

افزایش ضریب غنی شدگی آرسنیک، روی و مس در رسوبات بستر زاینده رود اصفهان

جواد طباطبائی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میمه

چکیده:

رودخانه زاینده رود با طول ۴۲۰ کیلومتر و امتداد تقریباً شرقی- غربی از مهمترین رودخانه های ایران محسوب می شود که در استان اصفهان و چهارمحال بختیاری جریان دارد. به دلیل اهمیت این رودخانه از نظر کاربردهای متعدد آن و همین طور قرار گرفتن رودخانه در مسیر تخلیه پساب کارخانجات مختلف، بررسی این رودخانه از نظر آلودگی به تعدادی از عناصر سنگین و آگاهی از میزان تجمع و تاثیرات عناصر سنگین در رسوبات رودخانه اهمیت حیاتی دارد. به همین منظور در فاصله اصفهان تا باغ بهادران که بیشترین تجمع صنایع موجود است، تعداد ۱۲ نمونه به روش استاندارد از رسوبات سطحی رودخانه در آذرماه ۱۳۸۸ برداشته شد و پس از آماده سازی تحت تاثیر آنالیز ICP-MS قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تغییرات غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه زاینده رود بسیار متغیر بوده و بیشترین مقادیر مربوط به نمونه هایی است که بعد از ورود زهکش ذوب آهن، باغ بهادران، زرین شهر و پل فلاورجان برداشته شده بودند. برای مطالعه شدت تاثیر عوامل و فرآیندهای انسانی و تفکیک آن از عوامل طبیعی و زمین شناسی ایستگاه پل زمان خان به عنوان ایستگاه شاهد انتخاب و ضریب غنی شدگی فلزات سنگین نسبت به این ایستگاه محاسبه شدند. نتایج نشان داد که رسوبات برداشت شده از رودخانه نسبت به عناصری مانند Cu, Ni, Cr, Mn, Fe, Zn, As و ... ضرایب غنی شدگی بالایی دارند. همچنین جهت تعیین میزان آلودگی محیط، ضریب زمین انباشتگی به روش مولر در ایستگاه های نمونه برداری تعیین و مشخص شد که با نزدیک شدن به محدوده شهر اصفهان میزان آلودگی نسبت به این عناصر افزایش می یابد و ایستگاه پل غدیر در محدوده شدیداً آلوده قرار می گیرد.

واژگان کلیدی: فاکتور غنی شدگی، اندیس زمین تجمع، فلزات سنگین، حوضه آبریز زاینده رود، پساب

مقدمه

آلودگی ها از طریق جذب توسط تنفس، غذا، آب های آشامیدنی، انتقال توسط زنجیره های غذایی و ... می توانند بر سلامتی بسیار مؤثر باشند.

آلودگی اکوسیستم های زمینی توسط فلزات سنگین از مشکلات جهانی است که به نظر می رسد با افزایش جمعیت و نیاز آن ها به منابع (آب، غذا، انرژی و ...) این خطرات روز به روز بیشتر می شود.

فعالسازی نوترونی [۳]، نهشته های سفیدرود با نگرشی بر آلودگی های زیست محیطی [۷]، آلودگی عناصر بالقوه سمی رودخانه تجن [۶]، تعیین درصد عناصر بالقوه سمی در رسوبات زاینده رود به روش استخراج متوالی [9]، همچنین مطالعات فورستر و دیگران در زمینه ارزیابی وضعیت آلودگی به عناصر بالقوه سمی در رسوبات و ذرات معلق رودخانه ها [14] اشاره کرد.

مواد و روش ها

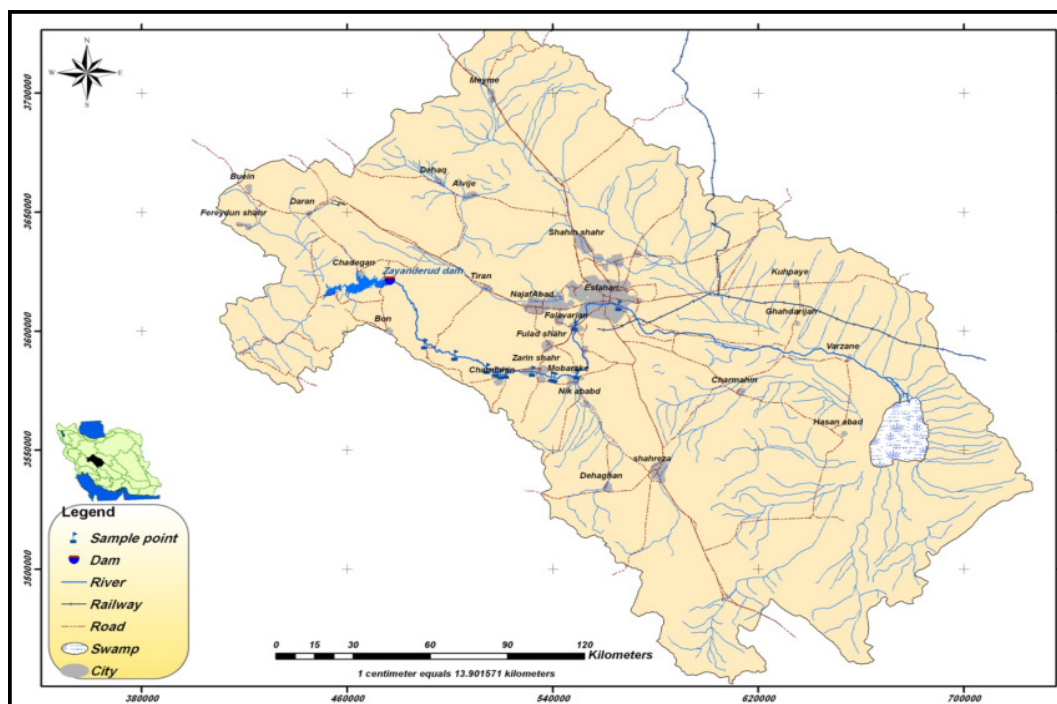
موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه زاینده رود بزرگترین رودخانه فلات مرکزی ایران است که از غرب به شرق و از مرکز شهر اصفهان می گذرد. این رودخانه با طول حدود ۴۲۰ کیلومتر از زردکوه بختیاری سرچشمه گرفته و به باتلاق گاوخونی می ریزد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه که در فاصله بین اصفهان تا باغ بهادران قرار دارد، بخشی از حوضه آبریز زاینده رود را تشکیل می دهد. آب و هوای این منطقه در بالادست بیشتر سرد و کوهستانی و در پائین دست جزء اقلیم مدیترانه ای گرم و خشک است. فصل بارندگی از اوایل پاییز شروع شده تا اواسط بهار و فصل خشک از اواسط اردیبهشت ماه تا اوایل مهر ماه ادامه دارد [۲].

پراکندگی جغرافیایی و شیوع بیماری های مزمن، در مناطقی که از نظر صنعتی پیشرفته اند به خوبی گواهی بر اثر فلزات سنگین آزاد شده از منابع مختلف بوده که بر گیاهان و جانوران اثر گذارده است. رسوبات آلوده در حوضه رودخانه ها می توانند منشاء آلودگی فزاینده ای در اکوسیستم های آبی پایین دست باشند. آب نقش اساسی در فرآیندهای ژئوشیمیایی و زیست شناختی دارد و معمولاً مهمترین حمل کننده آلاینده ها است [23]. مواد آلاینده انواع مختلفی دارند و هر گروه، محیط های مختلفی را آلوده می کنند.

در این میان، عناصر سنگین از مهمترین آلاینده های آب به شمار می روند و علاوه بر اینکه عامل آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی هستند، اغلب توسط خاک و رسوب، از راه مکانیسم تبادل کاتیونی جذب می شوند.

این عناصر برخلاف بیشتر آلاینده های آلی، توسط موجودات زنده تجزیه نشده و غالباً ترکیبات و تجمعات پایداری را در طبیعت تشکیل می دهند [11] در یک سیستم رودخانه ای، فلزات بین فاز محلول (ستون آب و آب بین ذرات رسوب)، فاز جامد (معلق و رسوب کرده)، جانوران و گیاهان آبرزی توزیع و همواره بین فازهای مختلف مبادله می شوند که این تبادلات در محیط های مختلف یکنواخت و یکسان نیست [22]. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه آلودگی رسوبات رودخانه ای در ایران و جهان انجام شده است از جمله می توان به مطالعه رسوبات بستر رودخانه سیاه رود در استان مازندران [۸]، آلودگی رسوبات زاینده رود توسط عناصر بالقوه سمی از پل مورکان تا باتلاق گاوخونی [۵]، آنالیز عناصر بالقوه سمی از رسوبات رودخانه زاینده رود به روش



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های نمونه برداری

آهک و دولومیت های کرتاسه و در بخش های پایین دست از تراس های آبرفتی و مخروط افکنه های کوهپایه ای ساخته شده است [۱].

نمونه برداری

طبق مطالعات اولیه و بازدیدهای صحرائی از منطقه و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و توزیع منابع آلوده کننده، ورود شاخه های فرعی به رودخانه، تکنونیک منطقه و تغییر جنس بستر رودخانه، شیب ساحل رودخانه، محل صنایع و خروجی فاضلاب ها و پساب های شهری و صنعتی، دسترسی و امکان نمونه برداری و کم بودن فاصله تا میانه رودخانه (به دلیل کاهش احتمال آلوده شدن نمونه در اثر عوامل ساحلی،

بستر زاینده رود در بخش های کوهستانی از رسوبات آبرفتی دانه درشت مانند قطعه سنگ، قلوه سنگ، شن و ماسه پوشیده شده است. در این ناحیه بخش های قابل توجهی از بستر سیلابی رودخانه و نیز اراضی کم شیب حاشیه ای آن مورد استفاده کشاورزی قرار گرفته است. در بخش های پایین دست با کم شدن شیب، دانه بندی رسوبات بستر رودخانه ریزتر شده و بخش های پایاب آن از سیلت و رس پوشیده شده است از نظر ترکیب و جنس زمین شناسی، بخش های بالادست محدوده مورد مطالعه عمدتاً از سنگ های دگرگونی مانند گنایس، آمفیبولیت و شیست های پرکامبرین، بخش های میانی از لایه های شیلی، ماسه سنگ و گل سنگ های سازند شمشک (ژوراسیک)،

ورود خاک و تاثیرات محیط) نمونه برداری از رسوبات رودخانه ای در ۱۲ ایستگاه صورت گرفت.

لیتر اسید کلریدریک ۳۷ درصد به آن اضافه می شود. سپس درب ظرف بسته شده و حرارت داده می شود. البته فرآیند هضم چند مرحله ای بوده که در هر مرحله، توان، فشار و زمان افزایش داده می شود.

جدول ۱- موقعیت و نام ایستگاه های نمونه برداری

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	X	Y
۱	پل زمان خان	۴۹۰۲۶۵	۳۵۹۴۷۰۹
۲	چم یوسف علی	۵۰۲۰۰۰	۳۵۸۹۸۶۰
۳	پل مورگان	۵۱۴۶۰۸	۳۵۸۴۳۷۴
۴	باغ بهادران	۵۱۷۹۸۶	۳۵۸۲۹۲۸
۵	مدیسه	۵۲۲۰۱۵	۳۵۸۲۳۸۶
۶	سدچم آسمان	۵۲۰۰۳۳	۳۵۸۲۱۱۴
۷	پل زرین شهر	۵۳۲۲۲۸	۳۵۸۳۱۵۹
۸	قبل از ورودی فاضلاب ذوب آهن	۵۳۹۷۳۱	۳۵۸۰۹۸۸
۹	بعد از ورودی فاضلاب ذوب آهن	۵۴۱۰۱۵	۳۵۸۰۵۹۱
۱۰	دیزچه	۵۴۹۵۳۳	۳۵۸۲۲۱۰
۱۱	فلاورجان	۵۴۸۷۲۱	۳۶۰۲۴۲۱
۱۲	پل غدیر	۵۶۵۸۹۹	۳۶۱۰۸۵۱

جدول ۲- فراوانی عناصر سنگین و مقادیر مجاز آنها در پوسته

زمین، رسوبات و آب رودخانه [۱۶]

عنصر	میانگین در پوسته زمین (Mg/Kg)	حد مجاز (در سنگ رسوبی، شیل و خاک های آرژیلتی) (Mg/Kg)	حد مجاز در آب رودخانه ($\mu\text{g/L}$)
Ti	۰/۴ - ۰/۵۷	۰/۶ - ۲/۷	۱۰
V	۵۳ - ۶۰	۸۰ - ۱۳۰	۰/۰۲ - ۵/۸
Cr	۱۲۶ - ۱۸۵	۸۰ - ۱۲۰	۰/۳ - ۲/۱
Mo	۱ - ۲	۰/۱ - ۷	۰/۲ - ۶۰
Mn	۷۱۶ - ۱۴۰۰	۴۰۰ - ۸۵۰	۰/۰۲ - ۱۳۰
Fe	۵	۳/۳ - ۴/۷	۶۶
Co	۱۰ - ۱۲	۱۴ - ۲۰	۰/۱۵
Ni	۲۰	۴۰ - ۹۰	۰/۸
Cu	۲۵ - ۲۷	۴۰ - ۶۰	۰/۲۷ - ۳/۵۳
Ag	۰/۰۸	۰/۱ - ۰/۲	۱۴۰ (ng/l)
Zn	۵۲ - ۸۰	۸۰ - ۱۲۰	۳/۳ - ۱۰/۳
Cd	۰/۱ - ۰/۲	۰/۰۶ - ۱/۱	۰/۰۷ - ۰/۱۱
Al	۸ درصد وزن رسوبات	٪۱ - ٪۴	۲ - ۱۰۰۰
Pb	۱۴	۱۰۰	۰/۰۰۷ - ۳/۸
As	۰/۵ - ۲/۵	۵ - ۱۳	۰/۱۱ - ۹/۴

موقعیت و نام ایستگاه ها در جدول ۱ آورده شده است. در هر ایستگاه به میزان ۲ کیلوگرم رسوب با استفاده از یک بیلچه پلاستیکی از رسوبات سطحی جمع آوری و در ظروف پلی اتیلن قرار داده شدند. پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه، نمونه های رسوب در دستگاه اتوکلاو در دمای زیر ۷۰ درجه خشک و پس از عبور از الک، ذرات سیلت و رس آن ها برای آنالیز انتخاب شدند. ۰/۲ گرم از هر نمونه در داخل ظرف مخصوص تفلون جهت هضم قرار گرفته، سپس ۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد و ۲ میلی لیتر اسید فلئوریدریک ۴۸ درصد و یک میلی

تجزیه شیمیایی

نمونه ای که آلوده نشده و یا کمتر آلوده شده استفاده کرد [10].

مثلاً در مورد نمونه هایی که در این مطالعه مورد بررسی قرار می گیرد می توان این نمونه را از بالادست رودخانه در جایی که هنوز آلاینده ها وارد رودخانه نشده اند، برداشت نمود که بهترین نمونه همان نمونه ایستگاه پل زمان خان (نمونه ۱) می باشد. نتایج آماری این ایستگاه در جدول ۳ آمده است.

بطور کلی در تحلیل های زیست محیطی، به ویژه زمانی که مقادیر عناصر در محیط مورد بررسی، ترکیبی از عوامل طبیعی زمین شناسی و عوامل انسان زاد باشد، عامل غنی شدگی می تواند بیانگر شدت تاثیر عوامل خارجی (عموماً عوامل انسان زاد) باشد. در تعیین عامل غنی شدگی فرض بر این است که عناصر Ti, Fe, Al [12] و Y, Sc [15] منشاء کاملاً زمین شناسی داشته و به دلیل ماهیت ژئوشیمیایی، روند تغییرات آن ها در محیط ژئوشیمیایی طبیعی مانند خاک و رسوبات ناچیز است. در تعیین عامل غنی شدگی از این عناصر به عنوان عنصر مرجع استفاده می شود. در این حالت عامل غنی شدگی فراوانی نسبی عناصر شیمیایی در خاک یا رسوبات نسبت به مقادیر آن ها در محیط مرجع است [12] و مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$EF = \frac{\frac{M}{M'} \text{ sample}}{\frac{M}{M'} \text{ references material}} \quad (1)$$

در این تحقیق از دستگاه (ICP-MS Inductive coupled plasma- mass spectrometry) با دی تکتور CCD مجهز به پلاسمای القایی جدا شونده برای قرائت فلزات سنگین موجود در نمونه ها استفاده شد. این آنالیز در شرکت LABWEST استرالیا انجام شده است.

برای مطالعه آلودگی رودخانه ها و تعیین میزان و درجه سمیت عناصر سنگین مختلف، لازم است تا از استانداردهای معتبر جهانی استفاده شود [14]. در هر یک از استانداردهای موجود، برای هر عنصر مقدار خاصی در نظر گرفته شده است و رسوبات هر منطقه بر پایه استاندارد انتخاب شده و بر مبنای درجه آلودگی جزء دسته های خاصی قرار می گیرند. در این میان استاندارد [16] در سال ۲۰۰۷ گردآوری و ارائه کرده اند، یکی از کاملترین استانداردهایی است که میزان غلظت مجاز تمام عناصر مورد مطالعه در آب و رسوب و انواع سنگ ها را ارائه می دهد و برای مقایسه میزان آلودگی احتمالی در مورد هر عنصر در حوضه مورد مطالعه از آن استفاده می شود.

غلظت پایه ژئوشیمیایی

در اندازه گیری فلزات سنگین باید تمایزی اساسی بین مقادیر طبیعی این عناصر و مقادیر حاصل از فعالیت های انسانی قائل شد. اصطلاح زمینه ژئوشیمیایی منبع مهمی برای آگاهی از افزایش خطرات محیطی با افزایش عدد آلودگی است که برای آب، هوا و رسوبات امکان محاسبه آن وجود دارد. برای تعیین زمینه ژئوشیمیایی منطقه، به عبارت ساده می توان از

در این رابطه Bn غلظت عنصر سنگین در حالت بدون آلودگی، Cn غلظت عنصر سنگینی اندازه گیری شده در رسوبات ریز کمتر از ۶۳ میکرون و Igeo شاخص زمین انباشتی مولر (۱۹۷۹) می باشد. بر اساس این شاخص، رسوبات از نظر درجه آلودگی به ۶ گروه تقسیم می شوند.

در رابطه فوق EF عامل غنی شدگی (Enrichment factor) و M مقدار غلظت عنصر مورد بررسی و M' مقدار عنصر مرجع هستند. همچنین به منظور تعیین شدت آلودگی رسوبات منطقه مورد مطالعه می توان از شاخص زمین انباشت (Geoaccumulation Index) استفاده کرد.

$$I_{geo} = \log_2(cn/1.5Bn) \quad (2)$$

جدول ۳- غلظت فلزات سنگین در نمونه های آب و رسوب برداشت شده از ایستگاه زمان خان

Al		Cu		As		Zn		Mo		Cr		V		غلظت آب (ppb)
حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت	
۱۰۰۰/۰	۳۷/۶	۳/۵	۱/۵	۹/۴	۰/۷	۱۰/۳	۲/۱	۶۰/۰	۰/۹	۲/۱	۰/۶	۵/۸	۰/۸	
وزن رسوبات ۴ درصد	۵۹۸۷۵/۰	۶۰/۰	۳۸/۰	۱۳/۰	۶/۸	۱۲/۰	۶۵/۲	۷/۰	۰/۶	۱۲۰/۰	۷۰/۰	۱۳۰/۰	۱۲۵/۰	رسوب (ppm)
وزن رسوبات ۸ درصد		۲۶/۰		۰/۶		۵۲/۰		۱/۰		۱۲۶/۰		۵۳/۰		میانگین در پوسته زمین (mg/kg)
Co		Cd		Pb		Ni		Fe		Mn		غلظت آب (ppb)		
حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت	حد استاندارد	غلظت			
۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۴	۳/۸	۱/۴	۰/۸	۲/۹	۶۶/۰	۵۹/۸	۱۳۰/۰	۳۷/۴			
۲۰/۰	۱۴/۲	۱/۱	۰/۱	۱۰۰/۰	۱۳/۱	۹۰/۰	۴۴/۵	۴/۷	۳۵۲۵۰/۰	۸۵۰/۰	۷۵۰/۰	رسوب (ppm)		
۱۰/۰		۰/۱		۱۴/۰		۲۰/۰		۵/۰		۷۱۶/۰		میانگین در پوسته زمین (mg/kg)		

جدول ۴- طبقه بندی رسوبات بر اساس درجه آلودگی [۱۸]

شاخص زمین انباشتی	کمتر از ۰	۰-۱	۱-۲	۲-۳	۳-۴	۴-۵	بیشتر از ۵
درجه آلودگی خاک	غیر آلوده	غیر آلوده تا کمی آلوده	کمی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده	خیلی آلوده	تا شدیداً آلوده	شدیداً آلوده

نتایج

برای بدست آوردن شدت تاثیرات عوامل خارجی (عموماً فرآیندهای انسان زاد)، ضرایب غنی شدگی محاسبه و مقادیر آن در جدول شماره (۶) ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که نمونه های رسوب برداشت شده از رودخانه زاینده رود نسبت به عناصری مانند Cu, As, Zn ضرایب غنی شدگی نسبتاً بالایی نشان می دهند. همچنین شاخص زمین انباشتگی مولر نمونه های فوق در جدول شماره ۷ آورده شده است. با مقایسه مقادیر بدست آمده در جدول فوق با استاندارد ارائه شده توسط مولر می توان به میزان آلودگی موجود در محیط پی برد.

به علاوه در جدول ۸ ضریب همبستگی بین عناصر محاسبه شده است. بالاترین ضریب همبستگی بدست آمده بین عناصر (0/97) Ni- Ag, (0/97) Al- Ti, (0/94) Al- V, (0/98) Cr- V, (0/98) Cr- Al, (0/99) Cr- Ti, (0/96) Ni- Co, (0/99) V- Ti, (0/96) Ag- Co بدست آمده است که نشان دهنده وجود ارتباط قوی بین این عناصر است. بطوری که نوسانات غلظت آن ها با یکدیگر مشابه بوده و این عناصر روند مشابهی را در طول روخانه طی می کنند.

نتایج تجزیه رسوبات روخانه در ۱۲ ایستگاه فوق در جدول شماره (۵) دیده می شود. همانطور که در جدول فوق دیده می شود، تغییرات غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بسیار متغیر است و بیشترین مقادیر بدست آمده مربوط به نمونه هایی است که بعد از زهکش ذوب آهن، باغ بهادران، زرین شهر و پل فلاورجان برداشت شده است نوسانات غلظت عناصر مورد مطالعه در رسوبات رودخانه زاینده رود در بیشتر موارد تحت تاثیر مقدار زمینه ژئوشیمیایی قرار می گیرد و در برخی از موارد به فرآیندهای ژئوشیمیایی بین آب و رسوب مانند ته نشینی، جذب سطحی و واجذبی مرتبط است. به این ترتیب که افزایش و کاهش غلظت عناصر در ایستگاه های مورد مطالعه در رسوبات رودخانه زاینده رود در برخی از موارد می تواند بیانگر ته نشست و یا حمل عناصر به صورت فاز معلق یا محلول باشد. که این تغییر فازها در پاسخ به فرآیندهای مختلف ژئوشیمیایی محیط رخ می دهند.

جدول ۵- نتایج تجزیه رسوبات رودخانه زاینده رود در

ایستگاه های مختلف بر حسب ppm

شماره ایستگاه	As	Cu	Zn
۱	۶/۸	۳۸/۰	۶۵/۲
۲	۶/۵	۳۹/۶	۷۱/۵
۳	۶/۹	۴۲/۰	۷۱/۰
۴	۷/۸	۵۴/۲	۶۹/۲
۵	۶/۱	۳۶/۸	۶۶/۵
۶	۷/۶	۴۰/۸	۸۲/۳
۷	۷/۹	۳۴/۵	۶۹/۲
۸	۶/۷	۲۸/۲	۵۴/۸
۹	۶/۹	۲۹/۶	۶۰/۵
۱۰	۶/۰	۳۰/۹	۶۷/۷
۱۱	۶/۱	۳۱/۹	۱۱۰/۹
۱۲	۶/۳	۳۲/۲	۱۱۵/۰

جدول ۶- ضریب غنی شدگی عناصر آلوده در نمونه های

رسوب

شماره ایستگاه	As	Cu	Zn
۲	۸/۱۳۴	۱۱/۱۴۰	۱۲/۷۷۲
۳	۷/۶۱۸	۱۱/۲۲۵	۱۲/۷۶۲
۴	۷/۴۵۰	۱۱/۵۹۳	۱۲/۷۲۴
۵	۷/۳۶۷	۱۱/۰۳۵	۱۲/۶۶۷
۶	۸/۲۹۶	۱۱/۱۸۳	۱۲/۹۷۵
۷	۹/۰۲۴	۱۰/۹۴۱	۱۲/۷۲۴
۸	۷/۵۱۴	۱۰/۶۵۱	۱۲/۳۸۸
۹	۷/۶۱۰	۱۰/۴۰۰	۱۲/۵۰۰
۱۰	۷/۶۴۷	۱۰/۷۸۲	۱۲/۶۹۳
۱۱	۶/۹۰۵	۱۰/۸۲۸	۱۳/۴۰۵
۱۲	۸/۶۴۷	۱۰/۸۲۸	۱۳/۴۰۵

جدول ۷- شاخص زمین انباشتگی در ایستگاه های

نمونه برداری

شماره ایستگاه	As	Cu	Zn
۲	۰/۹۴	۱/۰۲	۱/۰۷
۳	۰/۹۸	۱/۰۶	۱/۰۴
۴	۱/۰۳	۱/۲۰	۰/۹۶
۵	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۹۵
۶	۱/۰۹	۱/۰۵	۱/۲۴
۷	۲/۱۰	۱/۶۳	۱/۹۲
۸	۱/۰۶	۰/۸۰	۰/۹۱
۹	۱/۲۰	۱/۰۰	۱/۲۰
۱۰	۱/۴۱	۱/۳۰	۱/۶۶
۱۱	۱/۹۵	۱/۷۰	۴/۳۰
۱۲	۲/۱۱	۱/۹۷	۷/۰۰

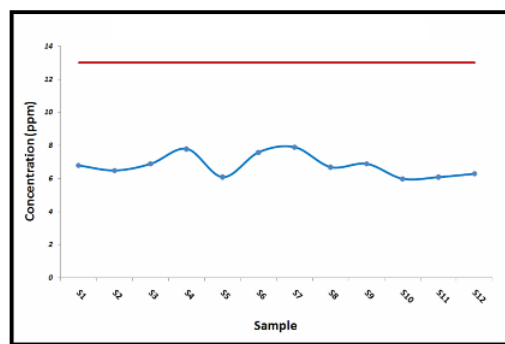
بحث

در اینجا تغییرات غلظت مهمترین فلزات سنگین را در رسوبات هر یک از ایستگاه های نمونه برداری بررسی و علل و عوامل احتمالی آن ها را مورد بحث قرار می گیرد.

۱- آرسنیک: همانطور که در شکل شماره (۲) دیده می شود، غلظت آرسنیک در نمونه های رسوبی رودخانه زاینده رود روند کاملاً نوسانی دارد. اما به طور کلی از میانگین استانداردهای جهانی مقایسه پایین تری را نشان می دهد. با توجه به غلظت زمینه ای منطقه، در ایستگاه چهارم غلظت آرسنیک در رسوبات زاینده رود یک روند افزایش را نشان می دهد و در ایستگاه پنجم مقدار آن به طور ناگهانی کم می شود. این پیک افزایش یکبار دیگر در ایستگاه ششم تکرار می شود و این افزایش تا ایستگاه هشتم ادامه دارد و بعد از آن در ایستگاه های بعدی مقدار این عنصر به میزان غلظت زمینه ای نزدیک می شود. با توجه به مشاهدات صحرائی و با توجه به اینکه در این دو ایستگاه از نظر سازندهای منطقه اثری از ترکیبات مستعد تولید آرسنیک وجود ندارد، می توان این افزایش را در اثر ورود پساب های باغ بهادران دانست. در ایستگاه چهارم به دلیل زیاد بودن ذرات دانه ریز بیشتر آرسنیک موجود با فاز جامد پیوند برقرار می کند و رسوب می کند. به احتمال زیاد به همین دلیل است که در ایستگاه بعد از باغ بهادران اثری از افزایش غلظت این عنصر دیده نمی شود [13] افزایشی که در میزان پارامتر شاخص زمین انباشتگی از ایستگاه سوم تا ایستگاه چهارم و همینطور در ایستگاه های ششم و هفتم دیده می شود، نشان از تجمع و ته نشست آرسنیک در رسوبات این منطقه دارد و این شاخص را

برداری ۵۴/۲۰ پی پی ام است و این درحالی است که میزان غلظت زمینه ای منطقه در ایستگاه مرجع ۳۸ پی پی ام اندازه گیری شده است [21]. همانطور که در جدول (۸) نشان داده شده این عنصر بالاترین ضریب همبستگی را با عنصر Mn و As نشان می دهد و ضریب همبستگی آن با Al در حدود ۰/۸۳ است. طبق مطالعات انجام شده بطور کل مقادیر مس در رسوبات سطحی ناچیز است و تمایل زیادی به جذب توسط کربنات ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز دارد. میزان همبستگی این عنصر با منگنز و تا حدی آهن نشان دهنده این امر است که مس در درجه اول با اکسیدهای منگنز و در درجه دوم با اکسیدهای آهن در منطقه پیوند برقرار کرده و ته نشین شده است. به طور کلی مطالعات آماری نشان می دهند که در طول رودخانه زاینده رود غلظت مس به میزان منگنز و آهن موجود در رسوب بستگی دارد. به علاوه ورود پسابهای باغ بهادران را نیز نباید از نظر دور داشت، به خصوص که در ایستگاه چهارم به طور ناگهانی مقدار مس در رسوبات بالا می رود و در ایستگاه بعد شدیداً کاهش می یابد. تا حدی که به میزان غلظت زمینه ای منطقه می رسد و می تواند نشان از ورود این عنصر از منبع انسانی باشد و یا اینکه تغییر در شرایط محیطی به طور محلی باعث ته نشست مس شده که اظهار نظر در این مورد به اطلاعات دقیق تری نیاز دارد [۲۰].

از غیر آلوده به کمی آلوده تا آلوده سوق می دهد. افزایش غلظت منگنز و اکسیدهای آن در ایستگاه های مذکور می تواند مؤید صحت موارد فوق الذکر باشد که با جذب آرسنیک در رسوبات مانع انتقال و تمرکز آن به پایین دست رودخانه شده است. افزایش آرسنیک در ایستگاه ششم نیز میتواند به دلیل ورود این عنصر در اثر فعالیت های انسان زاد اعم از پساب های شهری یا کشاورزی باشد. اما این افزایش تا دو ایستگاه بعد هم به میزان کمتر اما با روند افزایشی در نمونه ها دیده شده است که می تواند در اثر ورود پساب ها به رودخانه ها باشد.



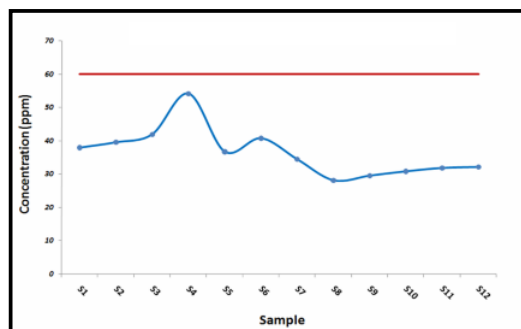
شکل ۲- تغییرات غلظت آرسنیک در ایستگاه های نمونه برداری

مس

غلظت این عنصر و روند تغییرات آن در نمونه های رسوب رودخانه زاینده رود و در شکل شماره (۳) نشان داده شده است. استاندارد انتخابی برای این عنصر در رسوب رودخانه ای (با توجه به جنس سازندها که غالباً از نوع شیل و شیست هستند) مقادیری در حدود ۶۰ تا ۴۰ p.p.m است که در استاندارد جهانی به عنوان مقادیر مجاز در نظر گرفته می شود. تغییرات مس در طول رودخانه بسیار متغیر است و در کل روند افزایشی-کاهشی نشان می دهد. بالاترین میزان این عنصر در ایستگاه های نمونه

می دهد. این عنصر در رسوبات بسیار متحرک است و به آسانی در رسوبات بستر تجمع می یابد [16] غلظت روی با زیاد شدن ذرات دانه ریز و آهک در طول رودخانه افزایش می یابد، زیرا ذرات رسی این توانایی را دارند تا با این عنصر پیوند قوی برقرار کرده و مقدار آن را در رسوبات محیط تثبیت کنند [19].

همانطور که در ایستگاه فلاورجان و پل غدیر مشاهده می شود، همه پارامترهایی که نام برده شد، در تغییرات و افزایش غلظت روی در رسوبات تاثیر گذارند، در ایستگاه هایی مانند هفتم و هشتم غلظت روی در رسوبات کاهش می یابد و طبق مشاهدات صحرائی، در این ایستگاه ها میزان ذرات دانه درشت افزایش می یابند. این عنصر بالاترین ضرایب همبستگی را باهمانطور که در ایستگاه فلاورجان و پل غدیر مشاهده می شود، همه پارامترهایی که نام برده شد، در تغییرات و افزایش غلظت روی در رسوبات تاثیر گذارند، در ایستگاه هایی مانند هفتم و هشتم غلظت روی در رسوبات کاهش می یابد و طبق مشاهدات صحرائی، در این ایستگاه ها میزان ذرات دانه درشت افزایش می یابند. این عنصر بالاترین ضرایب همبستگی را با عناصری مانند قلع، کادمیوم، نیکل و نقره نشان می دهد.



شکل ۳- تغییرات غلظت مس در ایستگاه های نمونه برداری

روی

در نمونه های رسوب برداشت شده، غلظت روی در طول رودخانه بسیار متغیر است و روند نامنظمی دارد (جدول ۵ و شکل ۴). برای این عنصر در رسوبات رودخانه ای مقادیری بین ۱۲۰ تا ۸۰ p.p.m مجاز شناخته شده است [16] همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، غلظت روی در ایستگاه شاهد در حدود ۶۵/۲ p.p.m است که در محدوده استاندارد تعیین شده است. در ایستگاه ششم میزان غلظت آن در رسوبات افزایش یافته و به ۸۰ p.p.m می رسد. سپس در ایستگاه هفتم میزان آن دوباره کاهش می یابد و به میزان غلظت زمینه ژئوشیمیایی منطقه نزدیک می شود. بالاترین میزان این عنصر در ایستگاه ۱۱ و ۱۲ به ترتیب ۱۱۰ و ۱۱۵ p.p.m بدست آمده است. روی معمولاً در رسوبات با سولفیدها پیوند برقرار می کند و در سنگ های آهکی فراوان ترین مقادیر را نشان

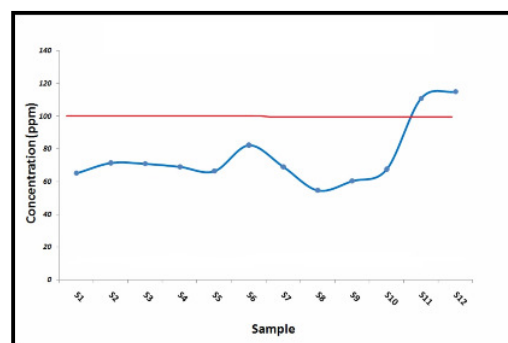
جدول ۸- ضریب همبستگی بین عناصر مورد مطالعه در نمونه های رسوب رودخانه زاینده رود

Correlations																
	Pb	Ti	V	Cr	Mo	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Ag	Zn	Cd	As	Sn	Al
Pb	1	0.27	0.25	0.25	0.53	0.32	0.21	0.66	0.65	0.39	0.61	0.68	0.70	0.65	0.69	0.50
Ti	0.27	1	0.99	0.98	0.76	0.92	0.70	0.71	0.69	0.86	0.73	0.42	0.06	0.86	0.37	0.95
V	0.25	0.99	1	0.98	0.72	0.92	0.73	0.68	0.66	0.87	0.68	0.39	0.02	0.84	0.32	0.96
Cr	0.25	0.98	0.98	1	0.77	0.91	0.78	0.73	0.72	0.86	0.73	0.47	0.11	0.83	0.40	0.93
Mo	0.53	0.76	0.72	0.77	1	0.80	0.55	0.84	0.88	0.70	0.90	0.84	0.57	0.78	0.76	0.60
Mn	0.32	0.92	0.92	0.91	0.80	1	0.70	0.81	0.78	0.96	0.83	0.60	0.20	0.89	0.52	0.89
Fe	0.21	0.70	0.73	0.78	0.55	0.70	1	0.61	0.54	0.67	0.59	0.40	0.16	0.66	0.39	0.66
Co	0.66	0.71	0.68	0.73	0.84	0.81	0.61	1	0.99	0.84	0.96	0.87	0.68	0.91	0.88	0.54
Ni	0.65	0.69	0.66	0.72	0.88	0.78	0.54	0.99	1	0.80	0.97	0.88	0.69	0.87	0.90	0.51
Cu	0.39	0.86	0.87	0.86	0.70	0.96	0.67	0.84	0.80	1	0.81	0.59	0.23	0.90	0.54	0.83
Ag	0.61	0.73	0.68	0.73	0.90	0.83	0.59	0.96	0.97	0.81	1	0.85	0.62	0.88	0.88	0.56
Zn	0.68	0.42	0.39	0.47	0.84	0.60	0.40	0.87	0.88	0.59	0.85	1	0.88	0.68	0.93	0.23
Cd	0.70	0.06	0.02	0.11	0.57	0.20	0.16	0.68	0.69	0.23	0.62	0.88	1	0.43	0.89	-0.18
As	0.65	0.86	0.84	0.83	0.78	0.89	0.66	0.91	0.87	0.90	0.88	0.68	0.43	1	0.69	0.73
Sn	0.69	0.37	0.32	0.40	0.76	0.52	0.39	0.88	0.90	0.54	0.88	0.93	0.89	0.69	1	0.15
Al	0.05	0.96	0.97	0.94	0.60	0.90	0.66	0.54	0.52	0.83	0.56	0.23	-0.18	0.73	0.15	1

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از مطالعات صحرائی بر روی اندازه ذرات نشان می دهد که آلودگی ها معمولاً در ذرات ریزتر دیده می شوند. در واقع این ذرات غالباً از طریق جذب مستقیم و یا بر اثر ته نشست و یا لخته شدن مواد و کانی های ثانویه (مثل اکسید آهن آبدار و منیزیم) اثر گذارند. در این مطالعه مشخص شد که غلظت عناصر بالقوه سمی با توجه به تغییر سنگ شناسی سازندها تغییر می کند، بعلاوه پارامترهایی مانند EC, PH, EH نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که در رودخانه زاینده رود این پارامترها تغییر چندانی نشان نمی دهند و از این رو بر نحوه حمل تاثیر خاصی ندارند. از مقایسه تجزیه های انجام شده با استاندارد ارائه شده نشان داده شد که تقریباً در فصل نمونه برداری در این مطالعه هیچ عنصری مقدار بالاتر از حد مجاز را نشان نداده است. تعدادی از عناصر مانند As, Cu, Zn مقادیر بالاتری از غلظت زمینه منطقه داشته اند که نشان دهنده تاثیر عوامل انسان زاد بر آنها بوده است. ضرایب همبستگی بالا که بین عناصر Ni- Co, V- Ti, Cr- Ti, Cr- Al

در این تحقیق غلظت تعدادی از فلزات سنگین با توجه به لیتولوژی بستر رودخانه مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای ژئوشیمیایی نشان دادند که غلظت فلزات سنگین در رسوبات با چیزی که از لیتولوژی خاص آن منطقه انتظار می رود متفاوت است. نتایج بدست آمده از مطالعات صحرائی بر روی اندازه ذرات نشان می دهد که آلودگی ها معمولاً در ذرات ریزتر دیده می شوند. در واقع این ذرات غالباً از طریق جذب مستقیم و یا بر اثر ته نشست و یا لخته شدن مواد و کانی های ثانویه (مثل اکسید آهن آبدار و منیزیم) اثر گذارند.



شکل ۴- تغییرات غلظت فلز روی در ایستگاه های نمونه برداری

۷- کامرانپوری، ع. (۱۳۸۱)، رسوب شناسی نهشته های سفید رود با نگرشی بر آلودگی های زیست محیطی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۸- کرباسی، ع.، عبدلی، م. ع.، مومنی، ن. (۱۳۷۴)، غلظت و منشأ Fe و Zn, Pb, Cu, Cr, Cd, Mn

۹- نعمتی، ک. (۱۳۸۶). مطالعه رسوبات رودخانه زاینده رود و منابع آلاینده. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد خوراسگان.

10- Delgado, M, M. Bigerieg, and E. Guardida, (1993). Uptake of Zn and Cd by water hyacinthswater, Res, 27 (2): 26 q- 262-272

11- A.V.Filgueiras, I. Lavilla, c. Bendicho, Evaluation of distribution, mobility and binding levate of heavy metals in surficial sediments of louro river (Galicia, spain) using chemometric analysis: a case study, Elsevier, science of the total environment 330 (2004) 115- 129pp.

12-Eby, G. N, Principle of environmetntal geochemistry, Thompson, 515 p, 2004.

13- Ellaway, M. , Hart, B. T. and Beckett. R. 1982, Trace metal in sediments from yarra river, Aus. J. Ma. Res .. 33761- 778pp.

14- Hernandez, L. , probst, J. L. and Ulrich, E. (2003). Heavy metal distribution in some French forest soils: Evidence for atmospheric contamination, the science of the total environment, V- 312, 195- 212 pp.

15- Kabata pendias, A, Mukherjee A. B, Trace elements from soil to human, spriger. Verlag, (2007), 561p.

16-Miller, J. Contaminated rivers, springer verlag, (2007), 418p.

17-Muller G. Schwermetalle in den Sedimenten, des Rheins-Vera nderungen seit., Umschau, (1979), v. 79 (24), 778-783pp.

18- Peganova, S. , Edlet, K. , (2004). Zinc in merian E, Anke M, Inhant M. stoeppler M(eds), Elements and their compounds in the environment. 2nd ed. , wiley- VCH, weinheim, pp203-1239

19- V. Diagonanolin, M. Farhang, M. Ghazi-Khansari, N. Jafarzadeh, Heavy metals (Ni, Cr, Cu) in the karnoon waterway river, Iran Elsevier, Toxicology letters 151 (2004) 63-68pp

Al- V , Ni- Ag , Ag- Co بدست آمده است، می تواند به خاطر ته نشینی همزمان آن ها و یا جذب این عناصر توسط هیدروکسیدهای آهن و منگنز باشد که این ذرات به دلیل سطح ویژه و قدرت جذب بالا این توانایی را دارند تا برخی از عناصر را به صورت فاز کلوئیدی معلق به پایین دست رودخانه حمل کنند.

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه ای اصفهان که حمایت مالی پروژه را بر عهده داشتند و همچنین از مدیریت محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی به عنوان مجری طرح ، صمیمانه تشکر می گردد.

منابع

۱- آقاباتی، س. ع. (۱۳۸۲)، زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، جلد اول، ۵۸۶ ص.

۲- جعفری، ع. (۱۳۷۶). گیتا شناسی ایران، رودها و رودنامه ایران ، جلد دوم چاپ اول، ۵۵۴ ص.

۳- دشتی گوهری، س. (۱۳۷۹). واکافت عناصر سنگین در رسوبات زاینده رود به روش فعال سازی نوترونی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.

۴- زاهدی، م. عمیدی، ر. امامی، ع. زهره بخش، س. (۱۳۵۷)، نقشه زمین شناسی (۱/۲۵۰۰۰۰) کاشان. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، یک ورقه.

۵- سبزی قبایی، ن. (۱۳۷۹). بررسی آلودگی زاینده رود توسط عناصر سنگین و شناسایی منابع آلاینده. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

- سعیدی، م. (۱۳۸۲). مطالعه فلزات سنگین در رودخانه تجن استان مازندران، پایان نامه دکتری، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

20-Vladimir Dauvalter and sigurd Rognerud, Heavy metal pollution in sediments of the pasvik river drainage, pergamon, chemosphere 42 (2001)

21- Westrich, B., Forstner, U.,2007,sediment dynamics and pollutant mobility in rivers an in rivers an interdisciplinary approach springer verlag. 430 p.

22-Who(2004), guidelines for drinking-water quality,3th ed,vo 17,Geneva,488-496pp