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

**ژاله محمدزاده[۱و۲]**
**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.**

## چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی تجمع فلزات سنگین (Ni,Pb,Cd) در رسوبات رودخانه کارون و در گیاه آبزی نی (*Phragmites australis*) انجام گردید. نمونه‌برداری 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 به‌وسیله دستگاه جذب اتمی قرائت شدند. نتایج غلظت فلزات سنگین موردبررسی در بافت‌های مختلف گیاه نی و رسوبات نشان داد که بیشترین غلظت فلز کادمیوم و سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در ریشه گیاه نی در ایستگاه ۴ به ترتیب به میزان (۲/۸۱±۰/۷۹) و (۱۷۲±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) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۶، کادمیوم (۲/۱۱±۰/۱۱) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۵ و نیکل (۱/۷۲±۰/۱۴) میلی‌گرم 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 به‌عنوان گیاهان تجمع‌کننده فلزات سنگین در رودخانه‌ها استفاده کرد.

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

## مقدمه

آلودگی آب‌وخاک با فلزات سنگین بزرگ‌ترین نگرانی برای سلامت انسان می‌باشد. این عناصر به‌عنوان آلاینده براثر 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 قابل‌توجه 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 واردشده و درنهایت به اقیانوس‌ها می‌ریزند. فلزات



[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11 ]

سنگین به‌صورت محلول در آب‌وخاک واردشده، 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 تجزیه‌شده 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 آبزیانی که در معرض این فلزات زندگی می‌کنند، مبتلابه انواع بیماری‌های شناخته‌شده و یا ناشناخته می‌گردند (خسروی و بهرامی، ۱۳۹۰). فلزاتی که تجزیه یا دفع نشوند در بدن موجود باقی‌مانده و به‌طور مستمر انباشته‌شده و مقدار آن به‌تدریج زیاد می‌شود. این پدیده به‌عنوان تجمع زیستی شناخته‌شده است (Phillips and Human, 2015).

رسوبات منابع آبی ازجمله 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 بامطالعه آن‌ها می‌توان به سهولت مقدار و نوع آلودگی را مشخص نمود (Klink *et al.*, 2014). از طرفی گیاهان قادر به ذخیره و جمع‌کردن برخی از مواد آلاینده به‌خصوص فلزات سنگین هستند، این گیاهان از فرآیندهای زیستی متنوع گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی خود به کاهش و رفع آلودگی کمک می‌کنند که به گیاه‌پالایی تعریف می‌شود (Ertekin *et al.*, 2015). ازجمله این گیاهان که سریع الرشد 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 واقع‌شده 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 ازآنجاکه منابعی ازجمله 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 انجام‌شده است.

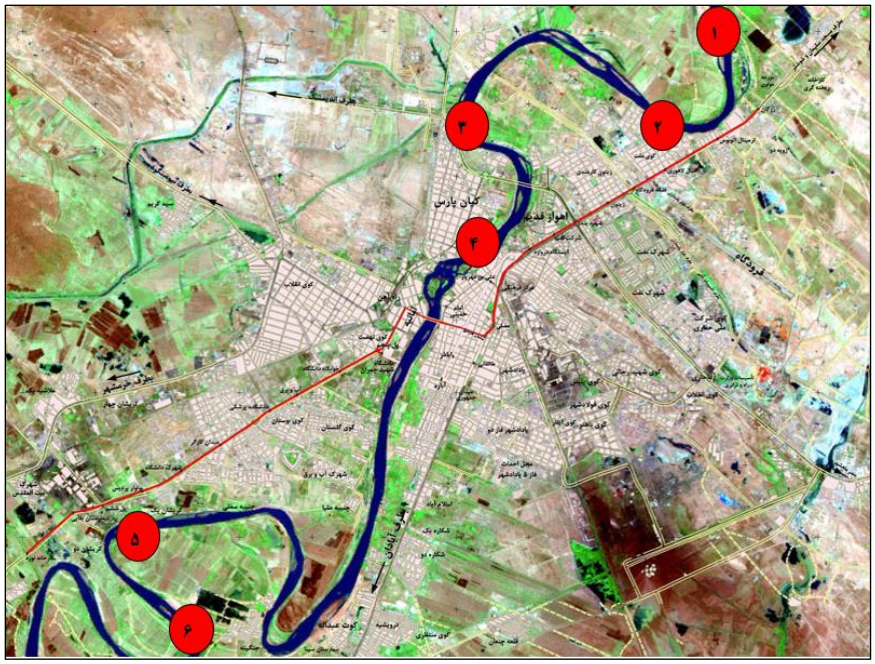
## مواد و روش‌ها

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 ازنظر امکانات ارتباطی و فاصله) و انعکاس شرایط و وضعیت واقعی منطقه موردمطالعه و همچنین با در نظر گرفتن فواصل ایستگاه‌ها نسبت به هم و پوشش دادن کل محدوده موردمطالعه 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 ارائه‌شده است.

[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11 ]

**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 | ۳۴۷۹۳۸۹ | 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 موردمطالعه در رودخانه کارون.**

نمونه‌برداری از رسوبات و گیاهان منطقه موردمطالعه 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 جمع‌آوری‌شده 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 جمع‌آوری‌شده 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 ارلن ها را بر روی هیتر با دمای ۸۰ الی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در زیر هود قرار داده و عمل حرارت دادن به‌ملایمت آغاز تا بخار خرمایی‌رنگی از تمامی نمونه‌ها متصاعد شود. پس از گذشت ۱۰ دقیقه مقدار ۲ سی‌سی آب‌اکسیژنه ۳۰ درصد به هر یک



[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11 ]

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

برای هضم نمونه‌های خاک از روش EPA 3050 استفاده شد. در این روش نمونه‌های جمع‌آوری‌شده به مدت ۲۴ 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. سپس ۰/۵ گرم از رسوبات با اضافه کردن ۵ قطره اسیدکلریدریک ۱ نرمال و ۵ سی‌سی تیزاب سلطانی بر روی هیتر برقی با دمای ۱۰۰ الی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه در زیر هود حرارت داده شد تا رنگ نمونه‌ها تیره شد و بخار اسید از آن خارج شود سپس به هریک از نمونه‌ها ۳ سی‌سی اسید پرکلریک اضافه نموده و تا رسیدن حجم نمونه‌ها به ۲ الی ۳ سی‌سی 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 پلی‌اتیلنی درب دار منتقل شد (EPA,1986). پس از انجام مراحل هضم نمونه‌های گیاهی و خاک هضم شده، توسط دستگاه جذب اتمی AA 240 FS ساخت شرکت واریان مربوط به مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی قرائت شدند. در مرحله بعد ضریب تجمع زیستی فلزات سنگین با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

غلظت فلز خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) / غلظت فلز دریافت گیاهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) = **ضریب تجمع زیستی برای هر اندام**

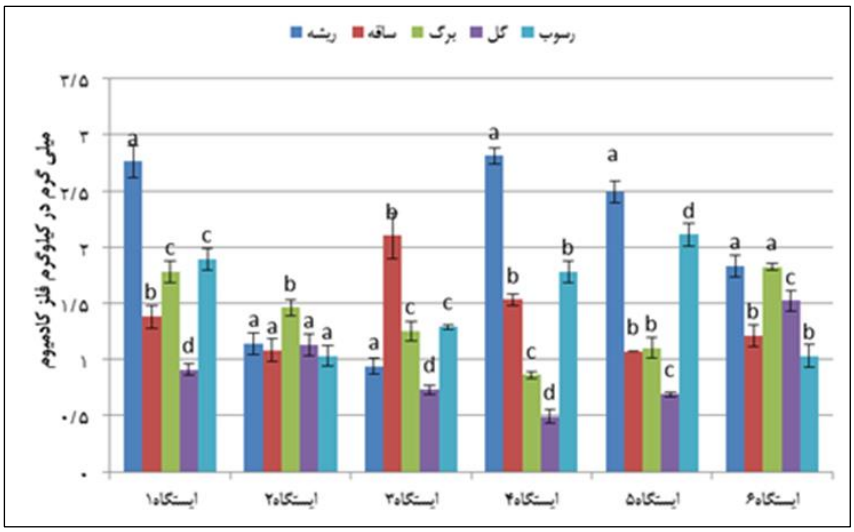
بر اساس این رابطه گیاهانی که دارای ضریب تجمع زیستی بیشتر از ۱ به‌خصوص درمجموع اندام‌های هوایی خود باشند، جهت استخراج گیاهی و آن‌هایی که دارای ضریب تجمع زیستی بیشتر از ۱ در ریشه و فاکتور انتقال کوچک‌تر از ۱ باشند، برای تثبیت گیاهی مناسب هستند.

به‌منظور انجام آنالیزهای آماری نرم‌افزار SPSS ورژن ۱۶ و برای رسم جداول و نمودارها از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۰ استفاده شد. برای انجام آزمون‌های آماری ابتدا تمام داده‌ها ازنظر توزیع نرمال و همگنی واریانس‌ها داده‌ها توسط تست Kolmogorov-Smirnov بررسی شدند. جهت سنجش معنادار بودن تفاوت‌ها از آزمون تجزیه واریانس ((ANOVA و تست تکمیلی دانکن استفاده شد. وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P < ۰/۰۵$) تعیین گردید.

## نتایج

میانگین غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و سرب در اندام‌های برگ، ساقه، گل، ریشه نی و همچنین در رسوبات منطقه در اشکال ۲ الی ۴ نشان داده‌شده است. بر این اساس، در مورد فلز کادمیوم به‌طور میانگین و بین تمامی ایستگاه‌ها، بیشترین غلظت در ریشه گیاه نی و سپس رسوب، معادل ۱/۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۱/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان کادمیوم در گل نی با ۰/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد.

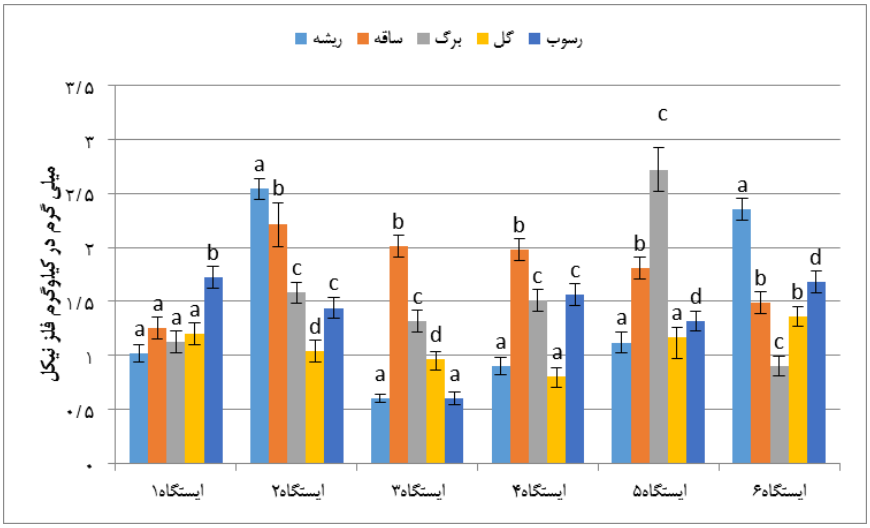
[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11 ]




**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.

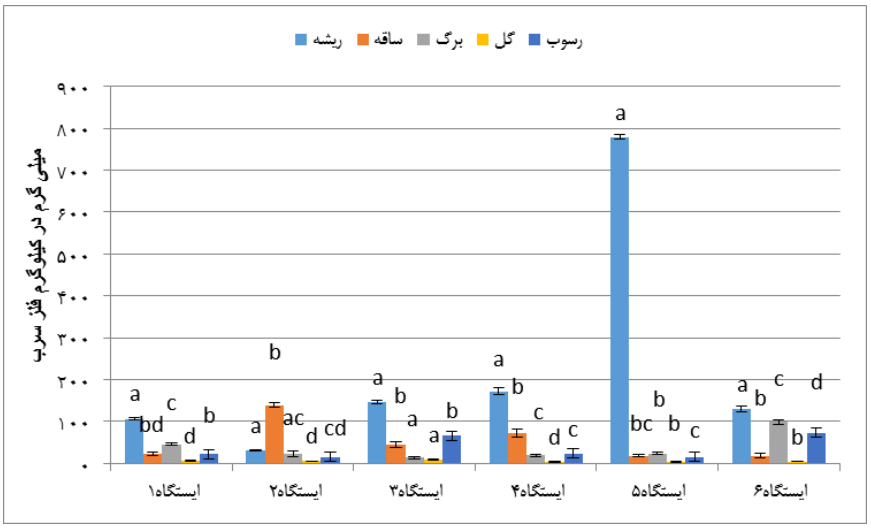



**شکل ۳: مقایسه غلظت فلز نیکل در بافت‌های گیاه و رسوب در ایستگاه‌های مختلف در رودخانه کارون (۱۳۹۵).**

(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.

[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11 ]




**شکل ٤: 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 ± انحراف معیار) در رسوبات رودخانه کارون.**

| | غلظت فلز (میلی‌گرم در کیلوگرم) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ایستگاه ۱ | ایستگاه ۲ | ایستگاه ۳ | ایستگاه ٤ | ایستگاه ٥ | ایستگاه ٦ |
| کادمیوم | ۱/۸۹±۰/۱۲$^{a}$ | ۱/۰۳±۰/۰۹$^{c}$ | ۱/۲۹±۰/۰۲$^{d}$ | ۱/۷۸±۰/۰۱$^{a}$ | ۲/۱۱±۰/۱۱$^{ab}$ | ۱/۰۳±۰/۰۱$^{c}$ |
| نیکل | 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 $^{a}$ |
| سرب | ۲۲/۲۰±۲/۰۲$^{a}$ | ۱۵/۵۰±۵/۸۰$^{a}$ | ۶۵/۹۰±۴/۸۰$^{b}$ | ۲۳/۹۰±۶$^{a}$ | ۱۵/۳۳±۲/۴۰$^{a}$ | ۷۳/۵۰±۱/۹۰$^{c}$ |

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 ($P<۰/۰۵$). در بافت گل فلز سرب (۰/۲۱) به‌طور معنی‌داری کمترین ضریب تجمع را در مقایسه با کادمیوم و نیکل داشت ($P<۰/۰۵$) و در مورد بافت برگ اختلاف معنی‌داری بین سه فلز ازنظر ضریب تجمع وجود نداشت ($P>۰/۰۵$).

[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11 ]

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

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

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 ازجمله استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)، استاندارد کیفیت رسوب کانادا و نیویورک (ISQGs) در جدول ۴ ارائه‌شده است. در کیفیت رسوب آمریکا دو سطح خطر برای آلودگی فلزات در رسوبات بیان‌شده است که به‌صورت ERL (حدی که کم‌تر از ۲۰ درصد جوامع بیولوژیکی درخطرند) و ERM (حدی که کمتر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیکی درخطرند)، ارائه‌شده است. در استاندارد کیفیت رسوب کانادا نیز یک سطح خطر برای آلودگی فلزات در رسوبات مطرح‌شده که به‌صورت PEL (سطوحی که باعث اثرات زیان‌آور می‌شود) ارائه‌شده است. در استاندارد کیفیت رسوب نیویورک نیز دو محدوده کمترین اثرات و محدوده اثرات شدید تعریف‌شده است.

**جدول ٤: استاندارد کیفیت رسوب آمریکا و کانادا برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم.**

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

## 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 قابل‌توجهی کادمیوم را جذب می‌کند. کادمیوم هم خاصیت انفعالی و هم خاصیت متابولیکی دارد و به‌راحتی توسط گیاه جذب می‌شود. مطابق نمودار شماره ۲ بیشترین میانگین غلظت کادمیوم در ایستگاه ۴ و در ریشه گیاه نی با مقدار و کمترین

[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11 ]

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 به‌دست‌آمده، جذب فلز کادمیوم به ترتیب در ایستگاه‌ها از روند زیر پیروی می‌کند:

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 می‌باشد، بر این اساس می‌توان گفت که ریشه توانایی بسیار خوبی برای تجمع فلز کادمیوم را دارد و جاذب خوبی برای این فلز به شمار می‌آید. نتایج مطالعات Sasmaz and Obek (۲۰۰۸) و Demirezen and Aksoy (۲۰۰۴) نشان داد که با توجه به خاصیت تحرک این فلز، مقدار آن در قسمت‌های مختلف گیاه بیشتر از رسوبات و از همبستگی بالایی برخوردار بوده است که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق مغایرت دارد.

نیکل (Ni) ازجمله فلزات سنگین می‌باشد که دارای اثرات سمی بر گیاهان می‌باشد. البته از نحوه انتقال در گیاهان و شکل‌های شیمیایی آن در طبیعت اطلاعات چندانی در دست نمی‌باشد (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 به‌دست‌آمده، جذب نیکل به ترتیب در ایستگاه‌ها از روند زیر پیروی می‌کند:

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 می‌توان گفت که ساقه توانایی بسیار خوبی برای انتقال فلز نیکل به بخش‌های هوایی گیاه نی را دارد و جاذب خوبی برای این فلز به شمار می‌آید.

نتایج مطالعه قناد پور (۱۳۹۰) نشان داد که تجمع فلز نیکل در رسوب و سایر بخش‌های گیاه دارای همبستگی نمی‌باشد و تجمع فلز نیکل در برگ بیشتر از سایر قسمت‌های گیاه می‌باشد که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق هم‌خوانی داشت.

سرب (Pb) از فلزات سنگین می‌باشد که اثرات سمی بر گیاهان می‌گذارد، 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 می‌کند:

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 اندام‌های بالایی تجمع می‌کند.

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 آن‌ها 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 به‌دست‌آمده، جذب سرب به ترتیب در ایستگاه‌ها از روند زیر پیروی می‌نماید:

ایستگاه ۶ > ایستگاه ۳ > ایستگاه ۴ > ایستگاه ۱ > ایستگاه ۲ > ایستگاه ۵

[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11 ]

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.

به‌طورکلی 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.

به‌طورکلی 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 موردمطالعه، این گیاه در مناطق آلوده و اکوسیستم‌های آبی با شرایط اکولوژیکی مشابه مورداستفاده 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.، ۱۳۸٤.** آلودگی محیط‌زیست: آب، خاک و هوا. انتشارات ارکان، ۳۱۸ ص.

**خسروی، م. و بهرامی، ن.، ۱۳۹۰.** بررسی آلودگی فلزات سنگین (Cd،Pb،Hg،Zn و Cu) در رسوب سه بخش تالاب انزلی، فصلنامه سلامت و محیط‌زیست، جلد ۲: صفحات ۲۳۲-۲۲۳.

**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.، ۱۳۸٦.** تفکیک شیمیایی عناصر سنگین در رسوبات بخش مرکزی خلیج‌فارس. 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.


[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11 ]

**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 Jiurnal 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. Envirionmental 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 Onarıcı, 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., Wisłocka, 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.

[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-11 ]