمال اختلاف در غلظت اولیه رسوبات به دلیل تأثیر عوامل زمینی در معادله فوق گنجانده شده است.

بر اساس فرمول ژئوشیمیایی، داده‌های حاصل از تحقیق حاضر و غلظت عناصر در شیل، شدت آلودگی عناصر در رودخانه سفارود محاسبه و در جدول شماره (۴) با طبقه بندی مولر مقایسه شده است.

با توجه به نقشه‌های زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، می‌توان دریافت که سنگ‌های مادر آلومینیوسیلیکاتی در توزیع عناصر، نقشی ندارند (به استثنای Al و Fe و Mn) و منشأ عناصر از دیگر واحدهای زمین شناسی منطقه مانند بازالت، سنگ آهک، ماسه سنگ و توف بوده که به طور عمده فاقد سنگ‌های مادر آلومینیوسیلیکاتی می‌باشند و چنانکه در بالا ذکر شد، سنگ آهک تأثیر بیشتری در این روند داشته است.

در شاخه C، دو عنصر کبالت و سرب حضور دارند. گرچه آنالیز خوشه‌ای قادر به تعیین وضعیت دو عنصر سرب و کبالت به صراحت دیگر عناصر نمی‌باشد ولی ارتباط معنی‌دار بین دو شاخه B و C حاکی از آن است که مواد کربناته و آلی نیز نقش مهمی در کنترل این دو عنصر دارد لیکن علاوه بر مواد کربناته و مواد آلی، مکانیزم‌های کنترلی دیگری نیز فعال بوده که به لحاظ عدم اندازه گیری شاخص‌های بیشتر، نمی‌توان نتیجه‌گیری بیشتری را ارائه نمود. به منظور تعیین شدت آلودگی منطقه مورد مطالعه از شاخص ژئوشیمیایی

**جدول شماره (۴): مقایسه شدت آلودگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه سفارود با طبقه بندی مولر**

راهنمای Igeo براساس طبقه بندی مولر					Igeo مطالعه حاضر	عنصر
شدت آلودگی منطقه	درجه آلودگی عنصر در این مطالعه	شدت آلودگی (مولر)	درجه آلودگی (مولر)	محدوده Igeo (مولر)		
غیر آلوده	۱	غیر آلوده	۱	۰-۱	۰/۵۸	منگنز
غیر آلوده	۱	متوسط	۲	۱-۲	۰/۵۸	سرب
غیر آلوده	۱	متوسط	۳	۲-۳	۰/۶۳	نیکل
غیر آلوده	۱	شدید	۴	۳-۴	۰/۶۶	مس
غیر آلوده	۱	شدید	۵	۴-۵	۰/۶۸	روی
غیر آلوده	۱	بسیار شدید	۶	۵-۶	۰/۷۷	آهن

در مجموع، آنالیز خوشه‌ای نشان داد که منشأ آنها به طور عمده از سنگ‌های مادر موجود در منطقه است. در ادامه بررسی، شاخص ژئوشیمیایی مولر برای منطقه محاسبه شد و مشخص گردید که رسوبات رودخانه سفارود به طور کامل غیر آلوده می‌باشند. بنابراین غلظت‌های به دست آمده در این تحقیق می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای مطالعات آتی قرار گیرد.

بر این اساس شدت آلودگی عناصر سنگین رسوبات رودخانه سفارود در محدوده ۰-۱ در رده غیر آلوده و با درجه آلودگی ۱ قرار می‌گیرند. شدت آلودگی عناصر به شرح زیر است:

$$Fe (0.77) > Zn (0.68) > Cu (0.66) > Ni (0.63) > Mn \& Pb (0.58)$$

با توجه به مطالب فوق، غلظت‌های به دست آمده در این تحقیق نسبت به میانگین‌های پوسته زمین و رسوبات جهانی متغیر بوده ولی



Different Compartments of Lake Balaton. J. Science of the Total Environment 341, pp.211-226.

Chester, R. and Hughes, M. 1967. A Chemical Technique for the Separation of Ferromanganese Minerals, Carbonate Minerals and Adsorbed Trace Elements from Pelagic Sediments. J. Chemical Geology, v.2, pp.242-262.

Davis, J.C. 1973. Statistics and Data Analysis in Geology. Wiley International, New York.

Gupta, S. K., Chen, K. Y. 1975. Partitioning of Trace Metals in Selective Chemical Fraction of Near shore Sediments. J. Environmental Letters, v.10, pp.129-158.

Helling, D. et al. 1990. Sediments and Environmental Geochemistry. Springer Verlag, New York.

Karbassi, A.R. 1989. Geochemical and Magnetic Studies of Marine, Estuarine and riverine Sediments. Ph.D. Thesis, Mangalore University, India, 196p.

Karbassi, A. R. 1998. Geochemistry of Ni, Zn, Cu, Pb, Co, Cd, V, Mn, Fe, Al and Ca in Sediments of North Western Part of the Persian Gulf. Intl. J. Env. Studies, v.54, pp.205-212.

Shajan, K.P. 2001. Geochemistry of Bottom Sediments from a River-Estuary-Shelf Mixing

## یادداشت‌ها

1-Environmental Geochemistry

2-Peterson Grab

3-Multivariate Exploratory

## منابع مورد استفاده

افشین، یدا... ۱۳۷۳. رودخانه های ایران، جلد دوم، انتشارات وزارت نیرو، شرکت مهندسی مشاور جاماب، تهران. ص ۲۲۳.

کرباسی، عبدالرضا. ۱۳۷۹. غلظت استاندارد و منشا Pb, Mn, Ni, Zn, Cu, Co, Cd, V, Fe در رسوبات خلیج فارس. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۵ و ۶، ص ۵۳ تا ۶۶.

شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس. ۱۳۸۳. آلودگی منابع آب و خاک و ارزیابی محیط زیستی شفارود، جلد اول.

شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس. ۱۳۷۵. طرح سد مخزنی شفارود مطالعات مرحله دوم، گزارش هیدرولوژی. ص ۱ و ۳ و ۵.

شرکت مهندسی مشاور نشتاک. ۱۳۷۶. مطالعات جامع توسعه کشاورزی، حوزه آبریز سفیدرود-مرداب-تالش، مطالعات تکمیلی منابع آب، جلد اول - واحد هیدرولوژیکی تالش، موسسه پژوهشهای برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی. ص ۱-۳۰.

Anazawa, K. et al. 2004. Heavy Metal Distribution in River Waters and Sediments around a "Fire Fly Village". Shikoku, Japan: Application of Multivariate Analysis. J. Analytical Science, v.20, pp.79-84.

Baeyens, W. et al. 2005. Correlations, Partitioning and Bioaccumulation of Heavy Metals Between

Zone on the Tropical Southwest Coast of India.  
Bull. Geol. Surv. Japan, v.52(8),pp.371-382.

Müller, G. 1979. Schwermetalle in den  
Sedimenten des Rheins, Verän-  
derungen seit 1971. Umschau 79, pp.778-783.

Yang, H. and Rose, N. 2005. Trace Element  
Pollution Records in Some U.K Lake Sediments,  
Their History, Influence Factors and Regional  
Differences. J. Environment international,  
v.31,pp.63-75.

