علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره هفدهم، شماره یک ، بهار ۹۴

ارزیابی توان نهال‌های یک‌سالهٔ نخل زینتی در تجمع فلز آلایندهٔ روی

علی مهدوی[۱]

a_amoli646@yahoo.com

خدیجه خرمن‌دار[۲]

تاریخ دریافت:۹۲/۶/۱۵ **تاریخ پذیرش:۹۳/۵/۲۱**

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مسایل مهم در دنیای امروزی پاک‌سازی خاک‌های آلوده به آلاینده‌های معدنی است. گیاه پالایی یکی از روش‌هایی است که در دهه‌های اخیر به دلیل اقتصادی و سازگار بودن با محیط زیست به آن توجه زیادی شده است. این مطالعه با هدف ارزیابی توان جذب روی در اندام‌های مختلف نخل زینتی انجام یافته است.

روش: در این مطالعه نهال‌های یکساله نخل زینتی به مدت ۴۵ روز در یک طرح کاملا تصادفی در سه تکرار در معرض غلظت‌های مختلف (۵۰۰، ۲۵۰، ۵۰، ۰ میلی‌گرم در لیتر) سولفات روی ($ZnSO_4$) قرار گرفتند. سپس میزان جذب روی در اندام‌های مختلف (ریشه، ساقه و برگ) نهال‌های نخل زینتی توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، بعضی از پارامترهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نهال‌ها (بیوماس، طول اندام‌ها، شادابی و غیره) بعد از اعمال تیمار هم اندازه‌گیری شدند.

نتایج: نتایج تحلیل واریانس نشان داد که صفاتی مانند وزن تر و خشک، ارزش تحمل، قطر یقه، ارتفاع گیاه، تنش تحمیل شده، شاخص مقاومت گیاه و محتوای نسبی آب و کمبود اشباع سلول به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای فلز روی قرار گرفته است. نتایج همچنین نشان داد که نهال‌های نخل زینتی دارای توانایی چندین برابر جذب روی در ریشه‌ها نسبت به اندام‌های ساقه و برگ‌ها است. علاوه بر این، گونهٔ نخل زینتی دارای ضریب تجمع زیستی بیش‌تر از یک و فاکتور انتقال کم‌تر از یک می‌باشد.نتیجه‌گیری: بر اساس این نتایج نهال‌های نخل زینتی را می‌توان به عنوان یک گونه تثبیت‌کننده برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده به فلز سنگین روی پیشنهاد کرد.

واژه های کلیدی: گیاه‌پالایی، روی(Zn)، نخل زینتی، صفات مورفولوژی و فیزیولوژی.

۱- استادیار گروه جنگل و مرتع، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام*(مسئول مکاتبات)

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیابانزدایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

مقدمه

۵۳ عنصر به عنوان فلزات سنگین طبقه‌بندی شده است که تراکم آن‌ها بیش از ۵ گرم بر سانتی متر مکعب است. این فلزات به عنوان آلاینده‌های جهانی در مناطق صنعتی شناخته شده است (۱). در این میان، عنصر روی در مقادیر کم به عنوان یک ریزمغذی حیاتی برای گیاهان محسوب می‌شود. اما غلظت‌های بالای آن به دلیل ایجاد بی‌نظمی‌های عملکردی و ساختاری برای گیاهان سمی است و در بعضی ازگیاهان هنگامی که میزان غلظت روی در برگ‌ها به میزان ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برسد، سبب مسمومیت (از جمله علایم مسمومیت گیاهی می‌توان به بی‌رنگی، کاهش بیوماس، جلوگیری از رشد طولی ریشه و بالاخره مرگ گیاه اشاره کرد) و کاهش در محصول‌دهی گیاه می‌شود (۲). عنصر روی به طور طبیعی در آب، هوا و خاک وجود دارد. اما به دلیل فعالیت‌های انسانی مانند استخراج معادن، استفاده افراطی از کودهای شیمیایی کشاورزی و پساب شهری و صنعتی میزان آن در بعضی نواحی افزایش می‌یابدو با کاهش pH خاک فلز روی به طور فزآینده‌ای در خاک قابل حل بوده و در دسترس جذب گیاه قرار می‌گیرد و خطر اثرات سمی آن هم افزایش می‌یابد (۳).

در سال‌های اخیرگیاه پالایی(Phytoremediation) توسط محققان متعددی به عنوان یک تکنیک سبز و کم هزینه که نیازی به نیروی متخصص و فناوری خاص ندارد، جهت پاک‌سازی مکان‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله روی پیشنهاد شده است. دراین تکینک از توانایی گیاهان برای تجمع فلزات سنگین در غلظت‌های خیلی بالا در بخش‌های هوایی گیاه استفاده می‌شود (۴). گیاهان مناسبی که برای استخراج گیاهی (Phytoextraction) در نظر گرفته می‌شوند، معمولاً در دو طبقه جای می‌گیرند. یکی فراانباشت‌ها هستند که غلظت‌های بسیار بالایی از فلز را در برگ‌ها نشان می‌دهند، اما معمولاً تولید بیوماس سالانهٔ آن‌ها خیلی بالا نیست. دومین گروه شامل گیاهانی هستند که غلظت‌های پایین‌تری از فلز را در بافت‌هایشان تجمع می‌دهند، اما دارای تولید بیوماس زیادی بوده به طوری که مجموع برداشت فلز از عرصه شاید از گیاهان فراانباشت هم بیش‌تر باشد. یکی از احتمالاتی که بتوان گیاه پالایی را در زمان‌های طولانی قابل قبول‌تر کرد، استفاده از گیاهانی است که بتوانند فلزات سنگین را برای مدت طولانی در اندام‌های خود جمع کنند و حداقل بخش‌هایی از گیاه بتواند یک ارزش اقتصادی ایجاد کند. با این توضیح، درختان در گروه دوم جای می‌گیرند. درختان به انواع شرایط تنش، از جمله قرار گرفتن در معرض دمای بیش از حد و خشکی مقاوم‌ترند، سیستم ریشه‌ای بزرگ و عمیق و عمر طولانی‌تری هم دارند. چوبی و چندساله هستند و محصولات آن‌ها دارای ارزش اقتصادی است. از سوی دیگر، بسیار بعید است که مواد انباشت شده در اندام‌های درخت در زنجیره غذایی انسان و همچنین در خوراک حیوانات استفاده شود (۵).

مطالعات مختلفی در مورد اثرات آلودگی فلز روی بر گیاهان و همچنین درختان صورت گرفته است. از جمله می توان به مطالعه های زیر اشاره کرد. Zhuang و Wang (۲۰۰۰) در بررسی اثر دو فلز روی و کادمیوم در چهار گونه درختی در چین (*Sabina chinensis* ، *Platycladus orientalis* ، *Euonymus japonicas*،*Platanus acerifolia* و *Prunus cerasifera*) میزان تجمع روی در آن‌ها به ترتیب: ۷٫۲، ۴٫۸، ۷٫۱، ۳،۳٫۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن ماده خشک و میزان تجمع کادمیوم برابر: ۰٫۱۶، ۰٫۱۰، ۰٫۰۵، ۰٫۰۹، ۰٫۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن ماده خشک، مشخص شد (۶). MacFarlane و Burchett (۲۰۰۰) طی مطالعه‌ای نشان دادند که گیاهان حرا که در معرض روی، مس و سرب قرار دارند، غلظت بالایی از فلزات را در دیواره سلولی ریشه خود جمع می‌کنند و محدود شدن انتقال فلزات از ریشه به برگ، وجود یک سازوکار در خروج فلز را نشان می‌دهد(۷). Brunner و همکاران(۲۰۰۷) در مطالعه‌ای در منطقه اروپای مرکزی دریافتند که درختان بید، صنوبر و توس قادر به تجمع مقادیر بالایی از روی در ریشه و برگ خود نسبت به ساقه هستند(۸). همچنین Ivano (۲۰۰۸) در بررسی میزان تجمع روی در درخت نراد و صنوبر به این نتیجه رسید که میزان تجمع روی

در محدوده ریشه۲۰-۱۰ برابر قسمت‌های دیگر است. در مطالعه‌ای دیگر توسط Akshayya و همکاران(۲۰۰۷) بر روی درخت حرا در هند، غلظت روی۹۷٫۶۴۳ میلی‌گرم بر گرم در نمونه‌های ریشه یافت شد و نشان داده شد که ریشه‌های *Avicennia.mariana* با وجود آلودگی فلزات سنگین قادر به تجمع زیستی و زنده‌مانی هستند (۹). نتایج مطالعه داوری و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که غلظت روی در اندام‌های مختلف حرا شامل ریشه ۲۳٫۱ تا ۴۴۶٫۱ میلی‌گرم بر گرم و در برگ از ۷٫۱۶ تا ۴۸٫۲۹ میلی‌گرم بر گرم و در رسوب برابر ۴۴٫۹۱ تا ۳۰۶٫۱۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک است(۱۰). Blanche و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی میزان جذب روی در گونه bambooدریافتند که روی انباشته شده در اندام‌ها بین ۱۵٫۷ -۵٫۱ میلی‌گرم بر گرم است و غلظت روی در برگ‌ها بیش از ساقه‌هاست. به طوری که تجمع روی در برگ‌ها ۱۵٫۷ میلی‌گرم بر گرم و در ساقه ۱۴٫۸میلی‌گرم برگرم صورت گرفته بود (۱۱). عین اللهی پیر (۱۳۹۱) در بررسی تجمع روی، مس، کادمیوم و نیکل در درخت حرا *(Avicennia marina)* به این نتیجه رسید که تجمع این فلزات در بافت‌های ریشه، ساقه، برگ به ترتیب: Zn>Cu>Ni>Cd Zn>Cu>Ni>Cd , Zn>Cu>Ni>Cd بوده است (۱۲).

نخل زینتی از خانواده *Palmaceae*، با نام علمی: *Washington filifera* است که به مناطق گرمسیری تعلق دارد. استفاده از نخل زینتی به دلیل مقاومت آن در مقابل شرایط سخت محیطی برای جنگل‌داری شهری و فضای سبز شهرها و اطراف کارخانجات صنعتی در مناطق گرم و خشک به سادگی امکان پذیر است. هدف از این تحقیق ارزیابی میزان تحمل درختچه نخل زینتی به آلاینده روی و تاثیر غلظت‌های مختلف نمک سولفات روی بر تعدادی از صفات مورفولوژی و فیزیولوژی این گونه و تعیین نوع کاربرد مناسب این درختچه برای گیاه‌پالایی می‌باشد.

روش تحقیق

درختچه‌های یک‌ساله نخل زینتی از نهالستان مهران (استان ایلام) تهیه شدند و در اوایل اردیبهشت در نهالستان آموزشی- پژوهشی گروه جنگل‌داری دانشگاه ایلام در گلدان‌هایی پلاستیکی به ارتفاع۲۰سانتی‌متر و قطر ۱۵ سانتی‌متر با ظرفیت ۲/۵ کیلوگرم خاک خشک مزرعه به نسبت ۲:۱:۱ با بافت سیلت- لومی (برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول۱ نشان داده شده است)، تمامی گلدان‌ها از جمله شاهد (نهال‌هایی که تیمار فلز روی برای آن‌ها استفاده نشد و در تمام مدت ۴۵ روز اعمال تیمار بدون اضافه کردن فلز روی آبیاری شدند) گلدان‌گیری شدند و بر مبنای ظرفیت زراعی محاسبه شده (۶۰٪ ظرفیت زراعی) آبیاری صورت گرفت. بعد از گذشت سه ماه و تثبیت شدن نهال‌ها در گلدان، تعداد ۱۲ گلدان در چهار غلظت (۵۰۰، ۲۵۰، ۵۰، ۰ میلی‌گرم در لیتر) در سه تکرار به صورت یک طرح کاملاً تصادفی به مدت ۴۵ روز توسط محلول سولفات روی ($ZnSO_4$) تحت تیمار قرار گرفت. پس از پایان دوره اعمال تیمار، تعدادی از صفات مورفولوژی و فیزیولوژی نهال‌ها (از جمله نمونه‌های شاهد و سایر تیمارها) اندازه‌گیری شد، مانند: طول ریشه، ارتفاع ساقه، ارتفاع کل گیاه (ریشه + اندام هوایی)، قطر یقه (با استفاده از کولیس دیجیتال Digital, L lutron DC-515 Digital caliper Electronic 15 ، با دقت ۰/۰۱ و بر حسب میلی‌متر محاسبه شد)، تعداد برگ، شادابی، زنده‌مانی، وزن‌تر و خشک اندام‌های گیاه (ریشه، ساقه و برگ) (۱۳)، ارزش تحمل (۱۴و۱۵)، تنش تحمیل شده (۱۶)، محتوای نسبی آب و کمبود اشباع سلول (۱۷)، نسبت وزنی برگ (۱۶) و شاخص مقاومت گیاه اندازه‌گیری شد. جهت خشک کردن، نمونه‌ها در آون ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰٫۰۰۱ نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد۰٫۱گرم نمونه پودر شده از هر اندام (ساقه، برگ و ریشه) را جدا کرده و به روش اکسیداسیون تر به نسبت۸:۲:۱ با اسید نیتریک ۶۵٪، اسید سولفوریک غلیظ، اسید پرکلریدریک مخلوط و به مدت۲۴ساعت در شرایط آزمایشگاهی قرار داده شد. سپس در دمای ۱۲۰ درجه به مدت۳۰ دقیقه نمونه‌ها هضم شد. نمونه‌ها بعد از سرد شدن با آب دو بار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و با دستگاه جذب اتم (مدل

CTA-2000 AAS) میزان غلظت روی اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری صفات اندازه‌گیری شده (آزمون‌های تحلیل واریانس یک‌طرفه ANOVA و مقایسه میانگین‌ها به روشLSD در سطح احتمال ۵٪) با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSSنسخهٔ ۱۶ انجام گرفت. نمودارهای مربوط نیز با کمک نرم افزار EXCEL ترسیم شد.

جدول ۱- مشخصات خاک شاهد مورد استفاده

مشخصات خاک شاهد	pH	EC (ds/m)	نیتروژن کل(%)	ماده آلی (%)	کربن آلی (%)	پتاسیم (mg^{-L})	سدیم (mg^{-L})	بافت خاک (%)		
								شن	سیلت	رس
مقادیر	۷٫۲	۳٫۵۹	۰٫۱۶۴	۲٫۴۸	۱٫۴۴	۴۲	۱۲	۴۱	۵۴	۵

نتایج

نتایج آزمون تحلیل واریانس مشخص کرد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها برای صفت‌هایی از جمله ارتفاع گیاه، ساقه، ریشه، قطر یقه، وزن‌تر و خشک برگ، ساقه، ریشه و کل گیاه، ارزش تحمل، تنش تحمیل شده، شاخص مقاومت گیاه، محتوای آب نسبی و کمبود اشباع سلول در سطح احتمال ۱٪($P<0.01$) وجود دارد (جدول۲). همچنین نتایج تحلیل واریانس برای صفات میزان جذب، نسبت انتقال، ضرایب جذب و فاکتور انتقال در اندام‌های مختلف این گیاه و در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۱٪($P<0.01$) نشان می‌دهد (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین‌های صفات ارزیابی شده نشان می‌دهد که طول اندام هوایی، زمینی و کل گیاه در سه غلظت (۵۰۰، ۵۰،۲۵۰ میلی گرم در لیتر) اختلاف معنی‌داری با شاهد دارند (جدول ۴). بنابراین، می‌توان گفت افزایش غلظت تاثیر منفی بر رشد اندام‌های مختلف گیاه (ساقه و ریشه) داشته است. قطر یقه و تعداد برگ‌ها در سه غلظت (۵۰۰، ۲۵۰،۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان داد به طوری که با افزایش غلظت، قطر یقه و تعداد برگ کاهش یافت. وزن‌تر و خشک کل نیز در هر سه غلظت اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان دادند، به طوری که با افزایش غلظت از میزان آن‌ها کاسته شد که نشان دهنده تاثیر منفی بر بیوماس و کاهش عملکرد گیاه است. مشخصه‌های ارزش تحمل (بر مبنای طول ریشه شاهد و تیمار)، تنش تحمیل شده (این شاخص در واقع شدت تنش وارد بر گیاه را نشان می‌دهد) و شاخص مقاومت گیاه (بر مبنای وزن خشک گیاه شاهد به تیمار) در هر سه غلظت اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان می‌دهد (جدول ۴). با افزایش غلظت محلول فلز روی میزان شاخص تحمل و مقاومت گیاه کاهش یافته و تنش تحمیل شده افزایش یافته است که نشان دهنده تحت تاثیر قرار گرفتن گیاه به آلاینده است. نتایج مقایسه میانگین‌های میزان جذب در اندام‌های مختلف نشان داد که میزان جذب در برگ و ریشه در هر سه غلظت اختلاف معنی‌داری با شاهد دارند، اما در اندام ساقه گیاه میزان جذب تنها در دو غلظت (۵۰۰، ۲۵۰ میلی گرم در لیتر) اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان داد (جدول ۵). بررسی میزان انتقال آلاینده در برگ، ساقه و ریشه نشان می‌دهد که با افزایش غلظت آلاینده میزان انتقال کاهش یافته و بیش‌ترین تجمع در ریشه صورت گرفته است (جدول ۵). بررسی ضریب تجمع زیستی در نخل زینتی (میزان جذب در اندام‌ها به میزان محلول روی وارد شده به خاک) نشان می‌دهد که در تمامی غلظت‌ها میزان این ضریب بزرگ‌تر از یک بوده و فاکتور انتقال (میزان انتقال آلاینده از ریشه به اندام هوایی) کوچک‌تر از یک را نشان داد. همچنین شاخص جذب (حاصل ضرب مقدار وزن ماده خشک در غلظت عنصر در اندام هوایی) با افزایش غلظت آلاینده افزایش یافته است و اختلاف معنی‌داری در بین همه تیمارها با شاهد وجود دارد (جدول۵).

جدول ۲- تحلیل واریانس صفات مورفولوژی و فیزیولوژی ارزیابی شده در بررسی میزان جذب روی توسط نهال‌های نخل زینتی یک‌ساله

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات										
		$RL^{(cm)}$	$SL^{(cm)}$	$PL^{(cm)}$	$D^{(mm)}$	LN	LWR	$LMW^{(gr)}$	$SMW^{(gr)}$	$RMW^{(gr)}$	$TMW^{(gr)}$	$LDW^{(gr)}$
تیمار	۳	۵۶٫۵۵۶**	۳۳٫۴۱۷**	۱۷۶٫۳۰۶**	۱۳٫۶۲۲**	۶٫۹۷۲**	۰٫۰۰۳^{ns}	۲٫۹۲۷**	۳٫۴۵۴**	۱۳٫۸۵۵**	۵۲٫۷۶۵**	۰٫۹۹۱**
خطا	۸	۲٫۶۶۷	۱٫۳۳۳	۳٫۵۰۰	۰٫۳۹۱	۰٫۵۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۳۱۵	۰٫۱۳۵	۰٫۳۳۶	۱٫۳۵۰	۰٫۰۷۷

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، ^{ns} غیرمعنی‌دار

ادامه جدول ۲- تحلیل واریانس صفات مورفولوژی و فیزیولوژی ارزیابی شده در بررسی جذب روی توسط نهال‌های نخل زینتی یک‌ساله

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		$SDW^{(gr)}$	$RDW^{(gr)}$	$TDW^{(gr)}$	$RWC^{(\%)}$	$WSD^{(\%)}$	$TI^{(\%)}$	TSI	$PRI^{(\%)}$
تیمار	۳	۱٫۱۹۴**	۳٫۲۲۹**	۱۴٫۴۳۸**	۰٫۰۴۲**	۰٫۰۳۹**	۶۷۳٫۰۰۰**	۰٫۰۰۱**	۱۴۲۳٫۱۹۴**
خطا	۸	۰٫۰۳۸	۰٫۱۹۲	۰٫۳۱۸	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۳۲٫ ۳۳۳	۰٫۰۰۰	۲۷٫۹۱۷

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، ^{ns} غیرمعنی‌دار

طول ریشه (RL)، ارتفاع گیاه (SL)، طول کل گیاه (PL)، قطر یقه (D)، تعداد برگ (LN)، نسبت وزنی برگ (LWR)،وزن تر برگ (LMW)، وزن‌تر ساقه (SMW)، وزن‌تر ریشه(RMW)، وزن‌تر کل(TMW)، وزن خشک برگ (LDW)، وزن خشک ساقه(SDW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن خشک کل(TDW)، محتوای آب نسبی (RWC)، کمبود اشباع سلول(WSD)، ارزش تحمل (TI)، تنش تحمیل شده (TSI)، شاخص مقاومت گیاه (PRI).

ادامه جدول ۴- مقایسهٔ میانگین‌های صفات مورفولوژی و فیزیولوژی ارزیابی شده در نهال‌های نخل زینتی یک‌ساله

تیمار (میلی گرم در لیتر)	صفات ارزیابی شده								
	$LDW^{(gr)}$	$SDW^{(gr)}$	$RDW^{(gr)}$	$TDW^{(gr)}$	$RWC^{(\%)}$	$WSD^{(\%)}$	$TI^{(\%)}$	TSI	$PRI^{(\%)}$
شاهد	۳/۱۴±۰/۰۵^{a}	۲/۵۴ ±۰/۳۱^{a}	۴/۳۸ ±۰/۲^{a}	۱۰/۱ ±۰/۳۸^{a}	۰/۸۸ ±۰/۰۱^{a}	۰/۱۲ ±۰/۰۲^{a}	۱۰۰ ±۰^{a}	۰ ±۰^{a}	۱۰۰ ±۰^{a}
۵۰	۲/۳۶ ± ۰/۲۸^{b}	۱/۸۵ ±۰/۰۹^{b}	۳/۹۶±۰/۲۵^{a}	۸/۱۶ ±۰/۵۹^{b}	۰/۷۸ ±۰/۰۳^{b}	۰/۲۳ ±۰/۰۲^{b}	۸۳/۶۷ ±۵/۰۳^{b}	۰/۰۱۶ ±۰/۰۰۳^{b}	۸۱ ±۶/۰۸^{b}
۲۵۰	۲/۲۲ ±۰/۱۷^{bc}	۱/۳۱ ±۰/۱۸^{c}	۲/۸۶ ±۰/۷۹^{b}	۶/۳۹ ±۰/۸۱^{c}	۰/۷ ±۰/۰۱^{c}	۰/۳۰ ±۰/۰۱^{c}	۷۷ ±۵/۵۷^{b}	۰/۰۳۵ ±۰/۰۰۸^{c}	۶۳/۷ ±۸/۰۲^{b}
۵۰۰	۱/۷۶ ±۰/۴۵^{c}	۱/۱۴ ±۰/۱۱^{c}	۲/۱ ±۰/۲^{b}	۵ ±۰/۳۵^{d}	۰/۶۱ ±۰/۰۱^{d}	۰/۳۹ ±۰/۰۱^{d}	۶۴ ±۸/۵۴^{c}	۰/۰۴۶ ±۰/۰۰۵^{d}	۴۹/۷ ±۳/۲۱^{c}

در هر ستون وجود یک حرف مشترک به معنای عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، بین تیمارها است.

جدول ۵-مقایسهٔ میانگین میزان جذب، نسبت انتقال، ضرایب جذب و فاکتور انتقال روی توسط نهال‌های نخل زینتی یک‌ساله

تیمار (میلی گرم در لیتر)	عوامل ارزیابی شده								
	Leaf	Stem	Root	L/R	S/R	L/S	UI	BCF	TF
شاهد	۰ ±۰^{a}	۰ ±۰^{a}	۰ ±۰^{a}	۰ ±۰^{a}	۰ ±۰^{a}	۰ ±۰^{a}	۰ ±۰^{a}	۰ ±۰^{a}	۰ ±۰^{a}
۵۰	۲۵/۸۱ ±۵/۲۲^{b}	۱۵/۵۴ ±۵/۲۱^{a}	۷۳/۳۳ ±۱۰/۴۳^{b}	۰/۳۵ ±۰/۱۲^{b}	۰/۲۱ ±۰/۰۴^{b}	۰/۸۸ ±۰/۲۱^{b}	۳۳۷/۴۰ ±۲۲/۵۲^{b}	۲/۲۹ ±۰/۲۱^{b}	۰/۵۶ ±۰/۰۶^{b}
۲۵۰	۳۶/۵ ±۵/۲۲^{b}	۵۷/۶۳ ±۵/۲۳^{b}	۱۱۵/۹۳ ±۱۰/۶۵^{c}	۰/۳۱ ±۰/۰۱^{bc}	۰/۵۰ ±۰/۰۰۶^{c}	۰/۶۳ ±۰/۰۳^{c}	۶۰۴/۳۶ ±۱۲۸/۱۳^{c}	۱/۲۰ ±۰/۳۲^{c}	۰/۷۱ ±۰/۰۲^{c}
۵۰۰	۸۳/۷۶ ±۱۰/۴۴^{c}	۱۳۲/۳۰ ±۲۶/۲۹^{c}	۳۹۲/۸۸ ±۱۶/۱۱^{d}	۰/۲۱ ±۰/۰۲^{c}	۰/۳۴ ±۰/۰۵^{d}	۰/۶۳ ±۰/۰۵^{c}	۱۰۷۹/۶ ±۱۹۹/۳۷^{d}	۱/۲۲ ±۰/۱۱^{c}	۰/۵۴ ±۰/۰۷^{b}

در هر ستون وجود یک حرف مشترک به معنای عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، بین تیمارها است.

بحث و نتیجه گیری

همان طوری که می‌دانیم، کارآیی انباشت و توزیع فلزات سنگین در گیاه، نه تنها به عوامل گیاهی مربوط می‌شود، بلکه به عوامل خاکی مانند قابلیت دسترسی زیستی فلزات سنگین نیز بستگی دارد. قابلیت دسترسی فلزات در خاک هم عمدتاً تحت تأثیر ماهیت فلز و ویژگی‌های خاک است. برای مثال، pH خاک یکی از فاکتورهای مهم برای قابلیت دسترسی زیستی فلز است (۱۸). به طوری که با کاهش دادن pH خاک می‌توان قابلیت دسترسی زیستی فلزات سنگین از جمله روی را افزایش داد و سبب بالا بردن جذب فلز توسط گیاه شد (۱۹). مواد آلی، اکسید آهن و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک هم نقش‌های مهمی در قابلیت دسترسی زیستی فلز و در نهایت گیاه‌پالایی بازی می‌کنند (۲۰و۲۱). بنابراین، اگر یک گیاه مشخص را برای گیاه‌پالایی فلزات سنگین در نظر گرفتیم، لازم است توان آن گیاه در خاک به خصوصی که قرار است گیاه‌پالایی در آن صورت گیرد هم مورد آزمایش قرار گیرد (۲۲و۲۳).

گاهی اوقات توان استخراج فلز روی و سایر فلزات سنگین از خاک‌های آلوده منجر به اختلالات مواد مغذی، سبب نکروز سلول‌های اپیدرمی و مزوفیلی برگ، مهار رشد سطحی برگ و اثرات سمّی برای گیاه می‌شود که در ادامه سبب توقف یا کاهش رشد اندام‌ها و بیوماس گیاه می‌شود (۲۴و۲۵). نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش در غلظت روی کاهش در رشد اندام‌های نهال‌ها (طول ریشه و ارتفاع گیاه) و کاهش زیست توده خشک بافت‌های مختلف نهال‌های یک‌سالۀ نخل‌زینتی اتفاق می‌افتد. کاهش بیوماس گیاهان با افزایش مقادیر فلزات سنگین، در بسیاری از مطالعات انجام یافته، گزارش شده است (۲۴و۳۰- ۲۶)و در مورد کاهش در طول اندام‌ها از جمله ریشه می‌توان به نتایج مطالعات متعدد اشاره کرد (۳و۲۹و۳۰).

نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که هر چه آلودگی خاکی نسبت به عناصر سنگین بیش‌تر باشد، احتمال انباشتگی بیش‌تری از عناصر یاد شده در گیاه وجود دارد (۳۱). اما در فرآیند جذب فلزات سنگین توسط گیاهان از خاک عمدتاً تجمع آن‌ها در بافت‌های ریشه صورت می‌گیرد و پس از آن به دیگر قسمت‌های گیاه انتقال می‌یابد. بنابراین، به طور کلی می‌توان بیان داشت که محتوای فلزات سنگین در بخش‌های زیر زمینی باید بالاتر از قسمت‌های هوایی گیاه باشد (۳۲). اما فلز روی می‌تواند در بخش‌های مختلفی از گیاهان تجمع پیدا کند. به عنوان مثال، درگونه *Festuca arundinancea* بیش‌ترین جذب فلز روی را در بافت‌های ریشه‌اش دارد، در حالی که گونه *Brassica Juncea* بیش‌ترین غلظت روی را در بافت‌های ساقه‌هایش تجمع می‌دهد (۳۳). نتایج این مطالعه برای نهال‌های نخل زینتی نشان داد، بیش‌ترین جذب در تمامی تیمارها در ریشه‌های این گیاه اتفاق می‌افتد(جدول۵)که با نتایج برخی پژوهش‌ها مطابقت دارد از جمله، MacFarlane و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی بر روی درخت حرا در استرالیا دریافتند که میزان جذب روی در ریشه ها برابر ۲۹۵ میلی‌گرم برگرم و در برگ‌ها ۲۵ میلی‌گرم بر گرم است و ضریب انتقال به ریشه برابر ۱٫۲۱و ضریب انتقال به برگ۰٫۱۰ بود (۳۴). Assareh و همکاران (۲۰۰۸) طی مطالعه‌ای نشان دادند که میزان روی جذب شده توسط ریشه‌های سه گونه اکالیپتوس بیش‌تر از برگ‌ها و ساقه‌های آن است (۳۵). HeeHan و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تجمع روی و کادمیوم در درخت بید *Salix caprea* دریافتندکه بیش‌ترین تجمع هر دو فلز در ریشه‌های این گونه است (۳۶). Badr و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر چند فلز از جمله روی در گونه‌های *Rhazya stricta*, *Calotropis procera*, *Citrullus colocynthis*, *Cassia italic*, *Phragmite australis*, *Cyperus laevigatus*، پرداختند و به این نتیجه رسیدندکه بیش‌ترین میزان جذب روی در ریشه‌های گونه *Phragmite australis* و برابر با ۱۵۶۰ میلی‌گرم بر گرم بوده است و فاکتور انتقال در این گونه ۰٫۷۶ و ضریب تجمع زیستی ۱۸٫۴ تخمین زده شد (۴). Ruilian و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی تجمع روی در گونه canola دریافتند که بیش‌ترین تجمع روی در ریشه‌های این گونه بین ۲۵۵٫۱ – ۱۵٫۲۱ میلی‌گرم برکیلوگرم بود و در ساقه‌ها بین۱۹۲٫۵۰- ۱۰٫۳ میلی‌گرم

برکیلوگرم و در دانه‌های آن بین ۹۶٫۹- ۳۴٫۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم تجمع یافته بود (۲۳).

در بحث گیاه‌پالایی عناصر سنگین و به ویژه عصاره‌کشی یا استخراج گیاهی دو فاکتور مهم، یکی دامنه تحمل پذیری گیاه و دیگری فاکتور انتقال عنصر از اندام زیرزمینی به اندام‌های قابل برداشت هوایی باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد (۲۱). با توجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی فاکتور انتقال است که می‌توان تعیین کرد گیاه مورد نظر برای چه نوع از فن‌آوری‌های گیاه‌پالایی (استخراج گیاهی یا تثبیت گیاهی) مناسب‌تر است. تثبیت گیاهی(Phytostabilization) یک فن‌آوری است که از مزیت‌های گیاهان برای جلوگیری از مهاجرت فلز و جابه‌جایی آن در خاک استفاده می‌کند (۳۷). هدف این فن‌آوری کاهش آلودگی و شستشوی آلوده‌کننده‌های خاک از طریق محدود کردن یا به حداقل رساندن جابه‌جایی و دسترسی زیستی عناصر در خاک است. در این فن‌آوری از گیاهانی استفاده می‌شود که بیش‌ترین جذب و تجمع فلز آلاینده را در ریشه‌هایشان دارند (۳۸). بر اساس نتایج به‌دست آمده از میزان جذب این مطالعه، بیش‌ترین میزان جذب در برگ‌ها ۸۳٫۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در ساقه ۱۳۲٫۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در ریشه ۳۹۲٫۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است‌که همگی درتیمار (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) اتفاق افتاد (جدول۵). بنابراین، روشن است که با افزایش غلظت آلاینده میزان تجمع در اندام‌های گیاه افزایش یافته از طرفی با افزایش غلظت فلز روی میزان انتقال به اندام‌ها هوایی کاهش نشان داده است و بیش‌ترین تجمع روی در ریشه صورت گرفته است که این میزان ۵ برابر برگ‌ها و ۳ برابر ساقه را نشان داد. نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های فاکتور انتقال فلز روی (میزان انتقال آلاینده از خاک به ریشه و از آن‌جا به اندام هوایی) و ضریب تجمع زیستی (میزان جذب در اندام‌ها به میزان محلول وارد شده به خاک) در نخل زینتی (جدول ۵)، نشان می‌دهد که ضریب تجمع زیستی بزرگ‌تر از یک و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک بوده است. این بدان معنی است که بیش‌تر فلز روی جذب شده در نخل زینتی در بافت‌های ریشه تجمع یافته و مقدار کم‌تری به اندام‌های هوایی انتقال پیدا کرده است. گونه‌ای که ضریب تجمع زیستی بزرگ‌تر از یک و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک داشته باشد، برای تثبیت گیاهی مناسب خواهد بود (۳۹). لذا گیاه نخل زینتی را می‌توان با توجه به تجمع بیش‌تر فلز روی در ریشه، بردباری و زنده‌مانی در برابر غلظت‌های بالا و معیار شاخص جذب که به عنوان معیاری برای تعیین توان پالایش گیاه است (که با افزایش غلظت آلاینده افزایش یافت)، برای تثبیت گیاهی فلز سنگین روی در خاک‌های آلوده در پیرامون معادن، واحدهای فرآوری کانی‌های معدنی، پالایشگاه‌ها، ذوب فلزات، پتروشیمی‌ها و در توسعه فضای سبز داخل شهرک‌های صنعتی، اطراف کلان‌شهرها به کار گرفت.

پیشنهادها

عملکرد پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک و وجود گونه‌های متنوع در این مناطق از یک طرف و پایین بودن سرانه فضای سبز از طرفی دیگر از دلایل برتری کاربرد پوشش گیاهی نسبت به سایر روش‌های کنترل آلودگی در این مناطق است. با توجه به سازگاری نخل زینتی به آب و هوای خشک و نیمه خشک جهت اصلاح رویشگاه، بادشکن، جلوگیری از تخریب و فرسایش، رفع آلودگی و غیره می‌توان بهره‌برداری کرد. در پایان چند پیشنهاد ارایه می‌شود.

- این‌گونه، جهت پاک‌سازی مناطق آلوده به فلزات سنگین، به منظور فیلتراسیون و تلطیف هوا و کاهش آلودگی آب و خاک قابل بهره برداری است.
- به دلیل مقاومت گیاه در غلظت ۵۰۰ قسمت در میلیون، می‌توان در غلظت‌های بالاتر نیز این گونه را مورد ارزیابی قرار داد.
- با بررسی انواع مختلف این گونه می‌توان محتمل‌ترین رقم آن درتجمع غلظت‌های بالای فلزات سنگین از جمله روی را شناسایی کرد.
- جهت ارایه نتایج بهتر و عملی‌تر، بهتر است این آزمایش‌ها درچند سال متوالی انجام گیرد.

- با افزایش بازده گیاه‌پالایی (افزایش میزان تعرق گیاه، افزایش مقاومت گیاه، تغییر اسیدیته خاک و ...) می‌توان میزان جذب را افزایش داد.

منابع

1. Sarma, H., 2011. Metal hyperaccumulation in plants A review focusing on phytoremediation technology. Journal. Environ. Sci. Technol, Vol. 4,pp.118-138.
2. Zeng, X., Qiu, W., Rong, L.T., Ye, T., 2011. Effects of Zn on plant tolerance and non-protein thiol accumulation in Zn hyperaccumulator Arabis paniculata Franch . Environmental and Experimental Botany, Vol. 70,pp .227-223.
3. Tang, Y., Qiu, T., Rong, L., Xiao, Z., Wen, Y., Rong, R., 2009. Lead, Zinc, Cadmium hyperaccumulatio and growth stimulation in Arabis Paniculata Franch. Environmental and Experimental Botany,Vol. 66, pp . 126-134.
4. Badr, N.M., Fawzy, K.M., 2012. Phytoremediation An Ecological Solution to Heavy-Metal-Polluted Soil and Evaluation of Plant Removal Ability. World Applied Sciences Journal,Vol. 16(9),pp.1292-1301.
5. Andereas, D.P. Heinzrennenberg, H. 2006. Heavy Metal Resistance and Phytoremediation with Transgenic Trees, Tree Transgenesis, Recent Developments Springer-Verlag Berlin Heidelber.
6. Zhuang, S.,Wang, K., 2000.Study on the relationship between atmos pheric heavy metal pollution (Pb, Cd, Cu, Zn) and accumulations in leaves of urban tress. Journal Yantai University (Nat Sci Eng Ed),Vol.39, pp.131-137.
7. MacFarlane, G.R., Burchett ,M.D., 2000.Cellular distribution of Cu, Pb and Zn in the Grey Mangrove Avicennia marina (Forsk.) Vierh. Aquatic Botany,Vol.68,pp. 45–59.
8. Brunner, I.J., Luster, M., Gunthardt, G., Frey, B., 2007.Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. Environmental Pollution, Vol.152, pp. 559-568.
9. Akshayya, S., Unale, G., Pandit, G., 2007. Bioaccumulation of Zn and Pb in Avicennia marina (Forsk.) Vierh and Sonneratia apetala Buch. Ham. from Urban Areas of Mumbai (Bombay) India. Journal Appl Sci Environ Manage,Vol.11(3),pp.109 – 112.

۱۰. داوری، علی و همکاران،« بررسی تجمع فلزات سنگین در بستر، برگ و ریشه درختان حرا *(Avicennia marina)* در استان بوشهر»، نشریه محیط زیست طبیعی،۱۳۹۰، شماره ۳، صفحه ۲۷۷-۲۶۷.

11. Blanche, C., Emmanuel, D., Catherine, K., Frederic, P., Jean, D., 2012.Distribution and variability of silicon, copper and zinc Meunier, Plant Soil ,Vol. 351,pp.377–387.

۱۲. عین اللهی پیر، فاطمه، «بررسی میزان تجمع فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیوم و مس) در رسوبات و بافت‌های درخت حرا»، مجله اقیانوس‌شناسی، ۱۳۹۱، شماره ۱۱، صفحات ۸۲-۷۳.

13. Liu, J., Zhou, Q., Sun, T., Wang, S., 2008.Growth responses of three ornamental plants to Cd and Cd-Pb stress and their metal accumulation characteristics. Journal of Hazardous Materials, Vol. 151, pp.261-267.
14. Maldonado, A., Favela, E., Rivera, F., Volke, T.L., 2011.Lead

bioaccumulation in *(Acacia farnesiana)* and its effect on lipid peroxidation and glutathione production. Plant Soil, Vol.339, pp. 377–389.

15. Deng, H.,Ye, Z.H.,Wong, M.H., 2006.Lead and zinc accumulation and tolerance in populations of six wetland plants.Environ Pollut,Vol.141,pp.69–80.
16. Ewaise, E.A., 1997.Effects of Cadmium, Nickel and growth, chlorophyll content and proteins of weed.Biologica Plantarum,Vol. 39(3),pp.403-410.
17. Levitt, J.1980. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press,Volume II, Water, radiation, salt, and other stresses. No. Ed. 2.
18. Alkorta, I., Epelde, L., Mijangos, I., Amezaga, I., Garbisu, C., 2006.Bioluminescent bacterial biosensors for the assessment of metal toxicity and bioavailability in soil.Rev Environ Health, Vol. 21, pp.139 –152.
19. Wang, S., Angle, J., Chaney , L., Delorme, A., Reeves ,D., 2006.Soil pH effects on uptake of Cd and Zn by Thlaspi caerulescens. Plant and Soil,Vol. 281,pp.325-337.
20. Tipping, E., Rieuwerts, J., Pan, G., Ashmore, M.R., Lofts, S., 2003.The solid-solution partitioning of heavy metals (Cu, Zn, Cd, Pb) in upland soils of England and Wales.Environ Pollut,Vol. 125,pp.213–225.
21. Mattina, M.J.I., Lannucci,W., Musante, C.,White, J.C., 2003.Concurrent plant uptake of havey metal and persistent organic poiiutants from soil.Enviromental Pollution,Vol.124,pp.375-378.
22. Willey, N.2007. Preface In: Willey N (Ed) Phytoremediation.Methods and reviews.Humana Press, Inc, Totowa, pp v–vii.
23. Ruilian, Y., Junfeng, J., Xuyin, Y., Yinxian, S., Cheng, W., 2012. Accumulation and translocation of heavy metals in the canola (Brassica napus L.) soil system in Yangtze River Delta China, Plant Soil,Vol. 353, pp.33-45.
24. Hamlin, R.L., Barker, A.V., 2006. Phytoextraction potential of Indian mustard at various levels of zinc exposure. Journal Plant Nutri,Vol. 29 (7), pp.1257-1272.
25. Zare Dehabadi, S., Asrar, Z., Mehrabani, M., 2007. Effect of Zinc on growth and some physiological and biochemical parameters of spearmint (Mentha spicata L.).The magazine of Iran Biology,Vol. 20 (3),pp.230-241.
26. Zang, Z.Q., Ma, J.F., Matsumoto, H.,1998.High aluminum resistance in buckwheat. I. A1 induced specific secretion of oxalic acid from root tipe.Plant Physiology, Vol. 117, pp.745-751.
27. Aery, N.C., Jagetiya, B.L., 1997.Relative toxicity of cadmium, lead, and zinc on barley. Communications in Soil Science and Plant Analysis,Vol. 28,pp.949-960.
28. Edwards, D.G., Asher, C.J, 1982. Tolerance of crop and pasture species to manganese toxicity Plant Nutrition. Proceedings of the Ninth International Plant Nutrition Warwick University England, pp.145-151.
29. Mukhtar, S., Nawaz ,H., Khalid, M., Anwar ,M., 2010.Potential Of sunflower (Helianthus Annuusl) for Phytoremediation of Nickel (Ni) and

Lead (Pb)contaminated water Pak. Journal Bot,Vol. 42(6), pp. 4017-4026.

30. Marchiol, L.G., Fellet, D., Zerb, G., 2007.Removal of trace metals by *(Sorghum bicolor)* and *(Helianthus annuus)* in a site polluted by industrial wastes A field experience. Plant Physiology and Biochemistry,Vol. 45(5) ,pp.379-387.
31. Brooks, R.1998.Plants that hyperaccumlate heavy metal. CAB Intenational Newyork, 380 P.
32. Wendy, A. Ivan, R. Baxter, E. Richards, J.Freeman, S. 2005. Phytoremediation and hy peraccumulator plants Murphy Topics in Current Genetics.Vol. 14, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
33. Batty, L.C., Anslow, M., 2008.Effect of a polycyclic aromatic hydrocarbon on the phytoremediation of zinc by two plant species (Brassica juncea and Festuca arundinacea).Int Journal Phytorem, Vol. 10 (3), pp.236 - 251.
34. MacFarlane, G.R., Pulkownik, A.,Burchett, M.D., 2003.Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove Avicennia marina Vierh Biological indication potential. Environmental Pollution,Vol. 123.(1),pp.139-151.
35. Assareh, M.A., Ghamari Zare, A., 2008.Seedling response of three Eucalyptus species to copper and zinc, toxic concentrations Caspian. Journal Env. Sci,Vol. 6 (2),pp. 97-103.
36. Hee Han, S., Hyun kim, D.,Chenon lee, J., 2010.Cadmium and zinc interaction and phytoremediation potential of seven *(Salix caprea clones)*. Journal Ecol. Field Biol, Vol. 33(3),pp. 245-251.
37. Bareen, F.E., Tahira, S.A., 2010.Efficiency of seven different cultivated plant species for phytoextraction of toxic metals from tannery effluent contaminated soil using EDTA.Soil and sediment contamination, Vol. 19 (2), pp.160-173.
38. Ruttens, A., Colpaert, J.V., Mench, M., 2006. Phytostabilization of a metal contaminated sandy soil. II. Influence of compost and/or inorganic metal immobilizing soil amendments on metal leaching. Environ Pollut, Vol. 144, pp. 533-539.
39. 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 Pollutn,Vol.197,pp.23-34.