

پایش زیستی فلزات سنگین با استفاده از گیاه نی (*Phragmites australis*)

در تالاب هشیلان کرمانشاه

نمر مرتضوی^{۱*}

mortazavi.s@gmail.com

جمال رحمانی^۲

عاطفه چمنی^۳

تاریخ پذیرش: 95/5/6

تاریخ دریافت: 95/1/15

چکیده

زمینه و هدف: از مهم‌ترین روش‌های بررسی فلزات سنگین، استفاده از گونه‌های ماکروفیت بعنوان پایشگرهای زیستی می‌باشد که به-عنوان شاخصی مناسب جهت بیان کیفیت محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر به منظور بررسی وضعیت آلودگی تالاب هشیلان کرمانشاه و تأثیر گونه غالب گیاهی *Phragmites australis* در منطقه، غلظت فلزات سنگین Cu, Pb, Zn در اندام-های زیرزمینی و هوایی گیاه نی و رسوبات سطحی تالاب، مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: آماده‌سازی نمونه‌ها با اسید نیتریک، پر کلریک و پراکسید اکسیژن آن جام گرفت و غلظت عناصر مورد مطالعه با دستگاه جذب اتمی اندازه گیری گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل نشان داد، غلظت فلزات مس، سرب و روی در رسوبات به ترتیب 6/17، 47/23 و 24/21 میکروگرم بر گرم می‌باشد. همچنین میانگین غلظت فلز مس در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاه نی 2/738 و 2/190، فلز سرب 15/143 و 13/02 و برای فلز روی 6/11 و 6/37 میکروگرم بر گرم وزن خشک بدست آمد که بیشترین تجمع فلزات در اندام‌های زیرزمینی گیاه بود. بالا بودن مقدار شاخص انتقال برای فلز روی بیانگر توانایی بالای انتقال این فلز در گیاه است.

بحث و نتیجه گیری: در همین راستا بین غلظت فلز روی در اندام‌های زیرزمینی و اندام‌های هوایی همبستگی مثبت و معنی داری وجود دارد؛ لذا احتمال می‌رود اندام زیرزمینی گیاه نی، پایشگری مناسب برای آلودگی ناشی از عنصر روی در رسوبات منطقه باشد.

واژه‌های کلیدی: تالاب هشیلان، رسوب، پایشگر، فلزات سنگین، گیاه نی.

1- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران، * (مسوول مکاتبات)

2- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

3- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، گروه محیط زیست، اصفهان، ایران

Biomonitoring of Heavy Metals using *Phragmites australis* in Hashilan Wetland, Kermanshah

Smar Mortazavi ^{1*}

mortazavi.s@gmail.com

Jamal Rahmani ²

Atefeh Chamani ³

Admission Date: July 27, 2016

Date Received: April 3, 2016

Abstract

Background and Objective: One of the most important methods to investigate heavy metals is to apply bio-monitors used as an appropriate index to express the environment quality. In this study, the concentrations of such heavy metals as Zn, Pb and Cu in the underground and aerial organs of *Phragmites australis* were investigated to study the pollution status in Hashilan Pond, Kermanshah and the effects of dominant species called *Phragmites australis* in the region.

Method: The samples were prepared by nitric acid, perchloric acid and peroxide oxygen and afterwards, the concentrations of elements were measured by the atomic absorption spectrometry.

Findings: Results demonstrated that the concentrations of copper, lead and zinc were estimated at 47.23, 6.17 and 24.21 in the sediments, respectively. Also, the mean concentrations of copper, lead and zinc were 2.738-2.190, 15.143-13.02 and 6.11-6.37 mg-1in the underground and aerial organs, respectively; furthermore, the highest metal concentration was related to the underground organs of plant. High values of transfer index concerning zinc indicated high ability of zinc transfer in the plant. In this regard, a positive significant correlation exists between the concentration of zinc in the underground and aerial organs;

Discussion and Conclusion: Therefore, the underground organs of reed are introduced as a suitable monitor for the resultant pollution of zinc in the regional sediments.

Key words: Biomonitor, Sediment, Hashilan wetland, Heavy metals, *Phragmites australis*.

1- Assistant Professor, department of environmental science,, Malayer University, Malayer, Iran(*Corresponding author*).

2- Ms. Graduated, Department of environmental science, Malayer University, Malayer, Iran.

3-Assistant Professor, Department of environmental science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University , Isfahan, Iran

مقدمه

رسوب، ریشه و برگ این گیاه اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ همچنین همبستگی معنی‌داری بین غلظت این فلزات در رسوب و برگ گیاه مشاهده شد (6). مطالعاتی نیز در خصوص نقش گیاه نی در جذب عناصر فسفر و نیتروژن و همچنین توانایی حذف فلزات سنگین کادمیوم، جیوه و کروم از آب‌های آلوده که به یک تالاب مصنوعی وارد می‌شوند صورت گرفت و نتایج نشان داد تجمع فلزات سنگین کادمیوم و جیوه در ساقه گیاه نی بیشتر از ریشه و غلظت فلز کروم در ریشه بیشتر از سایر اندام‌ها می‌باشد؛ در نهایت بیشترین تجمع نیتروژن و کمترین تجمع فسفر در برگ‌ها گزارش گردید (7).

از آن‌جا که سیستم‌های آبی به طور طبیعی دریافت‌کننده‌ی نهایی انواع آلاینده‌ها به ویژه فلزات سنگین می‌باشند و نیز با توجه به اهمیت تالاب ارزشمند هشیلان در منطقه، فلزات سنگین مس، روی و سرب که امکان سنجش و بررسی آن‌ها در آزمایشگاه دانشگاه مقدور می‌باشد انتخاب گردید. این عناصر با اثرات مشخص در محیط و موجودات زنده به علت انتقال آسان و سریع در زنجیره‌ی غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند.

به منظور بررسی ارتباط بین غلظت فلزات (Zn و Pb، Cu) در رسوبات و گیاه نی و پاسخگویی به این مسئله که آیا گیاه نی می‌تواند شاخص مناسبی از وضعیت آلودگی ناشی از فلزات سنگین در تالاب هشیلان باشد، غلظت فلزات در رسوبات و اندام‌های مختلف این ماکروفیت آبی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تالاب هشیلان در شمال غربی شهر کرمانشاه و در مختصات جغرافیایی $51^{\circ}46'$ تا $54^{\circ}46'$ طول شرقی و $34^{\circ}34'$ تا $34^{\circ}35'$ عرض شمالی قرار دارد (شریفی و همکاران، 1383). مطالعات میدانی و نمونه‌برداری در اواخر تیرماه سال 1393 از تالاب صورت گرفت. در نهایت پنج ایستگاه نمونه‌برداری (شمال، جنوب، مرکز، شرق و غرب) مشخص و در هر ایستگاه سه نمونه از گیاه نی درون یک قطعه 2×3 جمع‌آوری و نمونه‌های رسوب از محلی که نمونه‌ی گیاه هر ایستگاه جمع‌آوری شده بود با سه

اکوسیستم‌های آبی دریافت‌کننده‌ی نهایی فلزات سنگین هستند به همین دلیل در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به آن‌ها شده است (1). تالاب هشیلان از جمله تالاب‌های آبی کشور و زیستگاه بسیار با ارزش برای گونه‌های مختلف موجودات آبی است که در شمال غربی شهر کرمانشاه واقع شده است (2). با توجه به محصور شدن تالاب در زمین‌های کشاورزی اطراف و ورود انواع آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و همچنین ورود آب سد گاوشان که حامل فاضلاب شهر کامیاران می‌باشد؛ بررسی آلودگی آن به فلزات سنگین لازم و ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر وجود نیزارهای طبیعی تالاب که محل مناسبی برای موجودات زنده منطقه است، می‌تواند به عنوان سیستم طبیعی پالایش آب‌های آلوده‌ی شهری، صنعتی و کشاورزی عمل نماید. پایشگرهای زیستی¹ موجودات زنده‌ای هستند که توانایی تجمع آلاینده‌ها را در بافت‌های خود دارا می‌باشند به نحوی که تغییرات این تجمع هم‌سو با تغییرات میزان آلاینده در محیط باشد (3). در این میان *P. australis* به عنوان یکی از مهم‌ترین گونه‌های گیاهی است که برای تعیین فلزات سنگین و ترکیبات مضر مورد استفاده قرار می‌گیرد (4). نظر به اهمیت مطالعه گونه‌های پایشگر و پالایشگر در بوم‌سازگان‌های آبی مطالعات بسیاری در این خصوص انجام شده است. نوروزی فرد و همکاران در سال 1392 به بررسی تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف ماکروفیت آبی *Phragmites australis* و رسوبات رودخانه دز واقع در شهر دزفول پرداختند. نتایج نشان داد، بیشترین تجمع فلزات در اندام‌های زیرزمینی گیاه بوده و بین غلظت فلز سرب در رسوبات و اندام‌های زیرزمینی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (5). در سال 1391 تجمع فلزات سنگین (Cu, Pb, Ni, Cd, Zn) در رسوب، برگ و ریشه گیاه حرا (*Avicenia marina*) در بندر امام خمینی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین غلظت فلزات در رسوب و کمترین مقدار آن در برگ بوده و بین مقادیر غلظت فلز نیکل، سرب، مس و کادمیوم در

به ترتیب شاخص غنی‌شدگی، شاخص انتقال و نیز شاخص تجمع‌زیستی بکار گرفته شد.

1- شاخص غنی‌شدگی²

شاخص غنی‌شدگی به منظور برآورد شیمی رسوبات در رابطه با منابع آلودگی انسانی و طبیعی بکار می‌رود که مطابق رابطه- (1) محاسبه می‌شود (9).

$$EF = \frac{(C - C_{Min})}{(C_{Max} - C_{Min})} \times 100 \quad \text{رابطه (1)}$$

C: میانگین غلظت فلز در رسوبات (میلی گرم بر کیلوگرم)

C_{Min} و C_{Max} : غلظت کمینه و بیشینه برآورد شده در این مطالعه

2- شاخص تجمع‌زیستی

شاخص تجمع‌زیستی یا ضریب تجمع‌زیستی مشخص‌کننده‌ی توانایی گیاهان برای تحمل و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های خود بوده که برای اندام‌های هوایی از نسبت غلظت فلز در اندام هوایی به غلظت فلز در رسوب و برای اندام زیرزمینی از نسبت غلظت فلز در اندام زیرزمینی به غلظت فلز در رسوب، بدست می‌آید (10).

3- شاخص انتقال

شاخص انتقال یا ضریب انتقال نشان‌دهنده‌ی توانایی خاص گیاهان برای جذب و انتقال فلزات از رسوبات و سپس ذخیره‌ی آن‌ها در بخش‌های بالایی سطح زمین است (11) مقادیر این شاخص از نسبت بین غلظت فلز در اندام هوایی به غلظت فلز در اندام زیرزمینی محاسبه می‌گردد.

نتایج

مقایسه‌ی غلظت فلزات سنگین در رسوبات و اندام‌های

گیاه نی

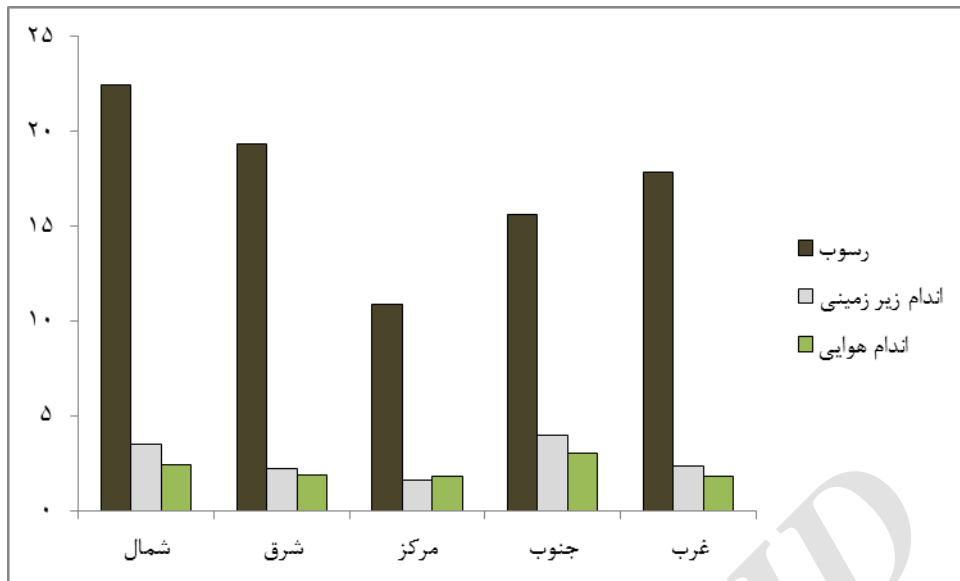
شکل (1، 2 و 3) به ترتیب نمودار مقایسه‌ی میزان غلظت فلز مس، سرب و روی در رسوبات، اندام زیرزمینی و اندام هوایی گیاه نی در ایستگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

تکرار از لایه‌ی سطحی (صفر تا 5 سانتی‌متر) بدلیل تغییرات دانه بندی از ریز به درشت برداشت گردید. موقعیت‌های جغرافیایی و مشخصات هر ایستگاه ثبت، نمونه‌ها کدگذاری شدند و در یخدان محتوی یخ به آزمایشگاه منتقل و نمونه‌های گیاهی ابتدا به اندام زیرزمینی، ساقه و برگ تفکیک شدند. در مرحله‌ی دوم نمونه‌های گیاهی و نمونه‌های رسوب در آون قرار گرفت تا وزن نمونه‌ها ثابت گردید. پس از خشک شدن، نمونه‌ها در هاون کوبیده و نمونه‌های رسوب از الک عبور داده شدند (4). به منظور هضم نمونه‌ها ابتدا یک گرم از نمونه خشک شده رسوب یا نمونه‌ی گیاهی توسط ترکیبی از اسید نیتریک، اسید پرکلریک و پراکسید هیدروژن به نسبت 2:2:6 بر روی دستگاه هضم کننده¹ ابتدا در دمای پایین (40 درجه) به مدت یک ساعت و سپس در دمای 140 درجه به مدت سه ساعت هضم گردید؛ سپس نمونه‌ها توسط آب مقطر دوبار تقطیر به حجم رسانده شده و توسط کاغذ صافی واتمن شماره یک فیلتر شدند (8). غلظت فلزات در نمونه‌های رسوب و بافت‌های گیاهی توسط دستگاه جذب اتمی مدل analytic jena ContrAA 700 مشخص گردید. جهت اطمینان از دقت عملیات آماده‌سازی و رفع خطای ناشی از آماده‌سازی، نمونه شاهد در هر سری از نمونه‌ها در نظر گرفته شد. همچنین ریکآوری نتایج حاصل در حدود 80٪ تا 92٪ محاسبه گردید.

به منظور آن‌جام تجزیه و تحلیل‌های آماری، ابتدا داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار Excel دسته‌بندی و برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از نرم‌افزار Minitab نسخه 16 و آزمون SPSS-Ryan-joiner، استفاده گردید؛ همچنین از نرم‌افزار SPSS نسخه 21 و آزمون Corrolation جهت تعیین روابط همبستگی بین غلظت فلزات (سرب، روی و مس) در رسوبات و اندام‌های گیاهی و نیز اندام‌های مختلف گیاهی با یکدیگر استفاده گردید. به منظور مقایسه‌ی غلظت فلزات با استاندارد-های جهانی آزمون One Sample T-Test مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت به منظور بررسی وضعیت آلودگی رسوبات، توانایی گیاهان برای انتقال فلزات از محیط به درون گیاه و نیز ظرفیت گیاه برای تجمع و تحمل این فلزات در اندام‌های خود

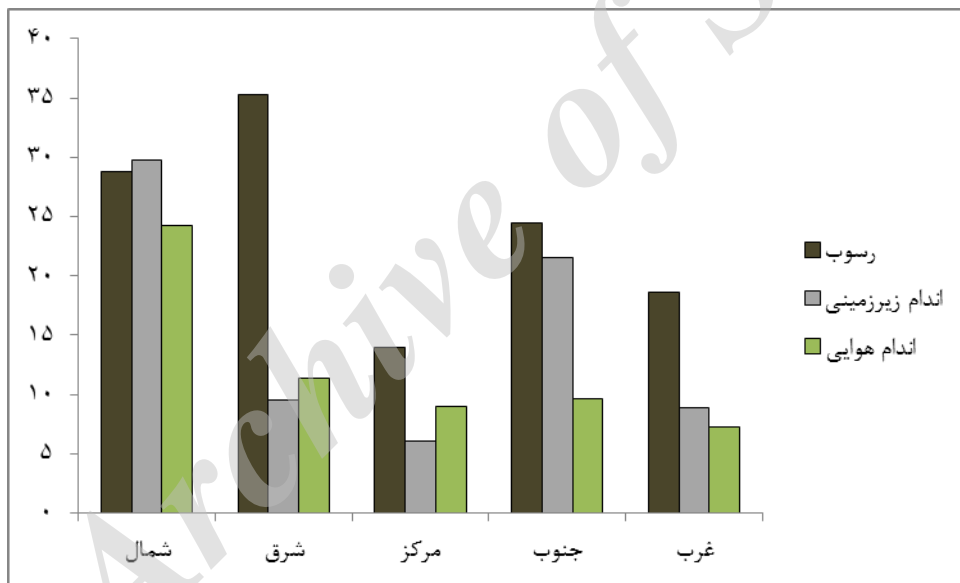
2- Enrichment Factor (EF)

1-Heating block



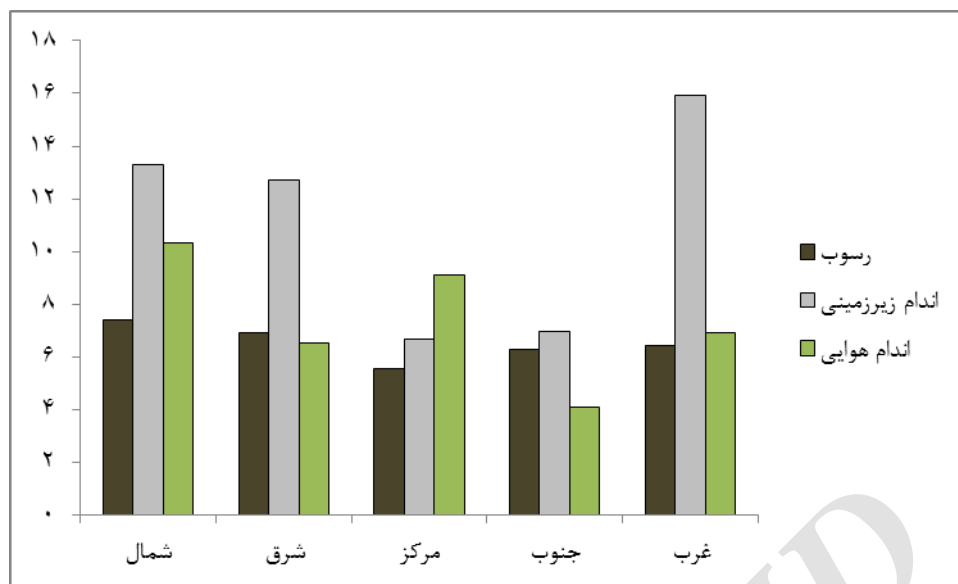
شکل 1- مقایسه غلظت میانگین فلز در رسوب و اندام های گیاه نی

Figure 1. Comparison of Cu means concentration in plant organs and sediment



شکل 2- مقایسه غلظت میانگین سرب در رسوب و اندام های گیاه نی

Figure 2. Comparison of Pb means concentration in plant organs and sediment



شکل 3-مقایسه غلظت میانگین فلز روی در رسوب و اندام های گیاه نی

Figure 3. Comparison of Zn means concentration in plant organs and sediment

رسوبات هیچ گونه همبستگی مثبت و معنی داری وجود ندارد؛ اما فلز روی از آن جایی که $p < 0/01$ ، بین اندام زیرزمینی و اندام هوایی گیاه رابطه‌ی مثبت و معنی داری با اطمینان 99 درصد وجود دارد.

نتایج همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی و رسوبات مطابق جدول (1) برای فلز مس بین بخش‌های هوایی، زیر زمینی و رسوبات هیچ گونه همبستگی مثبت و معنی داری وجود ندارد. برای فلز سرب بین اندام‌های هوایی، زیرزمینی و رسوبات هیچ گونه همبستگی مثبت و معنی داری وجود ندارد.

جدول 1- مقادیر همبستگی فلزات بین اندام‌های گیاهی و رسوبات

Table 1. Correlation coefficients of metals among plant organs and sediments

فلز	اندام هوایی	اندام زیرزمینی	رسوبات
مس	1		
	اندام هوایی	0/397	
	اندام زیرزمینی	0/593	0/579
سرب	1		
	اندام هوایی	-0/243	
	اندام زیرزمینی	-0/042	0/041
روی	1		
	اندام هوایی	0/724**	
	اندام زیرزمینی	0/015	0/401

** معنی دار در سطح 0/01

شاخص غنی شدگی

مقادیر محاسبه شده مربوط به شاخص غنی شدگی در جدول (2) آورده شده است.

جدول 2- شاخص غنی شدگی فلزات در رسوبات (برحسب درصد)

Table 2. Enrichment Factor (EF) of metals in sediments (%)

EF (Zn)	EF (Pb)	EF (Cu)	ایستگاه
65/04	25/88	79/63	شمال
87/96	31/62	60/48	شرق
12/03	27/86	8/58	مرکز
49/37	50/46	37/37	جنوب
28/74	54/91	51/11	غرب

شاخص تجمع زیستی و شاخص انتقال

نتایج حاصل از محاسبه‌ی شاخص تجمع زیستی و شاخص انتقال از اندام زیرزمینی به اندام هوایی در جدول (3) آمده است.

جدول 3- شاخص تجمع زیستی و انتقال از اندام های زیرزمینی به هوایی

Table 3. Bio-accumulation and translocation indices values for underground organ to aerial organ

Zn	Pb	Cu	
0/537	0/870	0/118	شاخص تجمع زیستی اندام هوایی
0/627	0/343	0/147	شاخص تجمع زیستی اندام زیرزمینی
1/04	0/86	0/8	شاخص انتقال

بحث

- غلظت فلزات سنگین مس، سرب و روی در رسوبات و اندام های گیاهی

کمینه غلظت فلز مس رسوبات در ایستگاه سوم واقع در مرکز تالاب با 9/510 و بیشینه غلظت مس در ایستگاه اول واقع در شمال تالاب با 25/79 میکروگرم بر گرم در وزن خشک تعیین شده است که می‌تواند در نتیجه ورود آب سد گاوشان که حاوی آفت کش ها و سموم کشاورزی باشد.

کمینه غلظت فلز سرب رسوبات در ایستگاه مرکز با 4/64 و

بیشینه غلظت آن در ایستگاه شمال تالاب با 7/93 میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین شده است که ناشی از آب سد گاوشان و سوخت موتور تلمبه های برداشت آب سطحی تالاب است. کمینه غلظت فلز روی رسوبات در ایستگاه مرکز با 10/55 و بیشینه غلظت این عنصر در ایستگاه شرق تالاب با 38/65 میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین شده است که می‌تواند ناشی از ورود روان آب های سطحی اراضی حاشیه تالاب باشد. کمینه غلظت فلز مس اندام زیرزمینی گیاه نی در ایستگاه سوم با غلظت 1/110 میکروگرم بر گرم واقع در مرکز تالاب و بیشینه

برین قابل دستیابی و جذب توسط گیاه نمی‌باشند. به همین دلیل کمتر بودن فلزات در بافت گیاه نسبت به رسوب تا حدودی طبیعی به نظر می‌رسد (6).

- همبستگی فلزات بین اندام‌های گیاهی و رسوبات

برای فلز مس بین رسوبات، اندام‌های هوایی و زیرزمینی ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود ندارد. تحقیقات نشان می‌دهد که مس تمایل به تجمع در بخش‌های زیرزمینی گیاه دارد (14). از آن جایی که در این گیاه اندام‌های زیرزمینی به عنوان فیلتر عمل می‌کنند و اغلب مانع انتقال این فلز به اندام‌های هوایی می‌شوند (این استراتژی در گیاهان به عنوان راهکاری مؤثر در حفظ اندام‌های هوایی از سمیت ناشی از مقادیر آسیب رسان مس می‌باشد)؛ که با نتایج بلدتونی و همکاران در سال 2004 (15)، بارگاتو و همکاران در سال 2006 (16) و بونانو و لوگایدیس در سال 2010 (4) و ابراهیمی و همکاران در سال 1992 (17) و همچنین نوروزی فرد و همکاران در سال 1992 (5) مطابقت دارد.

در رابطه با فلز سرب بین رسوبات با سایر اندام‌های گیاهی ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود نداشته و در این میان بین سرب موجود در ساقه و اندام زیرزمینی ارتباط معنی‌دار منفی وجود دارد که می‌تواند به عدم تمایل سرب برای انتقال از اندام زیرزمینی به اندام هوایی مربوط گردد (18). در رابطه با فلز روی نیز هیچ گونه ارتباطی بین غلظت این فلز در رسوبات و اندام‌های مختلف گیاهی وجود ندارد اما بین اندام هوایی و اندام زیرزمینی ارتباط معنی‌دار مثبتی وجود دارد که به دلیل انتقال این فلز از اندام زیرزمینی به اندام هوایی می‌باشد (18).

- شاخص غنی‌شدگی

بیشترین مقادیر برای هر سه فلز مس، سرب ایستگاه شمال وروی در ایستگاه شرق بوده که به‌عنوان منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین در تالاب هشیلان پیشنهاد می‌شوند. کمترین مقدار این شاخص نیز برای دو فلز مس و سرب وروی ایستگاه مرکز می‌باشد. آلودگی در ایستگاه‌ها احتمالاً متاثر از ورود آب سد گاوشان که حامل انواع سموم شیمیایی و کودشیمیایی و

غلظت فلز مس در ایستگاه دوم واقع در شرق تالاب با غلظت 5/495 میکروگرم وزن خشک تعیین شده است.

کمینه غلظت فلز مس اندام هوایی گیاه نی در ایستگاه جنوب با 1/51 و بیشینه غلظت فلز مس در ایستگاه شرق تالاب با 4/01 میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین شده است. کمینه غلظت فلز سرب اندام زیرزمینی گیاه نی در ایستگاه مرکز با غلظت 4/27 میکروگرم بر گرم و بیشینه غلظت فلز سرب در ایستگاه پنجم واقع در غرب تالاب با غلظت 16/27 میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین شده است.

کمینه غلظت فلز سرب در ایستگاه دوم واقع در شرق تالاب با 3/350 و بیشینه غلظت فلز سرب در ایستگاه سوم واقع در مرکز تالاب با 8/90 میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین شده است. کمینه غلظت فلز روی اندام زیرزمینی گیاه نی در ایستگاه سوم واقع در مرکز تالاب با 3/630 و بیشینه غلظت فلز روی در ایستگاه اول واقع در شمال تالاب با 32/050 میکروگرم بر گرم در وزن خشک تعیین شد. روی، فلزی ضروری برای گیاه بوده و دارای نقش مهمی در تغذیه و فعالیت‌های آنزیمی گیاهان می‌باشد؛ عملکرد روی در گیاهان مشابه انسان است لذا در گیاهان جهت اعمال حیاتی به روی احتیاج است (5). کمینه غلظت فلز روی اندام هوایی گیاه نی در ایستگاه پنجم واقع در غرب تالاب با 5/52 و بیشینه غلظت فلز روی در ایستگاه اول واقع در شمال تالاب با 24/50 میکروگرم بر گرم وزن خشک تعیین شده است.

در این راستا می‌توان گفت محلول خاک اطراف ریشه اولین منبع ورود فلزات سنگین به بافت‌های گیاهی بوده و هرچه غلظت فلزات سنگین در خاک افزایش پیدا کند، مقدار قابل دسترس آن‌ها برای گیاه افزایش می‌یابد. به این دلیل افزایش میزان فلزات در لایه سطحی خاک باعث تجمع بیشتر فلزات در اندام زیرزمینی در مقایسه با سایر اندام‌های گیاه می‌شود (12). فلزات موجود در رسوبات همگی محلول نیستند، برخی از آن‌ها محلول و به صورت یون‌های آزاد هستند که فقط بخش محلول فلزات می‌تواند توسط گیاه از رسوب جذب گردد (13). در حالیکه بخش عمده‌ی فلزات سنگین موجود در رسوب در فازهای نامحلول به ویژه فازهای آلی و باقیمانده قرار دارند؛ بنا-

فلزات است که احتمالاً فلزات را در واکوئل برگ‌ها و آپوپلاست متوقف می‌کند (11). در رابطه با

فلزات مس و سرب حالت تجمع و دسترسی در گیاه متوسط می‌باشد. اما در رابطه با فلز روی مقدار این شاخص بزرگتر از یک بوده؛ بنابراین در این گیاه، فلز روی تجمع و دسترسی بالایی دارد؛ این امر بیانگر کارایی سیستم انتقال فلزات است که احتمالاً فلزات را در واکوئل برگ‌ها و آپوپلاست متوقف می‌کند (11). مقادیر حاصل از شاخص انتقال در این پژوهش از مدل زیر پیروی می‌کند:

شاخص انتقال از اندام زیرزمینی به هوایی؛

$$\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu}$$

مقادیر حاصل از شاخص انتقال در این پژوهش از مدل زیر پیروی می‌کند:

شاخص انتقال از اندام زیرزمینی به هوایی؛

$$\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu}$$

همچنین نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که غلظت اکثر عناصر در اندام زیرزمینی بیشتر از غلظت آنها در اندام هوایی است. اختلاف در غلظت فلزات در اندام های هوایی و زیرزمینی و عدم توانایی انتقال فلزات از اندام زیرزمینی به اندام هوایی مطابق نتایج مربوط به شاخص انتقال ممکن است به دلیل تفاوت در ساختار فیزیولوژیکی بافت‌ها باشد.

- مقایسه داده‌های رسوبات با داده‌های به دست آمده

در مطالعات دیگر

مطابق جدول (4) همان‌طور که مشاهده می‌شود در اکثر مطالعات مقادیر بدست آمده در مورد فلزات مذکور از مقادیر به-دست آمده در این پژوهش بیشتر می‌باشد.

همچنین فاضلاب شهر کامیاران می‌باشد، وجود تفرجگاه سراب سبز علی، محصور شدن تالاب در زمین‌های کشاورزی که کمترین مقدار این شاخص در ایستگاه مرکز (به عنوان مکان غیر آلوده) به دست آمده است.

- شاخص تجمع زیستی

براساس نتایج بدست آمده از محاسبه‌ی شاخص تجمع زیستی و مقایسه‌ی آن‌ها با طبقه‌بندی پیشنهادی ما و همکاران در سال 2001 برای گیاهان که بیان می‌کند چنانچه مقادیر این شاخص کمتر از یک باشد گیاه جاذب، بیشتر از یک گیاه ابرجاذب و نیز اگر نزدیک به صفر باشد گیاه دافع می‌باشد. بدین ترتیب گیاه نی در رابطه با فلزات سرب و روی در اندام‌های هوایی و زیرزمینی و به عنوان یک گیاه جاذب عمل کرده؛ در رابطه با فلز مس، اندام‌های هوایی و زیر زمینی دارای مقدار شاخص تجمع زیستی نزدیک به صفر هستند که نشان می‌دهند اندام‌های گیاه نی حالت دافعه در رابطه با این فلز دارند.

- شاخص انتقال

شاخص انتقال توانایی گیاه در اهداف گیاه پالایی را برآورد می‌کند. طبق نظریات کاباتا- پندیاس و پندیاس در سال 2000 (19)، چنانچه شاخص انتقال بین 0/01 تا یک باشد به این معنی است که حالت تجمع و دسترسی در گیاه متوسط می‌باشد. بر این اساس مطابق جدول (3) به جز در مورد فلز روی در رابطه با فلزات مس و سرب حالت تجمع و دسترسی در گیاه متوسط می‌باشد. اما در رابطه با فلز روی مقدار این شاخص بزرگتر از یک بوده؛ بنابراین در این گیاه، فلز روی تجمع و دسترسی بالایی دارد؛ این امر بیانگر کارایی سیستم انتقال

جدول 5- مقایسه‌ی غلظت فلزات مس، سرب و روی در رسوبات تالاب هشیلان با استانداردهای جهانی

Table 5. Metal concentration comparisons of Cu, Pb and Zn in the sediments of Hashilan wetland with international standards

فلزات	ERM	NOA A (15) ERL	CCME, 1999 (28, 27)			USEPA, 1996 (4)		مطالعه حاضر
			PEL	ISQGs		LAL	HAL	
				TEC	PEC			
Cu	270	34	108	31/6	149	2	270	17/23
Pb	218	7/46	112	35/8	128	2	218	6/479
Zn	410	150	271	121	459	5	410	24/212
Cu	270	34	108	31/6	149	2	270	17/23

بکار گرفته شوند.

باوجود تفاوت‌های موجود در غلظت فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی و رسوبات به طور کلی گیاه نی گونه قابل استفاده برای کاهش فلزات سنگین در رسوبات و یک زیست ردیاب برای برنامه‌های پایش زیستی جهت ارزیابی کمی شرایط محیط با توجه به رسوبات منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود. این دسته گیاهان اطلاعات مفیدی در مورد نوع و غلظت آلاینده‌ها در محیط، انباشتگی و پراکندگی آن‌ها فراهم می‌کنند.

Reference

1. Agharokh, A. (2008). "Evaluation of ornamental flowers and fishes breeding in bushehr urban wastewater using a pilot scale aquaponic system." J. of Water and Wastewater, 65, 47-53. (In Persian).
2. Mohamadi, M., Karbasi, A. and Sahebi, M. Hashilan wetland environmental management SWOT method. Journal of Environmental advocacy. 2013; 57: 15-27.
3. Nick varz, A.R., (2008). investigation of using algae in bio-monitoring heavy metals (lead, cadmium, copper, zinc and iron) in tidal areas between Hormuz Island. M.Sc. thesis. Marine Biology- Marine Pollution, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Faculty of

جهانی نشان داد میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه از همه‌ی استانداردهای جهانی به جز LAL¹ (کمترین مقدار سطح هشدار مربوط به حفاظت محیط زیست آمریکا) کمتر می‌باشد. مقادیر مربوط به سطح معنی‌داری حاصل از آزمون‌های آماری برای فلزات مورد مطالعه در مقایسه با استانداردهای USEPA در جدول (9) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در تمامی موارد $p < 0/05$ بوده بنابراین اختلاف معنی‌داری بین غلظت فلزات در رسوبات مطالعه‌ی حاضر با استانداردهای جهانی وجود دارد.

نتیجه‌گیری

از آن جا که گونه‌ای که دارای ضریب تجمع زیستی در ریشه بزرگتر از یک و فاکتور انتقال کوچکتر از یک باشد برای تثبیت گیاهی و گونه‌ای که دارای ضریب تجمع زیستی در اندام‌های هوایی بزرگتر از یک باشد، برای برداشت گیاهی مناسب است گونه نی، گیاهی مناسب برای تجمع عنصر سرب و گیاه پالایشی آن در محیط‌های آلوده می‌باشد.

روابط مهم غلظت‌های فلزی بین اندام‌های گیاهی و رسوبات نشان می‌دهد که *P. australis* تأثیرات کلی آلودگی‌های محیطی را بازتاب می‌کند. ماکروفیت‌های آبی تثبیت کننده تغییرات موقتی فلزات سنگین در بوم سازگان‌های آبی می‌باشند. بنابراین اندام‌های گیاه *P. australis* به عنوان شاخص زیستی عمل نموده و می‌توانند به عنوان "پایشگرهای زیستی"

1- Lowest Alert Level

10. Zacchini, M., Pietrini, F., Mugnozza, G., Iori, V., (2008). Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. *J. Water Air Soil Pollut* 197. 23-34.
11. Sasmaz, A., Obek, E., Hasar, H., (2008). The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent. *Ecological Engineering* 33, 278-284.
12. Ghanadpour, J., Zandmoghdam, A., (2011) Accumulation of heavy metals (lead, zinc, nickel and cadmium) in *Typha latifolia* and *Arvandroud* and *Bahmaneshir* sediments in winter. *Wetland Journal of Islamic Azad University, Khozestan Branch*. 2(5); 29-36
13. Oyeyiola, A.O., Davidson, C.M., Olayinka, K.O., Oluseyi, T.O., Alo, B.I., (2013). "Multivariate analysis of potentially toxic metals in sediments of a tropical coastal lagoon", *Environ Monit Assess*, 185: 2167-2177.
14. Gill, L., Pamela, R., Neil, M.P., Higgins, P.M., (2014). Accumulation of heavy metals in a constructed wetland treating road runoff. *Ecological Engineering*. 78. 33-36
15. Ngayila, N., Botineau, M., Baudu, M., Basly, J.P., (2009). *Myriophyllum alterniflorum* DC. Effect of low concentrations of copper and cadmium on somatic and photosynthetic endpoints: a chemometric approach. *Ecological Indicator* 9, 307-312.
16. Bragato, C., Brix, H., Malagoli, M., (2006). Accumulation of nutrients and heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel and Marine Sciences and Oceanic, Department of Marine Biology 102 p. (In Persian).
4. Bonanno, G., 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.
- Bowen, H.J.M., (1979). Trace Element in Biochemistry. New York, Academic press, 241-244.
5. Norouzi Fard, P., (2014) Investigation of Heavy Metals Accumulation in Sediments and Refinement of them by *Phragmites australis* in Dez River, Dezful. Master's thesis, Environmental Department, Malayer University.
6. Cheraghi, M., Elahisohrab, A., Safaheieh, A., Ghanemi, K., Doraghi, M., (2013) Investigation on the accumulation of heavy metals in the bed leaves and roots of mangrove (*Avicennia marina*) in Khuzestan province. *Journal of marine science and technology*. 11 (4); 46-56.
7. Vymazal, Jan. (2015) Concentration is not enough to evaluate accumulation of heavy metals and nutrients in plants *Science of The Total Environment*, Volume 544, 15 February 2016, Pages 495-498. Volume 544, Pages 495-498
8. Yap, C.K., Ismail, A., Tan, S.G., Omar, H., (2002). Concentrations of Cu and Pb in the offshore and intertidal sediments of the west coast of Peninsular Malaysia. *Environment International* 28, 467-479.
9. Suthar, S., Nema, A.K. Chabukdhara, M. Gupta, S. K., (2009). Assessment of metals in water and sediments of Hindon River, India: Impact of industrial and urban discharges. *Hazardous Materials* 171, 1088-1095.

- The Nile Delta Egypt, Egypt. J. Aquatic Research 31 16–28.
23. Mendez, W., (2005). Contamination of Rimac River Basin Peru, due to mining tailings. TRITA-LWR Master Thesis, Environmental Engineering and the Nile Sustainable Infrastructure, The Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm.
 24. Liu, J., Li, Y., Zhang, B., Cao, J., Cao, Z., Domagalski, J., (2009). Ecological risk of heavy metals in sediments of the Luan River source water. J. Ecotoxicology 18. 748–758.
 25. Varol, M., Şen, B., (2012). Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. Catena 92, 1-10.
 26. Zhang, W., Liu, X., Cheng, H.Y., Zeng, E., Hu, Y., (2012). Heavy metal pollution in sediments of a typical mariculture zone in South China. J. Marine Pollution Bulletin 64.712-720
 27. CCME., (1999). (Canadian Council of Ministers of the Environment). Canadian environmental quality guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment Winnipeg.
 28. Vardanyan, L.G., Ingole, B.S., (2006). Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. Environmental International 32, 208–218.
 - Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla in a constructed wetland of the Venice lagoon watershed. Environmental Pollution 144, 967-975.
 17. Ebrahimi, M., Jafari, M., Savaghebi, Gh., Azarnivand, H., Tawil, A., and et al., (2012). Investigation of phytoremediation species of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel in soils contaminated with heavy metals (case study, Industrial area Lia - Ghazvin). Research pasture, the sixth year, Number 1, 1-9. (In Persian).
 18. Siedlecka, A., Tukendorf, A., Skórzynska-Polit, E., Maksymiec, W., Woźcik, M., (2001). Angiosperms (Asteraceae, Convolvulaceae, Fabaceae and Poaceae; other than Brassicaceae). In: Prasad, M.N.V. (Ed.), Metals in the Environment. Analysis by Biodiversity. Marcel Dekker, Inc., New York, 171–217.
 19. Kabata-Pendias, A., Pendias H., 2000. Trace Elements in Soils and Plants ,3rd Edit, Boca Raton New York, CRC Press.
 20. Farkas, A., Claudio, E., Vigano, L., (2007). Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po, Chemosphere 68 761–768.
 21. Olivares-Rieumont, S., de la Rosa, D., Lima, L., Graham, D.W., Alessandro, K. D., (2005). Assessment of heavy metal levels in Almendares River sediments-Havana City, Cuba. Water Research 39. 3945–3953.
 22. Rifaat, A.E., (2005). Major controls of metals' distribution in sediments off