

Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandehrood River

Mojgan mirzaei

* PhD student in environmental science, Malayer university (corresponding author). mojan_11884@yahoo.com

Eisa solgi

Asistantnt Proffesor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University

Received: 6 November 2015

Accepted: 23 January 2016

ABSTRACT

Background & objective: Emission of pollutants caused by natural and human activities on the environment is one of the most important issues in today's society. This study was based on laboratory studies, field and review of the literature. The aim of this study to determine the concentration of heavy metals (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in the sediment of Zayandehrood river sediments and comparing them at different stations and various seasons from early October 2014 until late September 2015.

Materials & Methods: ICP-AES techniques were used to determine the concentrations of heavy metals by atomic absorption spectrophotometer and then the emissions of metals evaluated with statistical software and Mueller indicator. Zayanderood basin is located in 50° 2' to 53° 24' east longitude and 31° 12' to 33° 42' north latitude

Results: The results showed high levels of cadmium concentration in Vahid Bridge station in the summer with the amount of 0.0081 ± 0.95 , milligrams per kilogram of dry weight that is higher than Canada and New York sediment quality standard.

Conclusion: The results showed high levels of cadmium and further concentration of global standards for electroplating industry and agricultural activities in upstream stations. High levels of manganese and lead in Chum Bridge and Varzaneh are related to agricultural activities mainly. Generally, Vahid Bridge station has more unsuitable situation than the other stations.

Keywords: pollution, Isfahan province, atomic absorption spectrophotometer

► **Citation:** mirzaei M, Solgi E. Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandehrood River. *Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2015;1 (4) : 251-265.

بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی) در رسوبات رودخانه زاینده رود

چکیده

زمینه و هدف: ورود عوامل آلاینده ناشی از فعالیت‌های طبیعی و انسانی به محیط یکی از مهمترین مسائل رو در روی جوامع امروزی است. پژوهش حاضر از مطالعات آزمایشگاهی، میدانی و مرور منابع بهره برده است. این مقاله با هدف تعیین غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی) در رسوبات رودخانه زاینده رود و مقایسه آنها در ایستگاهها و فصول مختلف از اوایل مهر ماه ۱۳۹۳ تا اواخر شهریور ماه ۱۳۹۴ انجام شده است.

مواد و روش‌ها: جهت تعیین غلظت فلزات سنگین از تکنیک ICP-AES توسط دستگاه جذب اتمی استفاده شد و سپس با نرم افزارهای آماری و شاخص مولر به بررسی میزان آلاینده‌گی فلزات پرداخته شد. حوضه آبخیز زاینده رود در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض ۳۱ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی قرار دارد.

یافته‌ها: نتایج حاکی از میزان بالای غلظت کادمیوم در ایستگاه پل وحید در فصل تابستان با مقدار 0.081 ± 0.095 میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک است که از استاندارد کیفیت رسوب کانادا و نیویورک بالاتر است. شاخص مولر نیز میزان کادمیوم در پل وحید را در وضعیت آلودگی متوسط، نشان داد. **نتیجه‌گیری:** نتایج حاکی از میزان بالای غلظت کادمیوم و بیشتر از استانداردهای جهانی به دلیل صنایع آبکاری و فعالیت‌های کشاورزی در ایستگاههای بالادست است. میزان بالای منگنز در پل چوم و سرب در ورزنه نیز بیشتر به فعالیت‌های کشاورزی مربوط است. به طور کلی ایستگاه پل وحید نسبت به سایر ایستگاهها وضعیت نامناسب‌تری دارد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی، استان اصفهان، دستگاه جذب اتمی

مژگان میرزایی

* دانشجوی دکترای رشته محیط زیست، دانشگاه
ملایر. (نویسنده مسئول)
mojgan_11884@yahoo.com

عسی سلگی

۲. استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه ملایر

◀ **استناد:** میرزایی م، سلگی ع. بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی) در رسوبات رودخانه زاینده رود. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۳۹۴؛ ۱(۴): ۲۶۵-۲۵۱.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۰۳

رودخانه‌ها در طی قرن‌های متمادی محل طبیعی فاضلاب‌های انسانی بوده‌اند. با این وجود چون کمیت مواد زاید کم بوده آنها قادر به خود پالایی خود بودند و به تدریج اثرات آنها از بین می‌رفت. امروزه به علت تخلیه فاضلاب و مواد جامد زاید صنایع مختلف به رودخانه‌ها، اثرات زیان بخش آلودگی آب به تدریج نمایان گشته و در بسیاری از جوامع صنعتی دنیا مسئله آلودگی آب رودخانه‌ها صورت جدی‌تری به خود گرفته است (۱). رودخانه‌ها و آب‌های جاری، از دیر باز مورد نیاز و مورد توجه جوامع بشری بوده‌اند و برای بهره بردن از منابع آب مناسب، شهرها و مراکز صنعتی و کشاورزی معمولا در نزدیکی رودخانه‌ها بر پا شده‌اند. با گذشت زمان و گسترش این جوامع و به تبع آن افزایش استفاده از منابع آبی، دخل و تصرف غیر طبیعی و تغییر شرایط کیفی آب رودخانه‌ها افزایش پیدا کرده است (۲). رودخانه‌ها یکی از منابع بسیار مهم در تأمین آب بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت هستند. برای تأمین و اختصاص آب برای مصارف گوناگون شناخت پارامترهای کیفی آب امری اجتناب ناپذیر می‌باشد (۳). رشد جمعیت و آلودگیهای ناشی از تخلیه انواع فاضلابهای شهری، صنعتی و کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله، روان آب‌های سطحی باعث گسترش آلودگی و محدود تر شدن منابع آب شده‌اند (۴). همگام با رشد صنعتی و اقتصادی و تولید انواع مختلف ترکیبات و مواد شیمیایی و غیره که بشر برای رفاه و آسایش خود با استفاده از منابع طبیعی بدست آورده در این راستا به طور ناخواسته موادی را به طبیعت وارد می‌کنده هم برای محیط اطراف و هم برای خود مشکلات و خطرات جدی به همراه دارد. از جمله این مواد که ممکن است وارد محیط شود انواع فلزات سنگین را می‌توان نام برد (۵).

فلزات سنگین اجزای طبیعی تشکیل دهنده پوسته زمین هستند ولی فعالیتهای انسان، سیکل ژئوشیمی و بیوشیمیایی تعادل این فلزات را به هم زده و باعث انتشار آنها در محیط زیست می‌شود. وجود منابع آلاینده طبیعی و مصنوعی و عوامل

موثر بر انتشار آلودگی، مبنای تمام آلودگی‌های زیست محیطی به این نوع فلزات می‌باشد (۶). فلزات سنگین در طی فرآیند زمین شناسی، صنعتی و فعالیت‌های شهری ایجاد و در محیط زیست پراکنده می‌شوند. این عناصر و ترکیبات آنها پس از آزاد شدن، جذب سطوح ذرات معلق هوا و یا کلوئیدهای خاک می‌شوند و با گذشت زمان ممکن است حتی به آبهای سطحی و زیرزمینی نفوذ و در محیط زیست انتشار بیشتری پیدا کنند و تهدیدی جدی برای سلامتی انسان و حیات وحش باشند. در دهه گذشته ورود آلاینده‌ها با منشاء انسانی مانند فلزات سنگین درون اکوسیستم، به مقدار زیادی افزایش یافته است که این به عنوان یک خطر جدی برای حیات اکوسیستم زمین به شمار می‌آید. فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع طبیعی و انسان-ساخت وارد محیط زیست می‌شوند. میزان ورود این فلزات سنگین به داخل محیط زیست، بسیار فراتر از میزانی است که به وسیله فرایندهای طبیعی برداشت می‌شوند. بنابراین تجمع فلزات سنگین در محیط زیست قابل ملاحظه است. اولین عامل اثرات آلودگی فلزات در یک اکوسیستم، وجود فلزات سنگین در بیومس یک منطقه آلوده است که سلامت انسان را به مخاطره می‌اندازد. تجمع فلزات سنگین در آب، هوا و خاک، یک مشکل زیست محیطی بسیار مهم می‌باشد. حفاظت محیط زیست از آلاینده‌های مختلف مانند فلزات سنگین که توسط صنایع، معادن و تکنولوژی‌های مدرن ایجاد می‌شود یکی از نگرانیهای امروزی محققان و صاحبان صنایع می‌باشد. جیوه یکی از این نوع فلزات است که به علت سمیت بسیار، برهم زدن اکوسیستم خاک و احتمال بالای آلوده کردن سفره‌های آب زیر زمینی، در زمره مهمترین این آلاینده‌ها به شمار می‌رود (۷). رسوبات جزئی، تفکیک ناپذیر از اکوسیستم‌ها هستند، آنها منابع غذایی بعضی از ارگانیسم‌ها بوده و از طریق فازهای آب و رسوب نقش مؤثری در آلودگی، یا پالایش آبهای درگیر با رسوب ایفا می‌کنند و مانند آرسنیک تاریخی، در ثبت فلزات سنگین عمل می‌کنند (۸). آلودگی رسوبات توسط فلزات سنگین آثار نامطلوبی بر شرایط زیست محیطی اکوسیستم‌ها

دارد. تعیین غلظت این فلزات در رسوبات، اطلاعات زیادی در باره منشأ، توزیع و میزان آلودگی منطقه در اختیار قرار می دهد زیرا این فلزات بشدت تمایل به تجمع در رسوبات دارند. همچنین رسوبات مانند مخزنی برای نگهداری کانی ها، فلزات و مواد زیستی منتقل شده از حوضه آبخیز عمل می کنند.

از آنجایی که امروزه آلودگی آب یکی از مهم ترین نگرانی های سلامت محیط زیست است و کیفیت آب آشامیدنی در شرایط سیستم تامین تحت تاثیر منابع آلاینده قرار می گیرد، بررسی آلاینده های آب حائز اهمیت است. تاکنون بررسی های مختلفی بر روی آب آلوده شده توسط فلزات سنگین صورت گرفته است. در مطالعه صورت گرفته توسط Pirsahab و همکاران در سال ۲۰۱۳ بر روی آب شهر کرمانشاه تعداد ۱۶۵ نمونه آب از منابع ذخیره آب (۱۲۸ حلقه چاه)، ۲۵ مخزن آب و شبکه توزیع آب (آب شیر) از شهر کرمانشاه (با جمعیت حدود یک میلیون) جمع آوری شد. غلظت فلزات سنگین در تمام نمونه ها توسط دستگاه جذب اتمی واریان اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات اندازه گیری شده پایین تر از استانداردهای ملی و دستورالعمل های توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) بودند (۹).

Sanayei و همکاران در سال ۲۰۰۹ به بررسی و ارزیابی فلزات سنگین در رودخانه زاینده رود پرداختند. آن ها به این نتیجه رسیدند که میزان فلزات سنگین در ایستگاه ورزنه بالاترین مقدار است و میزان کادمیوم از حد استانداردهای جهانی بالاتر است (۱۰). Ghorveh و همکاران نیز در سال ۲۰۱۵ به بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه زاینده رود پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان کادمیوم در رسوبات نگران کننده است (۱۱).

در سال ۲۰۱۲، Nasehi و همکاران به بررسی میزان تجمع فلزات سنگین از جمله جیوه در رودخانه ارس پرداختند. این رودخانه در سراسر استان اردبیل در ۴ فصل (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش از روش

تجزیه و تحلیل خوشه ای برای طبقه بندی کیفیت رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. بر طبق نتایج به دست آمده ایستگاه ها به سه گروه با آلودگی بالا، آلودگی متوسط و آلودگی کم تقسیم شدند، به طور کلی ایستگاه های ۳ و ۵ بیشترین آلودگی را داشتند (۱۲). در مطالعه ای که توسط طباطبائی و ذهب صنیعی انجام شد غلظت فلزات سنگین روی، آهن، نیکل و مس در آب رودخانه زاینده رود اندازه گیری شد. آنالیزها نقاط بحرانی رودخانه را از نظر غلظت فلزات سنگین و همچنین نقاطی که نیاز به کنترل بر روی آنها وجود دارد را مشخص ساختند (۱۳). در پژوهشی حسینی زارع و همکاران کیفیت آب رودخانه کارون را از نظر فلزات سنگین کروم، سرب، کادمیوم، مس، روی، منگنز و آهن بررسی کردند. جمعا ۵۲ نمونه آب به طور فصلی از رودخانه برداشت گردید و نتایج با استاندارد جهانی بهداشت مقایسه گردید با توجه به نتایج حاصله میانگین مقدار سرب در کلیه ایستگاه ها از استاندارد سازمان جهانی بهداشت بیشتر بوده است. Mothiba و Okonkwo در پژوهشی میزان آلودگی فلزات سنگین سه رودخانه Madanzhe، Mvudi و Dzindi در آفریقای جنوبی را اندازه گیری کردند. محدوده غلظت فلزات سنگین اندازه گیری شده به جز کادمیوم و سرب کمتر از غلظت های بین المللی قابل قبول برای آب آشامیدنی بود (۱۴). Vukovic و همکاران در بررسی توزیع و تجمع فلزات سنگین رودخانه ساوا در صربستان به این نتیجه رسیدند که غلظت فلزات سنگین مس و روی بالاتر از حد مجاز استانداردهای جهانی است (۱۵). در مطالعه ای که در کشور آمریکا توسط Hochella و همکاران بر روی رودخانه کبرک فورک انجام شد در ۸ نمونه برداشت شده از رودخانه معلوم شد که غلظت فلزات سنگین مس و روی بالاتر از حد استاندارد قرار دارد (۱۶).

بررسی های انجام شده در مخازن و منابع آب آشامیدنی در پایین دست مناطق استخراج معدن در ایتالیا، حاکی از وجود مقادیر بسیار زیادی کادمیم، سرب و مس در شاخه های مختلف رودخانه های منطقه بر اثر ورود زهکش معدن است (۱۷). بررسی

نتیجه رسید که به طور کلی غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه از حدود استاندارد تعیین شده برای رسوبات کمتر است (۲۴). شهبازی و همکاران در سال ۱۳۹۱ به بررسی و مطالعه برخی از فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی تالاب امیرکلایه استان گیلان پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که میزان غلظت فلزات مورد مطالعه در آب و رسوبات کمتر از سطح استانداردهای بین المللی بوده است (۲۵). موزنی و همکاران در سال ۱۳۹۲ به بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، مس، سرب و نیکل) در رسوبات سطحی پارک ملی دریایی نای بند، شمال خلیج فارس پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که به جز سرب که درجه آلودگی خیلی شدید نشان می داد سایر فلزات در رسوبات سطحی در وضعیت غیر آلوده قرار داشتند (۲۶).

از آن جا که رودخانه زاینده رود مهم ترین منبع آبی تامین کننده آب استان اصفهان و شاهرگ حیاتی این استان است، تحقیق حاضر به منظور اندازه گیری غلظت عناصر سنگین در آب رودخانه در فصول مختلف و ارایه راهکارهای مدیریتی برای به حداقل رساندن عوامل سوء موثر بر محیط آبی انتخاب شده است.

روش کار

نمونه برداری های صورت گرفته از رسوبات زاینده رود از مهر ماه ۱۳۹۳ تا شهریور ماه ۱۳۹۴ در ۷ ایستگاه در طول رودخانه صورت گرفت. انتخاب محل های نمونه برداری بر اساس حضور آلاینده، توزیع آن ها، مناطق دارای کاربری کشاورزی در مجاور ایستگاهها، نزدیکی صنایع به ایستگاهها و سهولت دسترسی به محل برای انجام نمونه برداری صورت گرفت. موقعیت جغرافیایی ۷ ایستگاه در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است. در هر مرحله، نمونه برداری از رسوبات رودخانه (۲۰ سانتی متری بستر) صورت گرفت و نمونه ها از هر ایستگاه برداشته شد. سه تکرار در هر فصل و در هر ایستگاه صورت گرفت. ظروف نمونه قبلا با اسید نیتریک ۶۵ درصد شستشو داده شده بود. پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه پس از خشک کردن به روش مرطوب و مخلوط سه اسید (اسید سولفوریک، اسید نیتریک و اسید پرکلریک) هضم شیمیایی

غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات کف رودخانه ارون درود در فاصله زمانی سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۴ نشان داد که منابع مختلفی مانند صنایع، کشاورزی و فاضلاب و پساب شهری و همچنین تخلیه بار آلوده توسط پالایشگاه آبادان باعث افزایش غلظت فلزات محلول در آب نظیر سرب، مس، روی، کادمیوم، آهن و کرم در رودخانه ارون شده است (۱۸). حسین زاده و همکاران در سال ۱۳۸۹ به بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون پرداخت که در این پژوهش همبستگی بالایی بین غلظت سرب و کربن آلی در رسوبات مشاهده شد (۱۹).

تیموری و همکاران در سال ۱۳۹۰ به ارزیابی غلظت عناصر بالقوه سمی در رسوبات رودخانه گرگانرود در محدوده شهر گنبد پرداختند (۲۰). مغزی و همکاران در سال ۱۳۹۰ به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بابلرود با استفاده از شاخص های آلودگی رسوب پرداختند (۲۱). در این تحقیق به منظور ارزیابی کیفیت رسوبات، پس از نمونه برداری از رسوبات رودخانه بابلرود سنجش وضعیت آلودگی ایستگاه نمونه برداری با شاخص های کیفی انباشت ژئوشیمیایی، غنی سازی و درجه آلودگی اصلاح شده برای فلزات $Ni, Cr, Zn, Co, Pb, Cd, Cu$ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از این سه شاخص بیانگر آن است که فلزات کبالت، سرب در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط و کادمیم در محدوده آلودگی بسیار شدید بر اساس شاخص انباشت ژئوشیمیایی قرار دارند.

El-Bourai و همکاران با بررسی غلظت فلزات سنگین در آب دلتای رود نیل در مصر متوجه شدند که غلظت فلز آهن در نتیجه فعالیت صنایع فلزی اطراف رودخانه به خصوص لوله های آهنی بالاتر از حد مجاز استانداردهای جهانی قرار دارد (۲۲). غضبان و زارع خوش اقبال در سال ۱۳۹۰ به بررسی منشاء آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی پرداختند. تغییرات زمانی عناصر نشان داد که غلظت بیشتر فلزات سنگین از سطح به عمق کاهش می یابد (۲۳). بزی در سال ۱۳۹۴ به تعیین سطح آلودگی رسوبات سطحی خلیج چابهار به فلزات سنگین پرداخت و به این

صورت گرفت و پس از تغلیظ نمونه‌ها با روش استاندارد USEPA، عناصر مورد نظر در نمونه‌ها با تکنیک ICP-AES توسط دستگاه جذب اتمی (مدل MAXIM آمریکا) اندازه گیری شد (۲۷). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شده و مقایسه میانگین‌های عناصر در فصول و ایستگاههای مختلف با استفاده از ANOVA و آزمون توکی انجام شد. مقایسه میزان غلظت آلاینده‌ها با استانداردهای جهانی آمریکا، کانادا و نیویورک نیز صورت پذیرفت. در نهایت از تجمع شاخص زمینی مولر (Igeo) برای بررسی درجه و وضعیت آلودگی استفاده شد.

جدول ۱: مکان جغرافیایی ایستگاههای نمونه برداری بر حسب UTM

شماره	ایستگاهها	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	مورکان	۵۱۴۶۰۸	۳۵۸۴۳۷۴
۲	پل کله	۵۵۲۲۵۳۴/۹۲۳	۳۵۸۲۵۳۵/۵۰۶
۳	فلاورجان	۵۴۸۴۶۷	۳۶۰۲۸۴۳
۴	پل وحید	۵۶۰۰۲۹	۳۶۱۱۵۹۸
۵	پل خواجه	۵۶۳۷۸۷/۲۳۶	۳۶۱۰۴۷۴/۱۴
۶	پل چوم	۵۷۲۲۶۹	۳۶۰۵۵۷۹
۷	پل ورزنه	۶۵۵۲۲۶	۳۵۸۸۷۴۲

تجمع شاخص زمینی مولر (Igeo)

روش ارزیابی رایج، آلودگی رسوبات عهدحاضر استفاده از اندیس ژئوشیمیایی یا زمین انباشتگی و مقایسه آن با رسوبات قدیم تر همان ناحیه است. دراین رویکرد نسبت لگاریتم غلظت عناصر فلزی در رسوبات ریزدانه عهد حاضر به غلظت همان عناصر در رسوبات قدیم تر سنجیده می‌شود. مقداری که به دست می‌آید به عنوان شاخص تجمع زمینی شناخته می‌شود. در واقع این شاخص بیانگر تمرکز مواد شیمیایی بر اساس وضعیت زمین شناختی است. این شاخص اولین بار توسط مولر در سال ۱۹۷۹ بیان گردید و برای اندازه گیری و تعریف آلودگی رسوبات توسط مقایسه غلظت های کنونی یک عنصر با میزان آن ماده قبل از صنعتی شدن در رسوبات محاسبه می‌گردد.

$$Igeo = \log_2 [Cn / (1.5 \times Bn)]$$

Igeo = شاخص تجمع ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی

1. Analysis of Variance

در رسوبات

Cn = غلظت عنصر در رسوبات

Bn = غلظت همان عنصر در پوسته زمین (غلظت زمینه یا

غلظت عنصر در شیل)

ضریب ۱/۵ به منظور تصحیح غلظت اولیه رسوبات به دلیل

تاثیر عوامل زمینی اعمال شده است (۲۸).

مولر ۷ کلاس مختلف را برای طبقه بندی این شاخص عنوان

کرد که در آن، در بالاترین کلاس یعنی کلاس آلودگی ۶، مقادیر

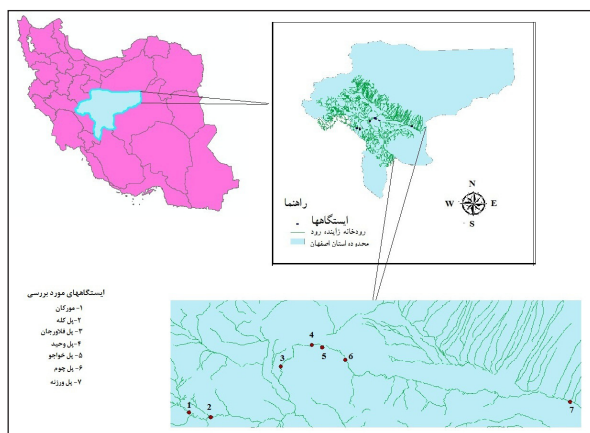
عناصر حداقل ۱۰۰ برابر مقادیر مرجع می‌باشند. طبقه بندی

کیفیت رسوبات بر اساس شاخص تجمع زمینی مولر در جدول

۲ ارائه شده است.

جدول ۲: طبقه بندی کیفیت رسوبات بر اساس شاخص تجمع زمینی مولر

وضعیت آلودگی	درجه آلودگی	مقادیر Igeo
غیر آلوده	۰	۰ ≥
از غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۱	۱ - ۰
آلودگی متوسط	۲	۲ - ۱
از آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد	۳	۳ - ۲
آلودگی زیاد	۴	۴ - ۳
از آلودگی زیاد تا به شدت آلوده	۵	۵ - ۴
به شدت آلوده	۶	۵ >



شکل ۱: موقعیت ایستگاههای مختلف در طول رودخانه زاینده رود

یافته‌ها

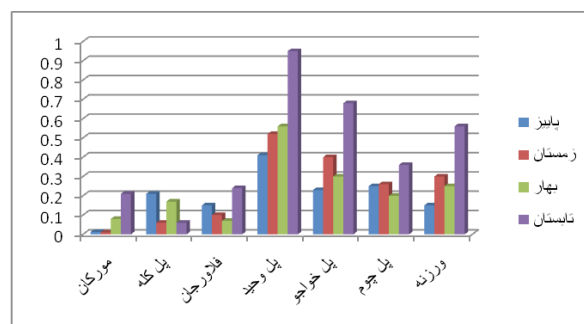
نتایج حاصل از اندازه گیری غلظت رسوبات در ایستگاههای مختلف

و فصول مختلف در جدول ۳ و اشکال ۲ تا ۷ ارائه شده است.

جدول ۳: میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین (ppm) در طی ۴ فصل در ۷ ایستگاه بررسی شده

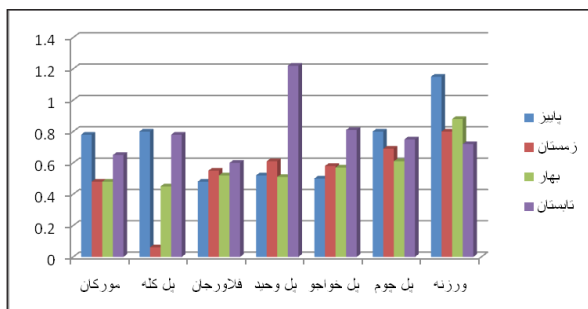
فصول	ایستگاه	کادمیوم	مس	منگنز	نیکل	سرب	روی
بایز	۱	۰/۰۱۲±۰/۰۰۵۵	۰/۰۷±۰/۰۰۲۳	۰/۰۳±۰/۰۰۱	۰/۷۸±۰/۰۰۷۵	۰/۴۵±۰/۰۰۲	۰/۰۷±۰/۰۰۰۱۴
	۲	۰/۲۱±۰/۰۱	۰/۰۷۲±۰	۰/۰۶±۰/۰۰۳۱۹	۰/۸±۰/۰۰۰۱	۰/۴۰±۰/۰۰۲۶	۰/۰۵±۰/۰۰۰۵
	۳	۰/۱۵±۰/۰۰۵۲	۰/۰۶±۰/۰۰۱	۰/۰۵۷±۰/۰۰۰۵	۰/۴۸±۰/۰۰۰۶۱	۰/۸۰±۰/۰۰۲	۰/۰۳±۰/۰۰۰۱
	۴	۰/۴۱±۰/۰۰۴۳۵	۰/۰۸±۰/۰۰۱۲	۰/۰۸±۰/۰۰۱۲	۰/۵۲±۰/۰۰۰۵	۰/۳۸±۰/۰۰۴	۰/۰۹±۰/۰۰۰۱۸
	۵	۰/۲۳±۰/۰۰۴۳۵	۰/۰۸۲±۰/۰۰۰۵	۰/۰۷±۰/۰۰۲۱۱	۰/۵۰±۰/۰۰۱۸	۰/۳۹±۰/۰۰۵	۰/۰۳±۰/۰۰۰۸
	۶	۰/۲۵±۰/۰۰۴۵۸	۰/۰۶±۰/۰۰۱	۰/۱۳±۰/۰۰۱	۰/۸۰±۰/۰۰۰۶۲	۰/۳۵±۰/۰۰۰۹	۰/۰۵±۰/۰۰۰۳
	۷	۰/۱۵±۰/۰۰۷	۰/۰۹±۰/۰۰۱	۰/۱۲±۰/۰۰۰۲۸	۱/۱۵±۰/۰۰۰۳	۱/۶۳±۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۹±۰
زمستان	۱	۰/۰۱۰±۰	۰/۰۶±۰/۰۰۱	۰/۰۴±۰/۰۰۰۲۱	۰/۴۸±۰/۰۰۰۲	۰/۴۰±۰/۰۰۱۸	۰/۰۴±۰/۰۰۰۱
	۲	۰/۰۶۰±۰/۰۰۲۶۴	۰/۰۴۵±۰/۰۰۱۴	۰/۰۴۴±۰/۰۰۱	۰/۰۶۱±۰/۰۰۰۱	۰/۴۱±۰/۰۰۱۸	۰/۰۵±۰/۰۰۰۱۲
	۳	۰/۱۰±۰/۰۰۱	۰/۰۴۸±۰/۰۰۰۳	۰/۰۵۰±۰	۰/۵۵±۰/۰۰۱۲	۰/۶۱±۰/۰۰۱۰۵	۰/۰۲±۰/۰۰۰۳۱
	۴	۰/۵۲±۰/۰۰۱	۰/۰۶۰±۰/۰۰۰۲	۰/۰۶۲±۰/۰۰۳۰	۰/۶۱±۰/۰۰۱۷	۰/۷۰±۰	۰/۰۶±۰/۰۰۰۱۵
	۵	۰/۴۰±۰/۰۰۲۶۴	۰/۰۷۱±۰/۰۰۱	۰/۰۷۱±۰/۰۰۱	۰/۵۸±۰/۰۰۱۰۵	۰/۶۵±۰/۰۰۰۱	۰/۰۵±۰/۰۰۰۲
	۶	۰/۲۶±۰/۰۰۲۶۴	۰/۰۷۰±۰/۰۰۱۱	۰/۰۷۴±۰/۰۰۰۹	۰/۶۹±۰/۰۰۰۱	۰/۴۸±۰/۰۰۰۱	۰/۰۴±۰/۰۰۰۳
	۷	۰/۳۰±۰/۰۰۱	۰/۰۷۲±۰/۰۰۱	۰/۰۷۹±۰/۰۰۱۲	۰/۸۰±۰/۰۰۰۱	۱/۱۲±۰/۰۰۱۷	۰/۰۵±۰/۰۰۰۱
بهار	۱	۰/۰۸±۰/۰۰۲۴۲	۰/۰۴۵±۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۳۵±۰/۰۰۰۳۱	۰/۴۸±۰/۰۰۰۵۱	۰/۳۱±۰/۰۰۰۱	۰/۰۵±۰/۰۰۰۳۱
	۲	۰/۱۷±۰/۰۰۱۷۳	۰/۰۴۳±۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۳۱±۰/۰۰۰۱۱	۰/۴۵±۰/۰۰۰۴۸	۰/۳۵±۰/۰۰۰۵	۰/۰۷±۰/۰۰۰۰۴
	۳	۰/۰۷±۰/۰۰۱	۰/۰۵۲±۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۴۱±۰/۰۰۰۰۲	۰/۵۲±۰/۰۰۰۰۵	۰/۵۱±۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۳±۰/۰۰۰۰۲
	۴	۰/۵۶±۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۷۰±۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۵۴±۰/۰۰۰۰۱	۰/۵۱±۰	۰/۷۱±۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۹±۰/۰۰۰۱۰۵
	۵	۰/۳۰±۰/۰۰۰۲	۰/۰۶۱±۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۷۱±۰	۰/۵۷±۰/۰۰۰۲۱	۰/۶۸±۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۵±۰/۰۰۰۴۵۱
	۶	۰/۲۰±۰/۰۰۰۲۶۴	۰/۰۷۳±۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۷۲±۰/۰۰۰۱۷	۰/۶۱±۰/۰۰۰۱۳	۰/۵۲±۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۴±۰/۰۰۰۵۲۹
	۷	۰/۲۵±۰/۰۰۰۳	۰/۰۷۱±۰	۰/۰۷۵±۰/۰۰۰۰۸	۰/۸۸±۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۷±۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۶±۰/۰۰۰۰۱
تابستان	۱	۰/۲۱±۰/۰۰۱۰	۰/۰۶۸±۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۳۱±۰/۰۰۰۰۱	۰/۶۵±۰/۰۰۰۰۱	۰/۴۵±۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۱۸±۰/۰۰۰۰۱
	۲	۰/۰۶±۰/۰۰۰۰۳۶	۰/۰۶۵±۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۶۱±۰/۰۰۰۰۵	۰/۷۸±۰/۰۰۰۰۸	۰/۴۸±۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۲±۰/۰۰۰۰۱
	۳	۰/۲۴±۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۷۹±۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۷۹±۰/۰۰۰۰۱	۰/۶۰±۰/۰۰۰۰۲۸	۰/۵۱±۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۵±۰/۰۰۰۰۱۴
	۴	۰/۹۵±۰/۰۰۰۰۸۱	۰/۰۹۱±۰/۰۰۰۰۲۱۸	۰/۱۲±۰/۰۰۰۰۱۱	۱/۲۲±۰	۰/۹۲±۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۷±۰/۰۰۰۰۰۷
	۵	۰/۶۸±۰/۰۰۰۱۵۵	۰/۰۷۸±۰	۰/۰۷۰±۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۸۱±۰/۰۰۰۰۱	۰/۶۲±۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۸±۰/۰۰۰۰۰۵
	۶	۰/۳۶±۰/۰۰۰۰۴۵	۰/۰۶۱±۰/۰۰۰۰۱۷	۰/۰۵۱±۰/۰۰۰۰۱۰	۰/۷۵±۰/۰۰۰۰۳	۰/۶۰±۰	۰/۰۵±۰/۰۰۰۰۲۴
	۷	۰/۵۶±۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۶۸±۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۵۶±۰/۰۰۰۰۱	۰/۷۲±۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۶۸±۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۶±۰/۰۰۰۰۱۵

مطابق بررسی صورت گرفته، بیشترین مقدار کادمیوم در تابستان ۹۴ در ایستگاه پل وحید است. مقایسه بین میانگین‌های کادمیوم در فصول مختلف با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه نشان می‌دهد که بین آنها اختلاف معنی داری وجود دارد ($P < 0.001$). مقایسه دو به دو میانگین‌ها با استفاده از آزمون‌های توکی نشان می‌دهد که مقدار کادمیوم در فصل تابستان در بیشترین سطح خود قرار داشته و با بقیه فصول اختلاف معنادار داشته است.



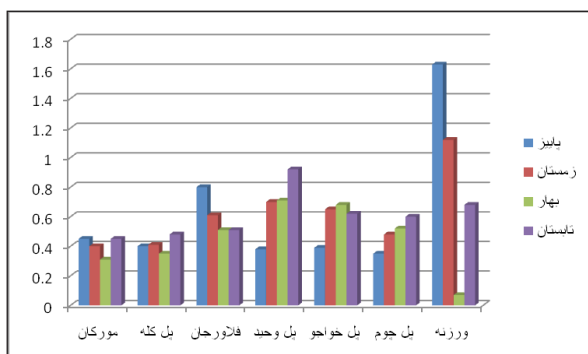
نمودار ۱: متوسط غلظت کادمیوم در ایستگاهها و فصول مختلف

با استفاده از آزمون‌های توکی نشان می‌دهد که مقدار منگنز در فصل تابستان در بیشترین سطح خود قرار داشته اما با بقیه فصول اختلاف معنادار نداشته است. هم چنین مقایسه بین میانگین‌های منگنز در ایستگاههای مختلف با استفاده از تست واریانس یکطرفه (ANOVA) نشان می‌دهد که بین ایستگاههای مختلف اختلاف معناداری وجود ندارد.



نمودار ۴: متوسط غلظت نیکل در ایستگاهها و فصول مختلف

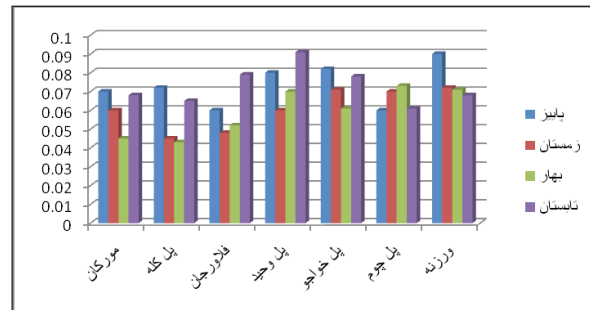
مقایسه بین میانگین‌های نیکل در فصول مختلف با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه نشان می‌دهد که بین آنها اختلاف معنی داری وجود دارد ($P < 0.001$). مقایسه دو به دو میانگین‌ها با استفاده از آزمون‌های توکی نشان می‌دهد که مقدار نیکل در فصل پاییز در بیشترین سطح خود قرار داشته و با بقیه فصول اختلاف معنادار داشته است. هم چنین مقایسه بین میانگین‌های نیکل در ایستگاههای مختلف با استفاده از تست واریانس یکطرفه (ANOVA) نشان می‌دهد که بین ایستگاههای مختلف اختلاف معناداری وجود ندارد.



نمودار ۵: متوسط غلظت سرب در ایستگاهها و فصول مختلف

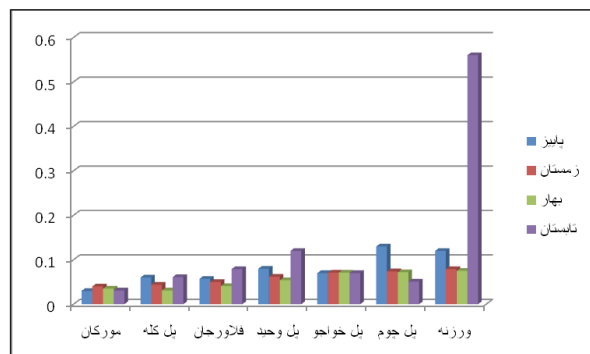
بیشترین میزان سرب مربوط به پاییز ۹۳ در ایستگاه ۷

هم چنین مقایسه بین میانگین‌های کادمیوم در ایستگاههای مختلف با استفاده از تست واریانس یکطرفه (ANOVA) نشان می‌دهد که بین ایستگاههای مختلف نیز اختلاف معناداری وجود دارد.



نمودار ۲: متوسط غلظت مس در ایستگاهها و فصول مختلف

مقایسه بین میانگین‌های مس در فصول مختلف با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه نشان می‌دهد که بین آنها اختلاف معنی داری وجود ندارد ($P > 0.001$). مقایسه دو به دو میانگین‌ها با استفاده از آزمون‌های توکی نشان می‌دهد که مقدار کادمیوم در فصل تابستان در بیشترین سطح خود قرار داشته اما با بقیه فصول اختلاف معنادار نداشته است. هم چنین مقایسه بین میانگین‌های کادمیوم در ایستگاههای مختلف با استفاده از تست واریانس یکطرفه (ANOVA) نشان می‌دهد که بین ایستگاههای مختلف نیز اختلاف معناداری وجود ندارد.



نمودار ۳: متوسط غلظت منگنز در ایستگاهها و فصول مختلف

مقایسه بین میانگین‌های منگنز در فصول مختلف با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه نشان می‌دهد که بین آنها اختلاف معنی داری وجود دارد ($P < 0.001$). مقایسه دو به دو میانگین‌ها

درجه آلودگی رسوب، از استانداردهای موجود در دیگر کشورها و یا استانداردهای جهانی استفاده می شود. در این پژوهش برای تعیین میزان آلودگی رسوب به عناصر سنگین از استاندارد کیفیت رسوب آمریکا، استاندارد کیفیت محیط زیست نیویورک و استاندارد کیفیت رسوب کانادا استفاده شد.

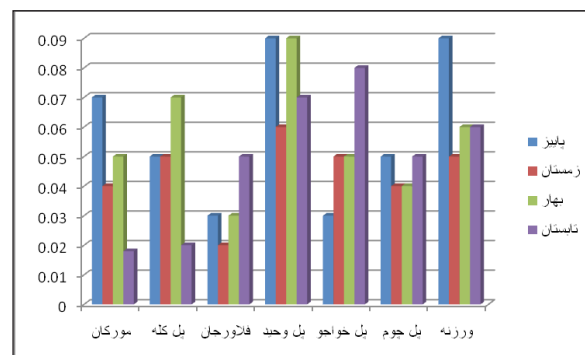
نتایج حاصل از مقایسه فلزات سنگین در محدوده مورد بررسی با برخی از استانداردهای کیفیت در جهان از جمله استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)، استاندارد کیفیت رسوب کانادا (ISQGs) و نیویورک در جدول ۴ ارائه شده است. در کیفیت رسوب آمریکا دو سطح خطر برای آلودگی فلزات در رسوبات بیان شده است که به صورت ERL (حدی که کم تر از ۲۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند) و ERM (حدی که کمتر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند)، ارائه شده است. در استاندارد کیفیت رسوب کانادا نیز یک سطح خطر برای آلودگی فلزات در رسوبات مطرح شده که به صورت PEL (سطوحی که باعث اثرات زیان آور می شود) ارائه شده است. در استاندارد کیفیت رسوب نیویورک نیز دو محدوده Lowest effects range (محدوده کمترین اثرات) و Sever effects range (محدوده اثرات شدید) تعریف شده است.

جدول ۴: استاندارد کیفیت رسوب آمریکا و کانادا بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم

عناوین	کادمیوم	مس	نیکل	سرب	روی
ERL استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)	۱/۲	۳۴	۲۰/۹	۸	۱۵۰
ERM استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)	۹/۶	۲۷۰	۵۱/۶	۲۱۸	۴۱۰
ISQGs استاندارد کیفیت رسوب کانادا	۰/۶	۳۵/۷	۱۶	۳۵	۱۲۳
PEL استاندارد کیفیت رسوب کانادا	۳/۵	۱۹۷	۷۵	۹۱/۳	۳۱۵
Lowest effects range استاندارد کیفیت رسوب نیویورک	۰/۶	۱۶	۱۶	۳۲	۱۲۰
Sever effects range استاندارد کیفیت رسوب نیویورک	۹	۱۱۰	۵۰	۱۱۰	۲۷۰

مطابق با استانداردهای کیفیت رسوب آمریکا و استاندارد PEL کانادا و Sever effects range نیویورک، غلظت

(ورزنه) است. با توجه به اینکه این ایستگاه در پایین دست رودخانه قرار دارد و جریان آب در این ایستگاه به نسبت ایستگاههای دیگر پایین تر است، میزان سرب از بالادست شسته شده و به این ایستگاه می رسد. مقایسه بین میانگین های سرب در فصول مختلف با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه نشان می دهد که بین آنها اختلاف معنی داری وجود دارد ($P < 0/001$). مقایسه دو به دوی میانگین ها با استفاده از آزمون های توکی نشان می دهد که مقدار سرب در فصل پاییز در بیشترین سطح خود قرار داشته و با بقیه فصول اختلاف معنادار داشته است. هم چنین مقایسه بین میانگین های سرب در ایستگاههای مختلف با استفاده از تست واریانس یکطرفه (ANOVA) نشان می دهد که بین ایستگاههای مختلف نیز اختلاف معناداری وجود دارد.



نمودار ۶: متوسط غلظت روی در ایستگاهها و فصول مختلف

بالاترین میزان روی در پاییز ۹۳ در ورزنه و پل وحید و در بهار ۹۴ در پل وحید دیده شد. مقایسه بین میانگین های روی در فصول مختلف با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه نشان می دهد که بین آنها اختلاف معنی داری وجود دارد ($P < 0/001$). مقایسه دو به دوی میانگین ها با استفاده از آزمون های توکی نشان می دهد که مقدار روی در فصل پاییز در بیشترین سطح خود قرار داشته و با بقیه فصول اختلاف معنادار داشته است. هم چنین مقایسه بین میانگین های روی در ایستگاههای مختلف با استفاده از تست واریانس یکطرفه (ANOVA) نشان می دهد که بین ایستگاههای مختلف نیز اختلاف معناداری وجود دارد.

مقایسه فلزات سنگین محدوده نمونه برداری با استاندارد

در کشور ما متأسفانه به دلیل عدم وجود استانداردهای خاص برای

کادمیوم در همه ایستگاهها از حد مجاز کمتر است، اما مطابق با استاندارد کیفیت رسوب ISQGs کانادا و Lowest effects range نیویورک، میزان کادمیوم در فصل تابستان در ایستگاه ۴ و ۵ (با مقادیر ۰/۹۵ و ۰/۶۸ میلی گرم بر کیلوگرم) بالاتر از حد مجاز است. غلظت فلزات مس، نیکل، سرب و روی در مقایسه با همه استانداردهای مورد بررسی در این پژوهش، پایین تر از حد مجاز است.

طبقه بندی کیفیت رسوبات منطقه بر اساس شاخص تجمع ژئوشیمیایی مولر

نتایج مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات رودخانه زاینده رود در فصول و ایستگاههای مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است.

بر اساس محاسبات انجام شده و نتایج حاصل از جدول ۵ و مقایسه آن با جدول ۲ نتیجه می شود که میزان کادمیوم در

جدول ۵: نتایج مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر Igeo مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات رودخانه زاینده رود

فصول	ایستگاه	کادمیوم	مس	منگنز	نیکل	سرب	روی
پاییز	مورگان	-۵/۲۳	-۹/۸۲	۱/۰۷	-۶/۵۸	-۹/۵۸	۲/۷۱
	پل کله	-۱/۱۰	-۳/۰۵	۲/۰۷	-۶/۵۵	-۶/۴۴	۲/۲۲
	فلاورجان	-۱/۵۸	-۹/۹۶	۱/۹۷	-۷/۲۸	-۵/۴۲	۱/۴۹
	پل وحید	-۰/۱۳	-۹/۵۸	۲/۴۸	-۷/۱۵	-۶/۵۰	۳/۰۷
	پل خواجه	-۰/۹۶	-۹/۵۸	۲/۲۹	-۷/۱۵	-۶/۴۶	۱/۴۹
	پل چوم	-۰/۸۴	-۹/۹۶	۳/۱۸	-۳/۲۲	-۶/۶۲	۲/۲۲
	پل ورزنه	-۱/۵۸	-۹/۳۸	۳/۰۷	-۶/۰۲	-۴/۴۰	۳/۰۷
زمستان	مورگان	-۵/۴۹	-۹/۹۶	۱/۴۸	-۷/۲۸	-۶/۴۴	۱/۹۰
	پل کله	-۲/۹۱	-۱۰/۳۸	۱/۶۲	۳/۰۲	-۶/۳۹	۲/۲۲
	فلاورجان	-۲/۱۷	-۱۰/۲۸	۱/۸۰	۷/۰۷	-۵/۸۲	۰/۹۰
	پل وحید	-۰/۲۰	-۹/۹۶	۲/۱۲	-۶/۹۶	-۵/۶۲	۲/۴۹
	پل خواجه	-۰/۱۷	-۹/۷۲	۲/۳۱	-۷/۰۲	-۵/۷۳	۲/۲۲
	پل چوم	-۰/۷۹	-۹/۷۵	۲/۳۷	-۶/۷۶	-۶/۱۵	۱/۹۰
	پل ورزنه	-۰/۵۸	-۹/۷۰	۲/۴۶	-۶/۵۴	-۴/۹۴	۲/۲۲
بهار	مورگان	-۲/۴۹	-۱۰/۳۸	۱/۲۹	-۷/۲۸	-۶/۷۹	۲/۲۲
	پل کله	-۱/۴۰	-۹/۱۸	۱/۱۱	-۷/۳۸	-۶/۶۲	۲/۷۱
	فلاورجان	-۲/۶۸	-۹/۱۲	۱/۵۲	-۷/۱۵	-۶/۰۸	۱/۴۹
	پل وحید	-۰/۳۱	-۹/۸۲	۱/۹۱	-۷/۲۰	-۵/۶۰	۳/۰۷
	پل خواجه	-۰/۵۸	-۹/۹۶	۲/۳۱	-۷/۰۳	-۵/۶۶	۲/۲۲
	پل چوم	-۱/۱۷	-۹/۷۰	۲/۳۳	-۶/۹۳	-۶/۰۵	۱/۹۰
	پل ورزنه	-۰/۸۴	-۹/۷۲	۲/۳۹	-۶/۴۱	-۸/۹۶	۲/۴۹
تابستان	مورگان	-۱/۱۶	-۹/۷۸	۱/۱۱	-۶/۸۴	-۶/۲۶	۰/۷۵
	پل کله	-۲/۹۱	-۹/۹۶	۲/۰۹	-۶/۵۸	-۶/۱۶	۰/۹۰
	فلاورجان	-۰/۹۰	-۹/۵۸	۲/۴۶	-۶/۹۶	-۶/۰۸	۲/۲۲
	پل وحید	۱/۰۷	-۹/۳۸	۳/۰۷	-۵/۹۴	-۵/۲۱	۲/۷۱
	پل خواجه	۰/۵۹	-۹/۵۸	۲/۲۹	-۶/۵۳	-۵/۷۹	۲/۹۰
	پل چوم	-۰/۳۲	-۹/۹۶	۱/۸۳	-۶/۶۸	-۵/۸۴	۲/۲۲
	پل ورزنه	۰/۳۱	-۹/۷۸	۱/۹۷	-۶/۷۰	-۵/۶۶	۲/۴۹

آنجا که این فلزات هم از فرایندهای طبیعی و هم از فعالیت‌های انسانی به دست می‌آیند و تجمع فلزات در رسوبات از این دو منبع، توسط فرایندهای یکسانی شامل انتقالات و رسوب گذاری کنترل می‌شوند، لذا با اندازه‌گیری مقدار کل فلزات سنگین، مشکل می‌توان بخشی که توسط هر منشاء به تنهایی ایجاد می‌شود را اندازه‌گیری نمود.

با مقایسه عناصر سنگین مورد مطالعه در این پژوهش، میزان تمام عناصر به جز کادمیوم از استانداردهای جهانی پایین‌تر است که با نتایج حاصل از پژوهش Sanayei و همکاران در آب رودخانه زاینده رود و همچنین پژوهش Ghorveh و همکاران در سال ۲۰۱۵ کاملاً مطابقت دارد. کادمیوم به طور طبیعی در سولفید کادمیوم معدنی وجود دارد و از آنجایی که در آبکاری فلزات نیز استفاده می‌شود و در اطراف ایستگاه ۴ صنایع آبکاری وجود دارند که فاضلاب خود را به رودخانه می‌ریزند، میزان کادمیوم بیشتر از ایستگاه‌های دیگر است. لذا شاید بتوان میزان بالای کادمیوم در ایستگاه ۴ را به این صنایع نسبت داد. از آنجایی که کادمیوم دارای خطرات بهداشتی فراوان از جمله سرطان زایی و ادم ریوی است، لازم است اقدامات جدی برای بررسی بیشتر منشا کادمیوم و راهکارهای اساسی جهت کاهش آن صورت گیرد. علاوه بر آن از آنجایی که ایستگاه پل وحید در پایین دست پل فلاورجان قرار دارد و در این ایستگاه میزان کشاورزی بالاست، احتمال انتقال آلاینده‌های کشاورزی به ایستگاه پایین دست نیز وجود دارد. در بررسی با شاخص مولر نیز ایستگاه پل وحید در فصل تابستان در وضعیت آلودگی متوسط قرار دارد. به علاوه میزان کادمیوم در فصل تابستان از سایر فصول بیشتر است، یکی از عوامل موثر بر میزان غلظت فلزات سنگین در بستر، مواد آلی و معلق موجود در آب است. در فصل زمستان بر اثر بارش، وزش بادهای و جریانات آبی، تلاطم و برهم زنی آب‌های افزایش می‌یابد. با افزایش آشوب‌های دریایی و افزایش بار مواد معلق رسوبی، جذب فلزات از آب توسط ذرات معلق، بالایی می‌گیرد. در تابستان که منطقه با کاهش رواناب‌های ورودی

ایستگاه پل وحید در فصول زمستان و بهار، و هم چنین میزان این عنصر در ایستگاه‌های پل خواجه و پل ورزنه در فصل تابستان در محدوده ۱-۰ (غیر آلوده تا متوسط) قرار دارند. بیشترین میزان کادمیوم در ایستگاه پل وحید در تابستان با مقدار ۱/۰۷ می‌باشد که در وضعیت آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. میزان عنصر کادمیوم در سایر ایستگاه‌ها و سایر فصول در وضعیت کاملاً غیر آلوده قرار دارد. با بررسی شاخص ژئوشیمیایی مولر در رسوبات، میزان عنصر مس در تمامی فصول و همه ایستگاه‌ها در وضعیت کاملاً غیر آلوده قرار دارد. پس از بررسی عنصر منگنز بر اساس شاخص مولر دریافت شد که بیشترین میزان این عنصر در پل چوم در فصل پاییز است که در وضعیت آلودگی زیاد قرار دارد. وضعیت آلودگی با عنصر منگنز در سایر ایستگاه‌ها و بقیه فصول در محدوده متوسط تا متوسط-زیاد واقع است. عنصر نیکل در رسوبات پل کله در فصل زمستان (با مقدار ۳/۰۲) وضعیت آلودگی زیادی دارد و وضعیت آن در سایر ایستگاه‌ها و فصول کاملاً غیر آلوده است. وضعیت آلودگی سرب در همه ایستگاه‌ها و فصول، کاملاً غیر آلوده ارزیابی شد. در رابطه با عنصر روی، وضعیت آلودگی بین طبقات غیر آلوده-متوسط تا آلودگی زیاد در نوسان است و بیشترین میزان آلودگی مربوط به ایستگاه پل وحید و پل ورزنه در فصل پاییز و پل وحید در فصل بهار با مقدار ۳/۰۷ است. کمترین میزان آلودگی روی نیز در پل مورگان با وضعیت آلودگی غیر آلوده تا متوسط (مقدار ۰/۷۵) است.

بحث

با توجه به اهمیت آثار تخریبی فلزات سنگین در تهدید حیات زیست‌شناختی موجودات ساکن و متاثر از پیکره‌های آبی، بررسی و پایش وضعیت کیفی رسوبات همواره از اهم ملاحظات زیست محیطی مرتبط محسوب می‌شود. آنالیز رسوبات نقش مهمی را در ارزیابی شرایط آلودگی در اکوسیستم‌های آبی دارا می‌باشند از طرفی رسوبات توانایی بالقوه جذب و ته نشین کردن آلودگی‌های فلزی که از محیط‌های خشکی ناشی می‌شوند را دارا می‌باشند. از

و جریانات آبی مواجه می‌گردد، در نتیجه مواد آلی و معلق محتوای فلزات در بستر دریا ته نشست می‌یابد و غلظت فلزات سنگین تجمع یافته در مواد معلق و مواد آلی رسوب بستر به حداکثر خود رسیده و نسبت به فصل زمستان افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد.

در بررسی عنصر مس، غلظت آن از حد استانداردهای جهانی در کلیه ایستگاهها و فصول پایین تر است. همچنین شاخص مولر نیز وضعیت آلودگی مس در منطقه را کاملاً غیر آلوده نشان داد. از مقایسه غلظت منگنز با استانداردهای جهانی نیز به این نتیجه رسیدیم که میزان این عنصر پایین تر از استانداردهای جهانی است اما به طور کلی بیشترین غلظت آن در پل چوم و در فصل پاییز ملاحظه شد. منگنز یک ترکیب شیمیایی معمول است که در تمام قسمتهای کره زمین یافت می‌شود. منگنز سومین عنصر شیمیایی از لحاظ سمی بودن می‌باشد. یعنی از طرفی مقدار اندک منگنز برای بقای انسان مورد نیاز است و از طرف دیگر زمانی که غلظت منگنز از حد معمول خود تجاوز کرده و بالا می‌رود، برای بدن انسان بسیار سمی است. مهمترین تاثیر منگنز بر دستگاه تنفس و مغز است. علائم مسمومیت با منگنز شامل توهّم، فراموشی و آسیبهای عصبی است. همچنین منگنز باعث بیماری پارکینسون، آب آوردن ریه‌ها و برونشیت می‌شود.

سندرمی که بر اثر عملکرد منگنز در بدن انسان اتفاق می‌افتد دارای علائمی مانند شیذوفرنی، کسالت، ضعف عضلات، سردرد و کم خوابی است. منگنز در محیط زیست، بیشتر در اثر فعالیت‌های انسانی افزایش می‌یابد. از آنجایی که در اطراف ایستگاه پل چوم کاربری کشاورزی به نسبت بالاست، ممکن است استفاده از آفت کش‌های منگنز که در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند، عامل بالا رفتن میزان منگنز در این ایستگاه باشد. علاوه بر آن قرار گرفتن تصفیه خانه فاضلاب در مجاورت این ایستگاه مزید بر علت است. هم چنین با بررسی شاخص مولر نیز به این نتیجه رسیدیم که میزان منگنز در پل چوم و در فصل پاییز بالاتر است. نیکل از جمله فلزات سنگینی است که افزایش آن سبب ایجاد

آلرژی، تحریک پذیری، سرطان زایی و ... می‌شود. غلظت نیکل نیز از استانداردهای جهانی پایین تر است، اما حداکثر غلظت آن در ایستگاه ۴ و در فصل تابستان ملاحظه می‌شود که دلیل آن رامی‌توان استفاده از کودهای فسفره که در مناطق بالادست این ایستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند و سپس به پایین دست منتقل می‌شوند، دانست. علاوه بر آن میزان نیکل از طریق دود آگروز خودروها نیز انتشار می‌یابد و از آنجایی که ایستگاه ۴ در مرکز شهر قرار دارد میزان نیکل در این ایستگاه بالا است. همچنین در بررسی با شاخص مولر تنها در ایستگاه پل کله وضعیت آلودگی در طبقه زیاد قرار می‌گیرد (در فصل زمستان) و در سایر ایستگاهها کاملاً غیر آلوده ارزیابی شده است. در پل کله نیز میزان فعالیت‌های کشاورزی بالاست.

میزان بالای سرب سبب اختلال در کارکرد هموگلوبین، کم خونی، افزایش فشار خون، سقط جنین، نارسای نوزاد، کاهش قدرت یادگیری و ... می‌شود. میزان سرب در همه ایستگاهها و فصول کمتر از حد استاندارد است، اما به صورت کلی غلظت آن در ایستگاه ۷ در فصل پاییز بیشتر است. در رابطه با ایستگاه ورزنه، از آنجایی که پایین دست‌ترین ایستگاه در منطقه مورد مطالعه مربوط به ورزنه است و میزان جریان آب حتی در دوران‌های آبسالی در این منطقه کم تر است، لذا غلظت عناصر سنگین در این ایستگاه رو به فزونی گذارده است. با توجه به خشکسالی‌های اخیر در حوضه آبخیز زاینده رود میزان آلودگی‌ها رو به افزایش است. به علاوه میزان کاربری کشاورزی نیز در ایستگاه ورزنه بالا است و مصرف آفت کش‌ها و حشره کش‌ها سبب بالا رفتن میزان سرب در منطقه خواهند شد. در بررسی با شاخص مولر نیز، وضعیت آلودگی رسوبات به سرب، در کلیه ایستگاهها و فصول، کاملاً غیر آلوده برآورد شد.

میزان بالای روی در بدن انسان سبب اختلالاتی در استخوان و کبد می‌شود. در بررسی غلظت روی نیز میزان آن از تمامی استانداردهای جهانی پایین تر است اما در ایستگاه پل وحید در بهار و پاییز و ایستگاه ورزنه در پاییز میزان روی بالاتر است.

نتیجه گیری

با توجه به موارد مطرح شده دو نتیجه اساسی می توان گرفت:

- ۱- بارگذاری جمعیت و فعالیت زیاد در حوزه آبخیز این رودخانه، همچنین توسعه های سریع شهری در محدوده آن، عملکردهای زندگی و فعالیت شهری و صنعتی، اصلی ترین منشا آلایندهای رودخانه بوده و در همین حال مصرف بی رویه انواع کودهای شیمیایی و سموم گیاهی در کنار تخلیه فاضلاب های شهری، روستایی و صنعتی و همچنین تخلیه مواد زائد جامد به این رودخانه که پیوسته روند فزونی دارد، آلودگی رودخانه را افزایش می دهد. بنابراین عامل انسانی مهمترین عامل آلودگی رودخانه است. ۲- درکنار عوامل انسانی، عوامل طبیعی مانند بارش کم، فصلی بودن بارش، مصرف آب برای مقاصد کشاورزی و صنعتی بلکه برداشت زیاد آب منجر شده، توسعه زمین های کشاورزی به بهای برداشت از اراضی طبیعی، افت کیفیت پوشش گیاهی و سخت شدن سطح زمین، بار آلودگی فیزیکی و شیمیایی رودخانه را افزایش داده و موجب اختلال طبیعی در قابلیت بیولوژیکی و زیستی آن می گردد. در مجموع می توان گفت که این رودخانه با شرایط فعلی و ادامه روند خشکسالی ها در صورتی که مورد مدیریت قرار نگیرد به یک فاجعه تبدیل خواهد شد. در ذیل پیشنهادهایی برای راه کارهای بهتر جهت بررسی منطقه ارائه شده است.

یکی از بهترین روش ها در ارزیابی آلودگی رسوبات به مواد آلاینده، بررسی میزان در دسترس بودن این آلاینده ها برای موجودات زنده محیط می باشد و از آنجا که اندازه گیری غلظت کل فلزات نمی تواند تخمین خیلی خوبی از این میزان آلودگی بدست بدهد، لذا بررسی مقادیر فلزات سنگین بصورت استخراج پی در پی می تواند در ارزیابی میزان قابلیت در دسترس بودن این فلزات و بالطبع میزان آلودگی رسوبات روش مناسب و با کارایی بیشتر باشد

آگاهی بیشتر مردم حاشیه رودخانه از اثرات مضر و ورود آلاینده ها به داخل رودخانه، تشویق کشاورزان در استفاده از پمپ

به طور کلی روی در پساب فعالیت های کشاورزی، صنایع و فاضلاب های خانگی بیشتر یافت می شود. از آنجایی که روی پر مصرف ترین فلز صنعتی است که در صنایع آبکاری جهت تولید برنج به کار می رود، افزایش آن در ایستگاه ۴ رامی توان به صنایع آبکاری استقرار یافته در نزدیکی این ایستگاه نسبت داد و دلیل میزان بالای آن در ایستگاه ورزنه رامی توان فعالیت های کشاورزی دانست. طبق ارزیابی صورت گرفته با شاخص مولر، غلظت روی در ایستگاه پل وحید در پاییز و بهار و پل ورزنه در پاییز در وضعیت آلودگی زیاد قرار دارد.

قرار گیری صنایع بزرگی از جمله ذوب آهن اصفهان، فولاد مبارکه و پلی اکریل در استان اصفهان و بالادست حوضه آبخیز سبب انتقال آلودگی به ایستگاههای پایین تر و افزایش شدت آن می شود. در این پژوهش بیشتر آلودگی ها مربوط به ایستگاههای ۴ و ۷ (پل وحید و ورزنه) است. در بررسی Sanayei و همکاران نیز میزان غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ورزنه به دلیل فعالیت های کشاورزی و ورود فاضلاب های شهری، زیاد ارزیابی شد. ایستگاه پل وحید فلزات سنگینی که از بالا دست به پایین دست منتقل می شود را از صنایع پذیرا است و همچنین از آنجایی که پل وحید در مرکز شهر واقع است، تردد ماشین آلات و ترافیک سبب افزایش میزان آلودگی در این ایستگاه شده است. عدم مدیریت صحیح زیست محیطی، کنترل و پایش به موقع در رودخانه زاینده رود و شاخه های متعدد آن باعث شده تا صاحبان صنایع و صاحبان اراضی موجود در بالادست و پایین دست منطقه بدون توجه به اصول زیست محیطی و اهداف بلند مدت در این راستا، جهت رسیدن به توسعه پایدار، از طریق تخلیه فاضلاب های تصفیه نشده صنعتی، شهری و کشاورزی به درون محیط آبی باعث آلودگی آن اکوسیستم گردند.

طبق مطالعه حاضر میزان روی، نیکل و سرب از استانداردهای جهانی کمتر است که با پژوهش صورت گرفته توسط طباطبایی و ذهب صنیعی در سال ۱۳۸۹ مطابقت دارد.

آب در زمین های زراعی و جلوگیری از ورود پساب به رودخانه، از جمله یکی از راهکارهای مهم است.

نظارت و اجرای قوانین و مقررات ویژه در خصوص استقرار مراکز صنعتی و تخلیه فاضلاب ها در اطراف رودخانه انجام شود. -به دلیل اینکه منطقه به سرعت در حال توسعه بوده و در

آینده ای نه چندان دور شاهد فعال شدن بیش از پیش آن از لحاظ صنعتی و تجاری خواهیم بود لازم است که از هم اکنون نکات زیست محیطی بطور دقیق رعایت شود تا احداث صنایع جدید و برقراری دیگر فعالیت های انسانی بر اساس استانداردهای قابل

قبول و کار آمد صورت پذیرد. همچنین پیشنهاد می گردد از سیستم های تصفیه پساب های صنعتی استفاده بهینه شود و کنترل مستمر آنها به منظور کاهش و جلوگیری از اثرات سوء آلاینده ها صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

از سردبیر محترم مجله و داوران محترم که پیشنهادهای سازنده ای را در جهت بهبود کیفیت مطالب در مقاله، ارائه دادند، نهایت تشکر و قدردانی رامی نمایم.

References:

1. Yari Moghadam N, Cheraghi M, Hasani AH, Javid AH. Evaluation of heavy metals (Cu, Zn, Pb and Cd) in Hamadan Abshine River. Journal of Health and Development 2013; 2(4): 296-304. (Persian).
2. Enrique Sa n, Manuel F, Colmenarejo J, Angel Rubio Mari G, Garci L, Rafael B. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. Ecological Indicators 2007; 7(1): 315-328.
3. Eslamian S. assessment of water quality Indices and concentration of some heavy metals in zayandeh rood river sediments. [M.s.c thesis]. Iran. Agriculture faculty of isfahan university of technology; 2010. (Persian).
4. Simeonov V, Stratis JA, Samara C, Zachariadis G, Voutsas D, Anthemidis A, Sofoniou M, Kouimtzis Th. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. Water Res 2003; 37: 4119-4124.
5. Kamarei B. Mirhosseini SH, Jafari A, Asgari GH, Birjandi M, Rostami Z. Measurement of heavy metal concentrations in water resource and river of Borujerd city. Journal of Lorestan University of Medical Sciences 2009; 11(4): 45-51. (Persian).
6. Tavakoli M, Khodadadi A, Portani S, Marzban M. Survey of heavy metal contamination in the Zanjan province using GIS. Thirtieth conference of Earth Sciences. 2011 Oct. Iran. Ministry of Industry.
7. Khodadai A, Tavakoli Mohammadi MR. Evaluation of natural and artificial sources of mercury pollution using GIS in a number of provinces. Fourth Conference of Environmental Engineering. 2010. Tehran university, Iran. (Persian).
8. Sunderland EM. Reconciling models and measurements to assess trends in atmospheric mercury deposition, Environmental Pollution Nov 2008; 156 (2):526-35.
9. Pirsahab M, Khosravi T, Sharafi, K, Babajani L, Rezaei M. Measurement of Heavy Metals Concentration in Drinking Water from Source to Consumption Site in Kermanshah – Iran. World Applied Sciences Journal 2013; 21(3): 416-423
10. Sanayei Y, Islami N, Talebi S. Determination of Heavy Metals in Zayandeh Rood River, Isfahan-Iran. World Applied Sciences Journal 2009; 6 (9): 1209-1214.
11. Ghorveh A, Solhi M, Ghaumi Mohammadi H, Vazan S. Investigation the Concentration of Heavy Metals in the Sediment of Zayandehrood River Bed. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2015; 3 (1), 75-81
12. Nasehi F, Hassani A, Monavvari M, KARBASSI A, Khorasani N, Imani A. Heavy Metal Distributions in Water of the Aras River. Journal of Water Resource and Protection 2012; 4: 73-78.
13. Tabatabai J, ZahabSaniee A. Evaluation of heavy metals concentration and alteration of them in Zayandehrood River. International Seminar on clean water; May 2-3, 2010. Power and Water University of Technology, Tehran, Iran.
14. Okonkwo JO, Mothiba M. Physic-chemical characteristics and pollution levels of heavy metals in the rivers in Thohoyandou, South Africa. J Hydrol 2005; 308: 122-127.
15. Vukovic Z, Radenkovic M, Stankovic SJ, Vukovic D. Distribution and accumulation of heavy metals in the water and sediments of the River Sava. J Serbian Chem Soc 2011; 76(5):795-803.
16. Hochella MF, Moore JN, Putnis CV, Putnis A, Kasama T, Eberl DD. Direct observation of heavy metal-mineral association from the Clark Fork River Superfund Complex: Implications for metal transport and bioavailability. Geochemical et Cosmochimical Acts 2005; 69(7): 1651-63.
17. Rauret G. (1998). Determination and specification of

- copper and lead in sediments of Mediterranean river (River Tenes, Catalonia, Spain). *Water Res* 2013; 22(449): 83-96.
18. Bazrafshan A. Investigation of heavy metal in water and sediment in arvand rood river. *Research* 1999; 8(29):14-22. (Persian)
 19. HoseiniZare N, Saadati N, Gandomkar P, Ahmadi M. Investigation on heavy metals of Karun river in entrance places to drinking water refineries of Ahvaz and suburbs. Second Specialty Conference on Environmental Engineering; Jul 20-21, 2008. Faculty of Environment, Tehran, Iran.
 20. Teymouri A, Forghani GH, Jafari H. Assessment of concentrations of potentially toxic elements in sediments of Gorganrood river in Gonbad city. Thirtieth conference of Earth Sciences. 2011 Oct. Iran. Ministry of Industry. (Persian).
 21. Maghzi S, Saeidi M, Jamshidi A. Assessment of heavy metal pollution in river sediments of 2011. Iran. (Persian).
 22. El-Bouraie M, El-Barbary A, Yehia M, Motawea E. Heavy metal concentration in surface river water and bed sediments at Nile Delta in Egypt. *Suo journal* 2010; 61(1): 1-12.
 23. Ghazban F, Zare Khosh eghbal M. Investigate the origin of heavy metal pollution in sediments of Anzali Wetland. *Environment studies journal* 2011; 37(57): 45-56. (Persian).
 24. Bazi A. Determination of heavy metal contamination level in sediments of Chabahar. *Iranian journal of health and environment* 2014; 8(1): 45-56. (Persian).
 25. Shahbazi S, Khoshkhou ZH, Khara H, Babaei H. The study of some heavy metals in water and surface sediment of Amirkelayeh wetland in Gilan province. *Feyz Journal* 2012; 7(16): 22-29. (Persian).
 26. Moazeni M, Hayeripour S, Mohammadi M, Fooladi H. Evaluation of heavy metals (cd, cu, pb, ni) in sediments of Nayband national park. *Journal of wetland eco-biology* 2011; 5(1): 23-32. (Persian).
 27. USEPA 2010. Sediment Contamination Assessment Methods: Validation of Standardized and Novel Approaches. <http://epa.gov/ncer/>. Site visited on 08.05.10.
 28. Wu Z, Mengchang He, Chunye Lin, Yinghong Fan. Distribution and speciation of four heavy metals (Cd,Cr,Mn and Ni) in the surficial sediments from estuary in daliao river and yingkou bay. *Environ Earth Sci* 2011; 63:163-175.