

ارزیابی میزان فلزات سنگین سرب، مس و کادمیوم در آب، رسوبات و گیاه آلاله آبی (*Ranunculus fluitans*) دریاچه شورمست سوادکوه

چکیده

تحقیق حاضر در بهار ۱۳۹۲، به منظور آگاهی از وضعیت دریاچه شورمست نسبت به فلزات سنگین (سرب، مس و کادمیوم) انجام شد. نمونه‌های رسوبات سطحی، رسوبات عمقی، آب و گیاه آبی (*Ranunculus fluitans*) از ۴ ایستگاه برداشت شدند. جهت استخراج فلزات از نمونه‌های مورد مطالعه، از روش شیمیایی هضم مرطوب و تعیین غلظت فلزات سنگین به وسیله دستگاه جذب اتمی (AAS) استفاده شد. تجزیه تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS 19 و آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) انجام گرفت. نتایج نشان داد که میانگین سطوح سرب، مس و کادمیوم در نمونه‌های رسوبات سطحی جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های مختلف به ترتیب ۱۱۷/۳، ۳۳/۱ و ۱۱/۲ (قسمت در میلیون) برحسب وزن خشک، در رسوبات عمقی ۳۰/۸، ۱۴/۶ و ۸/۰ (قسمت در میلیون) برحسب وزن خشک، در گیاه آبی *Ranunculus fluitans* به ترتیب ۶۰/۲، ۱۰/۳ و ۱۶/۲ (قسمت در میلیون) برحسب وزن خشک و در نمونه‌های آب به ترتیب ۱/۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۵ (قسمت در میلیون) می‌باشد. مقایسه آماری میزان فلزات سرب، مس و کادمیوم در رسوبات سطحی، رسوبات عمقی، گیاه آبی و آب اختلاف آماری معناداری را نشان داد. در این تحقیق میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی، حداکثر و در آب، حداقل می‌باشد. نتایج حاصله نشان داد که میزان فلزات سرب و کادمیوم نمونه‌های آب در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی و استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بالاتر بوده است.

واژگان کلیدی: آلودگی فلزات سنگین، آلاله آبی، رسوبات، دریاچه شورمست.

احسان بدری^۱

نازنین خاکی پور^{۲*}

منیژه خوشمو^۳

علی محمدی ترکاشوند^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته شیلات، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران
- ۲، ۳. استادیار گروه شیلات، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران
۴. دانشیار گروه شیلات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

*مسئول مکاتبات:

nazanin_kh_43713@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۶۰۳۰۲۴۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۹

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی

ارشد است.

مقدمه

فلزات سنگین به آن گروه از فلزات اطلاق می‌شود که دانسیته بیش از ۵ گرم بر سانتی مترمکعب و وزن اتمی بالایی (۵ برابر دانسیته آب) داشته باشند. ۵۳ عنصر از ۹۰ عنصر موجود در طبیعت فلز سنگین محسوب می‌شوند که از بین این فلزات می‌توان سرب، مس، کادمیوم، جیوه، آرسنیک و نقره را نام برد (Weast, 1984). فلزات سنگین از طریق رودخانه‌ها، هوا، باد، فرسایش سواحل و در نهایت آلودگی‌های حاصل از فعالیت‌های انسانی و صنعتی وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند (Merian et al., 2004). آلودگی محیط‌های دریایی به فلزات سنگین از مدت‌ها پیش به عنوان موضوعی مهم تشخیص داده شده که از طریق مختلف به این اکوسیستم وارد می‌شود. یکی از عمده‌ترین منابع تولیدکننده این عوامل، سنگ‌های معادن و فعالیت‌های آتش‌فشانی می‌باشند ولی در کنار این‌ها، انسان خود به اشکال مختلف در انتشار فلزات سنگین نقش دارند. به عبارت دیگر فلزات سنگین جزء عوامل اصلی متشکله آب دریاها و دریاچه‌ها هستند و مقدار فراوانی از آن‌ها به صورت طبیعی از راه‌های متفاوتی



مانند فرسایش سنگ‌های معادن، باد، ذرات غبار، فعالیت‌های آتشفشانی، رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی وارد آب‌ها می‌گردند (جلالی جعفری و آقازاده مشگی، ۱۳۸۶).

ولی آنچه مسئله‌ساز است افزایش این فلزات در برخی مناطق به خاطر فعالیت‌های صنعتی انسان‌ها مانند افزایش پساب آب‌ها و ضایعات صنعتی کارخانه‌ها، آلودگی‌های نفتی، سموم دفع آفات و غیره است. از موارد دیگری که سبب آلودگی آب‌ها می‌شوند. می‌توان از صنایع استخراج سنگ فلزات نام برد که طی روند بهره‌برداری از معادن، آب زهکشی آن‌ها دارای مقادیر زیادی فلزات مختلف می‌شود. pH بعضی از این آب‌ها کم (اسیدی) است و سبب افزایش حلالیت فلزات می‌شود. برای مثال آب زهکشی معدن زغال‌سنگ، به دلیل اسیدیته زیاد، فلزات موجود در بستر معدن را در خود حل می‌کند (جلالی جعفری و آقازاده مشگی، ۱۳۸۶).

McDonald و همکاران عنوان می‌کنند که pH آب تأثیر زیادی بر جذب و دفع فلزات سنگین و بقیه‌ی عناصر فلزی دارد McDonald و همکاران (۱۹۸۹). تغییرات pH دارای اثرات متقابل بر فلزات سنگین و متغیرهایی مثل سختی، کربنات‌ها و ترکیبات آلی است (جلالی جعفری و آقازاده مشگی، ۱۳۸۶).

محققان در سال‌های اخیر بیشتر بر تجمع فلزات سنگین در محصولات گیاهی، گیاهان آبی و علف‌های طبیعی تمرکز داشته‌اند. فرآیند تجمع و جذب فلزات سنگین در گیاهان مختلف به غلظت فلزات موجود در خاک‌ها نیز بستگی دارد. واکنش گیاه نسبت به فلزات به نوع گونه گیاهی، غلظت کل فلز در خاک و قابلیت دسترسی زیستی فلز بستگی دارد (Boularbah et al., 2006). عناصری که برای رشد گیاه ضروری هستند، معمولاً در گیاه متحرک بوده، اما عناصر سنگین و سمی جابجایی کمی داشته و در ریشه‌ها تجمع می‌یابند، بنابراین میزان عناصر سنگینی مانند کادمیوم، سرب، نیکل و کروم در ریشه حداکثر بوده است (عبادی و همکاران، ۱۳۸۴). بررسی آلودگی اکوسیستم‌های آبی و عناصر زیستی آن به عناصر سنگین و ارتباط آن‌ها با یکدیگر از موارد مهمی می‌باشد که ذهن محققین زیادی را در ایران و سایر نقاط جهان را به خود معطوف کرده است. Ghasemi و Ganjali در سال ۲۰۱۶ مطالعاتی بر روی رسوبات مرداب انزلی، انجام دادند و گزارش کردند، منطقه‌ی تحت تأثیر توسعه‌ی کارخانه‌ها و محیط، بالاترین سطح آلودگی کشاورزی و منطقه‌ی دور از کارخانه‌ها، پایین ترین سطح آلودگی را دارند. عبارتی در سال ۱۳۸۴ به‌منظور تعیین میزان غلظت فلزات سنگین سرب، روی، مس و کادمیوم و نقش گیاهان آبی در جذب و تجمع آن‌ها از ۳ گونه گیاهی (*Phragmites australis*)، (*Typha angustifolia*) و (*Potamogeton crispus*) و رسوبات منطقه، ۶ ایستگاه در تالاب بین‌المللی میانکاله را مورد بررسی قرار داد. به این نتیجه رسید که در میان فلزات مورد مطالعه، بیشترین میزان صرف‌نظر از گونه آبی متعلق به فلز روی است که گیاهان آبی و همچنین رسوبات بستر بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند و نهایتاً گیاه (*Phragmites australis*) را می‌توان به‌عنوان نمایانه‌ی در جذب فلز روی دانست. کیودوند و همکاران در سال ۱۳۹۴، آب دریاچه سد قشلاق سندج را از لحاظ میزان غلظت فلزات سنگین بررسی کردند و گزارش کردند غلظت سرب و کادمیوم در تمامی فصول سال بالاتر از حد مجاز تعیین شده بود.

دستجردی و همکاران در سال ۱۳۸۶ مقایسه تجمع فلزات سنگین آب، خاک و گیاه تالاب بین‌المللی گاوخونی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که متوسط غلظت فلزات مس، منگنز، کروم، کادمیوم و سرب در آب تالاب بیشتر از مقادیر استاندارد این فلزات در آب‌های مناسب جهت مصرف حیات وحش و آبزیان، آب آشامیدنی و آب مناسب برای کشاورزی است. این نتایج بیانگر افزایش چشمگیر غلظت این فلزات در آب تالاب در سال ۸۳ نسبت به سال ۸۱ می‌باشند همچنین غلظت به‌دست‌آمده برای برخی از این عناصر در خاک و گیاه تالاب از محدوده غلظت معمول آن‌ها در خاک و گیاه بیشتر می‌باشد. شهسواری پور و همکاران در سال ۱۳۸۵، بیومونیتورینگ و ارزیابی آلودگی جیوه در تالاب بین‌المللی انزلی با استفاده از گیاهان آبی را مورد مطالعه و بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی غلظت جیوه در ریشه گیاهان بیشتر از رسوبات مجاور آن‌ها می‌باشد. این مسئله نشان‌دهنده بزرگنمایی زیستی جیوه و نقش گیاهان آبی در انتقال جیوه در زنجیره غذایی می‌باشد.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی میزان آلودگی عناصر زیستی دریاچه شورمست به برخی از این فلزات شامل سرب، مس و کادمیوم، تعیین کیفیت شیمیایی و بیولوژیکی آب دریاچه شورمست و بررسی توزیع فلزات سنگین در گیاه آبی موجود در دریاچه می‌باشد. دریاچه شورمست در

موقعیت جغرافیایی N360516 E530247 در استان مازندران واقع است. دریاچه مورد نظر در فاصله ۵ کیلومتری از شهرک صنعتی شورمست پل سفید قرار دارد و به دلیل قرار گرفتن در شاهراه تهران شمال و وجود دو محور جاده آسفالت و راه آهن از موقعیت بسیار مناسبی برخوردار است. با توجه به توسعه جاده‌ای چهارباندی کردن این محور از تهران به سوادکوه و قائم‌شهر روز به روز بر میزان استقبال از این دریاچه افزوده می‌شود. روستا و دریاچه شورمست در ناحیه جنوبی استان مازندران و در جنوب غربی شهرستان سوادکوه، شهر پل سفید قرار دارد. وسعت این دریاچه ۱۵ هزار مترمربع و عمق ۵ متر است. دریاچه گستره‌ای شرقی غربی دارد و طول آن در حدود ۳۰۰ متر و عرض آن ۷۰ متر است. ارتفاع دریاچه از سطح دریا در حدود ۹۴۰ متر است. منظره این دریاچه با جنگل اطراف آن که از درختان کهن‌سال و بلند قامت توسکا پوشیده شده، آن را به یکی از زیباترین اماکن موجود در شهرستان سوادکوه تبدیل ساخته است. این دریاچه در جنوب غربی پل سفید، به فاصله ۵ کیلومتر از جاده فیروزکوه در ارتفاعات جنگلی دامنه البرز مرکزی قرار گرفته است. این دریاچه دارای ۵ متر عمق و بیش از یک هکتار مساحت است.

مواد و روش‌ها

بررسی در چهار ایستگاه نمونه‌برداری انجام گردید. ۴ ایستگاه عبارت بودند از: ورودی دریاچه، دامنه کوه، محل خروجی فصلی و منطقه سیلابی دریاچه و محل اسکله قایق‌ها و پارکینگ وسایل نقلیه (شکل ۱). موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت مکانی ایستگاه‌ها در دریاچه شورمست.

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری. اعداد مختصات در جدول فارسی شوند.

ایستگاه	مختصات جغرافیایی
ایستگاه اول	N۷۷,۰۴,۵۳ E ۷۸,۰۸,۳۶
ایستگاه دوم	N ۶۴,۰۴,۵۳ E ۸۳,۰۸,۳۶
ایستگاه سوم	N ۷۶,۰۸,۳۶ E ۵۱,۰۴,۵۳
ایستگاه چهارم	N ۷۵,۰۸,۳۶ E ۶۵,۰۴,۵۳

نمونه‌گیری از ستون آب با استفاده از وسیله روتنر در هر ایستگاه صورت گرفت. ابتدا وسیله نمونه‌برداری و ظروف پلاستیکی جمع‌آوری نمونه‌های آب با الکل و آب مقطر شسته شدند. سپس عمق منطقه نمونه‌برداری در ایستگاه‌های دریاچه برآورد شد. نمونه‌های آب از عمق ۰/۵ متری (Monperrus et al., 2007) در سه تکرار برداشته شدند. این ۳ نمونه در یک ظرف با یکدیگر مخلوط شده، سپس از آن یک نمونه یک لیتری (۳ تکرار در هر ایستگاه) درون بطری‌های پلاستیکی ریخته شد. نمونه‌های آب با استفاده از اسید نیتریک $\text{pH} < 2$ (Ramalhosa et al., 2006) فیکس شد. نمونه‌های آب درون ظروف پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۴ درجه سانتی گراد (Cardwell et al., 2002) تا انجام آزمایش‌ها نگهداری شد. نمونه‌های رسوب به وسیله گراب اکمن (Ekman Grab) با سطح دهانه ۲۲۵ سانتی‌متر در ۴ ایستگاه (۳ تکرار در هر ایستگاه) از سطح رسوب و عمق ۵ سانتی‌متری تهیه شد. نمونه‌ها در نایلون‌های عاری از آلودگی قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از ثبت مشخصات تا زمان شروع آنالیز به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. در ایستگاه‌های تعیین شده، گیاه آبی غوطه‌ور که غالب منطقه مورد مطالعه (دریاچه شورمست) آله آبی *Ranunculus fluitans* بود با دست و قیچی جمع‌آوری، با آب تالاب شستشو (Baldantoni et al., 2004) و در نایلون‌های پلاستیکی عاری از آلودگی (Cardwell et al., 2002) قرار داده شدند. سپس به همراه نمونه‌های آب و رسوبات در داخل جعبه یونولیتی حاوی یخ تا آزمایشگاه شیلات دانشگاه آزاد سوادکوه منتقل شدند.

نمونه‌های برداشت‌شده از رسوبات، آب و گیاه آبی جهت آنالیز فلزات به شرح زیر خشک و آماده گردیدند:

نمونه‌های رسوبی بعد از نمونه‌برداری و انتقال به آزمایشگاه، ابتدا در مجاورت هوا قرار گرفتند تا از حالت انجماد خارج شوند. سپس به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته و کاملاً خشک گردیدند. در مرحله بعد آن‌ها را الک کرده و ذرات کمتر از ۶۳ میکرون جدا گردید و در هاون عتیق به صورت پودر درآورده، سپس ۰/۵ گرم از نمونه‌ها را وزن کرده و با روش هضم کامل جهت تزریق به دستگاه آماده شدند. ۰/۵ گرم از نمونه‌ها را در داخل بشر تفلونی ریخته سپس ۲ تا ۳ قطره محلول HCl ۰/۱ مولار به آن اضافه کرده تا از حالت جوش و خروش ناشی از افزایش اسیدهای قوی جلوگیری شود. بعد از چند ثانیه ۷ میلی‌لیتر هیدروفلوئوریک اسید به آن اضافه نموده و تا نزدیکی خشک شدن بروی حمام بخار حرارت داده شد (هیدروفلوئوریک اسید باعث شکستن پیوندهای سیلیکاتی موجود در رسوب می‌شود). سپس به آن ۷ میلی‌لیتر مخلوط اسیدی ($3\text{HCl} + \text{HNO}_3$) اضافه کرده و تا زمانی که فقط ۱ میلی‌لیتر از محلول در بشر باقی بماند نمونه‌ها بر روی حمام شن حرارت داده شد، در این لحظه نمونه به رنگ زرد مایل به سبز درآمد. به عنوان آخرین مرحله هضم کامل ۵ میلی‌لیتر پرکلریک اسید (HClO_4) به نمونه اضافه کرده و تا زمان هضم کامل بروی حمام بخار نمونه‌ها را حرارت دادیم تا خشک شدند، بعد آن را به وسیله HCl ۱ نرمال به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد، در این زمان نمونه‌ها آماده تزریق به دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی بودند.

آماده‌سازی گیاهان که در این تحقیق گیاه آبی مورد مطالعه، آله آبی *Ranunculus fluitans* است شامل شستشو، خشک و آسیاب کردن بود. نمونه‌ها ابتدا با آب معمولی سپس با اسید هیدروکلریک ۰/۱ مول و سپس دوباره با آب مقطر شستشو شدند. نمونه گیاه به مدت ۴۸ ساعت در آون با حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب شد. نمونه‌های آسیاب شده از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد. از نمونه‌های گیاهی آماده‌شده به ترتیب زیر برای سنجش عناصر، عصاره گیری شد:

هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید سولفوریک انجام گرفت (Waling et al., 1989).

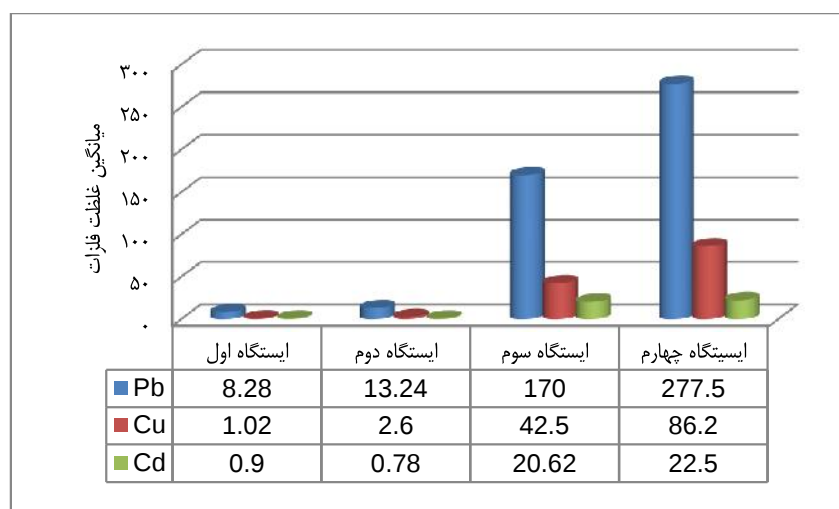
۲ گرم نمونه گیاه خشک شده را با دقت ۰/۰۰۱ گرم را توزین و در کوره چینی ریخته شد و در کوره تا دمای ۵۵۰ درجه به مدت ۴ ساعت حرارت داده و خاکستر حاصل را با آب مقطر کمی خیس کرده و ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۲ مولار اضافه و بعد از اتمام فعل و انفعالات محتویات کوره از کاغذ صافی واتمن ۴۲ به داخل بالن ژوژه، ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف شد. عصاره نهایی به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. ۰/۳ گرم نمونه گیاه با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و به لوله‌های هضم (بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتر) منتقل شدند، سپس ۲/۵ میلی‌لیتر از مخلوط اسیدها اضافه و ۲۴ ساعت به حال خود قرار داده شد. لوله‌ها بعد از این مدت به مدت ۲ ساعت تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دیدند، سپس بعد از خنک شدن ۳ بار

و هر بار ۱ میلی لیتر آب اکسیژنه به لوله‌ها اضافه شد، مجدداً لوله‌ها روی هیتر تا ۳۳۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت گذاشته تا عصاره بی‌رنگ شد. عصاره در بالن به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانیده شد و از آن ۵ میلی لیتر گرفته و به بالن تقطیر منتقل شد. میزان ۲ میلی لیتر از محلول هیدروکسید سدیم اضافه کرده و قیف دهانه بالن تقطیر را با آب شسته می‌شود تا حجم محلول ۲۰ میلی لیتر گردد. بالن را به کمک بخار آب حرارت داده بعد از ظهور اولین قطره تقطیر عمل به مدت ۱۱ دقیقه (۳-۴-۵ یا ۶ دقیقه) ادامه می‌یابد، محلول حاصل از تقطیر در ۱۰ میلی لیتر اسید بوریک حاوی ۱۰ قطره اندیکاتور جذب می‌شود. ۰/۵ دقیقه قبل از پایان عمل تقطیر ارلن محتوی اسید بوریک را اندکی پایین آورده تا انتهای مبرد با بخار آب شسته شود. اسید بوریک حاوی آمونیاک با اسیدسولفوریک ۰/۰۵ مول تا تغییر رنگ محلول از سبز به صورتی، تیتیر شد. نمونه‌های آب فقط با کاغذ صافی، صاف شدند.

تهیه محلول ذخیره استاندارد برای هر یک از فلزات، با توجه به توصیه کارخانه سازنده دستگاه جذب اتمی، انجام می‌پذیرد. مقدار ماده مورد نیاز جهت تهیه محلول ذخیره استاندارد ۱۰۰۰ قسمت در میلیون برای هر یک از فلزات مورد بررسی، از نمک مناسب آن با درجه خلوص بالا، از محصولات کارخانه مرک (Merck) آلمان توسط ترازوی آنالیتیکالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن شده و با استفاده از آب دو بار تقطیر با هدایت الکتریکی ۱/۲ میکروموس بر سانتی‌متر در بالن ژوژه ۱۰۰۰ میلی لیتری به حجم رسانده شد و در یخچال نگهداری گردید. با توجه به اینکه، غلظت محلول‌های خیلی رقیق باگذشت زمان کم می‌شود، بنابراین محلول‌های استاندارد با غلظت کم، از رقیق نمودن پی در پی محلول‌های تازه تهیه شده از محلول ذخیره استاندارد، با استفاده از بورت و پیپت حبابدار در بالن ژوژه ۵۰ یا ۱۰۰ میلی لیتری انجام گرفت.

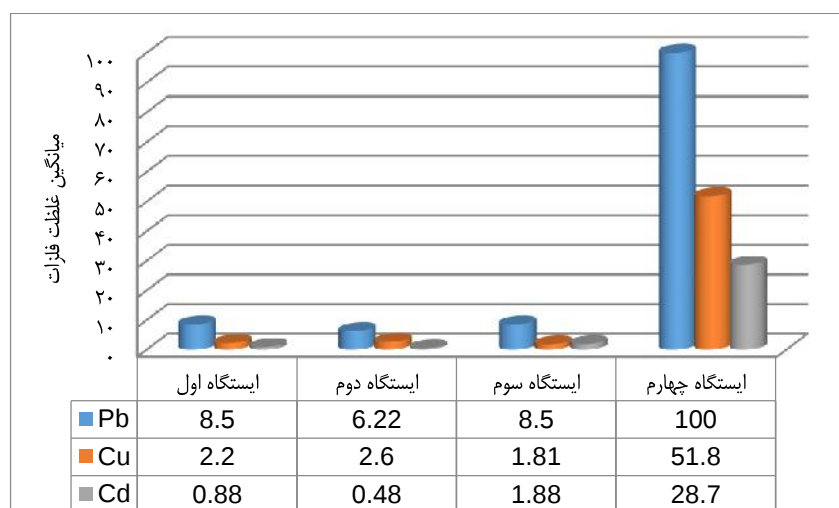
نتایج

غلظت فلزات سرب، مس و کادمیوم در رسوبات سطحی برحسب پی پی ام در وزن خشک محاسبه شد. نتایج حاصل در جدول ۱ ذکر شده است. در چهار ایستگاه مورد مطالعه روند تمرکز فلزات در رسوبات سطحی به صورت $Pb > Cu > Cd$ محاسبه شد. میانگین حداکثر غلظت فلزات مختلف در رسوبات سطحی در ایستگاه‌های مختلف گزارش شد، به این صورت که میانگین حداکثر غلظت فلز سرب ۲۷۷ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه چهارم و میانگین حداقل آن ۸/۲۸ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه اول، میانگین حداکثر غلظت فلز مس ۸۶/۲ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه چهارم و میانگین حداقل آن ۱/۰۲ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه اول، میانگین حداکثر غلظت فلز کادمیوم ۲۲/۵ در میلیون در وزن خشک در ایستگاه چهارم و میانگین حداقل آن ۰/۷۸ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه دوم مشاهده شد (شکل ۲). غلظت فلزات سرب، مس و کادمیوم در رسوبات عمقی برحسب قسمت در میلیون محاسبه شد. در هر ۴ ایستگاه مورد مطالعه، روند تمرکز فلزات در رسوبات عمقی به صورت $Pb > Cu > Cd$ محاسبه شد.



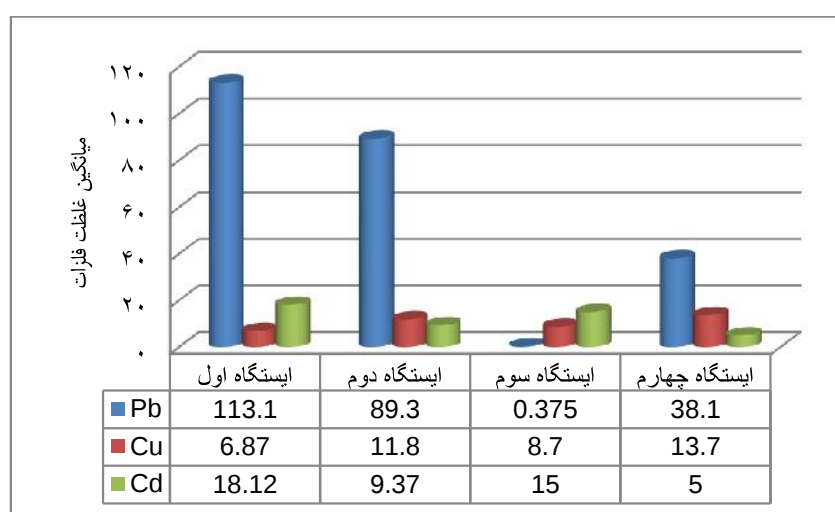
شکل ۲: مقایسه میانگین فلزات سرب، مس و کادمیوم برحسب قسمت در میلیون وزن خشک در نمونه‌های رسوبات سطحی ایستگاه‌های مختلف در دریاچه شورمست، بهار ۱۳۹۲.

میانگین حداکثر غلظت فلزات مختلف در رسوبات عمقی در ایستگاه‌های مختلف گزارش شد. به این صورت که میانگین حداکثر غلظت فلز سرب ۱۰۰ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه چهارم و میانگین حداقل آن ۶/۲۲ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه دوم، میانگین غلظت فلز مس ۵۱/۸ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه چهارم و میانگین حداقل آن ۱/۸۱ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه سوم، میانگین حداکثر غلظت فلز کادمیوم ۲۸/۷ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه چهارم و میانگین حداقل آن ۰/۴۸ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه دوم مشاهده شد (شکل ۳). غلظت فلزات سرب، مس و کادمیوم در نمونه گیاه آلاله آبی *Ranunculus fluitans* برحسب قسمت در میلیون محاسبه شد. در هر ۴ ایستگاه مورد مطالعه، روند تمرکز فلزات در گیاه آلاله آبی *Ranunculus fluitans* به صورت: $Pb > Cd > Cu$ محاسبه شد.



شکل ۳: مقایسه میانگین فلزات سرب، مس و کادمیوم برحسب قسمت در میلیون وزن خشک در نمونه‌های رسوبات عمقی ایستگاه‌های مختلف در دریاچه شورمست، بهار ۱۳۹۲.

میانگین حداکثر غلظت فلزات مختلف در گیاه آبزی *Ranunculus fluitans* در ایستگاه‌های مختلف گزارش شد، به این صورت که میانگین حداکثر غلظت فلز سرب قسمت در میلیون ۱۱۳ در وزن خشک در ایستگاه اول و میانگین حداقل آن قسمت در میلیون ۰/۳۷۵ در وزن خشک در ایستگاه سوم و میانگین حداکثر غلظت فلز مس قسمت در میلیون ۱۳/۷ در وزن خشک در ایستگاه چهارم و میانگین حداقل آن قسمت در میلیون ۶/۸۷ در وزن خشک در ایستگاه اول و میانگین حداکثر غلظت فلز کادمیوم قسمت در میلیون ۲۲/۵ در وزن خشک در ایستگاه چهارم و میانگین حداقل آن قسمت در میلیون ۹/۳۷ در وزن خشک در ایستگاه دوم مشاهده شد (شکل ۴).

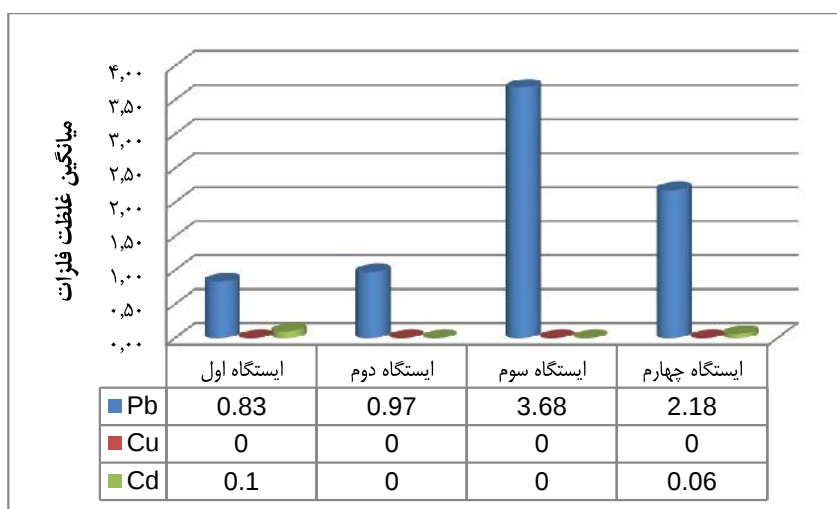


شکل ۴: مقایسه میانگین فلزات سرب، مس و کادمیوم برحسب قسمت در میلیون وزن خشک نمونه‌های گیاه آبزی *Ranunculus fluitans* ایستگاه‌های مختلف در دریاچه شورمست، بهار ۱۳۹۲.

غلظت فلزات سرب، مس و کادمیوم در نمونه‌های آب برحسب قسمت در میلیون محاسبه شد در هر ۴ ایستگاه مورد مطالعه، روند تمرکز فلزات در آب به صورت $Pb > Cd > Cu$ برآورد شد.

میانگین حداکثر غلظت فلزات مختلف در نمونه‌های آب در ایستگاه‌های مختلف گزارش شد، به این صورت که میانگین حداکثر غلظت فلز سرب قسمت در میلیون ۳/۶۸ در وزن خشک در ایستگاه اول، میانگین حداکثر غلظت فلز مس در وزن خشک در ایستگاه دوم و میانگین حداقل آن صفر قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه‌های سوم و چهارم، میانگین حداکثر غلظت کادمیوم ۰/۱ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه اول و میانگین حداقل آن ۰/۰۱ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه سوم مشاهده شد (شکل ۵).

نتایج حاصل از آنالیز واریانس یک طرفه برای فلزات سنگین در رسوبات سطحی، عمقی، آب و گیاه آبزی (*Ranunculus fluitans*) نشان می‌دهد، میانگین غلظت هر یک از فلزات سرب، مس و کادمیوم در همه نمونه‌های رسوبات سطحی، عمقی، گیاه آبزی (*Ranunculus fluitans*) و آب، اختلاف معناداری ندارد ($P < 0.05$).



شکل ۵: مقایسه میانگین غلظت فلزات سرب، مس و کادمیوم برحسب قسمت در میلیون در نمونه‌های آب ایستگاه‌های مختلف در دریاچه شورمست، بهار ۱۳۹۲.

جدول ۳: غلظت فلزات سرب، مس و کادمیوم برحسب قسمت در میلیون وزن خشک در رسوبات عمقی ایستگاه‌های مختلف در دریاچه شورمست، بهار ۱۳۹۲

ایستگاه	ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم	ایستگاه چهارم	میانگین کل ایستگاه‌ها	انحراف معیار
نوع فلز						
سرب	۸/۵	۶/۲۲	۸/۵	۱۰۰	۳۰/۸۰۵	۴۶/۱۴۲
مس	۲/۲	۲/۶	۱/۸۱	۵۱/۸	۱۴/۶۰۲	۲۴/۸
کادمیوم	۰/۸۸	۰/۴۸	۱/۸۸	۲۸/۷	۷/۹۸۵	۱۳/۸۲۲

جدول ۴: غلظت فلزات سرب، مس و کادمیوم برحسب قسمت در میلیون وزن خشک در گیاه آلاله آبی (*Ranunculus fluitans*) ایستگاه‌های مختلف در دریاچه شورمست، بهار ۱۳۹۲.

ایستگاه	ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم	ایستگاه چهارم	میانگین کل ایستگاه‌ها	انحراف معیار
نوع فلز						
سرب	۱۱۳/۱	۸۹/۳	۰/۳۷۵	۲۸/۱	۶۰/۲۱۸	۵۰/۷۰۳
مس	۶/۸۷	۱۱/۸	۸/۷	۱۳/۷	۱۰/۲۶۷	۳/۰۶۲
کادمیوم	۱۸/۱۲	۹/۳۷	۱۵	۲۲/۵	۱۶/۲۴۷	۵/۵۲۱

جدول ۵: غلظت فلزات سرب، مس و کادمیوم برحسب قسمت در میلیون در آب ایستگاه‌های مختلف در دریاچه شورمست، بهار ۱۳۹۲.

ایستگاه	ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم	ایستگاه چهارم	میانگین کل داده‌ها	انحراف معیار
نوع فلز						
سرب	۰/۸۳	۰/۹۷	۳/۶۸	۲/۱۸	۱/۰۱۵	۱/۳۲۳
مس	۰/۰۱	۰/۰۳	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱۴
کادمیوم	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۴۷	۰/۰۴۱

بحث و نتیجه‌گیری

تراکم فلزات سنگین در رسوبات سطحی، رسوبات عمقی، گیاه آبزی آلاله آبی و آب توسط محققین زیادی گزارش شده است. Milan و همکاران در سال ۲۰۰۴، تحقیقی بر روی آب و گیاهان آبزی (*Ceratophyllum demersum*)، (*Hydrocharis morsus-*) *ranea*)، (*Salvinia natans*)، (*Phragmites australis*) و (*Nymphaea alba*) در رودخانه Jegricka انجام دادند. نتایج به‌دست‌آمده از میزان فلزات سنگین آهن، مس، کبالت، نیکل، سرب، روی، منگنز و کادمیوم در گیاهان آبزی و در آب نشان داد که تفاوت معناداری بین این دو غلظت وجود ندارد، که با نتایج تحقیق ما که عدم وجود تفاوت آماری را نشان داد، مطابقت دارد. Saeid و Samir در سال ۲۰۰۸، غلظت فلزات سنگین آهن، روی، مس، منگنز، کادمیوم و سرب در آب، رسوبات و ماهی تیلاپیا در دریاچه‌های شمال دلتا مصر را مورد ارزیابی و آنالیز قرار دادند. آنالیز غلظت‌ها به‌وسیله ANOVA نشان داد که بین فلزات سنگین آهن، روی، مس، منگنز، کادمیوم و سرب در آب و رسوبات تفاوت معناداری وجود دارد که با نتایج تحقیق مطابقت ندارد. Mohammad و همکاران در سال ۲۰۰۷، غلظت فلزات سنگین در آب، رسوبات سطحی، رسوبات عمقی دلتای نیل در مصر را مورد تحقیق و بررسی قرار دادند، در این تحقیق توزیع فلزات سنگین آلومینیوم، باریوم، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، سرب، روی و نیکل انجام شد و همبستگی معنادار و منفی بین فلزات کادمیوم، آلومینیوم، مس، کروم، منگنز و سرب وجود دارد که نتایج با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت ندارد.

نتایج یک مطالعه نشان داد که گیاه آبزی سنبل آبی *Eichhornia crassipes* توانایی جذب فلز سرب به میزان ۵۰۴ قسمت در میلیون و مس ۵۶۱ قسمت در میلیون را در خود دارند و از سایر فلزات بیشتر تجمع پیدا کرده‌اند و بین فلزات در نمونه‌های گیاهی، همبستگی مثبت و معناداری وجود دارد که این نتایج با تحقیق ما که میزان فلزات سرب و مس در گیاه آبزی آلاله آبی (*Ranunculus fluitans*) بیشتر تجمع پیدا کرده‌اند و همبستگی مثبت و معنادار داشته‌اند، مطابقت دارد (Buta et al., 2011).

Begum و همکاران در سال ۲۰۰۸، تجزیه و تحلیل فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و کروم در آب، رسوبات و نمونه‌های ماهی دریاچه مادایلاوا در بنگلادش را انجام دادند و متوجه شدند افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در غلظت فلزات سنگین از آب به رسوب وجود دارد و روند انباشت فلزات در آب به‌صورت $Pb > Cr > Cd > Ni$ و در رسوبات این ترتیب به‌صورت $Pb > Cr > Cd > Ni$ می‌باشد که با روند تمرکز فلزات سنگین در رسوبات سطحی و عمقی این تحقیق مطابقت دارد اما با روند انباشت فلزات در آب مطابقت ندارد.

طبق نتایج به دست آمده، میانگین حداکثر غلظت فلزات سرب، مس و کادمیوم در رسوبات سطحی به ترتیب ۲۷۷/۵، ۸۶/۲، ۲۲/۵ قسمت در میلیون در وزن خشک و میانگین حداکثر غلظت فلزات سرب، مس و کادمیوم در رسوبات عمقی به ترتیب ۱۰۰، ۵۱/۸، ۲۸/۷ در ایستگاه چهارم می‌باشد و می‌توان دلایل زیر را در توضیح آن بیان کرد:

ایستگاه چهارم، محل پارک وسایل نقلیه و قایق‌های تفریحی و همچنین محل جمع‌آوری نخاله‌های ساختمانی و زباله است از آنجا که یکی از منابع واردکننده فلزات به اکوسیستم‌های آبی، شسته شدن فلزات از زباله‌ها و مواد جامد در محل جمع‌آوری زباله‌ها می‌باشد و همچنین ۱۰ درصد تولید جهانی سرب به شکل افزودنی‌های بنزین مانند تترا اتیل سرب مورد استفاده قرار گرفته و به‌طور وسیعی به داخل اتمسفر راه می‌یابد (زاهد و محمدی دشتکی، ۱۳۷۹). دریاچه شورمست در چند سال اخیر محل پرورش کپور ماهیان بوده است که این خود می‌تواند از دلایل عمده غلظت بالای سرب در ایستگاه چهارم باشد. سرب از نظر انتشار، گسترده‌ترین عنصر سنگین سمی در محیط‌زیست بوده که به‌ویژه از زمان مصرف آن در بنزین از پراکنش بسیار وسیعی در سطح جهان برخوردار است. غذا یکی از مهم‌ترین منابع ورود سرب به بدن می‌باشد که در نتیجه با مسمومیت حاد سرب در ماهی به‌صورت آسیب به اپیتلیوم آبشش و درنهایت مسمومیت مزمن با آسیب به سیستم عصبی نمایان می‌شود (جلالی جعفری و آقازاده مشگی، ۱۳۸۶). Xu و همکاران در تحقیقی که در سال ۲۰۱۶ بر روی رسوبات دریاچه‌های کشور چین در ۲۴ استان انجام دادند، گزارش کردند که تقریباً ۲۰/۶ درصد دریاچه‌ها در سطح دو استانداردهای کیفیت خاک برای آرسنیک، ۳۱ درصد دریاچه‌ها برای کادمیوم، ۴/۶ درصد برای مس، ۲۱ درصد برای نیکل، ۳ درصد برای روی و ۱۱ درصد برای جیوه قرار دارند.

از آنجا که ایستگاه چهارم محل پارک وسایل نقلیه می‌باشد و پوشش چرخ‌های اتومبیل حاوی ۹۰-۲۰ قسمت در میلیون فلز کادمیوم به‌صورت ناخالصی به همراه اکسید روی به کاررفته‌اند و زغال‌سنگ که حاوی ۰/۳ کادمیوم هستند که مقدار نامعلومی از آن به اتمسفر راه می‌یابند، می‌توانند از دلایل بالا بودن غلظت فلز کادمیوم در ایستگاه چهارم باشند.

غلظت فلز مس در ایستگاه چهارم با در نظر گرفتن اینکه قایق‌ها و کشتی‌ها به عنوان یکی از منابع ورودی مس به اکوسیستم‌های آبی می‌باشند (در ضد لکه کردن رنگ بدن کشتی‌ها و قایق‌ها با استفاده از فلز مس)، همچنین استفاده از آن به‌عنوان محافظ چوب و تجمع آن در در رسوبات در محل جمع‌آوری زباله‌ها، تجمع بیشتری نسبت به سایر مناطق دارد (زاهد و محمدی دشتکی، ۱۳۷۹).

فلزات سرب، مس و کادمیوم در رسوبات سطحی و رسوبات عمقی اختلاف معناداری ندارند ($P < 0.05$). طبق نتایج به دست آمده، میانگین حداکثر غلظت فلز سرب ۱۱۳/۱ قسمت در میلیون در ایستگاه اول، کادمیوم و مس به ترتیب ۲۲/۵ قسمت در میلیون و ۱۳/۷ قسمت در میلیون در وزن خشک در ایستگاه چهارم می‌باشد.

گیاهان آیزی در pH مناسب خود دارای بیشترین رشد می‌باشند و از آنجا که کاهش pH موجب افزایش یون هیدروژن و افزایش غلظت یون آزاد فلزی و درنهایت افزایش جذب فلزات سنگین می‌گردد (جلالی جعفری و آقازاده مشگی، ۱۳۸۶)، در نتیجه مقدار فلز سرب در حضور جاذب یعنی گیاه آیزی *Ranunculus fluitans* در ایستگاه اول بالا می‌رود.

پژوهش‌های بسیاری در مورد گیاهان آیزی برای به دست آوردن pH بهینه جذب عناصر و همچنین تعیین pH بهینه پالایش سبز فلزات سنگین صورت گرفته است، بسته به جنس، گونه و واریته گیاهان مورد بررسی، نتایج متفاوتی به دست آمده است از جمله آن می‌توان به پژوهش و تحقیق Saygideger و Dogan در سال ۲۰۰۵ اشاره کرد که pH بهینه جذب سرب را برای دو گیاه آیزی (*Typha latifolia*) و (*Ceratophyllum demersum*) به ترتیب ۹ و ۷ به دست آمد.

ضریب همبستگی پیرسون در مورد فلز سرب در گیاه آیزی *Ranunculus fluitans* ارتباط معنی‌دار و مثبتی وجود دارد. طبق نتایج به دست آمده میانگین حداکثر غلظت فلزات سنگین سرب قسمت در میلیون ۳/۶۸ در ایستگاه سوم، مس قسمت در میلیون ۰/۳ در ایستگاه دوم و کادمیوم قسمت در میلیون ۰/۱ در ایستگاه اول می‌باشد.

طی تحقیقی که در سال ۲۰۱۶ توسط Esmaeilzadeh و همکاران بر روی رسوبات و گیاه آیزی (*Phragmites australis*) در مرداب انزلی انجام شد، میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب از غلظت آن‌ها در پوسته‌ی زمین بیشتر بود. تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گیاه آیزی شامل ریشه‌ها و ساقه‌ها نیز بیشتر از رسوبات گزارش شد.

با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب ایستگاه سوم که $pH = 8/9$ ، $Ec = 312$ و دما $16/4$ سانتی‌گراد و مقایسه آن با سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری و در نظر گرفتن تأثیرات پارامترهای شیمیایی آب بروی میزان جذب فلزات سنگین که با افزایش pH موجب تشکیل هیدروکسید فلزی می‌گردد و باعث کاهش جذب فلزات سنگین و کاهش دما و هدایت الکتریکی نیز سبب کاهش جذب فلزات سنگین در آب می‌شود (جلالی جعفری و آقازاده مشگی، ۱۳۸۶).

ثابت و همکاران نیز در سال ۱۳۹۴، تحقیقی بر روی نمک و آب دریاچه مهارلو انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین غلظت فلزات مس، کادمیوم و سرب در نمک دریاچه و برای آرسنیک و کروم به ترتیب در سنگ نمک لار و فیروزآباد وجود دارد. بالا بودن میزان غلظت فلز مس در ایستگاه دوم علاوه بر تأثیرپذیری از شرایط فیزیکی و شیمیایی آب دریاچه، به دلیل شرایط جغرافیایی ایستگاه که در نزدیکی کوه قرار دارد نیز می‌باشد. یکی از راه‌های ورود طبیعی فلز مس به اکوسیستم‌های آبی، ناشی از فرسایش صخره‌ها و کوه‌های معدنی است (زاهد و محمدی دشتکی، ۱۳۷۹).

برخی از مصادیق مس با منشأ فعالیت‌های انسانی شامل استخراج معادن، تولید فلزات، چوب و کودهای فسفاته می‌باشد. گل و لای حاوی مس در کناره‌های رودخانه‌ها ته نشین می‌شود که منشأ آن‌ها مواد دور ریختنی موجود در فاضلاب است (ملکوتیان و خاشی، ۱۳۹۳). بین میزان غلظت فلز مس در نمونه‌های آب، رسوبات سطحی، عمقی و گیاه آبی (*Ranunculus fluitans*) هیچ ارتباط معناداری وجود ندارد چرا که فلز مس جزء عناصر ضروری برای موجودات است به عبارت دیگر، در موجودات زنده تنظیم عناصر ضروری نسبت به عناصر غیرضروری بارزتر می‌باشد.

غلظت فلز کادمیوم در نمونه‌های رسوبات سطحی، رسوبات عمقی، آب و گیاه آبی (*Ranunculus fluitans*) در بین ایستگاه‌های مختلف تفاوت معناداری وجود نداشت ($P > 0/05$) و عدم تفاوت غلظت این فلز می‌تواند ناشی از منشأ طبیعی آن در اطراف دریاچه شورمست باشد که وجود تأسیسات عظیم استخراج معدن زغال‌سنگ نیز بر این مهم افزوده است.

مقادیر سرب، مس و کادمیوم در آب، رسوبات و گیاه آبی (*Ranunculus fluitans*) تعیین گردید، که به صورت زیر می‌باشد: بر اساس استانداردهای ذکر شده در جدول ۶ حد مجاز فلزات سنگین در آب‌های طبیعی برای فلزات سرب، مس و کادمیوم به ترتیب $0/05$ ، $1/5$ و $0/01$ میلی‌گرم بر لیتر توصیه شده است که در مقایسه با میانگین فلزات سنگین در این تحقیق، فلزات سرب و مس از حد مجاز استاندارد WHO بیشتر و فلز کادمیوم از حد مجاز استاندارد WHO پایین‌تر می‌باشد.

میانگین غلظت فلزات به دست آمده در این تحقیق در مقایسه با استاندارد EPA (سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا) به این صورت است که میانگین فلز سرب در آب از مقدار استاندارد EPA بیشتر و فلز کادمیوم از مقدار استاندارد آن پایین‌تر می‌باشد.

میانگین به دست آمده از غلظت فلزات سنگین سرب، مس و کادمیوم در رسوبات این تحقیق در قیاس با استانداردهای جهانی رسوبات به این صورت است که فلزات سرب و کادمیوم از حد استاندارد جهانی رسوبات، بیشتر هستند ولی مس از حد مجاز استاندارد رسوبات جهانی کمتر است. میانگین غلظت فلزات سنگین در گیاه آبی (*Ranunculus fluitans*)، در مقایسه با استانداردهای محدوده غلظت فلزات سنگین در بافت‌های گیاهان به این صورت است که میانگین غلظت فلزات سرب و کادمیوم از استاندارد فلزات در محدوده بافت‌های گیاهی بیشتر است اما فلز مس از محدوده بافت‌های گیاهی پایین‌تر می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۶: مقایسه غلظت فلزات تحقیق با برخی استانداردهای جهانی.

منبع	کادمیوم	مس	سرب	فلزات	استاندارد
Shulkin et al., 2003	۰/۰۱	۱/۵	۰/۰۵		WHO
اقلابی و همکاران، ۱۳۸۹	۰/۰۰۵	—	۰/۰۱۵		EPA
www.epa.gov/safe water/mcl.html, 2005	۰/۰۰۵	۱/۳	۰/۰۰		استاندارد آب آشامیدنی
دستجردی و همکاران، ۱۳۸۶	۰/۰۰۵	۰/۲	۵		استاندارد آب کشاورزی
دستجردی و همکاران، ۱۳۸۶	۰/۰۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵		استاندارد برای حیات وحش و آبزیان
رجایی و همکاران، ۱۳۹۱	۵/۱	۳۳	۱۹		رسوب جهانی
دستجردی و همکاران، ۱۳۸۶	۰/۲-۰/۸	۲-۱۵	۰/۱-۱۰		محدوده غلظت در بافت گیاهی
تحقیق حاضر	۰/۰۴۷	۰/۰۱	۱/۰۱۵		میانگین غلظت آب
تحقیق حاضر	۹/۵۹	۲۳/۸۴۱	۷۴/۰۴		میانگین غلظت رسوبات
تحقیق حاضر	۱۶/۲۴۷	۱۰/۲۶۷	۶۰/۲۱۸	Ranunculus fluitans	میانگین غلظت گیاه آبی

نتایج به دست آمده از تحقیق، نشان دهنده آلودگی بالای سرب و آلودگی نسبی کادمیوم در منطقه می باشد. با توجه به قرار گرفتن تأسیسات بزرگ استخراج معدن زغال سنگ در نزدیکی دریاچه شورمست، طی زمان همواره مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین وارد این اکوسیستم آبی می گردد. سرب از طریق فرسایش و شسته شدن خاک، فاضلاب های شهری و صنعتی، از طریق سوخت های فسیلی (زغال سنگ و بنزین) و سنگ های معدنی وارد محیط زیست می شود.

رسوبات جزئی تفکیک ناپذیر از اکوسیستم های آبی، منابع غذایی بعضی ارگانیسم ها بخصوص کف زیان و در نهایت مانند یک آرشیو تاریخی، در ثبت فلزات سنگین عمل می کنند (Sunderland et al., 2008) و به عنوان یکی از شاخص های مهم آلودگی در اکوسیستم های آبی در نظر گرفته می شوند. از طرفی، یکی از دلایل اهمیت مطالعه و بررسی گیاهان آبی، نقش مهمی است که در تنظیم پارامترهای مختلف منابع آب دارند. استفاده از ماکروفیت های آبی می تواند روش مؤثری برای کاهش آلودگی در کل ستون آب باشد به عبارتی به عنوان یک پالایش کننده سبز در نظر گرفته می شود (Kamal et al., 2004).

منابع

- اقلابی، ش.، معماربانی، م. و معطر، ف.، ۱۳۸۹. بررسی عناصر سنگین کروم، کادمیوم، سرب و مواد آلی در سفیدرود با نگرشی بر غشاء زمین ساختمانی آن ها، مجله علمی تخصصی تالاب، سال دوم، شماره ۳، صفحات ۳۹-۵۵.
- جلالی جعفری، ب. و آقازاده مشگی، م.، ۱۳۸۶. مسمومیت ماهیان در اثر فلزات سنگین آب و اهمیت آن در بهداشت عمومی، تهران: انتشاراتمان کتاب. ۱۳۴ صفحه.
- دستجردی، م.، شنبه زاده، س.، ضیغمی، ذ.، ا. و روزگار، ر.، ۱۳۸۶. مقایسه تجمع فلزات سنگین در آب و خاک گیاه تالاب بین المللی گاوخونی در سال ۸۱ و ۸۳، دهمین همایش بهداشتی ایران، همدان.
- رجایی، ق.، حسن پور، م. و مهدی نژاد، م.، ۱۳۹۱. بررسی غلظت فلزات سنگین روی، مس، کروم و وانادیوم در آب و رسوبات خلیج گرگان و مصب رودخانه گرگان رود، مجله تحقیقات نظام سلامت، سال ۸، شماره ۵، صفحات ۷۵۶-۷۴۸.
- زاهد، م.، محمدی دشتکی، ز.، ۱۳۷۹. آلودگی دریا (تألیف آر، پی، کلارک)، انتشارات نشر مهر و نسق. ۲۴۸ صفحه.

- شهبازی، ع.، سفانیان، ع.، افراز، ر.، خداکرمی، ل.، ۱۳۹۰. بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین کادمیوم، مس، سرب در خاک و تعیین غشاء این فلزات مطالعه موردی شهرستان نهاوند، مجله کاربرد سنجش اذدور GIS در علوم منابع طبیعی. سال دوم، صفحات ۹۷-۱۰۹.
- شهسوار، پور، ن.، اسماعیلی ساری، ع.، وهابزاده رودسری، ح.، قاسم پوری، م. و صلواتیان، ن.، ۱۳۸۵. بررسی آلودگی جیوه به عنوان یک عنصر سمی زیست محیطی در رسوبات سطحی تالاب بین المللی انزلی (جنوب غربی دریای خزر)، اولین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.
- عبارتی، ف.، ۱۳۸۴. نقش گیاهان آبی در پالایش فلزات سنگین در تالاب میانکاله. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه مدرس تهران، صفحه ۵۸.
- عبادی، ف.، اسماعیلی ساری، ع. ر. و ریاحی، ب. ع. ا.، ۱۳۸۴. میزان نحوه تغییرات فلزات سنگین در اندام های گیاهان آبی و رسوبات تالاب میانکاله. مجله محیط شناسی شماره ۳۷، صفحات ۷۴-۵۳.
- ثابت، ف.، بندگانی، م.، صادقی، م.، حاتمی منش، م.، میرزایی، م. و حق شناس، آ.، ۱۳۹۴. ارزیابی حضور فلزات سنگین در نمک و آب دریاچه مهارلو در مقایسه با غلظت آنها در سنگ نمک معادن سیرجان، لار و فیروز آباد. مجله آب و فاضلاب، دوره ۲۶، شماره ۱، صفحات ۹۶-۸۹.
- کبود وند پور، ش.، تحسینی، ه. و گویلیان، ه.، ۱۳۹۴. بررسی غلظت فلزات سنگین در آب دریاچه سد قشلاق سمنج. دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست.
- ملکوتیان، م. و خاشی، ز.، ۱۳۹۳. بررسی غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، سرب، مس در منابع آب آشامیدنی روستاهای جنوب شرقی رفسنجان. فصلنامه بهداشت در عرصه، دوره ۲، شماره ۱، صفحات ۹-۱.
- Baldantoni, A. J., Hawker, D. W. and Greenway, M., 2004.** Metal accumulation in aquatic Macrophytes from Southeast aueus Land Australia. *Chemospher*, 48: 653-663.
- Begum, A., Hrikrish, S., Khan, I., 2008.** Analysis of Heavy metals in water, Sediments and Fish samples of Madivale Lakes of Bangalore, Karataka. *International journal of chemistry. Technology Research CODEN (USA), IJRGG*, Vol. 1, No. 2, pp, 245-249.
- Buta, E., Poulette, L. and Mihaiescu, T., 2011.** Effect of Heavy metals on Growth and Development of *Eichhoruia Crassipes* Species, Cultivated in contaminated Water *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 39(2).
- Boularbah, S., Christophe, C. B, Gabriel, G. M. and Jean-Louis, J. L., 2006.** Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco, 1. Use of a biotest to assess metal toxicity of tailings and soils. *Chemosphere*, 63: 802-810.
- Cardwell, A. J., Hawker, D. W. and Greenway, M., 2002.** Metal accumulation in aquatic Macrophytes from sonthest Queensland, Australia. *Chemospher*, 48:653-663.
- Esmailzadeh, M., Karbassi, A. and Moattar, F., 2016.** Heavy metals in sediments and their bioaccumulation in *Phragmites australis* in Anzali wetland of Iran. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 34(4): 810-820.
- Ganjali, S. and Ghasemi, A., 2016.** Heavy metals contamination in the sediments of Anzali international wetland, northern Iran based on type regional development. *Iranian Journal of Toxicology*, 5: 1-6.
- Kamal, M., Ghaly, A. E., Mahmoud, N. and Co'te', R., 2004.** Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. *Environmental International*, 29: 029 – 1039.
- McDonald, D. G., Reader, J. P. and Dalziel, T. R. K., 1989.** The combined effects of pH and trace metals on fish ionoregulation. *Cambridge University Press, Cambridge*, pp: 221-42.
- Merian, E., Anke, M., Ihnat, M. and Stoepler, M., 2004.** Elements and their compounds in the environment. 2. Weinheim: Wiley-VCH; pp. 1157-1164.
- Milan, B., Slobodanka, P. and Borivoj, K., 2004.** Macrophytes as Phytoindicators and potential Phytoremediators in aquatic ecosystems. pp: 76-80.
- Mohammed, M., Bouraie, E., Ahmed, L., Barbary, E. L., Yehia, M. and Motawea, E.A., 2010.** Heavy metal concentrations in surface river water and bed sediments at Nile Delta in Egypt. *Suo senro finnish peatland Society, Sou* 61(1), pp: 1-12.

- Monperrus, M., Tessier, E., Point, D., Vidimove, K., Amohroux, O. D., Guyoneaud, R., Leyheart, A., Grall, J., Chauvaud, I., Theuzeug, G. and Donard, O. F. X., 2007.** Evaluation of Mercury, methylation potential in both surface sediment and the water column. *Estuaries, Coastal and Shelf science*, 72:485-496.
- Ramalhosa, E., Segade, S. R., Peveira, E., Vale, C. and Duarte, A., 2006.** Mercury cycling between the water column and surface sediments in a contaminated area water Research. *Environmental Monitoring Assess.* 40:2893-2900.
- Saeed, S. M. and Shaker, I. M., 2008.** Assessment of Heavy metals Pollution in water and sediments and Their Effect on *Oreochromis Niloticus* in the Northern Delta Lakes, Egypt. *International Symposium on Tilapia in aquaculture*, 2008. pp: 475-489.
- Saygideger, S. and Dogan, M., 2005.** Influence of pH on lead uptake, chlorophyll and nitrogen content of *Nasturtium officinale* R. Br. and *Mentha aquatica* L. *Journal of Environmental Biology*, 26:753 – 759.
- Shulkin, V. M., Presley, B. J. and Kavun, V. I., 2003.** Metal concentrations in mussel *Crenomytilus grayanus* and oyster *Crassostrea gigas* in relation to contamination of ambient sediments. *Environ. Int.* 29, 493–502.
- Sunderland, E. M., Cohen M., Selin N. E. and Chmura G. L., 2008.** Reconciling models and measurements to assess trends in atmospheric mercury deposition. *Environmental Pollution*, 156:526–535.
- Waling, I., Vanvak, W., Houba, V. G. J. and Vanderlee, J. J., 1989.** Soil and plant analysis, a series of syllabi. *Plant Analysis Procedures*, part 7.
- Weast, R. C., 1984.** CRC Handbook of chemistry and physics, 64th edn. Boca Raton, CRC Press.
- Xu, Y., Wu, Y., Han, J. and Li, P., 2017.** The current status of heavy metal in Lake Sediments from China: Pollution and ecological risk assessment. *Ecology and Evolution*, 7: 5454-5466.