

تجمع فلزات سنگین در گیاه نی (*Phragmites australis*) و رسوبات رودخانه کارون (محدوده شهر اهواز)

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تجمع فلزات سنگین (Ni, Pb, Cd) در رسوبات رودخانه کارون و در گیاه آبی نی (*Phragmites australis*) انجام گردید. نمونه برداری در ۶ ایستگاه (قبل، داخل و بعد از شهر) و از گیاه نی و رسوبات رودخانه کارون (۱۳۹۵) صورت گرفت. نمونه‌های خاک و گیاه در ایستگاه‌ها جمع‌آوری و به روش هضم جکسون و EPA 3050 به وسیله دستگاه جذب اتمی قرائت شدند. نتایج غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در بافت‌های مختلف گیاه نی و رسوبات نشان داد که بیشترین غلظت فلز کادمیوم و سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) در ریشه گیاه نی در ایستگاه ۴ به ترتیب به میزان (۲/۸۱±۰/۷۹) و (۱/۷۲±۸/۸۰) و بیشترین غلظت فلز نیکل در ایستگاه ۵ در برگ گیاه نی (۲/۷۲±۰/۲۱) اندازه‌گیری شد. بیشترین حجم آلودگی گیاهی در ایستگاه‌های محدوده داخل شهر اهواز به دست آمد. همچنین مطالعه رسوبات رودخانه کارون نشان داد، فلزات سرب (۷۳/۵۰±۱/۹۰) میلی گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۶ کادمیوم (۲/۱۱±۰/۱۱) میلی گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۵ و نیکل (۱/۷۲±۰/۱۴) میلی گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۱، به ترتیب بیشترین غلظت را داشتند. بیشترین حجم آلودگی رسوبات در ایستگاه‌های محدوده خارج از شهر اهواز به دست آمد. نتایج ضریب تجمع زیستی نشان داد، بالاترین ضریب تجمع زیستی فلز کادمیوم و سرب به ذر ریشه گیاه نی به ترتیب به میزان ۱/۲۹ و ۳/۸۴ و فلز نیکل بالاترین ضریب تجمع زیستی (۱/۴۷) را در ساقه داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد، گیاه نی توانایی بالایی برای انتقال فلزات سنگین به اندام‌های خود داشته و می‌توان از این گیاه به عنوان گیاهان تجمع‌کننده فلزات سنگین در رودخانه‌ها استفاده کرد.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، *Phragmites australis*، رسوبات، تجمع زیستی، رودخانه کارون.

ژاله محمدزاده^۱

مریم محمدی روزبهانی^{۲*}

تیمور بابایی نژاد^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی محیط‌زیست، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. گروه آلودگی محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۳. گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

* مسئول مکاتبات:

mmohammadiroozbahani@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۳

کد مقاله: ۱۳۹۷۰۲۰۵۰۰

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

مقدمه

آلودگی آب‌و خاک با فلزات سنگین بزرگ‌ترین نگرانی برای سلامت انسان می‌باشد. این عناصر به‌عنوان آلاینده بر اثر عوامل طبیعی مانند فرسایش خاک، سیلاب، چرخش آب اقیانوس و دریا، احتراق چاه‌های نفتی یا عوامل مصنوعی مثل فاضلاب‌های صنعتی و انسانی، نشت نفت و گاز وارد اکوسیستم می‌شوند که به‌طور طبیعی به میزان بسیار کم در اکوسیستم‌ها یافت می‌شوند. این عناصر جزء آلاینده‌های بسیار پایدار بوده و تجزیه نمی‌شوند (Burgess, 2015).

پایداری فلزات اجازه می‌دهد در فواصل قابل توجه توسط آب یا هوا منتقل شوند (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱). این آلاینده‌ها به‌صورت آلی و یا معدنی تحت تأثیر عوامل و غیرطبیعی به شکل مستقیم و غیرمستقیم به چرخه اکوسیستم آبی وارد شده و در نهایت به اقیانوس‌ها می‌ریزند. فلزات



سنگین به صورت محلول در آب و خاک وارد شده، باعث آلودگی آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک شده و سبب برهم زدن اکوسیستم‌هایی که به آن وارد می‌شوند، می‌گردند (افیونی و عرفان منش، ۱۳۸۴).

اگرچه ممکن است بخشی از آن‌ها طی فرایند بیولوژیکی تجزیه شده و برخی از آن‌ها در چرخه حیات آبی تثبیت گردند. ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی و رسیدن به غلظت‌های بحرانی اثرات زیان‌بار متابولیکی و فیزیولوژیکی در موجودات زنده به‌جای می‌گذارد (Das et al., 2016). انسان و جانوران با مصرف سبزیجات، گیاهان و مواد غذایی آبیاری شده با چنین آب‌هایی و یا برخاسته از چنین خاک‌های آلوده و نیز مصرف جانوران و آبیاری که در معرض این فلزات زندگی می‌کنند، مبتلابه انواع بیماری‌های شناخته شده و یا ناشناخته می‌گردند (خسروی و بهرامی، ۱۳۹۰). فلزاتی که تجزیه یا دفع نشوند در بدن موجود باقی‌مانده و به‌طور مستمر انباشته شده و مقدار آن به تدریج زیاد می‌شود. این پدیده به‌عنوان تجمع زیستی شناخته شده است (Phillips and Human, 2015).

رسوبات منابع آبی از جمله بخش‌های مهم در اکوسیستم‌های آبی هستند و منبعی مهم از منابع شیمیایی سمی که قابلیت تجمع زیستی داشته و می‌توانند سلامت انسان را مورد تهدید قرار دهند، حتی اگر آلاینده‌هایی از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به آن‌ها وارد نشده باشد. رسوبات بستر منبع بالقوه آلودگی در محیط‌های آبی هستند و به‌عنوان معرف و شناساگر مهمی برای آلودگی محیط‌های آبی مطرح می‌باشند که با مطالعه آن‌ها می‌توان به سهولت مقدار و نوع آلودگی را مشخص نمود (Klink et al., 2014). از طرفی گیاهان قادر به ذخیره و جمع کردن برخی از مواد آلاینده به‌خصوص فلزات سنگین هستند، این گیاهان از فرایندهای زیستی متنوع گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی خود به کاهش و رفع آلودگی کمک می‌کنند که به گیاه‌پالایی تعریف می‌شود (Ertekin et al., 2015). از جمله این گیاهان که سریع‌الرشد بوده و دارای سامانه ریشه‌ای گسترده است، می‌توان به نی اشاره کرد (Bonanno and Giudice, 2010).

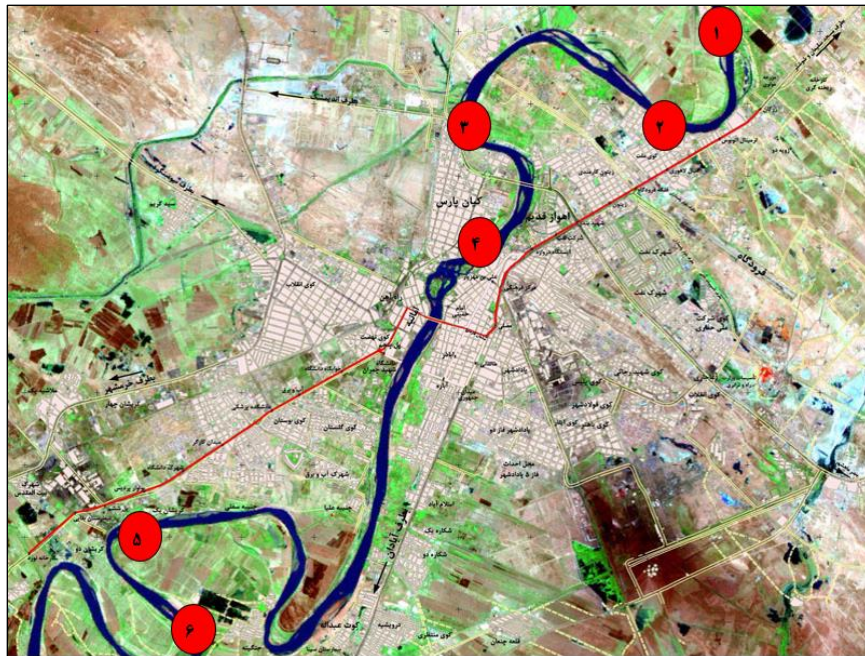
بخشی از رودخانه کارون به‌عنوان بزرگ‌ترین رودخانه ایران، در استان خوزستان واقع شده است که پذیرای فاضلاب صنایع و زهاب‌های کشاورزی است که بدون تصفیه مستقیماً وارد رودخانه می‌شوند و موجب کاهش کیفیت این رودخانه می‌شوند (مددی نیا و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به مواردی که گفته شد و از آنجاکه منابعی از جمله پساب‌های صنعتی و شهری برای ورود فلزات سنگین به رودخانه کارون وجود دارد، لذا این تحقیق به‌منظور بررسی و تعیین میزان فلزات سنگین (Ni-Cd-Pb) در رسوبات و در اندام‌های مختلف گیاه نی (*Phragmites australis*) در رودخانه کارون انجام شده است.

مواد و روش‌ها

پس از بازدید از منطقه، نسبت به شناسایی نقاط نمونه‌برداری اقدام شد. لازم به ذکر است که حداقل شرایط لازم جهت نمونه‌برداری قابلیت دسترسی (در فصول مختلف، شرایط جوی مختلف از نظر امکانات ارتباطی و فاصله) و انعکاس شرایط و وضعیت واقعی منطقه مورد مطالعه و همچنین با در نظر گرفتن فواصل ایستگاه‌ها نسبت به هم و پوشش دادن کل محدوده مورد مطالعه در قبل از شهر - داخل شهر و بعد از شهر اهواز بود. ایستگاه‌های منتخب شامل ۲ ایستگاه قبل از شهر، ۲ ایستگاه داخل شهر و ۲ ایستگاه بعد از شهر بود. میزان پساب‌های ورودی در ایستگاه‌های قبل از شهر نسبتاً کمتر بوده و در داخل شهر اهواز این حجم بیشتر و در بعد از شهر نیز کمتر بود. مشخصات و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

شماره ایستگاه	موقعیت ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	محل ایستگاه در رودخانه کارون
ایستگاه شماره ۱	قبل از شهر	۰۲۲۹۱۱۰۹	۳۴۷۹۲۸۹	کیلومتر ۱۷ جاده اهواز شوشتر
ایستگاه شماره ۲	قبل از شهر	۰۲۸۷۷۸۴۱	۳۴۷۵۷۶۱	کیلومتر ۵ جاده اهواز شوشتر
ایستگاه شماره ۳	داخل شهر	۰۲۸۵۰۹۸	۳۴۷۲۸۴۵	ابتدای کمربندی کوی ملت
ایستگاه شماره ۴	داخل شهر	۰۲۷۹۸۱۴	۳۴۶۹۰۷۰	جاده ساحلی غربی- سمت بیمارستان مهر
ایستگاه شماره ۵	بعد از شهر	۰۲۷۶۷۴۵	۳۴۶۱۹۵۰	جنب پل ششم (پل فولاد)
ایستگاه شماره ۶	بعد از شهر	۰۲۷۴۰۸۰	۳۴۵۸۷۳۱	کوت سید صالح - منطقه جنگیه



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در رودخانه کارون.

نمونه‌برداری از رسوبات و گیاهان منطقه مورد مطالعه در پاییز سال ۱۳۹۴ و در یک مرحله انجام شد. در هر ایستگاه، حداقل ۳ گیاه برداشت شد. نمونه‌برداری از گیاهان به‌طور دستی و از طریق کنار زدن رسوبات اطراف ریشه گیاه نی و برداشتن این گیاهان همراه باریشه از عمق ۵ الی ۲۰ سانتی‌متری انجام شد. همزمان با برداشت گیاه، مقداری رسوب نیز از با استفاده از گرب ون وین برداشت شد. سپس نمونه‌های جمع‌آوری شده به‌طور جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی تمیز ریخته شد و در ظروف یخدان حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌برداری در هر ایستگاه با سه تکرار انجام شد.

برای هضم نمونه‌های گیاه، تجزیه ریشه، ساقه، برگ و گل به‌صورت جدا و با استفاده از روش جکسون ۱۹۸۰ انجام شد. در این روش نمونه‌های جمع‌آوری شده به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس توسط آسیاب پودر شده و از الک ۶۳ هزار میکرون عبور داده شدند. برای هضم نمونه‌های گیاه، ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده گیاه با ۵ سی‌سی اسید نیتریک غلیظ و به مدت ۲۴ ساعت زیر هود قرار داده شد. سپس ارن ها را بر روی هیتر با دمای ۸۰ الی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در زیر هود قرار داده و عمل حرارت دادن به‌ملايمت آغاز تا بخار خرمایی‌رنگی از تمامی نمونه‌ها متصاعد شود. پس از گذشت ۱۰ دقیقه مقدار ۲ سی‌سی آب اکسیژنه ۳۰ درصد به هر یک

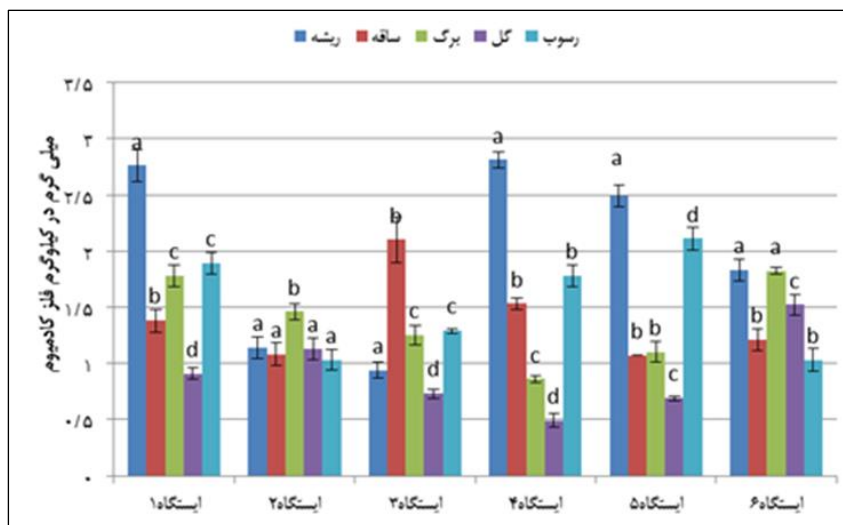
از ارلن ها اضافه و عمل حرارت دادن شدیدتر شده و هر ۱۵ دقیقه باکم شدن حجم محلول باید دومرتبه ۲ سی سی آب اکسیژنه ۳۰ درصد به آن افزوده شد. این عمل تا زمانی ادامه یافت که حجم نمونه به ۲ الی ۳ سی سی کاهش یافت. پس از بی رنگ شدن کامل نمونه، مقداری آب مقطر به آن اضافه و با عبور از کاغذ صافی واتمن ۴۰، به ظرف پلی اتیلنی درب دار منتقل شد (Jackson, 1958).

برای هضم نمونه های خاک از روش EPA 3050 استفاده شد. در این روش نمونه های جمع آوری شده به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند و سپس توسط آسیاب پودر شده و از الک ۶۳ هزار میکرون عبور داده شدند. سپس ۰/۵ گرم از رسوبات با اضافه کردن ۵ قطره اسید کلریدریک ۱ نرمال و ۵ سی سی تیزاب سلطانی بر روی هیتر برقی با دمای ۱۰۰ الی ۱۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه در زیر هود حرارت داده شد تا رنگ نمونه ها تیره شد و بخار اسید از آن خارج شود سپس به هریک از نمونه ها ۳ سی سی اسید پرکلریک اضافه نموده و تا رسیدن حجم نمونه ها به ۲ الی ۳ سی سی حرارت دهی ادامه یافت. پس از خنک شدن ظرف، مقداری آب مقطر به محلول اضافه کرده و با استفاده از قیف و کاغذ صافی واتمن ۴۰، به ظرف پلی اتیلنی درب دار منتقل شد (EPA, 1986). پس از انجام مراحل هضم نمونه های گیاهی و خاک هضم شده، توسط دستگاه جذب اتمی AA 240 FS ساخت شرکت واریان مربوط به مرکز پژوهش های کاربردی سازمان زمین شناسی قرائت شدند. در مرحله بعد ضریب تجمع زیستی فلزات سنگین با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

غلظت فلز خاک (میلی گرم بر کیلوگرم) / غلظت فلز دریافت گیاهی (میلی گرم بر کیلوگرم) = **ضریب تجمع زیستی برای هر اندام**
 بر اساس این رابطه گیاهانی که دارای ضریب تجمع زیستی بیشتر از ۱ به خصوص در مجموع اندام های هوایی خود باشند، جهت استخراج گیاهی و آن هایی که دارای ضریب تجمع زیستی بیشتر از ۱ در ریشه و فاکتور انتقال کوچک تر از ۱ باشند، برای تثبیت گیاهی مناسب هستند. به منظور انجام آنالیزهای آماری نرم افزار SPSS ورژن ۱۶ و برای رسم جداول و نمودارها از نرم افزار Excel ۲۰۱۰ استفاده شد. برای انجام آزمون های آماری ابتدا تمام داده ها از نظر توزیع نرمال و همگنی واریانس ها داده ها توسط تست Kolmogorov-Smirnov بررسی شدند. جهت سنجش معنادار بودن تفاوت ها از آزمون تجزیه واریانس ((ANOVA و تست تکمیلی دانکن استفاده شد. وجود یا عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P < 0.05$) تعیین گردید.

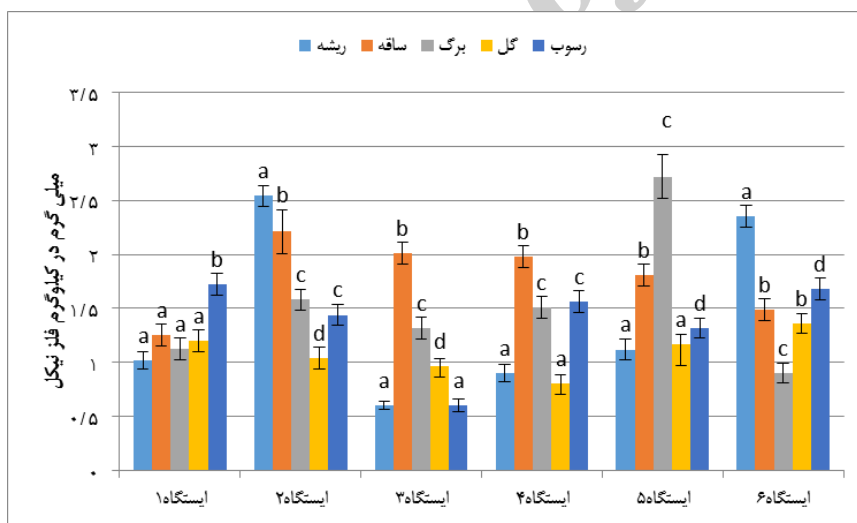
نتایج

میانگین غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و سرب در اندام های برگ، ساقه، گل، ریشه نی و همچنین در رسوبات منطقه در اشکال ۲ الی ۴ نشان داده شده است. بر این اساس، در مورد فلز کادمیوم به طور میانگین و بین تمامی ایستگاه ها، بیشترین غلظت در ریشه گیاه نی و سپس رسوب، معادل ۱/۹۹ میلی گرم بر کیلوگرم و ۱/۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان کادمیوم در گل نی با ۰/۹۱ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد.



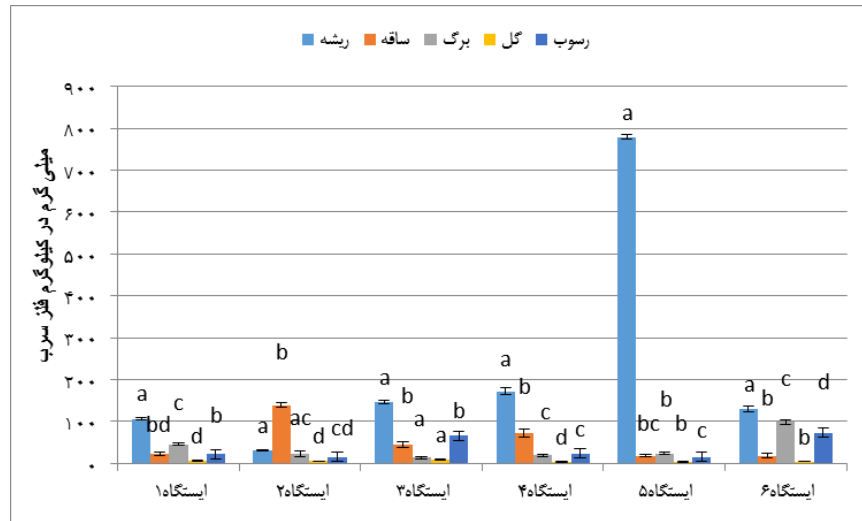
شکل ۲: مقایسه غلظت فلز کادمیوم در بافت‌های گیاه و رسوب در ایستگاه‌های مختلف در رودخانه کارون (۱۳۹۵).
(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

در مورد فلز نیکل به‌طور میانگین و بین تمامی ایستگاه‌ها، بیشترین غلظت در ساقه و سپس ریشه گیاه نی، به ترتیب معادل ۰/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۱/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان نیکل در گل نی با ۱/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد.



شکل ۳: مقایسه غلظت فلز نیکل در بافت‌های گیاه و رسوب در ایستگاه‌های مختلف در رودخانه کارون (۱۳۹۵).
(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

در مورد فلز سرب به‌طور میانگین و بین تمامی ایستگاه‌ها، بیشترین غلظت در ریشه و سپس ساقه گیاه نی، به ترتیب معادل ۱۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۴۹/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان سرب در گل نی با ۵/۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد.



شکل ۴: مقایسه غلظت فلز سرب در بافت‌های گیاه و رسوب در ایستگاه‌های مختلف در رودخانه کارون (۱۳۹۵).

(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

در بین سه فلز سنگین اندازه‌گیری شده، بیشترین غلظت در رسوبات متعلق به سرب (۷۳/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار مربوط به فلز نیکل (۰/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۲). همچنین بیشترین غلظت در بین فلزات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های گیاه مربوط به فلز سرب و کمترین مقدار مربوط به فلز نیکل به دست آمد.

جدول ۲: غلظت فلزات کادمیوم، نیکل و سرب (میانگین \pm انحراف معیار) در رسوبات رودخانه کارون.

غلظت فلز (میلی‌گرم در کیلوگرم)						
ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵	ایستگاه ۶	
۱/۸۹±۰/۱۲ ^a	۱/۰۳±۰/۰۹ ^c	۱/۲۹±۰/۰۳ ^d	۱/۷۸±۰/۰۱ ^a	۲/۱۱±۰/۱۱ ^{ab}	۱/۰۳±۰/۰۱ ^c	کادمیوم
۱/۷۲±۰/۱۴ ^a	۱/۴۴±۰/۱۵ ^{ab}	۰/۶۴±۰/۰۶ ^c	۱/۵۶±۰/۱۱ ^a	۱/۳۲±۰/۰۹ ^b	۱/۶۸±۰/۱۰ ^a	نیکل
۲۲/۲۰±۲/۰۳ ^a	۱۵/۵۰±۵/۸۰ ^a	۶۵/۹۰±۴/۸۰ ^b	۲۳/۹۰±۶ ^a	۱۵/۳۲±۲/۴۰ ^a	۷۳/۵۰±۱/۹۰ ^c	سرب

جدول ۳، ضریب تجمع فلزات در بافت‌های گیاه نی رودخانه کارون را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۳ ضریب تجمع زیستی کادمیوم، نیکل و سرب در برگ، گل، ریشه، ساقه و رسوب نشان می‌دهد که در دو بافت ریشه و ساقه، فلز سرب (۳/۸۴ در ریشه و ۲/۵۵ در ساقه) در مقایسه با دو فلز نیکل و کادمیوم به‌طور معنی‌داری ضریب تجمع بالاتری داشتند ($P < 0.05$). در بافت گل فلز سرب (۰/۲۱) به‌طور معنی‌داری کمترین ضریب تجمع را در مقایسه با کادمیوم و نیکل داشت ($P < 0.05$) و در مورد بافت برگ اختلاف معنی‌داری بین سه فلز از نظر ضریب تجمع وجود نداشت ($P > 0.05$).

جدول ۳: مقایسه ضریب تجمع زیستی در بافت‌های گیاه نی رودخانه کارون.

	غلظت فلز		
	سرب	نیکل	کادمیوم
ریشه	۳/۸۴±۰/۸۹ ^b	۱/۰۲±۰/۱۸ ^a	۱/۲۹±۰/۱۵ ^a
ساقه	۲/۵۵±۱/۳۴ ^b	۱/۴۷±۰/۳۴ ^a	۰/۹۸±۰/۱۵ ^a
برگ	۱/۲۴±۰/۲۵ ^a	۱/۲۳±۰/۲۷ ^a	۱/۰۱±۰/۲۰ ^a
گل	۰/۲۱±۰/۰۴ ^b	۰/۸۵±۰/۱۳ ^a	۰/۶۹±۰/۱۹ ^a

حروف غیرمشابه نشان از اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ دارد.

در کشور ما متأسفانه به دلیل عدم وجود استانداردهای خاص برای درجه آلودگی رسوب، از استانداردهای موجود در دیگر کشورها و یا استانداردهای جهانی استفاده می‌شود. فلزات سنگین با برخی از استانداردهای کیفیت در جهان از جمله استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)، استاندارد کیفیت رسوب کانادا و نیویورک (ISQGs) 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 کم‌تر از ۲۰ درصد جوامع بیولوژیکی درخطرند) و ERM (حدی که کمتر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیکی درخطرند)، 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 زیان‌آور می‌شود) ارائه شده است. در استاندارد کیفیت رسوب نیویورک نیز دو محدوده کمترین اثرات و محدوده اثرات شدید تعریف شده است.

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

سرب	نیکل	کادمیوم		
۸	۲۰/۹	۱/۲	ERL	استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)
۲۱۸	۵۱/۶	۹/۶	ERM	
۳۵	۱۶	۰/۶	ISQGs	استاندارد کیفیت رسوب کانادا
۹۱/۳	۷۵	۳/۵	PEL	
۳۲	۱۶	۰/۶	Lowest effects range	استاندارد کیفیت رسوب نیویورک
۱۱۰	۵۰	۹	Sever effects range	
۱/۱۰	۱/۴۳	۱/۹۹	رودخانه کارون	ریشه
۴/۹۹	۱/۷۹	۱/۳۹	رودخانه کارون	ساقه
۳/۷۷	۱/۵۴	۱/۳۸۳	رودخانه کارون	برگ
۵/۷۰	۱/۱۰	۰/۹۱۱	رودخانه کارون	گل
۳/۶۰	۱/۳۹	۱/۵۲	رودخانه کارون	رسوب

بحث و نتیجه‌گیری

کادمیوم فلزی سمی و غیرضروری برای گیاه است که معمولاً در حضور عنصر روی در طبیعت وجود دارد. نتایج مطالعه Smolyakov (۲۰۱۲) نشان داد ریشه گیاه نی به مقدار قابل توجهی کادمیوم را جذب می‌کند. کادمیوم هم خاصیت انفعالی و هم خاصیت متابولیکی دارد و به راحتی توسط گیاه جذب می‌شود. مطابق نمودار شماره ۲ بیشترین میانگین غلظت کادمیوم در ایستگاه ۴ و در ریشه گیاه نی با مقدار و کمترین

میانگین غلظت کادمیوم نیز در ایستگاه ۴ ولی در بافت گل گیاه نی به دست آمد، با توجه به مقدار بالای جذب در اندام ریشه، احتمالاً این فرآیند بر میزان جذب در سایر اندامها تأثیر داشته است. بر اساس جدول شماره ۲ بیشترین میانگین غلظت کادمیوم در رسوبات ایستگاه ۵ و کمترین میانگین غلظت کادمیوم در رسوبات ایستگاه ۶ به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، جذب فلز کادمیوم به ترتیب در ایستگاهها از روند زیر پیروی می کند:

ایستگاه ۵ < ایستگاه ۱ < ایستگاه ۴ < ایستگاه ۳ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۶

همچنین ضریب تجمع زیستی فلز کادمیوم نشان داد که بافت ریشه با (۱/۲۹) بالاترین ضریب تجمع زیستی این فلز را دارد و بافت گل (۰/۶۹) کمترین مقدار را دارا می باشد، بر این اساس می توان گفت که ریشه توانایی بسیار خوبی برای تجمع فلز کادمیوم را دارد و جاذب خوبی برای این فلز به شمار می آید. نتایج مطالعات Sasmaz and Obek (۲۰۰۸) و Demirezen and Aksoy (۲۰۰۴) نشان داد که با توجه به خاصیت تحرک این فلز، مقدار آن در قسمت های مختلف گیاه بیشتر از رسوبات و از همبستگی بالایی برخوردار بوده است که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مغایرت دارد.

نیکل (Ni) از جمله فلزات سنگین می باشد که دارای اثرات سمی بر گیاهان می باشد. البته از نحوه انتقال در گیاهان و شکل های شیمیایی آن در طبیعت اطلاعات چندانی در دست نمی باشد (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱). مطابق نمودار شماره ۳ بیشترین میانگین غلظت نیکل در ایستگاه ۵ و در برگ گیاه نی و کمترین میانگین غلظت نیکل در ایستگاه ۳ و در ریشه گیاه نی به دست آمد. بر اساس جدول شماره ۲ بیشترین میانگین غلظت نیکل در رسوبات ایستگاه ۱ و کمترین میانگین غلظت نیکل در رسوبات ایستگاه ۳ به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، جذب نیکل به ترتیب در ایستگاهها از روند زیر پیروی می کند:

ایستگاه ۱ < ایستگاه ۶ < ایستگاه ۴ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۵ < ایستگاه ۳

همچنین ضریب تجمع زیستی فلز نیکل نشان داد که بافت ساقه با (۱/۴۷) بالاترین ضریب تجمع زیستی این فلز را داشت و بافت گل (۰/۸۵) کمترین مقدار را دارا بود، بر این اساس می توان گفت که ساقه توانایی بسیار خوبی برای انتقال فلز نیکل به بخش های هوایی گیاه نی را دارد و جاذب خوبی برای این فلز به شمار می آید.

نتایج مطالعه قناد پور (۱۳۹۰) نشان داد که تجمع فلز نیکل در رسوب و سایر بخش های گیاه دارای همبستگی نمی باشد و تجمع فلز نیکل در برگ بیشتر از سایر قسمت های گیاه می باشد که با نتایج به دست آمده در این تحقیق هم خوانی داشت.

سرب (Pb) از فلزات سنگین می باشد که اثرات سمی بر گیاهان می گذارد، البته سمیت سرب برای رشد گیاهان نسبت به سمیت نیکل و کادمیوم در گیاهان کمتر است. کرباسی (۱۳۸۶) نشان داد سمیت در گیاهان از مدل زیر پیروی می کند:

سرب > آهن = منگنز > روی = آرسنیک > نیکل = کبالت > مس > کادمیوم. همچنین تحقیقات Bonanno and Giudice (۲۰۱۰)

نشان داد سرب به دلیل تحرک کم آن نسبت به نیکل و کادمیوم بیشتر تمایل جذب به ذرات خاک و تجمع در ریشه را دارد و به مقدار کم در اندام های بالایی تجمع می کند.

بر اساس شکل شماره ۴ بیشترین میانگین غلظت سرب در ایستگاه ۴ و در ریشه گیاه نی و کمترین میانگین غلظت سرب نیز در ایستگاه ۴ ولی در بافت گل گیاه نی به دست آمد، روند جذب کادمیوم هم از همین الگو پیروی نمود و در مورد سرب نیز احتمالاً جذب بالای سرب در اندام ریشه بر فرآیند جذب سایر اندامها اثر گذاشته و آن ها را کاهش داده است. بر اساس جدول شماره ۲، بیشترین میانگین غلظت سرب در رسوبات ایستگاه ۶ و کمترین میانگین غلظت سرب در رسوبات ایستگاه ۵ به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، جذب سرب به ترتیب در ایستگاهها از روند زیر پیروی می نماید:

ایستگاه ۶ < ایستگاه ۳ < ایستگاه ۴ < ایستگاه ۱ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۵

ضریب تجمع زیستی فلز سرب نشان داد که بافت ریشه با (۳/۸۴) بالاترین ضریب تجمع زیستی این فلز را دارد و بافت گل (۰/۲۱) کمترین مقدار را دارا می‌باشد، بر این اساس می‌توان گفت که ریشه توانایی بسیار خوبی برای انتقال فلز سرب به بخش‌های هوایی گیاه نی را دارد و جاذب خوبی برای این فلز به شمار می‌آید. همچنین همبستگی بین بافت‌های گیاه و رسوبات مشاهده نشد.

نتایج مطالعه قنادپور (۱۳۹۰) نشان داد که فلز سرب در بخش‌های گیاه لویی و رسوب رودخانه اروند از همبستگی بالایی برخوردار است و تجمع فلز سرب در رسوب بالاتر از سایر بخش‌های گیاه لویی بود که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق مغایرت دارد. همچنین نتایج مطالعه Sasmaz and Obek (۲۰۰۸) و Manios و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که میزان تجمع فلز سرب در بافت برگ بیشتر از سایر قسمت‌های گیاه است که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق مغایرت دارد.

به‌طور کلی می‌توان گفت که احتمال دارد قسمت اعظم فلزات اندازه‌گیری شده ناشی از بخش انسان‌ساخت و عوامل آلاینده صنعتی در منطقه بوده باشد. بسیاری از صنایع هم‌اکنون فاضلاب‌های خروجی خود را که بسیار آلوده هستند به رودخانه کارون می‌ریزند، این کار سبب افزایش بار آلودگی رودخانه می‌گردد، این فاضلاب‌ها معمولاً به فلزات سنگین آغشته می‌باشند. هم‌اکنون پساب شرکت کاغذسازی پارس، نیشکر هفت‌تپه، نیشکر کارون، نیروگاه حرارتی رامین، نیروگاه حرارتی زرگان و گروه ملی فولاد نیز به رودخانه کارون می‌ریزد. پساب بیمارستان گلستان، به‌صورت بخشی تصفیه‌شده و سپس وارد کارون می‌شود، اما تصفیه کامل صورت نمی‌گیرد، به‌گونه‌ای که آلاینده‌های خطرناک بیمارستان در مرحله نخست تصفیه‌شده و سپس این پساب‌ها به همراه پساب آبیاری فضای سبز بیمارستان و فاضلاب دیگر مصارف وارد کارون می‌شود؛ بنابراین، فاضلاب‌های شهری، مسکونی، تجاری، مؤسسات، صنعتی، کشاورزی و سیلاب‌ها از مهم‌ترین موارد آلودگی رودخانه کارون هستند. با توجه به ضریب تجمع زیستی بالا در اندام ریشه و ساقه گیاه نی پیشنهاد می‌شود در رودخانه کارون آلودگی در این گیاه در بازه‌های مختلف رودخانه استفاده شود. همچنین می‌توان جذب فلزات سنگین را در گونه‌های دیگر در رودخانه موردسنجش قرارداد.

به‌طور کلی و به‌منظور بررسی علت بالا بودن مقادیر فلزات سنگین در محدوده و ایستگاه‌های مطالعاتی، پیشنهاد می‌گردد تعیین سهم طبیعی و انسان‌ساخت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون با توجه به منابع آلاینده و پراکنش آن‌ها در منطقه صورت پذیرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد با توجه به جذب بالای فلزات سنگین در گونه مورد مطالعه، این گیاه در مناطق آلوده و اکوسیستم‌های آبی با شرایط اکولوژیکی مشابه مورد استفاده قرار گیرد، زیرا می‌توان به‌عنوان یکی از موارد تکنولوژی پالایش فلزات سنگین به‌عنوان تکنولوژی‌های برجا آن را اعمال نمود و در کاهش و جلوگیری از ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی از آن استفاده کرد.

منابع

- اسماعیلی ساری، ع.، ۱۳۸۱. آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط‌زیست. چاپ اول، انتشارات نقش مهر. ۷۹۸ ص.
- افیونی، م. و عرفان منش، م.، ۱۳۸۴. آلودگی محیط‌زیست: آب، خاک و هوا. انتشارات ارکان، ۳۱۸ ص.
- خسروی، م. و بهرامی، ن.، ۱۳۹۰. بررسی آلودگی فلزات سنگین (Cu و Cd, Pb, Hg, Zn) در رسوب سه بخش تالاب انزلی، فصلنامه سلامت و محیط‌زیست، جلد ۲: صفحات ۲۳۲-۲۳۳.
- قنادپور، ج.، ۱۳۹۰. بررسی تجمع و منشأ فلزات سنگین سرب، روی، نیکل و کادمیوم در گیاه لویی و رسوبات رودخانه اروند. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان، ۷۲ ص.
- کرباسی، غ.، ۱۳۸۶. تفکیک شیمیایی عناصر سنگین در رسوبات بخش مرکزی خلیج فارس. مجله زیست‌شناسی دریا، جلد ۲۳: صفحات ۴۸۶-۴۷۹.
- مددی نیا، ح.، منوری، م.، کرباسی، ع.، نبوی، م. ب. و رجب‌زاده، ا.، ۱۳۹۳. بررسی کیفی آب رودخانه‌ی کارون در بازه‌ی اهواز با استفاده از شاخص کیفی آب. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، جلد ۱: صفحات ۶۰-۴۹.

Bonanno, G. and Lo Giudice, R., 2010. Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. *Ecological Indicators*, 10: 639-645.

- Burgess, G.L., 2015.** Effects of Heavy Metals on Benthic Macroinvertebrates in the Cordillera Blanca, Peru, WWU Master Thesis Collection, 414 pp.
- Das, S., Goswami, S. and Das Talukadar, A., 2016.** Physiological responses of water hyacinth, *Eichhornia crassipes* Solms, to cadmium and its phytoremediation potential. *Turkish Journal of biology*, 40: 84-94.
- Demirezen, D. and Aksoy, A., 2004.** Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). *Chemosphere*, 56: 685-696.
- EPA, 1986.** Exposure and risk assessment for zine. Office of Water Regulations and Standards (WH-553) EPA 440/ 4-81-016. PB85-212009, pp. 553-565.
- EPA, 1989.** EPA Superfund Record of Decision: picatinny Arsenal (US Army) Rockaway Township, NJ. U.S. Environmental protection Agency superfund, pp. 371-463.
- Ertekin, A., Kosesakal, T., Nlü, V. S., Daglı, S., Pelitli, V., Uzyol, H., Tuna, Y., Kulen, O., Yuksel, B. and Onarici, S., 2015.** Phytoremediation potential of *Landoltia punctata* on petroleum hydrocarbons. *Turkish Journal Botone*, 39: 23-29.
- Jackson, M. L., 1958.** Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Klink, A., Wislocka, M. and Musial, M., 2014.** Macro- and Trace-Elements Accumulation in *Typha angustifolia* L. and *Typha latifolia* L. Organs and their Use in Bioindication. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22:183-190.
- Manios, T., Stentiford, E. I. and Millner, P., 2003.** Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by *Typha latifolia* plants and sewage sludge compost. *Chemosphere*, 53: 487-494.
- Phillips, D. and Human, L., 2015.** Wetland plants as indicators of heavy metal contamination. *Marine Pollution Bulletin*, 15:227-232.
- Sasmaz, A. and Obek, E., 2008.** The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent. *Ecological engineering*, 33: 278-284.
- Smolyakov, B. S., 2012.** Uptake of Zn, Cu, Pb, and Cd by water hyacinth in the initial stage of water system remediation. *Appl Geochem*, 27:1214-1219.