

ارزیابی توانایی گیاه پالایی *Pharagmites australis* در جذب فلز کادمیم در تالاب مصنوعی

ملیحه امینی^{۱*}، نرجس اکاتی^۲

^۱ استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت

^۲ استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۲۷ : تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: با افزایش جمعیت، روند آلوده شدن منابع آب تشدید شده و بشر نیازمند روش‌هایی نو و ارزان برای پالایش و بهبود کیفیت آب گردیده‌است. فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های محیط‌زیستی هستند که عمدتاً از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی بشر منشا می‌گیرند و در تمام نقاط جوامع صنعتی یافت می‌شوند. این پژوهش به منظور بررسی اثر تنش فلز کادمیم بر گیاه نی تالابی در شرایط گلخانه، در دانشگاه جیرفت انجام شد.

روش کار: آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با دو فاکتور و سه تکرار صورت گرفت. تیمارها شامل فلز کادمیم به عنوان فاکتور اول و سطوح مختلف غلظت فلز شامل ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در گلخانه به عنوان فاکتور دوم بودند. میزان مقاومت گیاه نی تالابی به تنش فلز کادمیم در مرحله استقرار تا رشد کامل در شرایط گلخانه بررسی گردید و میزان غلظت کادمیم در اندام‌های زیرزمینی و اندام‌های هوایی و خاک گلدان‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج آزمایش در شرایط گلخانه نشان داد با افزایش غلظت فلز در تیمارهای آزمایشی میزان جذب توسط بافت‌های زیرزمینی و اندام‌های هوایی گیاه افزایش می‌یابد هرچند تجمع چشم‌گیر فلز در بافت‌های زیرزمینی بوده و انتقال آن و تجمع در بافت‌های هوایی گیاه خیلی کمتر گزارش شده‌است. با جذب و تجمع فلز در اندام‌های زیرزمینی، توانایی رشد گیاه نیز با تغییر ویژگی‌های فیزیولوژیک کاهش یافته‌است که در رابطه با فلز کادمیم با حلالیت بالا در آب و جذب قابل توجه در اندام‌های زیرزمینی موجب توقف رشد اندام‌های هوایی گیاه گردیده‌است.

نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج نشان داد که با توجه به رشد اندام‌های زیرزمینی، نی تالابی گیاهی نسبتاً مقاوم در برابر تنش فلز کادمیم، دارای فاکتور انتقال پایین و توانایی تجمع فلزات در ریشه خود می‌باشد.

کلمات کلیدی: تالاب مصنوعی، کادمیم، گیاه پالایی، نی تالابی

مقدمه

انقلاب صنعتی ورود آلاینده‌ها و تخریب اکوسیستم‌ها را به همراه داشته است.^۱ مبحث رشد صنعتی و توسعه پایدار در چند دهه گذشته همواره در نقطه مقابل یکدیگر قرار داشته‌اند و از این رو موازی سازی رشد صنعتی و زیر ساخت‌های اکولوژیکی امری ضروری در حصول توسعه پایدار به حساب می‌آید.^۲ فاضلاب‌های صنعتی و شهری عمدتاً بدون عبور از فرایندهای مدرن پالایشی و یا با تصفیه ناقص به اکوسیستم های طبیعی رها سازی و این امر تخریب گسترده بیوم‌های شکننده را در پی داشته است.^۳ صنایعی چون خودروسازی، پرداخت فلزات، آبکاری، باتری‌سازی، استخراج معدن، کابل‌سازی، دباغی، نساجی و فولاد، فلزات سنگینی همچون نیکل، کادمیم و مس را به میزان زیاد به همراه پساب خروجی وارد محیط می‌کنند.^۴

کادمیم یکی از فلزات سنگین دو ظرفیتی است که در طبیعت بیشتر در سنگ‌های معدنی همراه با روی یافت می‌شود و به علت سمیتی که برای انسان و حیوان دارد دارای اهمیت زیادی از دیدگاه محیط زیست است. سمیت و تجمع کادمیم در اندام‌ها از طریق خوردن غذای آلوده نقش مهمی در به مخاطره انداختن سلامتی انسان دارد.^۵ این عنصر طیف وسیعی از مسمومیت که شامل تخدیر اعصاب، مسمومیت کبدی، مسمومیت کلیه، جنین ناقص‌الخلقه و آثار جهش‌زایی دارد^{۶،۷} وزن کم و ضریب هوشی پایین در فرزندان تازه متولد شده از مادرانی که مقدار فلزات سنگین مصرفی آن‌ها در محدوده سمیت می‌باشد گزارش شده است.^۹ فلزات سنگین به ساختار ژنتیکی آسیب می‌رسانند و احتمالاً اثرات سرطان‌زایی آن‌ها در حیوانات و انسان‌ها از قابلیت جهش‌زایی این فلزات سرچشمه می‌گیرد^{۱۰-۱۲}.

با توجه به اینکه منابع آب محدودی در دسترس انسان است، با ورود پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌ها این نیاز

شدیداً احساس می‌شود که باید با روش‌هایی مؤثر و ارزان، اثر نامطلوب این فاضلاب‌ها و پساب‌ها را بر کیفیت آب کاهش داد.^۵ روش‌های متداول کاهش و حذف آلاینده‌ها از محیط علاوه بر هزینه بر بودن، قادر به حذف کامل آلاینده‌ها از محیط نمی‌باشند. در حالی که استفاده از گیاهان برای پاکسازی محیط علاوه بر کمک به بهبود شرایط قادر به حذف رنج وسیعی از آلاینده‌ها به ویژه فلزات سنگین از محیط زیست می‌باشند^{۱۳} و^{۱۴}.

تالاب‌های مصنوعی با طراحی خوب و مناسب می‌تواند فرآیندی مطمئن، کارآمد، اقتصادی و آسان برای تصفیه فاضلاب‌های شهری باشد. استفاده از این روش ساده با توجه به هزینه اولیه و بهره‌برداری نسبتاً ناچیز و راهبری آسان می‌تواند علاوه بر کنترل مناسب آلودگی محیط زیست، از نظر اقتصادی نیز مورد توجه قرار گیرد.^{۱۵} گیاهان تالابی بدلیل رشد سریع و تولید بیومس انبوه نقش بسزایی در جذب مواد مغذی در اندام‌های خود بخصوص نواحی ریشه و ریزوم دارند.^{۱۶} گیاه *Phragmites australis* به عنوان گیاهی با پراکنندگی جهانی قابلیت بالایی در جذب عناصر فلزی از خود نشان داده که می‌توان از آن به عنوان نشانگر زیستی نام برد^{۱۷} و^{۱۸}. برای مثال Guo و Cutright توانایی این گیاه را در حذف آهن و منگنز از آب زهکش اسیدی معادن مورد بررسی قرار دادند و نتایج مطلوبی مشاهده کردند.^{۱۸} همچنین Aksoy و همکاران در ترکیه پالایش فلزات مس، روی، سرب و کادمیم را توسط گیاه نی تالابی بررسی و مشاهده کردند که تجمع فلزات در ریشه بیش از خاک اطراف گیاه بود. بنابراین کارایی بالایی گیاه در گیاه پالایی تایید می‌گردد. رشد سریع و جذب بالای عناصر در اندام‌های این گیاه نقش آن را در گیاه پالایی، تصفیه و پاکسازی محیط از آلودگی‌ها بخوبی نشان می‌دهد.^۲

هدف از این مطالعه بررسی میزان تجمع عنصر کادمیم در گیاه نی تالابی و توانایی این گیاه در کاهش خطر آلودگی فلز

شد و چیدمان گلدان‌ها هر ۱۰ روز یکبار تغییر داده شد و آبیاری گلدان‌ها تا حد ظرفیت زراعی در طول دوره رشد (۳ ماه) انجام شد. پس از رشد گیاهان طی یک دوره سه ماهه، برداشت اندام هوایی و ریشه گیاهان به طور جداگانه انجام شد و توسط آب مقطر شسته شدند.

تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک با استفاده از تجزیه مکانیکی ذرات با روش هیدرومتر صورت گرفت^{۱۹}. اسیدیته یا pH خاک مورد آزمایش، بصورت pH گل اشباع با دستگاه پی‌اچ‌متر اندازه‌گیری شد^{۲۰}. قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌ی گل اشباع با استفاده از EC متر اندازه‌گیری و نتایج بر حسب (ds/m) گزارش گردید^{۲۱}. برای اندازه‌گیری فسفر خاک نیز از روش السن استفاده شد و سپس غلظت فسفر نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید^{۲۲}. اندازه‌گیری آهن به روش تیتراسیون انجام شد^{۲۳}. با اندازه‌گیری کربن آلی به روش والکی و بلک و استفاده از فاکتور تصحیح برای تبدیل مقدار کربن آلی به ماده آلی انجام شد^{۲۴}.

هضم به روش سوزاندن خشک

ابتدا یک گرم نمونه گیاهی خشک شده در ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار ساعت حرارت داده شد. و سپس مقدار ۱۰ میلی لیتر اسید هیدروکلریک دو مولار به آن اضافه و در ۸۰ درجه سانتی‌گراد درون دستگاه بن ماری به مدت نیم ساعت حرارت داده شد تا اولین بخارات سفید خارج گردید. پس از صاف کردن با کاغذ واتمن، به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد و جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer - Analyst 400) استفاده شد^{۲۵}. فلز کادمیم به روش عصاره‌گیری با DTPA اندازه‌گیری شد^{۲۶}.

محاسبه فاکتور انتقال

کادمیم در منابع آب و خاک می‌باشد. با توجه به ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک، در صورتی که این گیاه سایر ویژگی‌های لازم برای گیاه پالایی از جمله مقاومت به تنش و قابلیت بالای جذب را داشته باشد، می‌تواند در پالایش آلودگی‌های متمرکز مرتبط با فلزات سنگین استفاده شود.

مواد و روش‌ها

مراحل نمونه برداری و تعیین شرایط آزمایشات

گلخانه محل آزمایشات در استان کرمان، شهرستان جیرفت قرار گرفته است. وضعیت آب و هوایی منطقه گرمسیری، ارتفاع از سطح دریا ۶۰۰ متر است. این منطقه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی "۵۷°۳۸' تا "۵۸°۴'۲۷' شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۲۸°۲۸'۴۰' تا "۲۸°۵۲'۶' قرار گرفته است. از خاک با سابقه زراعی برای تیمارها استفاده شد. نمونه برداری از خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد و پس از هوا خشک شدن خاک، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (EC، pH، آهن، فسفر، ماده آلی و بافت) اندازه‌گیری شد و همچنین غلظت فلز در نمونه خاک اولیه اندازه‌گیری شد. خاک مورد نظر از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد و دو کیلوگرم خاک به ازاء هر گلدان وزن شد و درون ظرف‌های پلاستیکی ریخته شد. سولفات کادمیم (Merk) برای ساخت محلول‌های فلزی و اضافه کردن به گلدان‌ها استفاده شد. آبیاری در حد ظرفیت مزرعه انجام شد و به مدت ۲۰ روز رها شدند تا حد امکان برهمکنش آلاینده‌های خاک تدوین پیدا کنند و شرایط آلودگی خاک به عناصر سنگین تا حدی شبیه شرایط طبیعی موجود در زمین، آلوده گردد. وضعیت تیمارها شامل ۸ سطح فلز (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ۳ تکرار بود که جمعا در ۲۴ گلدان در قالب طرح کاملا تصادفی اجرا شدند. در هر گلدان سه غده گیاه نی تالابی کاشته شد و پس از رشد مطلوب تعداد گیاهچه‌ها به ۱۰ عدد کاهش داده

به منظور ارزیابی توانایی گیاه در انتقال فلزات سنگین از ریشه به اندام هوایی، فاکتور انتقال طبق فرمول (۱) محاسبه گردید.^{۲۷}

رابطه (۱)

$$\text{فاکتور انتقال} = \frac{\text{غلظت عنصر مورد نظر در ریشه}}{\text{غلظت عنصر مورد نظر در اندام هوایی}}$$

محاسبه فاکتور تجمع

به منظور ارزیابی توانایی گیاه در انتقال فلزات سنگین از خاک به ریشه و اندام هوایی، فاکتور تجمع فلزات در اندام-های زیرزمینی و اندام‌های هوایی طبق فرمول (۲) محاسبه گردید.^{۲۸}

رابطه (۲)

$$\text{فاکتور تجمع} = \frac{\text{غلظت عنصر مورد نظر در خاک}}{\text{غلظت عنصر مورد نظر در اندام هوایی یا ریشه}}$$

یافته‌ها

بررسی اثر تنش فلزات سنگین بر برخی از شاخص‌های کمی فیزیولوژیک

جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قبل از انجام آزمایش را نشان می‌دهد. خاک مورد استفاده دارای بافت سبک، شوری پایین و اسیدیته تقریباً خنثی بود. pH خاک ۷/۱ و بافت خاک عمدتاً لوم بود و میزان ماده آلی ۰/۱۷ درصد و آهک ۲۵ درصد تعیین شد. همچنین میزان فلز کادمیم با روش عصاره‌گیری با DTPA (Diethylenetriamine pentaacetic acid) ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به دست آمد.

بررسی اثر تنش فلز کادمیم بر گیاه نی تالابی

میانگین مربعات حاصل از نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف فلز کادمیم بر میزان جذب کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه نی تالابی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد، میانگین افزایش جذب فلز کادمیم در تمام تیمارها به جز ۵۰ ppm در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار بودند و بنابراین نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱) بین تیمارهای متفاوت با غلظت‌های مختلف فلز کادمیم تفاوت معنی‌داری از نظر جذب این فلز در گیاه نشان دادند و با افزایش غلظت فلز

آنالیز نمونه‌ها و بررسی داده‌ها

بررسی مقدار کادمیم موجود در بافت‌های گیاهی و خاک گلدان‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer, USA) صورت گرفت. پردازش داده‌ها و رسم نمودارها نیز به کمک نرم‌افزار Excel و تجزیه تحلیل آن‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد. پیامد کاربرد هر یک از تیمارها با تفسیر جدول تجزیه واریانس یک طرفه و آزمون میانگین‌ها به روش دانکن در پایه آماری یک درصد انجام شد.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

ویژگی‌ها	بافت	شن	سیلت	رس	pH
		%	%	%	
خاک	لومی	۴۸	۳۴/۵	۱۷/۵	۷/۱
EC (ds/m ⁻¹)	فسفر (mg/kg ⁻¹)	آهک %	ماده‌آلی %	کادمیم (mg/kg ⁻¹)	

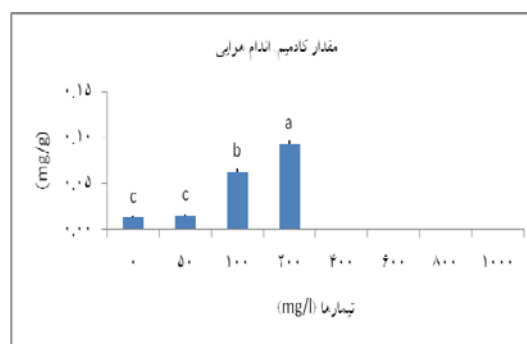
جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف فلز کادمیم بر میزان جذب کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه					
	۲/۵	۰/۱۷	۲۵	۳۵	۱/۵
کادمیم. اندام‌های هوایی	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
بین گروه‌ها	۰/۰۲۶	۷	۰/۰۰۴	۳۲۴/۲۴۸	۰/۰۰۰
داخل گروه‌ها	۰/۰۰۰	۱۶	۰/۰۰۰		
مقدار کل	۰/۰۲۷	۲۳			

براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد، میانگین افزایش جذب فلز کادمیم در تیمارهای ۲۰۰ ppm تا ۱۰۰۰ ppm در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار بودند و بنابراین نتایج مقایسه میانگین (شکل ۲) بین تیمارهای متفاوت با غلظت‌های مختلف فلز کادمیم تفاوت معنی‌داری از نظر جذب این فلز در گیاه البته در غلظت‌های کادمیم بالاتر از ۲۰۰ ppm نشان دادند و با افزایش غلظت فلز در خاک، مقدار جذب آن در اندام‌های زیرزمینی نیز به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

بررسی میزان تجمع فلز کادمیم از خاک به ریشه و اندام‌های هوایی

میانگین مربعات حاصل از نتایج تجزیه واریانس اثر فلز کادمیم، غلظت‌های مختلف و اثرات متقابل بر میزان فاکتور تجمع (میزان تجمع فلز کادمیم در اندام هوایی گیاه نسبت به خاک آلوده و در ریشه گیاه نسبت به خاک آلوده) با سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴).

در خاک گلدان، مقدار جذب آن در اندام‌های هوایی به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. شدت این پدیده به حدی است که در غلظت‌های ۴۰۰ ppm تا ۱۰۰۰ ppm اثر سمیت بالای فلز کادمیم موجب بازدارندگی و قطع کامل رشد اندام‌های هوایی گیاه گردیده‌است و هیچ توده گیاهی برای گلدان‌هایی با غلظت بالاتر از ۴۰۰ ppm کادمیم طی مشاهدات تحقیق حاضر گزارش نشده‌است. بنابراین گیاه نی‌تالایی کارایی بالایی برای حذف فلز کادمیم از محیط‌های آلوده را دارا نمی‌باشد. میانگین مربعات حاصل از نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف فلز کادمیم بر میزان جذب کادمیم در ریشه گیاه نی‌تالایی نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳).



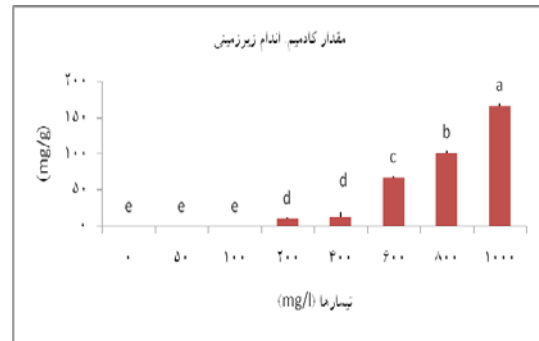
شکل ۱: روند تغییرات تجمع فلز کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف فلز کادمیم بر میزان جذب کادمیم در اندام‌های زیرزمینی گیاه					
کادمیم. اندام‌های زیرزمینی	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
بین گروه‌ها	۸۱۰۰۹/۲۹۴	۷	۱۱۵۷۲/۷۵۶	۵۵۱/۶۸۳	۰/۰۰۰
داخل گروه‌ها	۳۳۵/۶۳۵	۱۶	۲۰/۹۷۷		

کادمیم. اندام‌های زیرزمینی	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
بین گروه‌ها	۸۱۰۰۹/۲۹۴	۷	۱۱۵۷۲/۷۵۶	۵۵۱/۶۸۳	۰/۰۰۰
داخل گروه‌ها	۳۳۵/۶۳۵	۱۶	۲۰/۹۷۷		
مقدار کل	۸۱۳۴۴/۹۲۹	۲۳			

شود ریشه گیاه نقش بالاتری را در تجمع و حذف کادمیم از محیط خواهد داشت و کارایی اندام‌های هوایی گیاه ناچیز خواهد بود.

حتی با افزایش غلظت فلز در تیمارها نسبت تجمع کاهش یافته‌است که نشان از کاهش قابل توجه توانایی اندام‌های هوایی گیاه در تجمع فلز کادمیم می‌باشد. حتی افزایش غلظت کادمیم به بیش از ۲۰۰ ppm نقش بازدارندگی در رشد گیاه نی تالابی نشان داده‌است و در گلدان‌هایی با غلظت ۴۰۰ ppm تا ۱۰۰۰ ppm به طور کامل رشد اندام‌های هوایی گیاه متوقف شده‌است. بنابراین در غلظت‌های بالا، کادمیم با حلالیت بالا در آب سریعاً جذب اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاه شده و اثرات سمیت و بازدارندگی رشد را نیز خیلی بیشتر از بقیه فلزات نشان می‌دهد. روند تغییرات تجمع فلز کادمیم در اندام هوایی گیاه نی تالابی در جدول ۵ ارائه شده‌است.



شکل ۲: روند تغییرات تجمع فلز کادمیم در اندام‌های زیرزمینی گیاه

مقایسه میزان تجمع فلز کادمیم در اندام هوایی گیاه نشان داد که میانگین تجمع فلز کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه با افزایش مقدار غلظت فلز کادمیم در تیمارهای خاک گلدان، کاهش می‌یافت. این پدیده توانایی پایین پالایش فلز کادمیم را توسط اندام‌های هوایی گیاه نشان می‌دهد و در صورتی که گیاه نی تالابی برای جمع آوری کادمیم در مناطق آلوده استفاده

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف فلز کادمیم بر میزان تجمع کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به خاک آلوده

کادمیم. اندام‌های هوایی / خاک	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
بین گروه‌ها	۰/۰۱۵	۷	۰/۰۰۲	۱۵/۲۰۱	۰/۰۰۰
داخل گروه‌ها	۰/۰۰۲	۱۶	۰/۰۰۰		
مقدار کل	۰/۰۱۷	۲۳			

جدول ۵: نتایج محاسبه میزان فاکتور تجمع فلز کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به خاک آلوده و در اندام‌های زیرزمینی گیاه نسبت به خاک آلوده

عنصر کادمیم	مقدار فلز	فاکتور تجمع اندام هوایی/خاک	فاکتور تجمع اندام زیرزمینی/خاک
	۰	۰/۰۷۱	۰/۳۴۹
	۵۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۶
	۱۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹
	۲۰۰	۰/۰۰۱	۰/۱۳۲

۰/۰۹۸	۴۰۰
۰/۴۳۲	۶۰۰
۰/۶۳۳	۸۰۰
۰/۹۳۱	۱۰۰۰
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

Sig

جدول ۶: نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف فلز کادمیم بر میزان تجمع کادمیم در اندام‌های زیرزمینی گیاه نسبت به خاک آلوده

Sig	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	اندام‌های زیرزمینی / خاک
۰/۰۰۰	۴۰/۶۳۸	۰/۳۲۷	۷	۲/۲۸۶	بین گروه‌ها
		۰/۰۰۸	۱۶	۰/۱۲۹	داخل گروه‌ها
			۲۳	۲/۴۱۴	مقدار کل

بررسی میزان انتقال فلز کادمیم از ریشه به اندام‌های هوایی

میانگین مربعات حاصل از نتایج تجزیه واریانس اثر فلز کادمیم، غلظت‌های مختلف و اثرات متقابل بر میزان فاکتور انتقال (میزان انتقال کادمیم از ریشه به اندام‌های هوایی) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۷). مقایسه میانگین میزان فاکتور انتقال در تیمارهای مختلف نیز در جدول (۸) ارائه شده است.

میانگین مربعات حاصل از نتایج تجزیه واریانس اثر فلز کادمیم، غلظت‌های مختلف و اثرات متقابل آنها بر میزان تجمعش (میزان نسبت تجمع فلز کادمیم خاک در ریشه گیاه نی تالابی) با سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۶). مقایسه میزان تجمع فلز کادمیم در ریشه گیاه نشان داد که میانگین تجمع کادمیم در تیمارهای مورد آزمایش روندی افزایشی داشت.

جدول ۷: نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف فلز کادمیم بر میزان انتقال کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به اندام‌های زیرزمینی گیاه

Sig	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	اندام‌های هوایی / اندام‌های زیرزمینی
۰/۰۱۰	۴/۰۱۰	۰/۰۳۸	۷	۰/۲۶۶	بین گروه‌ها
		۰/۰۰۹	۱۶	۰/۱۵۲	داخل گروه‌ها
			۲۳	۰/۴۱۸	مقدار کل

جدول ۸: نتایج محاسبه میزان فاکتور انتقال فلز کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به اندام‌های زیرزمینی گیاه

عنصر	مقدار فلز	فاکتور انتقال
کادمیم	اندام هوایی/اندام زیرزمینی	
	۰	۰/۲۰۴
	۵۰	۰/۱۰۸
	۱۰۰	۰/۱۲۳
	۲۰۰	۰/۰۰۸

۴۰۰

۶۰۰

۸۰۰

۱۰۰۰

۰/۰۱

Sig

بحث**بررسی اثر تنش فلز کادمیم بر گیاه نی تالابی**

با توجه به نتایج به دست آمده از میزان جذب کادمیم توسط اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه نی تالابی، به نظر می‌رسد که تا غلظت ۲۰۰ ppm ریشه گیاه کادمیم محلول در آب داخل گلدان را جذب و تفاوت معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد نشان نداده‌است و مقادیری از فلز جذب شده را به اندام‌های هوایی نیز انتقال داده‌است. در ادامه با افزایش غلظت کادمیم جذب توسط ریشه افزایش یافته‌است و با توجه به سمیت بالای کادمیم برای گیاه و حلالیت و تاثیر بالای آن در محیط آبی، کم کم از غلظت ۴۰۰ ppm به بالا از رشد اندام‌های هوایی گیاه ممانعت به عمل آمده و رشد بافت‌های گیاهی به طور کامل متوقف شده‌است. بنابراین اثر شدید کادمیم بر رشد گیاه موجب می‌شود تا با افزایش جذب آن در بافت‌های زیرزمینی، رشد پوشش سطحی و اندام‌های هوایی کاهش قابل توجهی پیدا کند. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های سرمدی و همکاران (۱۳۹۰) بر روی گیاه شیرین بیان مشابه بوده است.^{۲۹}

در این تحقیق نیز با افزایش غلظت فلز سنگین کادمیم در محیط رشد گیاه، میزان جذب آن توسط ریشه گیاه بیشتر شده و در ادامه وزن خشک ریشه کاهش یافته‌است.^{۳۰} تحقیقات زیادی مبنی بر اینکه، افزایش غلظت فلزات در خاک و تراکم آن در اندام‌ها، شاخص‌های رشد گیاهان را کاهش می‌دهد، وجود دارد.^{۳۱ و ۳۲}

یکی از شایع‌ترین علایم شکل ظاهری ناشی از تنش فلزات سنگین در گیاهان، تغییر رنگ و زرد شدن برگ‌هاست، این

تغییر در بسیاری از مطالعات به عنوان اولین علامت مسمومیت در برابر فلزات سنگین در نظر گرفته می‌شود و ناشی از کاهش بیوستز کلروفیل در گیاهان است.^{۳۳} بر اساس نتایج حاصل، در نمونه‌های گیاهی تحت تنش در هیچ یک از مراحل، تغییر رنگ و پژمردگی برگ، خمیدگی ساقه و شکنندگی ریشه مشاهده نشد. بنابراین گیاه نی تالابی توانایی جذب و پالایش فلزات مورد آزمون را دارا می‌باشد فقط در مورد کادمیم در غلظت-های بالا تجمع بیشتر فلز، در اندام‌های زیرزمینی است و در اندام‌های هوایی با توجه به آشکار شدن اثرات سمیت و عدم رشد مطلوب، ذخیره فلز کادمیم صورت نمی‌گیرد.

بررسی میزان تجمع فلز کادمیم از خاک به ریشه و اندام‌های هوایی

بررسی میزان تجمع فلز کادمیم در ریشه گیاه نسبت به خاک گلدان در جدول (۵) نشان داد که با افزایش غلظت کادمیم، میزان تجمع در ریشه نسبت به شاهد به طور معنی‌دار افزایش می‌یافت. این مسئله به ماهیت فلز کادمیم، حلالیت زیاد در آب و جذب سریع آن توسط اندام‌های زیرزمینی گیاه مربوط می‌باشد. بنابراین میزان انباشت فلز کادمیم در گیاه نی تالابی بسیار مطلوب و با افزایش غلظت دارای روندی صعودی بوده و عمده آن نیز در ریشه و غدد زیرزمینی جذب و تجمع می‌یابد. در مجموع با افزایش مقدار غلظت فلز کادمیم در تیمارهای آزمایشی، گیاه نی تالابی واکنش مثبت و مطلوبی نسبت به تجمع آن در اندام‌های زیرزمینی نشان می‌دهد بنابراین می‌تواند برای پالایش خاک‌های آلوده به کادمیم از این گیاه استفاده کرد و با توجه به تجمع کم کادمیم در اندام‌های

گیاهان، پیچیده است و به گونه گیاهی، نوع و غلظت عنصر و شرایط محیطی، مانند شدت نور و pH خاک بستگی دارد.^۳

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش گلخانه‌ای، مشخص شد که همراه با افزایش غلظت فلز کادمیم در محیط رشد گیاه، افزایش تجمع فلز در اندام‌های هوایی و زیرزمینی (ریشه و غده) گیاه نی تالابی دیده شد و میزان تجمع در اندام‌های زیرزمینی بیشتر از اندام‌های هوایی گیاه بود. طبق مشاهدات به نظر می‌رسد که اندام هوایی گیاه نسبت به ریشه و غده‌ها حساس‌تر است و گیاه برای بقا خود و انجام عمل فتوسنتز در غلظت‌های بالای تنش فلزات سنگین، انتقال فلزات را از ریشه به اندام هوایی کاهش داده‌است. که احتمال دارد یکی از دلایل تحمل نسبی گیاه مورد مطالعه نسبت به غلظت‌های مسموم کننده فلزات، ممانعت از انتقال این عناصر به اندام‌های هوایی و بخش‌های دیگر گیاه باشد. علاوه بر این، نشان دهنده نقش ریشه‌ها در نگهداری و پالایش فلزات می‌باشد. انباشتگی فلزات سنگین در ریشه، یکی از ساز و کارهای تحمل برخی گونه‌ها محسوب می‌شود. در این گیاهان، بخش زیادی از این فلزات جذب شده، متصل به دیواره سلولی باقی می‌ماند. تا حدی که بخش عمده فلزات در بافت‌های گیاهی در ریشه‌ها، در ساختار دیواره سلولی، یا در فضای بین دیواره و غشا متمرکز می‌شود. البته نتایج با توجه به ماهیت فلز مورد بررسی نیز متفاوت بوده و شکل‌های مختلف سمیت را در بافت‌های گیاهی نشان می‌دهد. در مورد فلز کادمیم با توجه به حلالیت بالا در آب نتایج بسیار متفاوتی نسبت به دیگر فلزات مشاهده شده‌است. محلول بودن کادمیم در آب موجب جذب بالای آن توسط گیاه می‌گردد. در نتیجه با بالا رفتن غلظت فلز کادمیم در تیمارهای آزمایشی، تاثیر چشم‌گیری بر رشد بافت‌های گیاهی مشاهده می‌گردد و کم‌کم رشد اندام‌های هوایی گیاه به طور کامل قطع می‌گردد. میزان تجمع کادمیم در بافت‌های زیرزمینی

هوایی گیاه نگرانی زیادی در رابطه با انتقال سم به بافت‌های خوراکی گیاه و آلوده دام‌ها به این فلز وجود نخواهد داشت. در تحقیقی مشابه کار حاضر، اسدی کپورچال و محمدی‌پور (۱۳۹۱) در ارزیابی توان بیش اندوزی گیاه شاهی برای پالایش گیاهی خاک‌های آلوده به کادمیوم بیان کردند که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، مقدار جذب کادمیوم در ریشه افزایش می‌یابد.^{۳۴} این نتایج در کار حاضر نیز به طور مطلوبی به دست آمده‌است و توانایی گیاه پالایی نی تالابی را برای فلز کادمیم نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های اکبریورسراسکانرود و همکاران (۱۳۹۱) بر روی گیاه قدومه کوهی، تاج خروس وحشی و علف مرغ تحت تیمارهای سرب، کادمیم و روی نیز همسو است. و در آن با افزایش غلظت فلزات میزان جذب آن توسط گیاه افزایش یافته است و تاثیر منفی بالا بودن فلز در گیاه موجب شده تا میانگین وزن خشک اندام هوایی این گیاهان در برابر افزایش غلظت آلودگی‌ها کاهش یابد.^{۳۵}

بررسی میزان انتقال فلز کادمیم از ریشه به

اندام‌های هوایی

فاکتور انتقال در کادمیم از تیمار شاهد تا غلظت ۲۰۰ ppm کاهش و پس از آن به علت عدم رشد اندام‌های هوایی گیاه قابل محاسبه نبوده‌است. روند کاهش فاکتور انتقال جابه‌جایی کم کادمیم را از ریشه و غدد زیرزمینی به اندام‌های هوایی نشان می‌دهد، بنابراین به طور عمده کادمیم در ریشه تجمع می‌یابد و انتقال آن به اندام‌های هوایی بسیار محدود است.

در نتایج مشابهی عیسی‌زاده لرزجان و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که بین غلظت کادمیم تجمع یافته در گیاهان و غلظت کادمیم در خاک ارتباط مستقیم وجود دارد و عمده فلز انتقال یافته به بافت‌های گیاهی در ریشه جمع می‌شود و مقدار اندک و ناچیزی به اندام‌های هوایی منتقل می‌گردد.^{۳۶} به طور کلی ساز و کارهای فیزیولوژیک تحمل سمیت عناصر فلزی در

سپاسگزاری

از سرکار خانم مهندس حیدری کارشناس آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت که در پیشرفت عملی این کار تحقیقاتی یاری فرمودند، کمال تشکر را داریم. از حوزه معاونت آموزشی و پژوهشی دانشگاه جیرفت که کمک مالی در مراحل اجرای این پژوهش داشتند، تشکر و قدردانی می نمایم.

قابل توجه و دارای روند افزایشی اما تجمع در اندام‌های هوایی گیاه خیلی بالا نیست. همچنین فاکتور انتقال نیز دارای روندی کاهشی و با افزایش شدید فلز در تیمارهای آزمایشی و قطع رشد بافت‌های هوایی گیاه به طور کامل از بین می‌رود. بنابراین گیاه نی تالابی توانایی پالایش بالای کادمیم را داراست و به طور عمده آن را در بافت‌های زیرزمینی ذخیره می‌نماید. با توجه به ویژگی‌های گیاه نی تالابی مانند تولید بیوماس بالا، مقاومت بالا به تنش فلزات سنگین، فاکتور انتقال پایین و توانایی بالا برای جذب و تجمع فلزات سنگین، می‌توان گفت این گیاه برای پالایش و حذف فلز کادمیم مناسب می‌باشد.

References

1. Kleche M, Berrebbah H, Grara N, Bensoltane S, Djekoun M, Djebar M. Phytoremediation using *Phragmites australis* roots of polluted water with metallic trace elements (MTE). *Ann Biol Res* 2013;4(3):130-3.
2. Shine J, Ryan D, Limon J, Ford T. Annual cycle of heavy metals in a tropical lake – Lake Chapala, Mexico. *J Environ Sci Health A* 1998;33:23-43.
3. Lasat MM, Baker AJ. Physiological characterization of roots Zn^{2+} absorption and translocation to shoot in Zn hyperaccumulator and nonaccumulator species of *Thlaspi*. *J Plant Physiol* 1996;112:1715-22.
4. Birch L, Hanselmann KW, Bachofen R. Heavy metal conservation in Lake Cadango sediments: historical records of anthropogenic emissions in a meromictic alpine lake. *Water Resour* 1998;30:679-87.
5. Parniyan A, Charm M, Jafarzadehaghhighifard N, Dinarvand M. Phytoremediation of nickel from the hydroponic environment with the help of horned grass (*Ceratophyllum demersum* L.). *Sci Technol greenhouse Crop* 2011;6:75-84 [In Persian].
6. Scott SJ, Jones RA, Williams WA. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Sci* 1984;24:1192-9.
7. Robinson BH, Mills TM, Petit D, Fung LE, Green SR, Clothier BE. Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation. *Plant Soil* 2000;227:301-6.
8. Kirkham MB. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. *Geoderma* 2006;137:19-32.
9. Loutfy N, Fuerhacker M, Tundo P, Raccanelli S, EL-Dien AG, Ahmed MT. Dietary intake of dioxins and dioxins-like PCBs, due to the consumption of dairy products, fish/seafood and meat from Ismailia city, Egypt. *Sci Total Environ* 2006;370:1-8.
10. Baudouin C, Charveron M, Tarrouse R, Gall Y. Environmental pollutants and skin cancer. *Cell Biol Toxicol* 2002;18:341-8.
11. Naderi M, Danesh shahraki E, Naderi R. Some methods for increasing the efficiency of heavy metals phytoremediations. *Human Environ J* 2012;22:26-38 [In Persian].
12. Amouei AI, Mahvi AH, Naddafi K. Effect on heavy metals Pb, Cd and Zn availability in soils by amendments. *J Babol U Med Sci* 2006;7:26-31.
13. Ahmadi M. Investigating the amount of some heavy metals (cadmium, chromium, copper, lead and zinc) in the crops grown in downstream of Zayandehrood River, Master's degree dissertation, University of Isfahan. 2011. (In Persian).
14. Mozafari A, Habibi D, Maliki A, Babaie F. Evaluation of multi-species potential in reducing soil pollution to heavy metal cadmium. *J Agron Plant Breed* 2012;8(3):1-14 [In Persian].
15. Ebrahimi M, Jafari M, Savaghebi GH, Azarnivand H, Tavili E, Madrid F. Investigation of *phragmites australis* strain in heavy metals contaminated soils. *Rangeland J* 2012;6(1) [In Persian].
16. Stoltz E, Greger M. Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings. *Environ Exp Bot* 2002;47:271-80.
17. Aksoy A, Duman F, Sezen G. Heavy metal accumulation and distribution in narrow-leaved cattail (*Typha angustifolia*) and common reed (*Phragmites*

- australis*). J Freshwater Ecol 2005;20(4):783-5.
18. Guo L, Cutright T. Remediation of acid mine drainage (AMD)-contaminated soil by *Phragmites australis* and rhizosphere bacteria. Environ Sci Pollut Resour 2014;21(12):7350-60
 19. Bouyoucos GJ. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron J 1962;54:464-5.
 20. Mclean EO. Soil pH and lime requirement. Chem Microbiol Prop 1982;2:199-223.
 21. Roades JD. Salinity electrical conductivity and total dissolved solids. Method of soil Analysis. Pars. Chemical methods. Madision. 1996. 417 - 35.
 22. Olsen SR, Sommers LE. Phosphorus, 403-430. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 1982.
 23. Black CA. Methods of soil analysis. 1965.
 24. Walkley A, Black TA. An examination of Deglijareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the choromic acidtitration method. Soil Sci 1934;37:29-38.
 25. Alizade M, Fathi F, Tirabian A. Investigating the amount of heavy metals accumulation in irrigated forage plants in southern Tehran. Case study: Vignage and corn. J Ecol 2008;34:137-48 [In Persian].
 26. Lindsay WL, Norvell WA. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci Soc Am J 1978;42:421-8.
 27. Zacchini M, Pietrini F, Mugnozza G, Lori V. Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. Water Air Soil Pollut 2008;197:23-34.
 28. Giuseppe B. Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species *Typha domingensis*, *Phragmites australis* and *Arundo donax*. Ecotoxicol Environ Saf 2013;97:124-30.
 29. Sarmadi M, Irani M, Ernard F. Investigating the tolerance and accumulation of cadmium in licorice seedlings. Environ Sci 2011;3:69-80 [In Persian].
 30. Nourani azad H, Chobine D, Hajiagheri MR, Kafilzade F. Investigation of copper toxicity on growth and tolerance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars SAN-33. J Biosci Res Iran 2010;4(2):67-74 [In Persian].
 31. Jaleel AC, Jayakumar K, Chang-xing Z, Azooz MM. Antioxidant potentials protect *Vigna radiate* L. wilczek plants from soil cobalt stress and improve growth and pigment composition. Plant Omics J 2009;2:120-6.
 32. Rahman Khan M, Mahmud Khan M. Effect of varying concentrations of nickel and cobalt on the plant growth and yield of chick pea. Australian J Basic Appl Sci 2010;4(6):1036-46.
 33. Zarin kamar F, Saderi CZ, Zeinali H. Investigation of lead absorption and accumulation in different stages of German chamomile development. Plant Biol 2011;9:53-62 [In Persian].
 34. Asadi Kapourchal F, Mohamadipour C. Evaluation of plant overgrazing capacity for plant purification of Cadmium contaminated soils. J Water Soil Conserv 2012;2:25-35 [In Persian].
 35. Akbarpour Saraskanroud F, Sadri F, Gholalizade D. Phytoremediation for contaminated soils with some heavy metals by some native plants of Arasbaran protected area. J Water Soil Conserv 2012;4:53-65 [In Persian].
 36. Isazade lezerjan C, Asadi kapourchal F, Pazira A, Homayi M. Evaluation of the power of spinach and onion for extraction of cadmium from contaminated soils. Second national agricultural conference and sustainable development, 2010 [In Persian].

Phytoremediation of Cadmium in Polluted Effluents by *Phragmites Australis* in Constructed Wetland

Malihe Amini^{1*}, Narjes Okati²

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran
2. Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Sistan and Balochestan, Iran

* E-mail: Amini.malihe@gmail.com

Received: 17 Jan 2019 ; Accepted: 15 Apr 2019

ABSTRACT

Background and Objectives: With increasing population, the process of contamination of water resources has intensified and humans need new and inexpensive ways to refine and improve water quality. Heavy metals are the environmental pollutants that originate mainly from industrial and agricultural activities and are found in all parts of the industrial communities. This research was conducted to evaluate cadmium stress resistance for *Phragmites australis* in greenhouse conditions in University of Jiroft.

Methods: The experiments were conducted in a completely randomized design with factorial arrangement with two factors and three replications. Experiments were included: cadmium as the first factor and levels of metal stress including 0, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 mg.kg⁻¹ soil for greenhouse experiments as the second factor. The resistance of *Phragmites australis* to cadmium stress at deposition stage to full growth in greenhouse conditions was investigated and the concentration of cadmium in the underground organs and aboveground organs and soil pots were measured.

Results: results of Greenhouse experiments showed that with increasing in metal concentrations, it's absorbing with underground organs and aboveground organs were increased. However, impressive accumulation of cadmium was in underground organs and its translocation and accumulation in aboveground organs has been reported much less. With absorption and accumulation of metal in underground organs, ability of plant growth was decreased with changes in physiological characteristics. Even in respect of cadmium with high solubility in water and significant uptake in underground organs, have seen stop growing in aboveground plant parts.

Conclusion: In summary results of this research showed that regarding the growth of underground organs, the *Phragmites australis* is relatively resistant to cadmium stress, has low transmission factor and ability to accumulate cadmium in its underground organs.

Keywords: Cadmium, Constructed wetland, *Phragmites australis*, Phytoremediation