مطالعات علوم محیط زیست، دوره چهارم، شماره اول، فصل بهار ۱۳۹۸، صفحه ۱۰۲۱-۱۰۲۸

توزیع و منشأیابی فلز سنگین سرب در رسوبات رودخانه‌های چالوس، بابلرود و گرگانرود در حوضه جنوبی دریای خزر

علی عظیمی*[۱]، علیرضا ریاحی بختیاری[۲]، مجتبی پارسایی[۳]

[۱] دکتری محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

[۲] استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

[۳] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

* ایمیل نویسنده مسئول: azimi.mpo@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۷

چکیده

در این مطالعه توزیع فلز سنگین سرب در رسوبات سطحی سه رودخانه مهم حوزه جنوبی دریای خزر شامل رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود مطالعه گردید و همچنین منشأ این فلز سنگین در این رودخانه ها تعیین شد. نمونه برداری از رسوبات سطحی هر رودخانه از سه نقطه شامل دهانه، میانه و بالادست رودخانه، در ۳ تکرار با استفاده از گرب ون وین در خرداد ماه ۱۳۹۵ صورت گرفت. غلظت سرب پس از هضم اسیدی رسوبات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی با شعله (AAS) تعیین گردید و منشأیابی سرب با تعیین غلظت آن در بخش های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات به روش استخراج پی در پی انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت سرب در رسوب سطحی رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود به ترتیب ۱۳/۸۱، ۱۵/۳۰ و ۱۷/۶۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. بر این اساس رودخانه گرگانرود آلوده ترین رودخانه و رودخانه چالوس، کمترین آلودگی را به فلز سرب نشان داد. همچنین نتایج منشأیابی سرب نشان داد که درصد سرب در بخش پایدار بیشتر از بخش های ناپایدار بود و منشأ غالب طبیعی برای سرب در رودخانه های مورد مطالعه تعیین شد.

کلمات کلیدی:

"فلزات سنگین"، "بخش های ژئوشیمیایی"، "رودخانه"، "رسوبات سطحی"، "دریای خزر"

Distribution and Source Identification of Lead in Surface Sediments of Rivers Chaloos, Babolrood and Gorganrood in South of Caspian Sea

Ali Azimi*[1], Alireza Riahi Bakhtiari[2], Mojtaba Parsayi[3]

[1] PhD of Environment, faculty of natural resource and marine science, Tarbiat Modares University

[2] Professor of Environment department, faculty of natural resource and marine science, Tarbiat Modares University

[3] MSC of Environment, faculty of natural resource and marine science, Tarbiat Modares University

* Email Address: azimi.mpo@gmail.com

Abstract

In this study, distribution of Lead in surface sediments of three important rivers in south of Caspian Sea, including Chaloos, Babolrood and Gorganrood investigated, and also the source of this heavy metal in mentioned rivers determined. Sampling from surface sediments of 3 different points of every river including downstream, middle and upstream of rivers performed by van veen grab in 3 replicate in May 2016. The concentrations of Pb in sediments, determined by flame Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) after acid digestion, and source identification of Pb was performed in different geochemical fractions of sediment using sequential extraction technique. Results indicated that average concentration of Pb in surface sediments of rivers Chaloos, Babolrood and Gorganrood were 13.81, 15.30 and 17.68 µg/g dry weights respectively. According to results, Gorganrood was more polluted river and Challos was less polluted river in related to Pb concentrations. The results of source identification of Pb revealed that percentage of Lead in resistant fraction is more than nonresistant fractions suggesting natural origin for Pb in the studied rivers.

Keywords:

"Heavy Metal", "Geochemical fractions", "River", "Surface Sediment", "Caspian Sea"

۱- مقدمه

دریای خزر به دلیل دارا بودن خط ساحلی بسیار طویل و وجود مناطق جمعیتی، شهری، صنعتی و کشاورزی بسیار در مجاورت خود، همواره از منظر زیست‌محیطی تحت فشارها و تهدیدات شدیدی قرار داشته است. با توجه به وجود منابع آلودگی متعدد و آثار نامطلوب آلاینده‌ها بر کیفیت زندگی و حیات گونه‌های آبزی ساکن دریا و سلامتی حاشیه‌نشینان و بهره‌برداران این دریا، و با توجه به این که بخش اعظم آلاینده ها از طریق رودخانه ها وارد دریای خزر می شود، لذا بررسی وضعیت آلودگی رسوبات رودخانه های خزر جنوبی به عنوان تغذیه کنندگان مهم آلودگی حوضه جنوبی دریای خزر بسیار حائز اهمیت است.

رودخانه چالوس رودی دائمی است در غرب مازندران که از دامنه شمالی ارتفاعات کندوان و طالقان سرچشمه گرفته و پس از طی حدود ۷۲ کیلومتر در کنار چالوس در نزدیکی ده فرج آباد به دریای خزر می‌ریزد. رودخانه بابلرود در استان مازندران و در ساحل جنوبی دریای خزر واقع است و به علت عبور از حاشیه یا داخل حدود ۵۵ روستا و ۳ شهر (بابل ـ امیر کلا ـ بابلسر) در شمار رودخانه های آلوده مازندران است. گرگانرود در استان گلستان واقع شده است این رودخانه به دلیل سرعت جریان و دبی زیاد همراه با طغیان آب در ماه های پرآب سال که منجر به گل آلودگی شدید آن می شود، آلودگی ها و فاضلاب های ناشی از آلودگی های انسانی و طبیعی حاصل از پیشرفت صنایع مختلف و تاسیس کارگاه های متعدد در جوار رودخانه را با خود حمل می نماید و وارد دریای خزر می کند.

رسوبات به عنوان حامل و یک منبع ذخیره برای آلودگی ها در اکوسیستم های آبی هستند. آلاینده های فلزی در رسوبات یک اکوسیستم آبی دارای دو منشأ طبیعی (Biogenic) و انسانی (Anthropogenic) هستند (Gorkem و Duyusen، ۲۰۰۸). منشأ طبیعی فلزات در اکوسیستم های آبی ناشی از هوازدگی سنگها و فرسایش خاکها می باشند و از مهم ترین منشأهای انسانی، فعالیتهای شهری و صنعتی و کشاورزی می باشند (Singh و همکاران، ۲۰۰۵).

جهت تعیین منشأ فلزات در محیط زیست، می بایست علاوه بر تعیین غلظت کلی فلزات نسبتهای حضور آنها در بخش های گوناگون ژئوشیمیایی رسوبات (پایدار و ناپایدار) نیز سنجیده شوند (Karbassi و همکاران، ۲۰۰۸). بخش های ناپایدار(تبادلی، اکسیدهای آهن و منگنز و مواد آلی) حاصل از ورود فلزات در نتیجه فعالیت های انسانی و بخش پایدار در نتیجه حضور طبیعی (Biogenic) آنها در پوسته زمین می باشند (Soares و همکاران، ۱۹۹۹؛ Zakir و Shikazono، ۲۰۰۸).

در این مطالعه به بررسی توزیع، منشأ و بخش های ژئوشیمیایی فلز سنگین سرب در رسوبات سطحی رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود پرداخته شد.

Bandani و همکاران (۲۰۰۸) بیشترین سهم انتقال فلز سرب در دریای خزر را از طریق انتقال فلزات مواد ریگی و مواد معلق رودخانه‌ای برآورد نمودند. Gismera و همکاران در سال ۲۰۰۴، در تحقیقی میزان فلزات سرب، روی، کادمیوم، و مس را در ۴ بخش ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه Jarama در اسپانیا با دو روش استخراج پی در پی و جنبشی به دست آوردند. طبق این تحقیق میزان فلز مس در بخش های مختلف رسوبات به صورت زیر به دست آمد:

تبادلی < اکسیدهای آهن و منگنز < بخش پایدار < آلی

۲- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

نمونه برداری از رسوبات رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود در خرداد ماه ۱۳۹۵ با استفاده از گرپ ون وین[1] و از سه ایستگاه با ۳ تکرار در هر رودخانه انجام شد. به طوری که از هر کدام از رودخانه های مورد مطالعه از قسمتهای دهانه، میانه و بالادست رودخانه، ۳ بار گرپ را در بستر رودخانه انداخته و پس از هر بار بالا کشیدن گرب از آب، رسوبات سطحی گرب برداشته شد، زیرا این بخش بیشترین تماس را با بدنه آبی دارد (Hongli و همکاران، ۲۰۰۸).

رسوبات درون ظروف پلی اتیلنی از قبل اسیدشویی و نام‌گذاری شده، تا انتقال به آزمایشگاه درون یخدان حاوی یخ قرار داده شده و تا زمان شروع آنالیز در سردخانه در دمای ۲۰°C- نگهداری شدند (Delman و همکاران، ۲۰۰۶).

- **آماده سازی نمونه‌های رسوب**

حدود ۲۰ گرم از هر نمونه رسوب در یک پتری دیش اسید شویی شده قرار داده شد و به مدت ۴۸ ساعت (تا ثابت شدن وزنشان) در خشک کننده انجمادی[2] خشک گردیدند. به‌منظور هموژن کردن

[1] Van Veen Grab
[2] Freeze drier

نمونه‌ها، رسوبات خشک شده داخل هاون کوبیده شده و با استفاده از الک ۶۳ میکرون الک شدند.

- **هضم اسیدی رسوبات**

به‌منظور سنجش فلز سرب، مقدار ۱ گرم از نمونه هموژن شده را به دقت وزن نموده و به لوله آزمایش به منظور استخراج فلزی انتقال داده شدند. به نمونه‌ها ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ($HNO3$) غلیظ و اسید هیپوکلریدریک ($HCLO_4$) به نسبت ۴ به ۱ اضافه شد. لوله‌های آزمایش برای استخراج فلزات بر روی دستگاه هضم قرار داده شدند. دمای هات پلیت را روی ۴۰°C تنظیم نموده و نمونه‌ها را به‌مدت ۱ ساعت در دمای ۴۰°C قرار داده، سپس دما را به ۱۴۰°C افزایش داده و اجازه دادیم نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت در این دما کاملاً هضم شوند. بعد از خنک شدن کامل نمونه‌ها، محلول‌های هضم شده به بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری انتقال و با استفاده از آب دوبار تقطیر رقیق شدند. نمونه‌های آماده شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند. سپس نمونه ها در ظروف پلی اتیلنی مخصوص تا زمان آنالیز در یخچال نگهداری شدند (Yap و همکاران، ۲۰۰۲b).

- **استخراج پی در پی فلز سرب در بخش های ژئوشیمیایی رسوب**

بخش های ژئوشیمیایی سرب در رسوبات به وسیله روش اصلاح شده (SET) (Li و همکاران، ۲۰۰۱؛ Yap و همکاران، ۲۰۰۲b) به شرح زیر انجام پذیرفت:

بخش های مورد بررسی شامل:

۱- بخش قابل تبادل: در حدود ۱۰ گرم از نمونه به طور متناوب به مدت ۳ ساعت با ۵۰ میلی لیتر از استات آمونیوم ۱ مولار (CH_3COONH_4) و pH برابر ۷ در دمای اتاق توسط دستگاه شیکر تکان داده شد.

۲- بخش وابسته به عناصر احیا (اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز): ماده باقی مانده بر روی کاغذ صافی از بخش قبل پس از خشک شدن در آون، توزین و سپس به طور متناوب برای ۳ ساعت با ۵۰ میلی لیتر از هیدروکسیل آمین هیدروکلرید ($NH_2OH.HCl$) اسیدی شد تا pH برابر ۲ با HCl در دمای اتاق بر روی دستگاه شیکر تکان داده شد.

۳- بخش وابسته به مواد آلی: ماده باقی مانده از مرحله قبل را با ۲۰ میلی لیتر H_2O_2 ۳۰ درصد در حمام آبی در دمای ۹۰ تا ۹۵ درجه سانتی گراد اکسید نموده و بعد از سرد شدن به طور متناوب به مدت ۳ ساعت با استات آمونیوم ۱ مولار (CH_3COONH_4) تا pH برابر ۲ با HCl در دمای اتاق بر روی دستگاه شیکر تکان داده شدند.

۴- بخش پایدار: ماده باقی مانده از مرحله سوم توسط ترکیبی از اسیدنیتریک (۶۹ درصد) و اسید پرکلریدریک (۶۰ درصد) به نسبت ۴:۱ بر روی دستگاه هضم کننده ابتدا در دمای پایین (۴۰ درجه سانتی گراد) به مدت ۱ ساعت و سپس در دمای ۱۴۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت هضم گردید.

ماده باقی مانده از هر بخش قبل از انجام مرحله بعد در آون خشک و پس از رسیدن به وزن ثابت توزین گردید. ماده باقی مانده تا حجم نهایی ۲۰ میلی لیتر با استفاده از آب دوبار تقطیر رقیق و سپس با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف گردید و محلول صاف شده در ظروف پلی اتیلنی مخصوص نگهداری شدند.

- **سنجش غلظت سرب**

سنجش غلظت سرب موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی با شعله (AAS) صورت گرفت.

تعیین غلظت سرب

محاسبه غلظت نهایی فلز سرب با استفاده از معادله زیر بر حسب میکروگرم بر گرم در وزن خشک صورت گرفت:

$$M = C.V.D/W$$

M = میزان غلظت فلز موجود در نمونه بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک

C = مقدار فلز مورد نظر در محلول استخراجی بر حسب میلی‌گرم در لیتر

V = حجم نهایی نمونه

D = فاکتور رقیق سازی (غیر رقیق شده = ۱)

W = وزن نمونه خشک شده جهت هضم بر حسب گرم

اعداد به‌دست آمده از دستگاه جذب اتمی، غلظت عنصر را به ما نشان می‌دهد که با قرار دادن در معادله فوق، غلظت نهایی فلز مورد نظر به‌دست آمد.

- **پردازش داده‌ها**

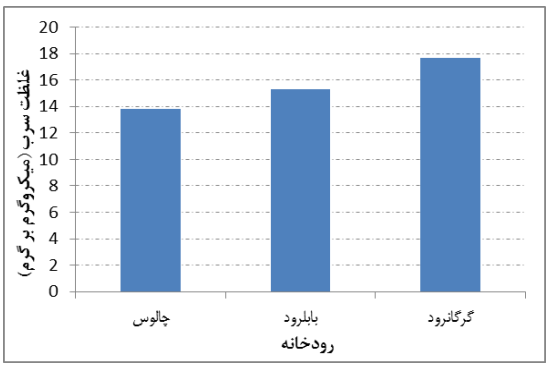
رسم نمودارهای مختلف غلظت سرب در رودخانه های مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار اکسل انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از اندازه‌گیری تجمع سرب در رسوبات، با استفاده از نرم افزار SPSS version 17 صورت پذیرفت. از آزمون Shapiro-wilk جهت بررسی پراکنش نرمال داده‌ها استفاده شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، به منظور مقایسه بین غلظت فلز سنگین سرب در ایستگاه‌های مختلف، از روش آنالیز واریانس یک طرفه[1] و در صورت معنی دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، جهت مقایسات چندگانه از پس آزمون توکی[2] استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

- **غلظت سرب در رسوبات سطحی رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود**

نتایج به دست آمده نشان داد که به طور کلی تجمع فلز سرب در بستر رودخانه گرگانرود بیشترین مقدار و تجمع آن در بستر رودخانه چالوس کمتر از رودخانه های دیگر بود (شکل ۱). بنابراین ترتیب تجمع سرب در رسوبات سطحی رودخانه های مورد مطالعه بدین شرح بود:

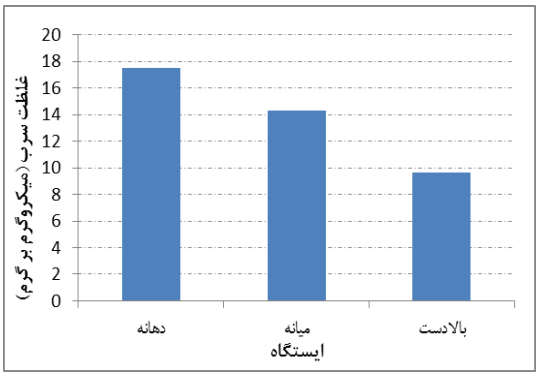
رودخانه گرگانرود > رودخانه بابلرود > رودخانه چالوس



شکل ۱. مقایسه بین غلظت فلز سرب در رسوبات سطحی رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود

- **غلظت سرب در رسوبات سطحی رودخانه چالوس**

میانگین فلز سرب در رسوبات بستر رودخانه چالوس ۱/۱۱ ± ۱۳/۸۱ میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه ۹/۶۱ تا ۱۷/۵ میکروگرم بر گرم اندازه گیری شد. بیشترین میزان سرب در دهانه رودخانه و کمترین مقدار در بالادست رودخانه اندازه گیری شد. مقایسه آماری مقادیر سرب بین سه ایستگاه اندازه گیری شده نشان داد که اختلاف معنی داری بین ایستگاه ها از نظر محتوی سرب در رسوبات وجود دارد ($P<0.05$) (شکل ۲)



شکل ۲. مقایسه بین غلظت فلز سرب در رسوبات بستر دهانه، میانه و بالادست رودخانه چالوس

- **غلظت سرب در رسوبات سطحی رودخانه بابلرود**

میانگین فلز سرب در رسوبات سطحی بستر رودخانه بابلرود ۱/۹۷ ± ۱۵/۳۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه ۱۱/۵ تا ۱۸/۳۱ میکروگرم بر گرم اندازه گیری شد. در بابلرود نیز بیشترین میزان سرب در دهانه رودخانه و کمترین مقدار در بالادست رودخانه اندازه‌گیری شد. مقایسه آماری مقادیر سرب بین سه ایستگاه اندازه گیری شده در بابلرود نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه ها از نظر محتوی سرب در رسوبات وجود دارد ($P<0.05$) (شکل ۳).

شکل ۳. مقایسه بین غلظت فلز سرب در رسوبات بستر دهانه، میانه و بالادست رودخانه بابلرود

[1] *One Way of ANOVA*
[2] *Tukey*

- **غلظت سرب در رسوبات سطحی رودخانه گرگانرود**

میانگین سرب در رسوبات سطحی بستر رودخانه گرگانرود ۲/۲۳ ± ۱۷/۶۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک با دامنه ۱۳/۸۵ تا ۲۱/۴۵ میکروگرم بر گرم اندازه گیری شد. در گرگانرود نیز بیشترین میزان سرب در دهانه رودخانه و کمترین مقدار در بالادست رودخانه اندازه گیری شد. مقایسه آماری مقادیر سرب بین سه ایستگاه اندازه گیری شده در این رودخانه نیز نشان داد که اختلاف معنی داری بین ایستگاه ها از نظر محتوی سرب در رسوبات وجود دارد ($P<0.05$) (شکل ۴).

شکل ٤. مقایسه بین غلظت فلز سرب در رسوبات بستر دهانه، میانه و بالادست رودخانه گرگانرود

- **بخش های ژئوشیمیایی**

از آنجایی که مقدار کل فلزات شاخص مناسبی برای تعیین آلایندگی محسوب نمی شود، جهت دستیابی به اطلاعات جزئی تر راجع به تحرک، دسترسی زیستی و سمیت فلزات در رسوبات، غلظت سرب در هر کدام از بخش های مختلف ژئوشیمیایی تعیین گردید. غلظت و درصد سرب در هر یک از بخش های مختلف ژئوشیمیایی در رسوبات سطحی رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود در جدول ۴-۱ ارائه شده است.

- **بخش تبادلی**

تحلیل نتایج حاصله نشان داد که این بخش تنها درصد کمی از فلز سرب را در رسوبات رودخانه های مورد مطالعه به خود اختصاص داده است (۵/۳۷٪، ۷/۱۱٪ و ۹/۱۷٪ به ترتیب برای رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود). اگرچه مقدار این بخش در مقایسه با سایر بخش ها از درصد پایینی برخوردار است اما معمولاً فلزات موجود دراین بخش قابل تبادل و بسیار سمی و به راحتی قابل دسترس برای موجودات زنده هستند و در نتیجه از اهمیت زیادی برخوردار هستند (Yap و همکاران، a۲۰۰۲). در کل میزان کم فلزات در این بخش، دسترسی زیستی کم را برای موجودات زنده نشان می دهد.

جدول ٤-١. میانگین غلظت سرب در بخش های ژئوشیمیایی وابسته به رسوبات در رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود

ایستگاه	چالوس	بابلرود	گرگانرود
بخش تبادلی	۰/۷۴ (۵/۳۷ ٪)	۱/۰۹ (۷/۱۱ ٪)	۱/۶۲ (۹/۱۷ ٪)
بخش وابسته به عناصر احیاء	۱/۶۹ (۱۲/۲۲ ٪)	۲/۰۲ (۱۳/۱۷ ٪)	۲/۷۱ (۱۵/۳ ٪)
بخش وابسته به مواد آلی	۱/۳۰ (۹/۴۱ ٪)	۱/۹۴ (۱۲/۷ ٪)	۲/۶۹ (۱۵/۲۱ ٪)
بخش پایدار	۹/۷۲ (۷۰/۳۸ ٪)	۹/۹۹ (۶۵/۲۲ ٪)	۱۰/۴۶ (۵۹/۱۵ ٪)
مجموع کسر دسترس زیستی	۳/۷۳	۵/۰۵	۷/۰۲
غلظت کل	۱۳/۸۱ (۱۰۰ ٪)	۱۵/۳۱ (۱۰۰ ٪)	۱۷/۶۸ (۱۰۰ ٪)

- **بخش وابسته به عناصر احیاء**

مقدار کم فلز سرب در بخش وابسته به عناصر احیاء (۱۲/۲۲٪، ۱۳/۱۷٪ و ۱۵/۳٪ به ترتیب برای رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود) حاکی از آن است که این فلزات وابستگی ضعیفی به این بخش دارند. این بخش شامل پیوند با اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز بوده و به دلیل داشتن سطوح زیاد یکی از مهمترین بخش های ژئوشیمیایی محسوب می گردد (Wang و همکاران، ۲۰۱۰). اکسیدهای آهن و منگنز روی سطوح ذرات می توانند محل جذب مناسبی برای فلزات ایجاد کنند با این حال فلزات تحت تغییر شرایط احیاء ممکن است محلول و قابل دسترس شوند (Zerbe و همکاران، ۱۹۹۹؛ Tokalioglu و همکاران، ۲۰۰۰؛ Krupadam و همکاران، ۲۰۰۶).

- **بخش وابسته به مواد آلی**

این بخش حدود ۹/۴۱٪، ۱۲/۷٪ و ۱۵/۲۱٪ سرب را به ترتیب در رودخانه های چالوس، بابارود و گرگانرود به خود اختصاص داده است. به طور کلی بخش آلی نقش مهمی را در نگهداری فلزات در رسوبات ایفا می کند (Yap و همکاران، a۲۰۰۲). دلیل آن وابستگی شدید فلزات به مواد هوموسی

بوده که فلزات با آنها تشکیل کمپلکس های پیچیده ای را می دهند (Pempkowiak، ۱۹۹۹؛ Ramos و همکاران، ۱۹۹۹).

- **بخش پایدار**

این بخش مربوط به اتصال پایدار فلزات با شبکه مواد معدنی بوده و مقدار فلزات در آن می تواند به عنوان شناساگر در تشخیص میزان آلودگی از منابع غیر طبیعی یا انسان ساخت باشد (Abu-Kukati، ۲۰۰۱). مقدار فلزات در این بخش نسبت به کل بخش های انسان ساخت (آنتروپوزنیک) بیشتر به دست آمد به طوری که این بخش در حدود ٪۷۰/۳۸، ٪۶۵/۲۲ و ٪۵۹/۱۵ سرب را به ترتیب در رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود به خود اختصاص داده است. نتایج نشان می دهد منشأ طبیعی به عنوان منشأ غالب سرب در رسوبات رودخانه های مورد مطالعه می باشد. نسبت زیاد این بخش در رسوبات نشان داد که منابع آنتروپوژنیک در آلودگی سرب در رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود نقش کمتری را داشته اند و بخش قابل دسترس فلزات در این سه رودخانه نسبت کمتری از غلظت کلی سرب را نشان می دهد. لذا در مدیریت آلودگی سرب در رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود تنها نگرانی مربوط به غلظتهای کم این فلز در اثر برخی فعالیتهای انسانی در رودخانه های مورد مطالعه شامل قایقرانی، تخلیه پسابها و فاضلابهای شهری و خانگی و همچنین وجود صنایع مختلف در مناطق بالادست رودخانه ها می باشد. در غلظت کلی فلزات هرچه درصد فلزات در بخش پایدار بیشتر باشد آلودگی با منشأ انسانی سهم کمتری را به خود اختصاص می دهد (Singh و همکاران، ۲۰۰۵). فلزات در بخش پایدار شدیداً وابسته به شبکه مواد معدنی هستند (Abu-Kukati، ۲۰۰۱). به طوری که آنها به لحاظ شیمیایی پایدار و از دسترسی زیستی ضعیفی برخوردار هستند و در نتیجه از سمیت بسیار کمی برای ارگانیسم ها در محیط های آبی برخوردارند (Wang و همکاران، ۲۰۱۰؛ Basaham و همکاران، ۲۰۱۰). در کل افزایش غلظت فلز در بخش وابسته به مواد معدنی نشان می دهد که فلز در رسوبات به دلیل حضور طبیعی در پوسته زمین و ورودی های طبیعی نظیر هوازدگی سنگ و خاک، فرسایش خاک منطقه بوده و از سمیت کمتری برخودار است.

٤-نتیجه گیری

در تکنیک استخراج پی در پی رسوبات رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود، کسر قابل دسترسی زیستی برابر با مجموع سه بخش تبادلی، بخش وابسته به عناصر احیاء و بخش وابسته به مواد آلی می باشد که میانگین غلظت فلز سرب ۳/۷۳، ۵/۰۵ و ۷/۰۲ به ترتیب برای رودخانه های چالوس، بابلرود و گرگانرود تعیین گردید. جهت مقایسه آماری و بررسی اختلاف معنی دار بین ۳ رودخانه مورد مطالعه از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) استفاده گردید. نتایج آماری حاصل از بررسی وجود اختلاف معنی دار بین مقادیر کسر قابل دسترسی زیستی سرب بین رودخانه های مورد مطالعه حاکی از آن بود که بین این مقادیر در رودخانه های مورد مطالعه اختلاف معنی داری وجود دارد ($P<0/05$). وجود اختلاف معنی دار بین میانگین فلز سرب در کسر قابل دسترس زیستی را می توان به دلیل متفاوت بودن منابع منتشر کننده سرب ناشی از فعالیتهای انسانی در پیرامون و حوزه بالادست رودخانه های مورد مطالعه نسبت داد.

منابع

Abu- Kukati, Y., 2001. Heavy metals distribution and speciation in sediments from Ziqlab Dam-Jordan. Jeafab Muhendisligi. 25 (1); 33- 40.

Backsion D., Sichilongo, TL., Cernak, J., 2006. Distribution of copper, lead, cadmium and zinc concentrations in soils around Kabwe town in Zambia Chemosphere, Volume 63, Issue 3, Pages 497-501.

Bandani Q, Shokrzadeh M, Rostami HS, Yelghi S, Saeedi S, Babai M. Research and Comparison of Heavy Metals levels in Sediment, Water and High-Consumed Fish of Southern margin of Caspian Sea in Gulestan Province [Project]. Gorgan, Iran: Department of Environmental Protection in Golestan Province, Iranian Fisheries Research Organization; 2008. p. 174.

Basaham, A. s., 2010. Distribution and partitioning of heavy metals in subtidal sediments of the Persian Gulf coasts of Saudi Arabia. Journal of King Abdulaziz university. Earth sciences. 21 (1); 201- 222.

Beg, M. U., Al-Muzaini, S., Saeed, T., Jacob, P. G., Beg, K. R., Al-Bahloul, M., Al-Matrouk, K., Al-Obaid, T. and Kurian, A., 2001. Chemical contamination and toxicity of sediment from a coastal area receiving industrial effluents in Kuwait. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 41: 289– 297.

Caspian Environment Program. (2005). "Caspian Sea, Environmental Issues (Iran)." <http://www.caspianenvironment.org/newsite/Caspian-EnvironmentalIssues.htm> (May 5, 2006).

Delman, O., Demirak, A., Balci, A., 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the southeastern Aegean sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry. Food Chemistry, 26: 157-162.

El Tokhi, M., Abdelgawad, E. and 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.

Fowler, S. W., Readman, J. W., Oregioni, B., Villeneuve, J. P. and Mckay, K., 1993. Petroleum hydrocarbons and trace metals in nearshore Gulf sediments and biota before and after the 1991 war: an assessment of temporal and spatial trends. Marine Pollution Bulletin, 27: 171-182.

Greenberg, A.E., 1992. Standard method for the examination of water and wastewater .American public Health Association.

Honglei L.I.U., Liqing L.I., Chengqing Y.I.N., Baoqing S., 2008. Fraction distribution and risk assessment of heavy metals in sediments of Moshui Lake, Journal of Environmental Sciences, 20(5); 390–397.

Karbassi, A. R., Monavari, S. M., Nabi Bidhendi, Gh. R., Nouri, J., Nematpour, K., 2008. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. Environmental monitoring assessment. 147: 107-116.

Leleyter, L., Biree, L., Baraud, F., 2005. Heavy metals partitioning into residual and non-residual fractions in river sediments of the Vire and Orne drainage basins (Normandy, France). Difpolmine Confrence, 12- 14 december, Le Corum, Montprllier, France, 1-5).

Li, X., Shen, Z., Wai, O. W. H., Li, Y. S., 2001. Chemical fraction of Pb, Zn and Cu in the sediment profiles of the pearl river estuary. marine pollution bulletin, 42; 215- 223.

Nordberg, G.F., 2004. Cadmium and health in the 21st century – historical remarks and trends for the future. Biometals, 17: 485–489.

Singh, K. P., Mohan, D., Singh, V. K., Malik, A., 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments a tributary of the Ganges, India. Journal of Hydrology. 312 (1-4); 14-27.

Soares, H. M. V. M., Boaventura, R. A. R., Machado, A. A. S. C., Esteves Dasilva, J. C., 1999. Sediments as monitors of heavy metals contamination in the Ave river basin (Portugal). Multivariate analysis of data. Environmenta Pollution. 105 (3); 311- 323.

Tabari S, Saeedi Saravi S.S, Bandani G.H, Dehghan A, Shokrzade M. Heavy metals Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, Water and sediment sampled from Southern Caspian Sea, Iran.Toxicol Ind Health 2010; 26 (10): 649-656.

Tubek, S., 2007. Zinc supplementation or regulation of its homeostasis: advantages and threats. Biological Trace Element Research. 119 (1); 1-9.

Wang, S., Jia, Y., Wang, S., Wang, X., Wang, H., Zhao, Z., Liu, D., 2010. Fractionation of heavy metals in shallow marine sediments from Jinzhou Bay, China. Journal of environment sciences, 22 (1); 23-31.

Warren, L.A., 1998. Modeling cadmium accumulation by benthic invertebrates in situ: the relative contributions of sediment and overlying water reservoirs to organism cadmium concentrations. Limnology and Oceanography, 43: 1442–1454.

Yap, C. K., Ismail, A., Tan , S. G., Omar, H. 2002a. Concentrations of Cu and Pb in the offshore and intertidal sediments of the west coast of Peninsular Malaysia. Environmental International. 28: 467-479.

Yap, C. K., Ismail, A., Tan , S. G., Omar, H. 2002b. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentration in total soft tissue of green- lipped mussel Perna viridis from the west coast of Peninsular Malaysia. Environmental International. 28: 117-126.

Zakir, H. M., Shikazono, N., 2008. Metal fractionation in sediment: a comparative assessment of four sequential extraction schemes. Journal of environmental sciences for sustainable society. 2: 1- 12.