مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره یک، فروردین ماه ۱۴۰۱(۱۲۸-۱۱۵)

بررسی میزان آلودگی فلز روی در منابع خاک و امکان‌سنجی حذف آن در شرایط گلخانه‌ای توسط گیاه نی‌تالابی و سلولز استخراجی آن (*Pharagmites australis*)

ملیحه امینی [1*]
amini.malihe@ujioft.ac.ir
آتنا نعیمی [2]
هانا اعتمادی [3]

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۱۳ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۸**

چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین از موارد تهدیدکننده سلامت اکوسیستم‌ها می‌باشند. تجمع فلزات در خاک امکان ورود آن‌ها به گیاهان و در نتیجه ریسک سلامت محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهد. هدف از این تحقیق تعیین اثر تنش فلز روی بر گیاه *Pharagmites australis* در شرایط گلخانه‌ای بوده‌است.

روش بررسی: آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی به صورت فاکتوریل با دو فاکتور و سه تکرار، سال ۱۳۹۵ در دانشگاه جیرفت انجام شد. هضم و آماده‌سازی نمونه‌ها به روش سوزاندن خشک صورت گرفت و جهت اندازه‌گیری غلظت عنصر روی از دستگاه جذب اتمی استفاده‌شد.

یافته ها: نتایج آزمایش در شرایط گلخانه نشان داد با افزایش غلظت فلز روی در تیمارهای آزمایشی میزان جذب آن توسط بافت‌های زیرزمینی و اندام‌های هوایی گیاه افزایش می‌یابد هرچند تجمع چشم‌گیر روی در بافت‌های زیرزمینی بوده‌است و انتقال آن و تجمع در بافت‌های هوایی گیاه خیلی کمتر به دست آمده‌است.

بحث و نتیجه گیری: با جذب و تجمع فلزات در اندام‌های زیرزمینی، توانایی رشد گیاه نیز با تغییر ویژگی‌های فیزیولوژیک کاهش یافته-است. نتایج تجزیه رگرسیون نشان‌داد افزایش غلظت روی در بافت‌های گیاه نی‌تالابی تحت تاثیر سطوح تنش این فلز تابع یک منحنی درجه دوم با ضریب همبستگی بالای ۹۰٪ بود که در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار گردید. به‌طورکلی نتایج نشان داد که نی‌تالابی گیاهی

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت.* (مسوول مکاتبات)
۲- دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه جیرفت.
۳- استادیار گروه محیط زیست، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر.

نسبتا مقاوم در برابر تنش فلز ضروری و کمیاب روی، دارای فاکتور انتقال پایین و ظرفیت بالایی برای تجمع فلز روی در ریشه خود می‌باشد.

واژه های کلیدی: آلودگی، فلز روی، نی‌تالابی، کاشت گلخانه‌ای، سلولز.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 1, April, 2022

Investigation the amount of Zinc pollution on soil resources and using the feasibility of its removal with *Pharagmites australis* plant its extraction cellulose in the greenhouse conditions

Malihe Amini [1*]

amini.malihe@ujioft.ac.ir

Atena Naeimi [2]

Hana Etemadi [3]

Admission Date:December 29, 2019 Date Received: July 4, 2017

Abstract

Background & Objective: Heavy metals cases are threatening the health of ecosystems. Accumulation of metals in the soil allows them to plant crops and thus increases the risk of agriculture crops health. The goal of this research was conducted to evaluate zinc stress resistance for *Pharagmites australis* in greenhouse conditions.

Material and Methodology: Experimental design was performed in an entirely randomized plan having two factors and three replications, 2016 at University of Jiroft. Digestion and preparation of samples were done by dry burning method and then Zinc concentration was measured by atomic absorption.

Findings: Greenhouse experiments results showed that with increasing in metal concentration treatments, its absorbing with shoot and root were increased. However, impressive accumulation of zinc was in root and its translocation and accumulation in shoot has been reported much less.

Discussion & Conclusions: With absorb and accumulate of metals in root, ability of plant growth was decreased with changes in physiological characteristics. Results of regression analysis showed concentration increasing of zinc in *P. australis* organs under these metal stress condition were fitted as a quadratic function with R^2 >90 ($p<0.01$). In summary results of this research show high relatively resistant of *P. australis* to zinc stress as necessary metal in plants, high accumulation capacity for metal in its root organ and low heavy metal translocation factor.

Key words: Pollution, Zinc metal, *Pharagmites australis*, Greenhouse conditions, Cellulose.

1- Associate Prof. of Environmental Science and Engineering Department, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran. * (*Corresponding author*)

2- Associate Prof. of Chemistry Department, Faculty of Science, University of Jiroft, Iran.

3-Assistant Prof. of Environment Department, Persian Gulf Research Institute, Persian Gulf University, Bushehr.

مقدمه

صنعتی‌شدن کشورها و افزایش جمعیت جهان طی قرن بیستم منجر به آلودگی خاک، آب و هوا توسط آلاینده‌های خطرناکی نظیر فلزات سنگین و متعاقبا بروز آثار مخرب زیانبار برای سلامتی انسان‌ها و ثبات اکوسیستم‌های طبیعی و زراعی گردیده‌است (۱). عناصر سنگین به علت خواص سمی و تجمع-پذیری و هم چنین ماندگاری زیاد در بدن موجودات زنده دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. اگرچه برخی از این عناصر در مقادیری ناچیز برای رشد گیاه لازم‌اند، ولی غلظت کمی بیشتر از حد آستانه آن‌ها می‌تواند برای حیات گیاهی و جانوری خطرساز باشد (۲ و ۳). گیاهان مهم‌ترین مسیر انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان و چرخه‌های زیستی محسوب می‌شوند. معضل اصلی مربوط به فلزات سنگین آن است که آلاینده‌های غیرآلی بر خلاف آلاینده‌های آلی تجزیه‌پذیر نمی‌باشند. این واقعیت، فلزات سنگین را به یکی از خطرناک‌ترین گروه آلاینده‌های محیط‌زیستی مبدل ساخته‌است (۱).

عنصر روی طعم نامطلوب، تلخ و گزنده‌ای به آب می‌دهد. بعد از فولاد، آلومینیوم و مس پرمصرفترین فلز صنعتی تلقی می‌شود. به‌عنوان محافظ فولاد در صنعت آبکاری، به صورت فلز آلیاژکننده با مس جهت تولید برنج، در ریخته‌گری‌ها و همچنین به صورت ترکیبات شیمیایی در لاستیک و رنگ‌ها به کار می‌رود (۴). روی در بدن انسان با غلظت بالا در پروستات، استخوان، عضله و کبد پیدا شده‌است. نیمه عمر روی باقی‌مانده در بدن انسان یک سال است. روی عنصری حیاتی برای تمامی ارگانیسم‌های زنده است. بعضی از عوارض نامطلوب آن در صورت ورود بیش از حد مورد نیاز به بدن عبارتند از مسمومیت، تب، تهوع، استفراغ و اسهال که در اثر مصرف نوشیدنی‌های اسیدی یا غذاهایی ظاهر می‌شود که در ظروف گالوانیزه تهیه و نگهداری می‌شوند (۵). چگونگی توزیع و محل انباشتگی این عنصر در اندام‌های گیاهی حائز اهمیت می-باشد، زیرا توزیع در اندام‌های مختلف یکنواخت نیست. معمولا تجمع این عنصر در دانه و میوه کمتر از برگ و ریشه است؛ از این رو توانمندی جابه‌جایی و انتقال عناصرسنگین در گیاه به نوع عنصر، اندام گیاهی و سن آن بستگی دارد (۲).

گیاه‌پالائی تکنولوژی نوینی است که در آن از گیاهان برای حذف آلاینده‌های محیطی نظیر فلزات‌سنگین استفاده می‌شود (۶). جمع‌آوری آلاینده‌ها از محیط، حذف ترکیبات مضر و تبدیل آن‌ها به فرم‌هایی که به آسانی قابل عصاره‌گیری هستند (بافت‌های گیاهی)، دلیل اصلی استفاده از این فناوری است (۷). گیاهانی در این تکنولوژی استفاده می‌شوند که دارای ویژگی‌های تحمل و مقاومت به سطوح بالای غلظت فلز در محیط رشد، توانایی انباشت سطوح بالای فلز به صورت قابل برداشت، با رشد سریع و تولید زیست‌توده بالا باشند (۶). *P. australis* به عنوان گیاهی با پراکندگی جهانی قابلیت بالایی در جذب عناصر فلزی از خود نشان داده که می‌توان از آن به عنوان نشانگر زیستی نام‌برد (۱۰- ۸). رشد سریع و جذب بالای عناصر در بافت‌های گیاهی، نقش گیاه‌پالایی در تصفیه و پاک-سازی محیط از آلودگی‌ها را به‌خوبی نشان می‌دهد (۱۱).

تالاب‌های مصنوعی یک شبیه‌سازی از تالاب‌های طبیعی است که به خاطر وجود گیاهان، توانایی جذب و تصفیه آلاینده‌ها را داراست. با این تفاوت که در آن کنترل شرایط بهتر صورت می-گیرد (۱۲). تاکنون ۴ گونه گیاهی برای روی، به عنوان گیاهان ابرجاذب گزارش شده‌اند. این گونه‌های گیاهی به طور طبیعی۱۰۰-۵۰ برابر بیشتر نسبت به سایرگیاهان، عناصر سنگین را در خود جمع می‌کنند (۱۳). هدف از این مطالعه تعیین میزان تجمع عنصر روی در گیاه نی‌تالابی و توانایی این گیاه در کاهش خطر آلودگی فلز روی در منابع آب و خاک می-باشد. با توجه به ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک، در صورتی که این گیاه سایر ویژگی‌های لازم برای گیاه‌پالایی از جمله مقاومت به تنش و قابلیت بالای جذب را داشته باشد، می‌توان از آن در پالایش آلودگی‌های نقطه‌ای[1] مرتبط با فلز روی استفاده کرد.

1- point pollution

مواد و روش‌ها

معرفی محل آزمایش

آزمایش‌های این پژوهش سال ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت واقع در جنوب شرق استان کرمان انجام شد. وضعیت آب‌وهوایی منطقه گرمسیری و ارتفاع از سطح دریا ۶۰۰ متر است. این منطقه درحد فاصل طول‌های جغرافیایی ″۸ ′۳ °۵۷ تا ″ ۲۷ ′۴ °۵۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″ ۴۰ ′۲۸ °۲۸ تا ″۶ ′۵۲ °۲۸ قرار گرفته‌است.

آماده‌کردن خاک و اعمال تیمارهای آزمایشی و کاشت گیاه

نمونه‌برداری خاک از ایستگاه تحقیقاتی شهید بهشتی دانشگاه جیرفت، عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام و پس از هوا خشک-شدن خاک، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نظیر EC، pH، آهک، فسفر، ماده آلی و بافت و همچنین غلظت فلز روی در نمونه خاک اولیه اندازه‌گیری شد. خاک مورد نظر از الک چهار میلی‌متری عبورداده‌شد و دو کیلوگرم خاک به ازاء هر گلدان وزن و در ظرف‌های پلاستیکی ریخته‌شد. اضافه‌کردن سولفات روی از طریق ساخت محلول آبی و آبیاری در حد ظرفیت مزرعه انجام شد. وضعیت تیمارها و تکرارهای هر یک از آزمایش‌ها به‌صورت زیر بود:

۲۴ گلدان= ۳ تکرار × ۸ سطح روی (۰ ، ۵۰ ، ۱۰۰ ، ۲۰۰ ، ۴۰۰ ، ۶۰۰ ، ۸۰۰ و ۱۰۰۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی اجرا شدند. سپس گلدان‌ها به مدت ۲۰ روز رها شدند تا حد امکان برهمکنش آلاینده‌های خاک تدوین پیدا کنند و شرایط آلودگی خاک به عنصر کمیاب روی تا حدی شبیه شرایط طبیعی موجود در زمین آلوده گردد.

تهیه غده گیاه، کاشت در گلدان و برداشت گیاه

غده‌های گیاه نی‌تالابی از ایستگاه تحقیقاتی شهید بهشتی دانشگاه جیرفت جمع‌آوری و پس از شستشو با آب مقطر، سه غده در هر گلدان کاشته شد و پس از رشد مطلوب تعداد گیاهچه‌ها به ۱۰ عدد کاهش‌داده‌شد. چیدمان گلدان‌ها هر ۱۰ روز یکبار تغییر داده‌شد و آبیاری گلدان‌ها تا حد ظرفیت زراعی در طول دوره رشد (۳ ماه) انجام شد. سپس برداشت اندام هوایی و ریشه گیاهان به طور جداگانه انجام و توسط آب مقطر شسته شدند.

آماده سازی و آنالیز نمونه ها

هضم و آماده‌سازی نمونه‌ها به روش سوزاندن خشک صورت گرفت و جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer -Analyst 400) استفاده‌شد (۱۴). اندازه-گیری مقدار فلز به روش عصاره‌گیری با DTPA صورت گرفت (۱۵).

محاسبه فاکتور انتقال[1] و فاکتور تجمع[2]

به منظور ارزیابی توانایی گیاه در انتقال فلزات‌سنگین از ریشه به اندام هوایی، فاکتور انتقال طبق فرمول (۱) محاسبه گردید (۱۶).

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

به منظور ارزیابی توانایی گیاه در انتقال فلزات‌سنگین از خاک به ریشه و اندام هوایی، فاکتور تجمع فلزات در اندام‌های زیرزمینی و اندام‌های هوایی طبق فرمول (۲) محاسبه گردید (۱۷).

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

تحلیل داده‌ها

آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام و پردازش داده‌ها و رسم نمودارها با نرم افزار Exel و تجزیه‌وتحلیل 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.

1- Translocation Factor

2- Bioaccumulation Factor

استخراج سلولز از ریشه و اندام‌های هوایی گیاه نی‌تالابی

ریشه‌های خشک‌شده گیاه نی‌تالابی به‌صورت پودر درآمد و با سدیم‌کلریت در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد برای یک ساعت چرخید. محصول به‌دست آمده با آب و اتانول شسته شد و در آون در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، ۳ ساعت خشک شد. سپس پودر خشک شده با پتاسیم‌هیدروکسید ۱۰٪ در دمای اتاق، ۵ ساعت چرخید. محصول سفید رنگ به‌دست آمده با اتانول شسته و سپس در آون در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، ۳ ساعت خشک شد.

نتایج

بررسی اثر تنش فلزات‌سنگین بر برخی از شاخص‌های کمی فیزیولوژیک

جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قبل از انجام آزمایش را نشان می‌دهد. خاک دارای بافت سبک، شوری پایین و اسیدیته تقریبا خنثی بود. pH خاک ۷/۱ و بافت خاک عمدتا لوم (loam) بود و میزان ماده آلی ۰/۱۷ درصد و آهک ۲۵ درصد تعیین شد. همچنین میزان فلز روی خاک هم با روش عصاره‌گیری با DTPA[1] ۱ میلی‌گرم‌برکیلوگرم خاک بود.

بررسی اثر تنش فلز روی بر گیاه نی‌تالابی

بررسی میزان تجمع فلز روی در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه نی‌تالابی

براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد، میانگین افزایش جذب فلز روی در تیمارهای mg/l ۲۰۰-۱۰۰۰ در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار بودند و بنابراین نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱) بین تیمارهای متفاوت با غلظت‌های مختلف فلز روی تفاوت معنی‌داری از نظر جذب این فلز در گیاه نشان دادند و با افزایش غلظت فلز در خاک گلدان، مقدار جذب آن در اندام‌های هوایی به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. البته ایجاد پدیده پرغذایی و تاثیر منفی افزودن غلظت‌های فلز روی دیرتر از فلزاتی مانند مس بر روی گیاه خود را نشان می‌دهد؛ به طوری که تفاوت و جذب معنی‌دار روی توسط گیاه در غلظت-های بالا مشاهده می‌گردد.

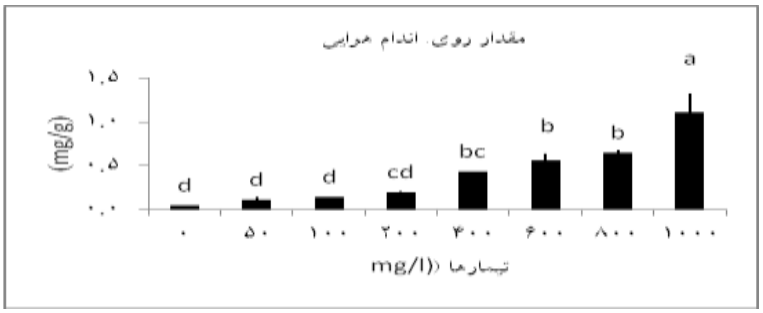
براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد، میانگین افزایش جذب فلز روی در تمام تیمارها به جز mg/l ۵۰ (mg/l ۱۰۰-۱۰۰۰) در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار بودند و بنابراین نتایج مقایسه میانگین(شکل ۲) بین تیمارهای متفاوت با غلظت‌های مختلف فلز روی تفاوت معنی‌داری از نظر جذب این فلز در گیاه نشان دادند و با افزایش غلظت فلز در خاک گلدان، مقدار جذب آن در اندام‌های زیرزمینی نیز به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. بنابراین با وجود این‌که روی جزو عناصر غذایی کم‌مصرف و مورد نیاز گیاهان است؛ ولی تاثیر منفی پرغذایی با این فلز نیز در اندام‌های زیرزمینی گیاه مشاهده شده‌است. افزایش غلظت فلز روی در محیط رشد گیاه، موجب اختلال در رشد مطلوب و کاهش وزن خشک ریشه گیاه خواهدشد.

1 -Diethylenetriamine pentaacetic acid

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

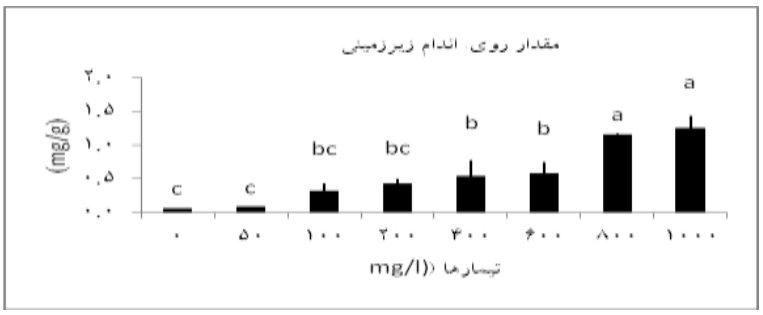
Table 1. The physical and chemical properties of the soil used

ویژگی‌ها	بافت	شن٪	سیلت٪	رس٪	pH	EC (ds/m-1)	فسفر (mg/kg^{-1})	آهک٪	ماده‌آلی٪	روی (mg/kg^{-1})
خاک	لومی	۴۸	۳۴/۵	۱۷/۵	۷/۱	۱/۵	۳۵	۲۵	۰/۱۷	۱



شکل۱- روند تغییرات تجمع فلز روی در اندام‌های هوایی گیاه

Figure 1. Trend zinc accumulation in aboveground plant parts



شکل ۲- روند تغییرات تجمع فلز روی در اندام‌های زیرزمینی گیاه

Figure 2. Trend of accumulation of zinc in the underground plant organs

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

میانگین مربعات حاصل از نتایج تجزیه واریانس اثر فلز روی، غلظت‌های مختلف و اثرات متقابل بر میزان فاکتور تجمع[1] (میزان تجمع فلز روی در اندام هوایی گیاه نسبت به خاک آلوده و در ریشه گیاه نسبت به خاک آلوده) با سطح احتمال یک درصد معنی‌دارگردید (جدول ۲). مقایسه میزان تجمع فلز روی در اندام هوایی گیاه نشان‌داد که میانگین تجمع فلز روی در اندام‌های هوایی گیاه با افزایش مقدار غلظت فلز روی در تیمارهای خاک گلدان کاهش می‌یافت. البته مقدار تجمع فلز روی نسبت به دیگر فلزات ضروری کم‌مصرف بیشتر است که به نیاز گیاه به مقادیر بالاتر آن و دیرتر ظاهرشدن اثرات سمی آن در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه مربوط می‌شود. به‌طورکلی توانایی گیاه نی‌تالابی در جذب و تجمع فلز روی در خاک‌های آلوده مطلوب می‌باشد. روند تغییرات تجمع فلز روی در اندام هوایی گیاه نی‌تالابی در جدول ۳ ارائه شده‌است.

1 -Bioaccumulation Factor

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف فلز روی بر میزان تجمع روی در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به خاک آلوده

Table 2. Analysis of variance effects of different concentrations of zinc on the concentration of zinc in aboveground plant parts of plant to contaminated soil

روی. اندام‌های هوایی/ خاک	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
بین گروه‌ها	۰/۶۰۶	۷	۰/۰۸۷	۲۵/۵۴۲	۰/۰۰۰
داخل گروه‌ها	۰/۰۵۴	۱۶	۰/۰۰۳		
مقدار کل	۰/۶۶۰	۲۳			

میانگین مربعات حاصل از نتایج تجزیه واریانس اثر فلز روی، غلظت‌های مختلف و اثرات متقابل بر میزان تجمعش (میزان نسبت تجمع فلز روی خاک در ریشه گیاه نی‌تالابی) با سطح احتمال یک درصد معنی‌دارگردید (جدول ۴). مقایسه میزان تجمع فلز روی در ریشه گیاه نشان‌داد که میانگین تجمع روی در تیمارهای مورد آزمایش کاهش می‌یافت. بررسی میزان تجمع فلز روی در ریشه گیاه نسبت به خاک گلدان در جدول ۳ نشان‌داد که با افزایش غلظت روی، میزان تجمع در ریشه نسبت به شاهد دارای روندی کاهشی است؛ اما شیب این کاهش و میزان تجمع در ریشه کمتر از اندام‌های هوایی گیاه می‌باشد.

بررسی میزان انتقال فلز روی از ریشه به اندام‌های هوایی

میانگین مربعات حاصل از نتایج تجزیه واریانس اثر فلز مس، غلظت‌های مختلف و اثرات متقابل بر میزان فاکتور انتقال[1] (میزان انتقال مس از ریشه به اندام‌های هوایی) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نشد (جدول ۵). با توجه به بخش‌های قبل که توانایی پالایش روی توسط گیاه نی‌تالابی مشخص شده‌است، بنابراین جابه‌جا شدن و انتقال این فلز از ریشه به اندام‌های هوایی به ندرت اتفاق می‌افتد و به‌طور عمده روی جذب شده از خاک در ریشه و غدد گیاهی جمع و ذخیره می‌شود. مقایسه میانگین میزان فاکتور انتقال در تیمارهای مختلف نیز در جدول ۶ ارائه شده‌است.

1 -Translocation Factor

جدول ۳- نتایج محاسبه میزان فاکتور تجمع فلز روی در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به خاک آلوده و در اندام‌های زیرزمینی گیاه نسبت به خاک آلوده

Table 3. Results of zinc accumulation factor in aboveground plant parts to contaminated soil and groundwater plant parts to contaminated soil

عنصر	مقدار فلز	فاکتور تجمع	فاکتور تجمع
روی		اندام هوایی/ خاک	اندام زیرزمینی/ خاک
	۰	۰/۵۷۵	۰/۸۱۸
	۵۰	۰/۱۷۹	۰/۱۳۳
	۱۰۰	۰/۱۷۳	۰/۳۹۲
	۲۰۰	۰/۰۷۵	۰/۱۶۷
	۴۰۰	۰/۰۹۵	۰/۱۱۹
	۶۰۰	۰/۰۹۲	۰/۰۹۶
	۸۰۰	۰/۰۶۳	۰/۱۱۵
	۱۰۰۰	۰/۱۰۱	۰/۱۱۴
Sig		۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف فلز روی بر میزان تجمع در اندام‌های زیرزمینی گیاه نسبت به خاک آلوده

Table 4. Analysis of variance effects of different concentrations of zinc on zinc in groundwater plant parts to contaminated soil

روی. اندام‌های هوایی/ خاک	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
بین گروه‌ها	۱/۳۴۲	۷	۰/۱۹۲	۱۲/۴۱۱	۰/۰۰۰
داخل گروه‌ها	۰/۲۴۷	۱۶	۰/۰۱۵		
مقدار کل	۱/۵۹۰	۲۳			

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف فلز روی بر میزان انتقال در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به اندام‌های زیرزمینی گیاه

Table 5. Analysis of variance effects of different concentrations of zinc on the transfer of zinc in aboveground plant parts to underground plant parts

روی. اندام‌های هوایی/ خاک	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
بین گروه‌ها	۶/۰۱۷	۷	۰/۸۶۰	۰/۸۹۰	۰/۵۳۶
داخل گروه‌ها	۱۵/۴۴۷	۱۶	۰/۹۶۵		
مقدار کل	۲۱/۴۶۴	۲۳	۰/۸۶۰		

جدول ۶- نتایج محاسبه میزان فاکتور انتقال فلز روی در اندام‌های هوایی گیاه نسبت به اندام‌های زیرزمینی گیاه

Table 6. The results of calculation of transfer factor zinc in aboveground plant parts to underground plant parts

عنصر	مقدار فلز	فاکتور انتقال
روی		اندام هوایی/ اندام زیرزمینی
	۰	۰/۷۰۲
	۵۰	۱/۳۴۳
	۱۰۰	۰/۴۴۱
	۲۰۰	۰/۴۵۲
	۴۰۰	۰/۷۹۷
	۶۰۰	۰/۹۵۷
	۸۰۰	۰/۵۵۴
	۱۰۰۰	۰/۸۸۸
Sig		۰/۵۳۶

بررسی میزان توانایی گیاهان در پالایش فلزات در محیط-های آلوده

با توجه به مباحث ذکر شده و توانایی بالای گیاه نی‌تالابی در پایش فلز روی، لازم است تا نتایج بررسی‌های دیگر محققان که در نوع گیاه یا فلز مورد بررسی مشابه با تحقیق حاضر است در کنار هم قرارگیرند تا امکان مقایسه نتایج و تایید صحت این آزمایش‌ها فراهم گردد. جدول ۷ مروری کلی بر توانایی گیاه-پالایی فلزات‌سنگین را در منابع آب و خاک نشان می‌دهد.

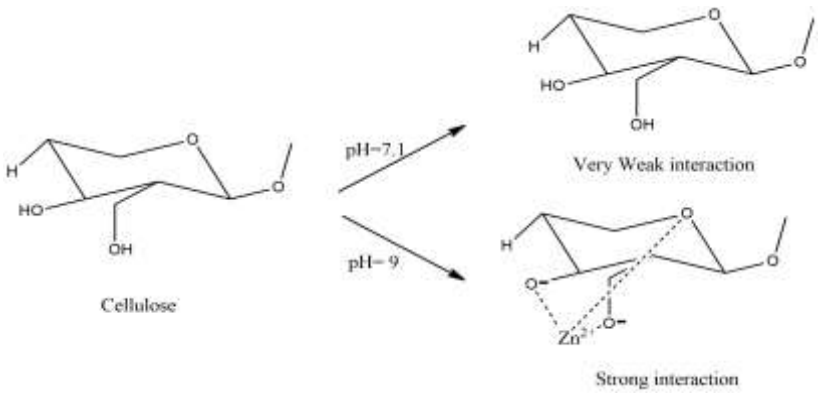
جدول ۷- مقایسه توانایی گیاه پالایی فلزات‌سنگین توسط گیاهان مختلف در منابع آب و خاک

Table 7. Comparison of the ability of different plants for remove the heavy metals from water and soil resources

نام گیاه	فلز پالایش‌شده	اندام با بالاترین تجمع فلز	اندام با کمترین تجمع فلز	منبع
قدومه کوهی ، تاج خروس وحشی و علف مرغ	روی	ریشه	اندام های هوایی	(۱۸)
Phragmites australis	روی، مس، کروم	ریشه	اندام های هوایی	(۱۲)
برنج، هویج، پیاز، شوید، کاهو، سیب زمینی	سرب، نیکل، روی، مس	ریشه	اندام های هوایی	(۲)
اقاقیا	روی موجود در نفت خام	ریشه	اندام های هوایی	(۷)
استپی ریش دار و گندم	روی	ریشه	اندام های هوایی	(۱۹)
Phragmatis australis	سرب ، روی ، مس و کادمیم	ریشه	اندام های هوایی	(۳)

در تمام موارد مورد بررسی در جدول، مشاهده می‌گردد که بالاترین درصد تجمع فلز روی در ریشه و اندام‌های زیرزمینی و در ادامه با مقدار کمتر در اندام‌های هوایی می‌باشد. از بازده استخراج سلولز در اندام‌های زیرزمینی و اندام‌های هوایی گیاه مشخص است که درصد سلولز در اندام‌هایی هوایی بسیار زیاد و در اندام های زیرزمینی بسیار کم است. وجود سلولز در اندام-های هوایی در pH ۷/۱ باعث می شود تا پیوند واندروالسی، غیرکووالانسی و خودآرایی بین سلولز و فلز روی بسیار پایین

باشد و این امر باعث کاهش جذب فلز روی در اندام‌های هوایی می‌گردد (شکل ۳). در طرف مقابل نیز حضور بسیار کمرنگ سلولز در ریشه‌ها باعث افزایش جذب فلز روی در اندام‌های زیرزمینی شده‌است (۲۱-۲۰).



شکل ۳- بر هم کنش سلولز در pHهای خنثی و قلیایی با فلز روی

Figure 3. Interaction of cellulose at neutral and alkaline pHs with zinc metal

مشابه این مقاله، در تحقیقات دیگر نیز پایش بالای فلز روی توسط ریشه گیاهان انجام شده‌است. در صورتی که گیاه دارای اندام‌های زیرزمینی خوراکی نباشد و برگ و میوه مصرف خوراکی داشته باشند؛ تجمع بالاترین مقدار فلز در ریشه ضمن حذف و جداسازی فلز از منابع آب و خاک آلوده، به مصرف کننده منتقل نمی‌شود و مشکل‌ساز نخواهد بود. تحقیق حاضر در مقایسه با کارهای مشابه قبلی بسیار کامل‌تر و در کنار بررسی میزان تجمع فلز در اندام های زیرزمینی و اندام‌های هوایی گیاه، مقدار باقی مانده فلز در خاک و میزان انتقال آلودگی فلز روی از خاک به اندام‌های زیرزمینی و اندام‌های هوایی گیاه را نیز نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش گلخانه‌ای، مشخص شد که همراه با افزایش غلظت فلز روی در محیط رشد گیاه، افزایش تجمع در اندام‌های هوایی و زیرزمینی (ریشه و غده) گیاه نی-تالابی دیده‌شد. بررسی میزان تجمع فلز روی در اندام‌های هوایی گیاه نی‌تالابی نشان از توانایی بالای گیاه در حذف روی در محیط‌های آلوده داشت. این پدیده ممکن است به علت نیاز بالاتر گیاهان به فلز روی نسبت به دیگر فلزات مربوط باشد که سازگاری گیاه را در مقابله با غلظت‌های بالاتر آن نشان می‌دهد. البته با افزایش غلظت فلز در محیط رشد گیاه، با افزایش معنی-دار جذب فلز توسط گیاه در اثر پدیده پرغذایی و تاثیر منفی فلز مذکور بر گیاه، میزان رشد اندام‌های هوایی گیاه کاهش می‌یابد. همچنین بررسی تاثیر افزایش غلظت فلز روی بر رشد ریشه گیاه نشان‌داد که علیرغم افزایش تجمع فلز در اندام‌های زیرزمینی، میزان رشد ریشه کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که غلظت‌های بالای فلزات از طریق تغییر در ساختار غشای سلول‌های ریشه و کاهش سطوح جذب‌کننده آب، منجر به کاهش پتانسیل گیاه در جذب آب شده و تأثیر منفی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی نظیر تعرق، تنفس، فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد گیاه را به‌دنبال داشته‌است. در نتیجه باعث کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه شده‌است (۲۲).

سایر محققان نیز گزارش‌کردند که فلزات باعث کاهش وزن تر ریشه، ساقه و برگ‌ها و وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاهان و به طور کلی سبب کاهش زیست‌توده گیاهی می‌شوند (۲۳ و ۲۴).

در مجموع همراه با افزایش غلظت فلز روی در محیط رشد گیاه، افزایش تجمع فلز در اندام های هوایی و زیرزمینی (ریشه و غده) گیاه نی تالابی دیده شد و میزان تجمع در اندام های

زیرزمینی بیشتر از اندام های هوایی گیاه بود که نشان از نقش ریشه در نگه داری، ذخیره و پالایش فلزات آلاینده منابع آب و خاک می باشد.

براساس نتایج، میزان تجمع فلز روی از خاک به ریشه و اندام-های هوایی با افزایش مقدار غلظت فلز روی در تیمارهای خاک گلدان، دارای روندی کاهشی بود (فاکتور تجمع). البته میزان تجمع در ریشه نسبت به شاهد مشابه اندام‌های هوایی گیاه دارای روندی کاهشی اما با شیب ملایم‌تر بود. اگرچه گیاه نی-تالابی توانایی جذب مطلوب فلز روی را در اندام‌های هوایی و زیرزمینی دارا می‌باشد ولی تجمع آن بیشتر در ریشه و غدد زیرزمینی گیاه است و مقادیر کمتری به اندام‌های هوایی انتقال می‌یابد. این مسئله توانایی بالاتر بافت‌های زیرزمینی را برای پالایش در خاک‌های آلوده به فلز روی نشان می‌دهد. در مجموع گیاه نی‌تالابی توانایی بالای پالایش فلز روی از خاک‌های آلوده را دارا می‌باشد. در پژوهشی Sing و Myhr (۱۹۸۸) گزارش-کردند که با افزایش غلظت فلزات در محیط کشت بر غلظت آن‌ها درگیاه نیز افزوده‌می‌شود. انباشتگی فلزات‌سنگین در ریشه، یکی از سازوکارهای تحمل برخی گونه‌ها محسوب می‌شود. در این گیاهان، بخش زیادی از فلزات جذب‌شده 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. در رابطه با فلز روی ممانعت از تجمع فلز در بافت‌های هوایی گیاهی و شروع پدیده پرغذایی به تدریج اتفاق افتاده‌است که وقوع این پدیده به تحمل بالای گیاه به فلز روی و توانایی جذب و تجمع آن و همچنین نیاز بالای گیاه به فلز روی مربوط می‌باشد (۲۵). براساس نتایج، غلظت‌های بالای فلز روی که جزو عناصر ضروری کم‌مصرف است، بدون هیچ علائم مسمومیت (تغییری رنگ برگ‌ها و پژمردگی) در اندام‌های گیاه مورد مطالعه ذخیره-شد. بنابراین با در نظر گرفتن ویژگی‌های نی تالابی مانند، قابلیت تحمل بالا به تنش فلزات، حفظ اندام‌های فتوسنتزی از طریق کاهش انتقال به اندام‌های هوایی و تولید بیوماس زیاد، این گیاه توانایی پالایش این فلز را دارا می‌باشد و به عنوان گیاه‌پالایی، اندام‌های زیرزمینی آن قابلیت برداشت دارند.

بررسی میزان انتقال فلز روی از ریشه به اندام‌های هوایی نشان-داد که فاکتور انتقال در غلظت‌های مختلف فلز روی در تیمارهای آزمایشی دارای نوساناتی با افزایش غلظت است. به-طورکلی با اعمال تیمارهای افزایش غلظت فلز روی در mg/l ۵۰ تا حدودی نسبت به تیمار شاهد توانایی انتقال به اندام‌های هوایی گیاه افزایش یافته‌است، ولی در ادامه با بالارفتن غلظت فلز روی در تیمارها انتقال آن به بافت‌های هوایی گیاه محدود گردیده‌است و به‌طور عمده عنصر روی در ریشه و غدد زیرزمینی گیاه تجمع یافته است. باید دانست که با تعیین میزان تحمل یا حساسیت گونه‌های مختلف به غلظت مسموم‌کننده عنصر فلزی معین در شرایط کنترل‌شده کشت، می‌توان پتانسیل‌های متفاوت گیاهان برای بردباری و تجمع مقادیر بالای فلزات سنگین را ارزیابی نمود (۲۶).

با توجه به ویژگی‌های گیاه نی‌تالابی مانند تولید بیوماس بالا، مقاومت بالا به تنش فلزات سنگین، فاکتور انتقال پایین و توانایی بالا برای جذب و تجمع فلزات سنگین، می‌توان گفت که این گیاه برای پالایش و حذف فلز روی مناسب می‌باشد. البته درجه مطلوبیت آن برای فلزات مختلف، بستگی به ماهیت فلز مورد نظر نیز دارد و در رابطه با عنصر کم مصرف روی دارای توانایی بالایی در پالایش می‌باشد.

References

1. Naderi, M. R., Daneshshahraki, A. R., Naderi, R., 2012. Some methods to increase the phytoremediation efficiency of heavy metals, Journal of Human and Environment. Vol. 22, pp. 26-38. (In Persian)
2. Salehipour Baversad, M., Ghorbani, H., Afyuni, M., KheirAbadi, H., 2014. The Potential Risk Assessment of Heavy Metals on Human Health in Some Agricultural Products in Isfahan Province. Journal of Water and Soil Sciences, Vol. 18(67), pp71-81. (In Persian)
3. Ebadati, Fateme., 2002, The role of aquatic plants in the refining of heavy

metals in Miankaleh wetland, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University. (In Persian)
4. Ghafouri, M., Mortazavi, R., 1995, Hydrology, University of Tehran Press, Tehran, Iran. (In Persian)
5. Rezvani, M., Ghorbanian, A. A., Nojavan, M., Sahba, M., 2013, Evaluation of Heavy Metal Contamination (Cadmium, Cobalt, Lead, Zinc and Manganese) in Eshtehard Aquifer, Journal of Environmental Science and Engineering, Vol. 1(1), pp. 14. (In Persian)
6. Alipordarvari, H., Farmer Maywan, H., Sharifi, M., 2009, Evaluation of oral radish peroxidase activity and its relationship with soil heavy metal content. Journal of Science, University of Tehran. Vol. 1, pp. 37-43. (In Persian)
7. Askari Mehrabadi, M., Nouri, M., Beigi, F., Amini, F., 2011, Evaluation of Acacia Phytoremediation in oil Contaminated Soils with Emphasis on Some Heavy Metals, Journal of Cell and Texture, Vol. 2(4), pp. 442-435. (In Persian)
8. Guo, L., Cutright, T., 2014. Remediation of acid mine drainage (AMD)-contaminated soil by *Phragmites australis* and rhizosphere bacteria. Environment Science Pollution Resource.
9. Aksoy, A., Duman, F., Sezen, G., 2005. Heavy metal accumulation and distribution in narrow-leaved cattail (*Typha angustifolia*) and common reed (*Phragmites australis*). Journal of Freshwater Ecology, Vol. 20(4), pp. 783-785.
10. Kleche, M., Berrebbah, H., Grara, N., Bensoltane, S., Djekoun, M., Djebar, M., 2013. Phytoremediation using *Phragmites australis* roots of polluted water with metallic trace elements (MTE). Annals of Biological Research, Vol. 4 (3), pp. 130-133.
11. Rahman Khan, M., Mahmud Khan, M., 2010. Effect of varying concentrations of nickel and cobalt on the plant growth and yield of chick pea. Aus Journal of Science. Vol. 4, pp. 1036-1046.
12. Ebrahimi, M., 2012. Phytoremediation of *Phragmites australis* in contaminated soils with heavy metals, Range Journal, Vol. 6(1), pp. (In Persian)
13. Taghizadeh, M., Kafi, M., Fattahi Moghaddam, M., Savaghebi, G., 2012. Effects of Lead Concentrations on Seed Germination of Turfgrass Genus and its Potential for Phytoremediation, Vol. 42(3), pp. 277-289. (In Persian)
14. Alizadeh, M., Fathi, F., Torabian, A., 2008. Investigation of Heavy Metal Accumulation in Forage Plants Irrigated by Wastewater in South Tehran Case Study: Maize and Alfalfa. Journal of Environmental Science, Vol. 34, pp. 137-148. (In Persian)
15. Doni, S., C, Macci., E, Peruzzi., M, Arenella., B, Ceccanti., G, Masciandaro., 2012. In situ phytoremediation of a soil historically contaminated by metals, hydrocarbons and polychlorobiphenyls, Journal of Environment Monitoring, Vol. 14, pp. 1383-1390.
16. Zacchini, M., Pietrini, F., Mugnozza, G., Lori, V., 2008. Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with

cadmium in hydroponics. Water Air Soil Pollution. Vol. 197, pp. 23-34.

17. Giuseppe, B., 2013. Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species *Typha domingensis*, *Phragmites australis* and *Arundo donax*, Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 97, pp. 124–130.
18. Akbarpoursaraskanrood, F., Sadri, F., Gol Alizadeh, D., 2012. Phytoremediation of soils contaminated with some heavy metals by some native plants of Arasbaran protected area. Journal of Soil and Water Resources Protection, Vol. 4, pp. 53-65. (In Persian)
19. Motasharzadeh, B., Sawaqbi Firoozabadi, G., Ali Khani, H. A., 2008. Identification of native plants and bacteria resistant to heavy metals in the lands around the lead mine and on the Shazand mansion in Arak for use in phytoremediation. Iranian Journal of Soil and Water Research, Vol. 39(1), pp. 163-174. (In Persian).
20. Kancilic, G.B., Metin A.U. 2020. Phragmites australis as a new cellulose source: Extraction, characterization and adsorption of methylene blue. Journal of Molecular Liquid. Vol. 321, pp. 113313.
21. Sánchez, M.D., Sánchez, R., Espinosa, E., Rosal, A., Rodríguez, A. 2017. Production of Cellulosic Pulp from Reed (Phragmitesaustralis) to Produce Paper and Paperboard. Bioprocess Engineering. Vol. 1(3), pp. 65-68.
22. Farahbakhsh, M., 2011. The effect of different sources and amounts of potassium on the treatment of plants in a soil contaminated with cadmium, Journal of Agriculture (Research and Construction), Vol. 90, pp. 57-64. (In Persian)
23. Abdul Latiff, A., Ahmad Tarmizi, K., Shukri, A., Baharudin, R., Hung, Y., 2012. Phytoremediation of Metals in Industrial Sludge by *Cyperus Kyllingia-Rasiga*, *Asystassia Intrusa* and *Scindapsus Pictus Var Argyaeus* Plant Specie. International Journal of Integration Enginering. Vol. 4, pp. 1-8.
24. Farrag, F., Hussein, F., Fawzy, M., 2012. Phytoremediation Potentiality of *Cyperus articulatus L.* Life Science. Vol. 9, pp. 4032-4040.
25. Subhashini, V., Swamy, A., 2014. Screening Potential of Three Native Grass Species for Phytoremediation of Heavy Metals. Europian Addict Resources. Vol. 2, pp. 5887-5903.
26. Subhashini,V., Swamy, A., 2013. Uptake of heavy metals from contaminated soils by cyperus rotundus l. International Journal. Vol. 3, pp. 338-341.