

ارزیابی توان نهال‌های یک‌ساله نخل زینتی در تجمع فلز آلاینده روی

علی مهدوی^۱

a_amoli646@yahoo.com

خدیدجه خرمن‌دار^۲

تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۱۵

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 کاملاً تصادفی در سه تکرار در معرض غلظت‌های مختلف (۵۰۰، ۲۵۰، ۵۰ 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، گونه 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.

واژه‌های 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

فرانباشت 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 می‌توان به مطالعه‌های زیر اشاره کرد. Wang و Zhuang (۲۰۰۰) در بررسی اثر دو فلز روی و کادمیوم در چهار گونه درختی در چین (*Platycladus orientalis*, *Sabina chinensis*، *Euonymus japonicus*، *Platanus acerifolia* و *Prunus cerasifera*) میزان تجمع روی در آن‌ها به ترتیب: ۷/۲، ۴/۸، ۷/۱، 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

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 از گیاهان هنگامی که میزان غلظت روی در برگ‌ها به میزان ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برسد، سبب مسمومیت (از جمله علائم مسمومیت گیاهی می‌توان به بی‌رنگی، کاهش بیوماس، جلوگیری از رشد طولی ریشه و بالاخره مرگ گیاه اشاره کرد) و کاهش در محصول دهی 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 می‌یابد و با کاهش pH خاک فلز روی به طور فزاینده‌ای در خاک قابل حل بوده و در دسترس جذب گیاه قرار می‌گیرد و خطر اثرات سمی آن هم افزایش می‌یابد (۳).

در سال‌های اخیر گیاه 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. در این تکنیک 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 فرانباشت‌ها هستند که غلظت‌های بسیار بالایی از فلز را در برگ‌ها نشان می‌دهند، اما معمولاً تولید بیوماس سالانه 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

آموزشی- پژوهشی گروه جنگلداری دانشگاه ایلام در گلدان‌هایی پلاستیکی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱۵ سانتی‌متر با ظرفیت ۲/۵ کیلوگرم خاک خشک مزرعه به نسبت ۱:۱:۲ با بافت سیلت- لومی (برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول ۱ 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 (۵۰، ۲۵۰، ۵۰۰، 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، وزن تر و خشک اندام‌های گیاه (ریشه، ساقه و برگ) (۱۳)، ارزش تحمل (۱۴ و ۱۵)، تنش تحمل 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 بعد ۰/۱ گرم نمونه پودر شده از هر اندام (ساقه، برگ و ریشه) را جدا کرده و به روش اکسیداسیون تر به نسبت ۱:۲:۸ با اسید نیتریک ۶۵٪، اسید سولفوریک غلیظ، اسید پرکلریدریک مخلوط و به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی قرار داده شد. سپس در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳۰ 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

در محدوده ریشه ۲۰-۱۰ برابر قسمت‌های دیگر است. در مطالعه‌ای دیگر توسط Akshayya و همکاران (۲۰۰۷) بر روی درخت حرا در هند، غلظت روی ۹۷/۶۴۳ 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 *bamboo* در یافتند 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 ۱۴/۸ میلی‌گرم بر گرم صورت گرفته بود (۱۱). عین‌اللهی 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

روش LSD در سطح احتمال ۰.۵٪) با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ انجام گرفت. نمودارهای مربوط نیز با کمک نرم افزار EXCEL ترسیم شد.

AAS (CTA-2000) میزان غلظت روی اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری صفات اندازه گیری شده (آزمون های تحلیل واریانس یک طرفه ANOVA و مقایسه میانگین ها به

جدول ۱- مشخصات خاک شاهد مورد استفاده

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

نتایج

شده (این شاخص در واقع شدت تنش وارد بر گیاه را نشان می دهد) و شاخص مقاومت گیاه (بر مبنای وزن خشک گیاه شاهد به تیمار) در هر سه غلظت اختلاف معنی داری را با شاهد نشان می دهد (جدول ۴). با افزایش غلظت محلول فلز روی میزان شاخص تحمل و مقاومت گیاه کاهش یافته و تنش تحمل شده افزایش یافته است که نشان دهنده تحت تاثیر قرار گرفتن گیاه به آلاینده است. نتایج مقایسه میانگین های میزان جذب در اندام های مختلف نشان داد که میزان جذب در برگ و ریشه در هر سه غلظت اختلاف معنی داری با شاهد دارند، اما در اندام ساقه گیاه میزان جذب تنها در دو غلظت (۵۰۰، ۲۵۰ میلی گرم در لیتر) اختلاف معنی داری با شاهد نشان داد (جدول ۵). بررسی میزان انتقال آلاینده در برگ، ساقه و ریشه نشان می دهد 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 اندام ها به میزان محلول روی وارد شده به خاک) نشان می دهد که در تمامی غلظت ها 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 معنی داری در بین همه تیمارها با شاهد وجود دارد (جدول ۵).

نتایج آزمون تحلیل واریانس مشخص کرد که اختلاف معنی داری بین تیمارها برای صفت هایی از جمله ارتفاع گیاه، ساقه، ریشه، قطر یقه، وزن تر 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 ۰.۰۱٪ (P < 0.01) وجود دارد (جدول ۲). همچنین نتایج تحلیل واریانس برای صفات میزان جذب، نسبت انتقال، ضرایب جذب و فاکتور انتقال در اندام های مختلف این گیاه و در تیمارهای مختلف اختلاف معنی داری را در سطح احتمال ۰.۰۱٪ (P < 0.01) نشان می دهد (جدول ۳). مقایسه میانگین های صفات ارزیابی شده نشان می دهد که طول اندام هوایی، زمینی و کل گیاه در سه غلظت (۵۰۰، ۲۵۰، ۵۰ میلی گرم در لیتر) اختلاف معنی داری با شاهد دارند (جدول ۴). بنابراین، می توان گفت افزایش غلظت تاثیر منفی بر رشد اندام های مختلف گیاه (ساقه و ریشه) داشته است. قطر یقه و تعداد برگ ها در سه غلظت (۵۰۰، ۲۵۰، ۵۰ میلی گرم در لیتر) اختلاف معنی داری را با شاهد نشان داد به طوری که با افزایش غلظت، قطر یقه و تعداد برگ کاهش یافت. وزن تر و خشک کل نیز در هر سه غلظت اختلاف معنی داری را با شاهد نشان دادند، به طوری که با افزایش غلظت از میزان آن ها کاسته شد که نشان دهنده تاثیر منفی بر بیوماس و کاهش عملکرد گیاه است. مشخصه های ارزش تحمل (بر مبنای طول ریشه شاهد و تیمار)، تنش تحمیل

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

میانگین مربعات											منابع تغییرات
LDW(gr)	TMW(gr)	RMW(gr)	SMW(gr)	LMW(gr)	LWR	LN	D(mm)	PL(cm)	SL(cm)	RL(cm)	
۰.۹۹۱ ^{ns}	۵۲۷۶۵ ^{ns}	۱۳۸۵۵ ^{ns}	۳۷۵۴۴ ^{ns}	۲۹۲۷ ^{ns}	۰.۰۰۳ ^{ns}	۶۹۷۲ ^{ns}	۱۳۶۲۲ ^{ns}	۱۷۶۲۰۶ ^{ns}	۳۳۴۱۷ ^{ns}	۵۶۵۵۶ ^{ns}	۳
۰.۰۷۷	۱۳۵۰	۰.۳۳۶	۰.۱۳۵	۰.۳۱۵	۰.۰۰۲	۰.۵۰۰	۰.۲۹۱	۲.۵۰۰	۱.۳۳۳	۲.۶۶۷	۸

^{ns} معنی داری در سطح احتمال ۰.۰۱ غیرمعنی دار

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

میانگین مربعات											منابع تغییرات
PRI(%)	TSI	TI(%)	WSD(%)	RWC(%)	TDW(gr)	RDW(gr)	SDW(gr)	درجه آزادی	منابع تغییرات		
۱۴۲۳/۹۴ ^{ns}	۰.۰۰۱ ^{ns}	۶۷۲۰۰۰ ^{ns}	۰.۰۳۹ ^{ns}	۰.۰۴۲ ^{ns}	۱۴۶۳۷۸ ^{ns}	۲۱۲۲۹ ^{ns}	۱/۱۹۴ ^{ns}	۳	تیمار		
۲۷/۹۱۷	۰.۰۰۰	۳۲/۳۳۳	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۳۱۸	۰.۱۹۲	۰.۰۲۸	۸	خطا		

^{ns} معنی داری در سطح احتمال ۰.۰۱ غیرمعنی دار

طول ریشه (RL)، ارتفاع گیاه (SL)، طول کل گیاه (PL)، قطر پته (D)، تعداد برگ (LN)، نسبت وزنی برگ (LWR)، وزن تر ساقه (SMW)، وزن تر ریشه (RMW)، وزن تر 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- مقایسه میانگین‌های صفات مورفولوژی و فیزیولوژی آریزایی شده در نهال‌های نخل زینتی یکساله

صفات آریزایی شده											تیمار
PRI(%)	TSI	TI(%)	WSD(%)	RWC(%)	TDW(%)	RDW(%)	SDW(%)	LDW(%)			(میلی گرم در لیتر)
۱۰۰ ± ۰.۵ ^a	۰ ± ۰.۵ ^a	۱۰۰ ± ۰.۵ ^a	-۰/۱۲ ± ۰/۰.۳ ^a	-۰/۸۸ ± ۰/۰.۱ ^a	۱۰/۱ ± ۰/۰.۳ ^a	۴/۳۸ ± ۰/۰.۳ ^a	۲/۵۴ ± ۰/۰.۳ ^a	۳/۱۴ ± ۰/۰.۵ ^a			شاهد
۸۱ ± ۶/۰.۸ ^b	-۰/۰.۱۶ ± ۰/۰.۳ ^b	۸۳/۶۷ ± ۵/۰.۳ ^b	-۰/۲۳ ± ۰/۰.۳ ^b	-۰/۷۸ ± ۰/۰.۳ ^b	۸/۱۶ ± ۰/۰.۵۹ ^b	۳/۹۶ ± ۰/۰.۲۵ ^a	۱/۸۵ ± ۰/۰.۹ ^b	۲/۳۶ ± ۰/۰.۲۸ ^b			۵۰
۶۳/۷ ± ۸/۰.۳ ^b	-۰/۰.۳۵ ± ۰/۰.۰۸ ^c	۷۷ ± ۵/۵۷ ^b	-۰/۳۰ ± ۰/۰.۱ ^c	-۰/۷ ± ۰/۰.۱ ^c	۶/۳۹ ± ۰/۰.۸۱ ^c	۲/۸۶ ± ۰/۰.۷۹ ^b	۱/۳۱ ± ۰/۰.۱۸ ^c	۲/۲۲ ± ۰/۰.۱۷ ^b			۲۵۰
۴۹/۷ ± ۳/۲۱ ^c	-۰/۰.۴۶ ± ۰/۰.۰۵ ^d	۶۴ ± ۸/۵۴ ^c	-۰/۳۹ ± ۰/۰.۱ ^d	-۰/۶۱ ± ۰/۰.۱ ^d	۵ ± ۰/۰.۳۵ ^d	۲/۱ ± ۰/۰.۲ ^b	۱/۱۴ ± ۰/۰.۱۱ ^c	۱/۷۶ ± ۰/۰.۴۵ ^c			۵۰۰

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

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

عوامل آریزایی شده											تیمار
TF	BCF	UI	L/S	S/R	L/R	Root	Stem	Leaf			(میلی گرم در لیتر)
۰ ± ۰.۵ ^a	۰ ± ۰.۵ ^a	۰ ± ۰.۵ ^a	۰ ± ۰.۵ ^a	۰ ± ۰.۵ ^a	۰ ± ۰.۵ ^a	۰ ± ۰.۵ ^a	۰ ± ۰.۵ ^a	۰ ± ۰.۵ ^a			شاهد
-۰/۵۶ ± ۰/۰.۶ ^b	۲/۲۹ ± ۰/۰.۲ ^b	۳۳۷/۴۰ ± ۲۲/۵۳ ^b	-۰/۸۸ ± ۰/۰.۲ ^b	-۰/۲۱ ± ۰/۰.۴ ^b	-۰/۲۵ ± ۰/۰.۱ ^b	۷۲/۳۳ ± ۱۰/۰.۴ ^b	۱۵/۵۴ ± ۵/۲۱ ^a	۲۵/۸۱ ± ۵/۲۳ ^b			۵۰
-۰/۷۱ ± ۰/۰.۳ ^c	۱/۲۰ ± ۰/۰.۴ ^c	۶۰۴/۳۶ ± ۱۲۸/۱۳ ^c	-۰/۶۴ ± ۰/۰.۳ ^c	-۰/۵۰ ± ۰/۰.۰۶ ^c	-۰/۳۱ ± ۰/۰.۱ ^b	۱۱۵/۹۳ ± ۱۰/۰.۶۵ ^c	۵۷/۶۳ ± ۵/۲۳ ^b	۲۶/۵ ± ۵/۲۳ ^b			۲۵۰
-۰/۵۴ ± ۰/۰.۷ ^b	۱/۲۲ ± ۰/۰.۱ ^c	۱۰۷۹/۶ ± ۱۹۹/۳۷ ^d	-۰/۶۳ ± ۰/۰.۵ ^c	-۰/۳۴ ± ۰/۰.۵ ^d	-۰/۲۱ ± ۰/۰.۲ ^c	۳۹۲/۸۸ ± ۱۶/۱۱ ^d	۱۳۲/۳۰ ± ۲۶/۲۹ ^c	۸۲/۷۶ ± ۱۰/۴۴ ^c			۵۰۰

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 می دانیم، کارآیی انباشت و توزیع فلزات سنگین در گیاه، نه تنها به عوامل گیاهی مربوط می شود، 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 ویژگی های 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 می توان 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 نقش های مهمی در قابلیت دسترسی زیستی فلز و در نهایت گیاه پالایی بازی می کنند (۲۰ و ۲۱). بنابراین، اگر یک گیاه مشخص را برای گیاه پالایی فلزات سنگین در نظر گرفتیم، لازم است توان آن گیاه در خاک به خصوصی که قرار است گیاه پالایی در آن صورت گیرد هم مورد آزمایش قرار گیرد (۲۲ و ۲۳).

گاهی اوقات توان استخراج فلز روی و سایر فلزات سنگین از خاک های آلوده منجر به اختلالات مواد مغذی، سبب نکروز سلول های اپیدرمی و مزوفیلی برگ، مهار رشد سطحی برگ و اثرات سمی برای گیاه می شود که در ادامه سبب توقف یا کاهش رشد اندام ها و بیوماس گیاه می شود (۲۴ و ۲۵). نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش در غلظت روی کاهش در رشد اندام های نهال ها (طول ریشه و ارتفاع گیاه) و کاهش زیست توده خشک بافت های مختلف نهال های یک ساله نخل زینتی اتفاق می افتد. کاهش بیوماس گیاهان با افزایش مقادیر فلزات سنگین، در بسیاری از مطالعات انجام یافته، گزارش شده است (۲۴-۳۰) و در مورد کاهش در طول اندام ها از جمله ریشه می توان به نتایج مطالعات متعدد اشاره کرد (۳ و ۲۹ و ۳۰).

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 آن ها در بافت های ریشه صورت می گیرد و پس از آن به دیگر

قسمت های گیاه انتقال می یابد. بنابراین، به طور کلی می توان بیان داشت که محتوای فلزات سنگین در بخش های زیر زمینی باید بالاتر از قسمت های هوایی گیاه باشد (۳۲). اما فلز روی می تواند در بخش های مختلفی از گیاهان تجمع پیدا کند. به عنوان مثال، در گونه *Festuca arundinacea* بیشترین جذب فلز روی را در بافت های ریشه اش دارد، در حالی که گونه *Brassica Juncea* بیشترین غلظت روی را در بافت های ساقه هایش تجمع می دهد (۳۳). نتایج این مطالعه برای نهال های نخل زینتی نشان داد، بیشترین جذب در تمامی تیمارها در ریشه های این گیاه اتفاق می افتد (جدول ۵) که با نتایج برخی پژوهش ها 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 میلی گرم بر گرم و در برگ ها ۲۵ میلی گرم بر گرم است و ضریب انتقال به ریشه برابر ۱/۲۱ و ضریب انتقال به برگ ۰/۱۰ بود (۳۴). Assareh و همکاران (۲۰۰۸) طی مطالعه ای نشان دادند که میزان روی جذب شده توسط ریشه های سه گونه اکالیپتوس بیش تر از برگ ها و ساقه های آن است (۳۵). HeeHan و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تجمع روی و کادمیوم در درخت بید *Salix caprea* دریافتند که بیشترین تجمع هر دو فلز در ریشه های این گونه است (۳۶). Badr و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر چند فلز از جمله روی در گونه های *Rhazya stricta*, *Calotropis procera*, *Citrullus colocynthis*, *Cassia italic*, *Phragmite australis*, *Cyperus laevigatus* پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان جذب روی در ریشه های گونه *Phragmite australis* و برابر با ۱۵۶۰ میلی گرم 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 ریشه های این گونه بین ۲۵۵/۱ - ۱۵/۲۱ میلی گرم بر کیلوگرم بود و در ساقه ها بین ۱۹۲/۵۰ - ۱۰/۳ میلی گرم

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 در چند سال متوالی انجام گیرد.

بر کیلوگرم 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 است که همگی در تیمار (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) اتفاق افتاد (جدول ۵). 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

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 بافت های درخت حرا»، مجله اقیانوس شناسی، 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
- با افزایش بازده گیاه پالایی (افزایش میزان تعرق گیاه، افزایش مقاومت گیاه، تغییر اسیدیته خاک و ...) می توان 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 hyperaccumulation 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. Andreas, D.P. Heinzrennenberg, H. 2006. Heavy Metal Resistance and Phytoremediation with Transgenic Trees, *Tree Transgenesis, Recent Developments Springer-Verlag Berlin Heidelberg*.
 6. Zhuang, S., Wang, K., 2000. Study on the relationship between atmospheric heavy metal pollution (Pb, Cd, Cu, Zn) and accumulations in leaves of urban trees. *Journal Yantai University (Nat Sci Eng Ed)*, Vol.39, pp.131-137.

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. Al induced specific secretion of oxalic acid from root tpe.*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 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 poiitants from soil.*Enviromental Pollution*,Vol.124,pp.375-378.

- 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.
- 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 hyperaccumulate heavy metal. CAB International Newyork, 380 P.
32. Wendy, A. Ivan, R. Baxter, E. Richards, J. Freeman, S. 2005. Phytoremediation and hyperaccumulator 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,