مقایسه گیاه‌پالایی روی توسط گیاه آفتابگردان، تالاسپی سیرلسنز، شبدر قرمز و تاج خروس وحشی

فهیمه نیک سرشت*، مجید افیونی، امیرحسین خوشگفتارمنش و وجیهه درستکار[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۶)

چکیده

گیاه‌پالایی یکی از روش‌های اصلاح خاک‌های آلوده است. در این روش از گیاهان مقاوم با پتانسیل جذب بالا، جهت پاکسازی عنصر آلاینده استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش گلخانه‌ای، یافتن گیاه مناسب با بیش‌ترین ضریب انتقال و غلظت روی در شاخسار بود. به این منظور خاک معدن سرب و روی باما در منطقه ایرانکوه استان اصفهان با غلظت بالای روی انتخاب گردید. جهت مقایسه قدرت پاکسازی گیاهان، گیاه آفتابگردان (*Heliantus annus* L.)، شبدر قرمز (*Trifolium pretense* L.)، تالاسپی سیرلسنز (*Thlaspi caerulescens*) و تاج خروس وحشی (*Amaranthus retroflexus*) در ۳ تکرار و در قالب طرح کاملا تصادفی در گلدان‌های ۸ کیلوگرمی کشت شدند. بعد از گذشت ۷۰ روز، شاخسار و ریشه گیاهان برداشت شد و غلظت روی در این بافت‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بیشترین غلظت روی با تفاوت معنی‌دار نسبت به دیگر گیاهان، در ریشه و شاخسار گیاه تالاسپی سیرلسنز به‌ترتیب با مقادیر ۳۱۲۵ و ۴۰۴۱ میلی‌گرم در گیلوگرم مشاهده شد. بیش‌ترین ضریب انتقال و فاکتور تجمع زیستی نیز، مربوط به گیاه تالاسپی سیرلسنز بود. براساس نتایج این پژوهش، گیاه تالاسپی سیرلسنز یک گیاه بیش‌انباشتگر مناسب جهت پاکسازی خاک‌های آلوده به روی بود.

واژه‌های کلیدی: گیاه بیش‌انباشتگر، گیاه‌پالایی، عنصر روی، ضریب انتقال، فاکتور تجمع زیستی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: f.nikseresht@ag.iut.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.4.1]

مقدمه

روی یکی از هشت عنصر ضروری برای رشد طبیعی و حفظ تولید محصولات زراعی است (۹). عنصر روی به‌عنوان یک عنصر غذایی کم‌مصرف در شماری از آنزیم‌ها مانند الکل دهیدروژناز، کربنیک انهیدراز، مس- روی سوپراکسیددسموتاز و RNA پلیمراز به عنوان بخش فلزی آنزیم و هم‌چنین به‌عنوان فعال‌کننده بعضی از آنزیم‌ها مانند ایزومرازها و دهیدروژنازها مطرح است (۵). مقدار آزادسازی روی در دهه‌های اخیر ۱۳۵۰۰۰۰ تن در سال بوده است. معادن حاوی فلز، فرآیند ذوب و استخراج فلزات، استفاده از لجن فاضلاب، دفن زباله‌ها، کودهای کشاورزی و صنایع الکتریکی را می‌توان به‌عنوان منبع آلودگی این عنصر معرفی نمود. عناصر فلزی سمی باعث وارد شدن ضربه به ساختار DNA و ایجاد سرطان در نتیجه جهش ژنی در انسان و حیوانات می‌شوند (۲۱). سمیت روی می‌تواند باعث ایجاد مشکلات کلیوی و ادراری شود. مقدار کل روی در خاک‌ها به‌طور متوسط ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده در حالی‌که این مقدار در خاک‌های آلوده به بیش از ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد (۵). با توجه به خطرات زیست محیطی و هم‌چنین آلودگی روزافزون عناصر فلزی کمیاب، لزوم پاکسازی این عناصر از محیط زیست با روش‌های ارزان و آسان بسیار حائز اهمیت است. موضوع استفاده از گیاهان انباشتگر (Accumulator) و بیش‌انباشتگر (Hyperaccumulator) به‌منظور پاکسازی خاک‌های آلوده به آلاینده‌های مختلف از جمله آلودگی به فلزات سنگین، در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در میان روش‌های مختلف مورد استفاده، روش گیاه‌پالایی (Phytoextraction) روش مناسبی است. گیاه‌پالایی روشی با هزینه کم و آسان است که در آن با استفاده از گیاهان سبز ، محیط‌هایی نظیر خاک، لجن، رسوبات و آب-های سطحی و زیرزمینی پالایش می‌شوند و آلاینده‌ها خارج یا غیرفعال می‌شوند (۶). خاک‌های آلوده به فلزات و شبه فلزات به کمک گیاه‌پالایی مخلوط گیاهان بیش‌انباشتگر و گیاهان حاوی زیست‌توده بالا قابل پاکسازی است (۲۵). مزیت روش گیاه‌پالایی این است که برای مواد آلی و غیرآلی قابل اجرا، آسان، سازگار با محیط زیست و ارزان قیمت است و موجب دستخوردگی کمتر خاک می شود و ازجمله معایب آن، زمان‌بر بودن مراحل پاکسازی است (۶).

روش استفاده از گیاهان با پتانسیل تجمع عناصر فلزی اولین بار توسط چنی مطرح شد (۲۵). بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه گیاه‌پالایی، در محیط آبکشت انجام شده است تا تحت کنترل و قابل گزارش باشد. اما بهتر است پس از تعیین گیاهان مورد نظر، این آزمایشات در شرایط خاک بررسی شود تا به شرایط مزرعه نزدیک باشد و بتوان ظرفیت بافری خاک را که در قابلیت دسترسی عناصر موثر است، بررسی کرد. مک گرات و همکاران نشان دادند که کاشت مزرعه‌ای چندین گیاه بیش‌انباشتگر در خاکی با آلودگی ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، باعث کاهش آلودگی تا کمتر از ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم شد (۲۳). صلحی نشان داد که در خاک آلوده طبیعی منطقه باما، حداکثر شاخص جذب روی در آفتابگردان و ذرت وجود دارد (۶). شنبه نشان داد که در خاک آلوده معدن باما، ۴ گیاه بومی *Bromus tectorum*، *Ebenus stella*، *Artemisia siebri* و *Stachys inflate* بیشترین جذب روی شاخسار را داشتند (۵).

ملاک شناسایی گیاهان بیش‌انباشتگر روی، تجمع ۱۰۰۰۰ میکروگرم در گرم روی در وزن خشک اندام هوایی گیاهانی مانند تالاسپی سیرلسنز می‌باشد. به‌طور کلی غلظت عناصر فلزی در این گیاهان ۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر بیشتر از گیاهان عادی بوده و ضریب انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی در این گیاهان بیش‌تر از ۱ می‌باشد که نشانه قدرت بالای انتقال عنصر فلزی در این گیاهان است (۱۵).

در مباحث گیاه‌پالایی در پی یافتن گیاه مناسب به‌منظور پالایش عنصر مورد نظر، همواره این چالش وجود دارد که گیاهان بیش انباشتگر به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱- گیاهان انباشتگر با زیست توده بالا که غلظت کمتری از عنصر مورد نظر را در شاخسار خود ذخیره می‌کنند مثل گیاه آفتابگردان برای عنصر روی و ۲- گیاهان بیش‌انباشتگر با زیست توده کم

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.4.1]

مثل گیاه تالاسپی سیرلسنز برای عنصر روی، که غلظت عنصر فلزی در شاخسار آنان بیشتر است (۲۳). تا کنون تحقیقات بسیار کمی در جهت مقایسه این دو دسته از گیاهان با یکدیگر صورت گرفته است. هم‌چنین پژوهش‌های بسیار کمی برروی گیاهان غیربومی بیش‌انباشتگر روی نظیر تالاسپی سیرلسنز در شرایط آب و هوایی کشور ایران وجود دارد. در این پژوهش سعی شده است از ۴ گیاه انباشتگر و بیش انباشتگر روی با عملکرد و توانایی جذب متفاوت در شرایط یکسان استفاده شود تا امکان مقایسه صحیح این گیاهان وجود داشته باشد. گیاه تالاسپی سیرلسنز نیز در کنار دیگر گیاهان در شرایط آب و هوایی ایران کشت شد تا توانایی این گیاه در جذب عنصر روی و سازگاری با محیط بررسی شود. برای از بین بردن اثر تفاوت عملکرد گیاهان در غلظت عناصر در بافت‌های گیاهی، علاوه بر غلظت، جذب عنصر روی در گیاهان هم مورد بررسی قرار گرفت. جذب عناصر همان انباشتگی به‌ازای واحد وزن گیاهی است که از حاصلضرب عملکرد تولیدی در غلظت روی در بافت گیاهی به دست می‌آید. به‌منظور مقایسه بهتر نتایج، جذب روی در شاخسار و ریشه گیاهان، بر وزن خاک گلدان‌ها تقسیم شد، تا جذب روی در این بافت‌ها به‌ازای هر کیلوگرم خاک گلدان بیان شود.

هدف از انجام این آزمایش گلخانه‌ای، یافتن گیاه مناسب با بیشترین ضریب انتقال و غلظت عنصر روی در شاخسار است تا در تحقیقات گیاه‌پالایی بعدی مورد استفاده قرار گیرد. هم‌چنین تلاش شده است تا مقدار جذب گیاهان انباشتگر و بیش‌انباشتگر روی مورد مقایسه قرار گیرد و مقدار انباشتگی عنصر روی در گیاه تالاسپی سیرلسنز در شرایط آب و هوایی کشور ایران مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

۱. انتخاب خاک آلوده

به منظور یافتن خاک آلوده به عناص روی، موقعیت معادن طبیعی روی در استان اصفهان مورد ارزیابی اولیه قرار گرفت. معدن باما در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در دامنه ایرانکوه با ارتفاع ۱۷۵۰ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی ۱۴۰ میلی‌متر در سال انتخاب گردید. پس از نمونه‌برداری از نقاط مختلف داخل و اطراف معدن، نقطه‌ای با موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی، به‌عنوان خاک با غلظت بالای روی و غلظت پایین سایر عناصر سنگین انتخاب گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک معدن باما در جدول ۱ قابل مشاهده است.

به‌دلیل فعالیت‌های معدن‌کاوی و استخراج (به‌صورت روباز) خاک‌های این منطقه دارای غلظت بالایی از روی می‌باشدکه رویشگاه‌های گیاهی خاصی در این منطقه به‌وجود آورده است. معدن باما سومین معدن بزرگ سرب و روی در کشور می‌باشد (۷).

۲. انتخاب گیاهان مناسب جهت گیاه‌پالایی

برای گیاه‌پالایی خاک آلوده، چهار گیاه انتخاب شد:

- تالاسپی سیرلسنز(*Thlaspi caerulescens*) یکی از گیاهان بیش‌انباشتگر شاخص جذب روی شناخته شده در دنیا است (۲۴). باکر و همکاران، برون، مک گرات و همکاران گزارش نمودند که گیاه تالاسپی سیرلسنز قادر است تا بیش از ۱۰۰۰۰ میکروگرم روی در گرم وزن خشک اندام هوایی خود ذخیره نماید. آنان هم‌چنین نشان دادند که این گیاه قادر به جذب مقادیر بالای روی در خاک‌های با غلظت کم تا متوسط روی می‌باشد (۲۵).
- تاج خروس وحشی (*Amaranthus retroflexus*) از جمله گیاهان علوفه‌ای و دارویی رشد یافته در مراتع ایران به‌صورت طبیعی و از جمله گیاهان انباشتگر روی است (۲۰).
- آفتابگردان (*Helianthus annus*) از جمله گیاهان زراعی است که در منطقه ایرانکوه کشت می‌شود و هم‌چنین براساس تحقیقات صلحی این گیاه بیشترین شاخص جذب روی را در خاک آلوده طبیعی معدن باما بدون کاهش عملکرد نشان داده است (۶).

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.4.1]

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک معدن سرب و روی باما

ویژگی	مقدار
بافت	لومی رسی
طبقه بندی	Typic haplocambids
pH در عصاره ۲:۱ خاک به آب	۷/۹
هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$) در عصاره ۲:۱ خاک به آب	۰/۹
ماده آلی (درصد)	۲/۹
آهک (درصد)	۴۰
نیتروژن کل (درصد)	۰/۱
فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۴۲/۶
روی قابل عصاره‌گیری با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۲۰
روی کل قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۸۲۴

– شبدر (*Trifolium pretense*) نیز از جمله گیاهان زراعی‌ست که در منطقه ایرانکوه کشت می‌شود و هم‌چنین براساس تحقیقات حبیبی این گیاه بیشترین غلظت روی را در اندام هوایی خود نشان داده است (۱).

۳. کشت گلخانه‌ای

۸ کیلوگرم خاک آلوده پس از عبور از الک ۸ میلی‌متری، به دقت توزین و در گلدان‌های پلاستیکی ۹ کیلوگرمی به قطر دهانه ۲۲/۵ سانتیمتر و ارتفاع ۲۴ سانتیمتر قرارگرفت. بذر گیاهان مورد نظر روی سطح خاک قرار گرفته و به‌منظور تسریع در جوانه زنی، سطح خاک با ماسه شسته شده پوشانده شد. به‌منظور یکنواخت‌سازی و امکان برقراری مقایسه بین گیاهان، تعداد ۱۵ بذر از هر گیاه در گلدان‌ها قرار داده شد. کلیه مراقبت‌های زراعی معمول از جمله آبیاری و کوددهی در طول دوره رشد گیاه انجام شد. گلدان‌ها با آب دیونایز آبیاری شدند تا تجمع املاح در خاک صورت نگیرد و آبیاری به‌نحوی بود که هیچ آبی از زیر گلدان‌ها زهکش نشد. پس از اینکه گیاهان به رشد حداقل ۳ سانتی‌متر رسیدند، ده بوته قوی‌تر و شاداب‌تر انتخاب شده و در گلدان‌ها باقی ماندند. متوسط دمای شبانه روز ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دوره کشت گیاهان ۷۰ روز بود. انتخاب ۷۰ روز به دلیل انجام یک پیش آزمایش برای گیاهان مورد نظر و بررسی منابع بود (۲۰). پس از برداشت گیاهان، ریشه از داخل خاک گلدان، شاخسار گیاهان از سطح گلدان‌ها و سه نمونه تصادفی از خاک هر گلدان برداشته و ادغام شد. برداشت ریشه‌ها به‌صورت دستی و تا جای ممکن با دقت انجام شد تا هیچ ریشه‌ای در خاک باقی نماند و تمام زیست توده ریشه برداشت شود. در پایان برای اطمینان از صحت برداشت ریشه، خاک باقی‌مانده، شسته واز الک ریز عبور داده شد تا مقدار کم ریشه‌های ریز هم از روی الک برداشت شوند. ریشه و شاخسار برداشت شده بعد از شست و شوی دقیق با آب دیونایز، در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن قرار داده شد. پس از خشک شدن، ریشه، شاخسار و خاک گلدان‌ها به دقت توزین شدند. مقدار جذب (میلی‌گرم در گلدان) در گیاهان از حاصل‌ضرب عملکرد تولیدی (کیلوگرم در گلدان) در غلظت روی در بافت گیاهی (میلی‌گرم در کیلوگرم) به دست می‌آید به‌همین دلیل توزین دقیق عملکرد و وزن خاک گلدان‌ها حائز اهمیت است.

۴. تجزیه‌های آزمایشگاهی

به‌منظور هضم نمونه‌های گیاهی، از دستگاه ماکروویو مدل CEM Crop Mattews, NCXP 1500 plus Teflon-PFA

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.4.1]

استفاده شد. در این روش به ۰/۲۵ گرم از بقایای گیاهی ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه شد و پس از قرارگیری به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط، ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به آن اضافه گردید. مجدداً نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس ۳ میلی‌لیتر آب مقطر به آنها اضافه شد و به مدت ۴۰ دقیقه در دستگاه ماکروویو هضم گردید [۱۹]. پس از این مرحله نمونه‌ها توسط کاغذ واتمن صاف گردید و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و غلظت عنصر روی در عصاره شاخساره و ریشه به‌طور جداگانه توسط دستگاه جذب اتمی تعیین گردید (۱۱).

نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و بافت خاک، pH و هدایت الکتریکی در عصاره دو به یک آب به خاک، کربن آلی، فسفر، نیتروژن کل خاک و فرم کل و قابل جذب روی با اسید نیتریک و DTPA اندازه‌گیری گردید (۵، ۱۳ ،۱۶و ۱۸). به منظور محاسبه میزان جذب روی در شاخسار و ریشه گیاهان، عملکرد وزنی این اجزا در غلظت روی در همین بافت‌ها ضرب شده و به‌میزان جذب تبدیل شد.

برای اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی خاک از عصاره ۲:۱ خاک به آب استفاده شد و pH خاک با دستگاه pH متر مدل ۶۹۱ ساخت سوئیس و قابلیت هدایت الکتریکی با دستگاه هدایت‌سنج مدل ۶۴۴ ساخت سوئیس اندازه‌گیری شد (۵).

در عصاره آماده شده فسفر به‌روش رنگ سنجی توسط دستگاه طیف‌سنج مدل RAY LEIGHT UV-1601 قرائت گردید (۱۳). برای اندازه‌گیری مقدار کربن آلی از روش سوزاندن تر استفاده شد. در این روش مواد آلی با استفاده از بی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ اکسید شده و بی‌کرومات باقی‌مانده از طریق تیتراسیون با افزودن فروسولفات اندازه‌گیری می‌گردد (۱۸). برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن از روش کلدال استفاده شد.۰/۱ گرم از نمونه‌های آسیاب شده به بالن هضم کلدال انتقال داده شد و پس از هضم در مجاورت کاتالیزور (سولفات مس، سولفات پتاسیم و سلنیم) توسط اسید سولفوریک غلیظ در دمای ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳ ساعت، غلظت نیتروژن توسط دستگاه کلدال قرائت شد. برای اندازه‌گیری مقدار قابل جذب عنصر روی در خاک، از محلول DTPA ۰/۰۰۵ نرمال حاوی کلریدکلسیم ۰/۰۱ نرمال و محلول تری اتانول آمین با pH ۷/۳ استفاده شد. به این صورت که عصاره‌گیری از خاک توسط محلول ۲:۱، DTPA به خاک صورت گرفت و غلظت روی در عصاره، توسط دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ تعیین گردید. برای اندازه گیری غلظت روی کل در خاک از هر نمونه خاک ۴ گرم برداشته و ۲۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۴ نرمال به آن اضافه گردید. نمونه‌ها به‌مدت یک شب در درجه حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آبی نگه داشته شدند. پس از صاف کردن نمونه‌ها، غلظت روی در عصاره توسط دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ تعیین گردید (۵).

۵. طرح مورد استفاده و تجزیه آماری

این پژوهش به‌صورت طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار مورد تجزیه آماری قرار گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS مدل ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح ۵ درصد انجام گرفت. همبستگی دو به دو بین داده‌ها نیز به کمک نرم‌افزار SAS محاسبه شد.

نتایج و بحث

۱. وزن خشک

نتایج نشان داد بیشترین وزن خشک شاخسار متعلق به گیاه آفتابگردان بود و گیاه شبدر قرمز کمترین وزن خشک شاخسار را داشت. هم‌چنین بیشترین وزن خشک ریشه در گیاه آفتابگردان با ریشه‌های عمقی و کمترین وزن خشک ریشه در گیاه شبدر قرمز مشاهده شد (جداول ۲و۳) که همگی به‌دلیل تفاوت‌های ژنتیکی گیاهان مورد مطالعه و توانایی متفاوت این گیاهان برای رشد در شرایط خاک مورد مطالعه می‌باشد (۴).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.4.1]

جدول ۲. وزن خشک گیاهان مورد استفاده در گیاه‌پالایی(گرم در گلدان)

گیاه	وزن خشک شاخسار	وزن خشک ریشه
	(گرم در گلدان)	
آفتابگردان	۱۷	۴/۲
شبدر قرمز	۲/۸	۱/۱
تالاسپی سیرلسنز	۱۲/۸	۳/۳
تاج خروس وحشی	۱۲/۹	۲/۱

صلحی نشان داد که در کشت ۷۰ روزه گیاهانی نظیر کاهو، اسفناج، کلم، چغندر برگی، آفتابگردان، ذرت، جاروباغی، چاودار وکلزا، بیشترین وزن خشک ریشه و شاخسار متعلق به گیاه آفتابگردان بود (۶). در تحقیقات درستکار در خاک آلوده معدن باما، نتایج مشابهی گزارش شد. گیاه تالاسپی سیرلسنز وزن خشک شاخسار کمتر و وزن خشک ریشه بیشتری نسبت به گیاه تاج خروس وحشی، نشان داد (۳).

۲. غلظت و جذب روی در ریشه

جدول ۴ غلظت و جذب روی ریشه گیاهان مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بیشترین غلظت روی در ریشه تالاسپی سیرلسنز و پس از آن به‌ترتیب در شبدر قرمز، آفتابگردان و تاج خروس وحشی با تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد مشاهده شد (جدول ۴). متشرع‌زاده و همکاران در کشت آفتابگردان و تاج‌خروس در خاک آلوده به کادمیم به این نتیجه رسیدند که روی موجود در ریشه آفتابگردان بیشتر از تاج خروس وحشی بود (۲۰).

صلحی غلظت ۱۰۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم روی را در ریشه گیاه آفتابگردان برای کشت ۷۰ روزه در خاکی با آلودگی طبیعی ۲۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم روی، گزارش کرد که با توجه به بیشتر بودن میزان آلودگی، میزان روی بیشتری هم در ریشه تجمع یافته است. غلظت روی در ریشه به‌طور مستقیم در پالایش آن توسط روش گیاه‌پالایی دخالت ندارد اما با توجه به اینکه هر چه غلظت روی در ریشه افزایش یابد به دنبال آن غلظت روی در اندام هوایی افزایش می‌یابد به این ترتیب بر پتانسیل پالایش روی توسط گیاهان مؤثر واقع می‌گردد (۶).

بیشترین جذب روی در ریشه تالاسپی سیرلسنز و پس از آن در آفتابگردان با تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد مشاهده شد (جدول۴). با اینکه گیاه تالاسپی سیرلسنز وزن خشک تولیدی کمتری نسبت به گیاه آفتابگردان داشت، اما به‌دلیل بیشتر بودن غلظت روی در ریشه، مقدار جذب بیشتری نشان داد. در تحقیقات درستکار در خاک آلوده معدن باما، ریشه گیاه تالاسپی سیرلسنز غلظت و جذب روی بیشتری نسبت به گیاه تاج خروس وحشی داشت (۳).

۳. غلظت و جذب روی در شاخسار

جدول **۵** غلظت روی شاخسار گیاهان مورد استفاده در گیاه‌پالایی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین غلظت روی در شاخسار تالاسپی سیرلسنز وجود داشت که مشابه روند غلظت در ریشه بود اما در مورد بقیه گیاهان تفاوت معنی‌داری در غلظت روی شاخسار مشاهده نشد که احتمالا نشان دهنده توانایی کمتر انتقال روی از ریشه به شاخسار است (جدول ۶).

براون و همکاران به‌نتایج مشابهی دست یافتند. آنها دامنه غلظت ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم را در شاخسار گیاه تالاسپی گزارش کردند (۱۲). غلظت روی در شاخسار تالاسپی سیرلسنز در این تحقیق مشابه غلظت روی به‌دست آمده در شاخسار این گیاه در تحقیقات پلارد، باکر و رابینسون

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.4.1]

جدول ۳. تجزیه واریانس مربوط به عملکرد ریشه و شاخسار گیاهان

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عملکرد ریشه گیاهان	عملکرد شاخسارگیاهان
تیمار	۳	۵/۸***	۱۰۹***
خطای آزمایش	۸	۰/۰۰۷	۰/۳

*** نشان‌دهنده معنی‌داری درسطح ۰/۰۱ درصد است.

جدول ۴. غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) و جذب روی (میلی‌گرم در گلدان) در ریشه گیاهان مورد استفاده در گیاه‌پالایی

گیاه	غلظت روی ریشه	جذب روی ریشه
	(میلی‌گرم در کیلوگرم)	(میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک گلدان)
آفتابگردان	۴۲۷c*	۰/۲b*
شبدر قرمز	۸۵۵b	۰/۱c
تالاسپی سیرلسنز	۳۱۲۵a	۱/۳a
تاج خروس وحشی	۳۹۳c	۰/۱c

*: میانگین‌های با حروف یکسان دارای تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون LSD نمی‌باشند.

جدول ۵. غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) و جذب روی (میلی‌گرم در گلدان) در شاخسار گیاهان مورد استفاده در گیاه‌پالایی

گیاه	غلظت روی	جذب روی
	(میلی‌گرم در کیلوگرم)	(میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک گلدان)
آفتابگردان	۱۴۲b*	۰/۳b*
شبدر قرمز	۲۵۰b	۰/۱b
تالاسپی سیرلسنز	۴۰۴۱a	۶/۴a
تاج خروس وحشی	۱۹۱b	۰/۳b

*: میانگین‌های با حروف یکسان دارای تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون LSD نمی‌باشند.

جدول۶. تجزیه واریانس مربوط به غلظت روی در ریشه و شاخسار گیاهان

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		غلظت روی در ریشه گیاهان	غلظت روی در شاخسارگیاهان
تیمار	۳	۵۰۷۲۶۵۵***	۱۱۱۰۸۳۲۶***
خطای آزمایش	۸	۴۲۶۱	۱۰۵۲۱

*** : نشان‌دهنده معنی‌داری درسطح ۰/۰۱ درصد است.

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.4.1]

جدول ۷. فاکتورهای ضریب انتقال و قابلیت تجمع زیستی روی در گیاهان

گیاه	ضریب انتقال	قابلیت تجمع زیستی
آفتابگردان	۱/۳	۰/۲۲
شبدر قرمز	۰/۸	۰/۰۶
تالاسپی سیرلسنز	۵/۱	۴/۸
تاج خروس وحشی	۲/۹	۰/۲۲

است (۲۴). آدسودان و همکاران نشان دادند که کشت ۸ هفته‌ای گیاه آفتابگردان در خاکی با آلودگی ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی، باعث تجمع ۱۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم روی در شاخسار آفتابگردان شد. این تحقیق نشان داد که غلظت روی در شاخسار گیاه آفتابگردان با رشد و با گذشت زمان، به‌دلیل اثر رقت، کاهش می‌یابد (۸).

مونسانت و همکاران نشان دادند که کشت ۸۶ روزه تالاسپی سیرلسنز در خاکی با غلظت روی ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باعث افزایش غلظت روی شاخسار در دامنه ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم شد (۱۹). مکنیر و همکاران پس از مقایسه گیاه تالاسپی سیرلسنز با گیاه تالاسپی آرنوس (به‌عنوان گیاه غیرانباشتگر) نشان دادند که غلظت روی در گیاه تالاسپی سیرلسنز ۴/۵ برابر گیاه تالاسپی آرنوس است و دلیل آن را تجمع مولکول‌های انتقال دهنده روی در سلول‌های غشای پلاسمای ریشه تالاسپی سیرلسنز بیان کردند (۱۷). پنس و همکاران پس از بررسی یک پروتئین کد شده ناقل روی به‌نام ZnT_1 در دو گیاه تالاسپی سیرلسنز و تالاسپی آرنوس، به این نتیجه رسیدند که این پروتئین در ریشه و شاخسار تالاسپی سیرلسنز به‌مقدار بیشتری وجود دارد (۲۲). آسونکا و همکاران دو ژن دیگر ناقل روی به نام‌های ZnT_2 و ZTP_1 را در همین دو گیاه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در تالاسپی سیرلسنز بیان این دو ژن بیشتر بود و در تالاسپی آرنوس بیان این ژن‌ها در شرایط کمبود روی رخ می‌دهد و این یکی از دلایل بیشتر بودن غلظت روی در شاخسار گیاه تالاسپی سیرلسنز کشت شده در خاک آلوده است (۱۰). نتایج تحقیقات فری و همکاران نشان داد که در گیاه تالاسپی، روی در واکوئل سلول‌های سطحی پوست به‌صورت محلول متوقف می‌شود (۱۴). غلظت روی در شاخسار تاج خروس وحشی بیشتر از آفتابگردان بود. متشرع‌زاده و همکاران در کشت آفتابگردان و تاج‌خروس در خاک آلوده نشان دادند که روی موجود در شاخسار تاج خروس وحشی بیشتر از آفتابگردان بود (۲۰). صلحی غلظت ۹۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم روی در شاخسار را برای کشت ۷۰ روزه آفتابگردان در خاکی با آلودگی طبیعی ۲۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم روی، گزارش کرد. بیشتر بودن میزان آلودگی در تحقیق صلحی، باعث افزایش غلظت روی در شاخسار آفتابگردان شد (۶). بیشترین مقدار جذب روی در شاخسار تالاسپی سیرلسنز مشاهده شد و بقیه گیاهان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان ندادند (جدول ۴) که این روند مشابه غلظت روی در اندام هوایی این گیاهان بود. گیاه تالاسپی سیرلسنز با اینکه وزن خشک تولیدی کمتری نسبت به گیاه آفتابگردان داشت اما غلظت و جذب روی بیشتری نشان داد. در تحقیقات درستکار در خاک آلوده معدن باما، شاخسار گیاه تالاسپی سیرلسنز غلظت و جذب روی بیشتری نسبت به گیاه تاج خروس وحشی نشان داد (۳).

۴. ضریب انتقال و قابلیت تجمع زیستی

ضریب انتقال (Translocation factor) عناصر فلزی به‌صورت کسری از جذب (حاصل‌ضرب غلظت در ماده خشک) عنصرفلزی در شاخسار به جذب این عنصر در ریشه بیان می‌شود و در گیاهان بیش‌انباشتگر این مقدار بیشتر از یک است.

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.4.1]

این فاکتور نشان‌دهنده توانایی گیاه در انتقال عنصر فلزی در طول بافت گیاهی است و علاوه بر نوع گیاه و شرایط اتمسفری آن، به‌دلایل فیزیولوژیکی هم مربوط می‌شود (۱۵).

فاکتور تجمع زیستی (Bioaccumulation factor) یا ثابت عنصر فلزی (Element coefficient) به‌صورت کسری از جذب (حاصل‌ضرب غلظت در ماده خشک) عنصرفلزی در شاخسار به‌مقدار این عنصر در خاک بیان می‌شود و در گیاهان بیش‌انباشتگر این مقدار بیشتر از یک است (۲۵).

در گیاه آفتابگردان، تالاسپی سیرلسنز و تاج خروس وحشی ضریب انتقال روی بیشتر از یک بود و این گیاهان توانایی بالایی در انتقال روی از ریشه به شاخسار خود داشتند و این توانایی در گیاه تالاسپی سیرلسنز بسیار بیشتر از دیگر گیاهان بود (جدول ۷). آدسودان و همکاران نیز در کشت ۸ هفته‌ای آفتابگردان ضریب انتقال ۱/۲۸ را به دست آوردند (۱۵). ژائو و همکاران بیان کردند که فاکتور تجمع زیستی مهم‌تر از غلظت عنصر فلزی در شاخسار گیاهان است و این فاکتور نیز در گیاه تالاسپی سیرلسنز بسیار بیشتر از دیگر گیاهان بود (۲۵).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین غلظت و جذب روی مربوط به ریشه گیاه تالاسپی سیرلسنز و به ترتیب با مقادیر ۳۱۲۵ میلی‌گرم در گیلوگرم و ۱۰/۲۴ میلی‌گرم در هر گلدان بوده است. هم‌چنین بیشترین غلظت و جذب روی در شاخسار گیاه تالاسپی سیرلسنز و به ترتیب با مقادیر ۴۰۴۱ میلی‌گرم در گیلوگرم و ۵/۱۵ میلی‌گرم در هر گلدان مشاهده شد. بیشترین ضریب انتقال و فاکتور تجمع زیستی به ترتیب با مقادیر ۵/۱ و ۴/۸ مربوط به گیاه تالاسپی سیرلسنز بود. بنابراین این گیاه به‌عنوان یک گیاه بیش‌انباشتگر مناسب روی در کشور ایران توصیه می‌شود. بنابر نتایج این تحقیق، گیاه تالاسپی سیرلسنز می‌تواند در مناطق آب و هوایی خشک و نیمه خشک، در صورت آبیاری، زیست‌توده خوبی تولیدکند. گیاه آفتابگردان با تولید ۱۶/۹۸ گرم شاخسار و ۴/۲۴ گرم ریشه در هر گلدان، بیشترین عملکرد را داشته است. با توجه به اینکه وزن خشک تولیدی گیاهان مورد استفاده در گیاه‌پالایی در مقدار کل جذب از خاک نقش مهمی دارد، گیاه آفتابگردان می‌تواند به‌عنوان گیاه انباشتگر روی معرفی شود. هم‌چنین گیاه آفتابگردان با غلظت روی ۱۴۲ میلی‌گرم در گیلوگرم و جذب روی ۲/۴ میلی‌گرم در هر گلدان به عنوان گیاه انباشتگر، بهتر از شبدر قرمز و تاج خروس وحشی عمل کرد. پیشنهاد می‌شود چندین کشت پیاپی از این گیاهان انجام شود تا روند تخلیه خاک از عنصر روی بهتر و بیشتر بررسی شود.

منابع مورد استفاده

۱. حبیبی، ه. ۱۳۹۰. تأثیر پیش-کشت بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و رشد، عملکرد و غلظت روی در دانه گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. خوشگفتارمنش، ا. ح.۱۳۸۶. *ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مدیریت بهینه کودی*. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی صنعتی اصفهان. اصفهان.

۳. درستکار، و. ۱۳۹۰. تأثیر بقایای گیاهان زراعی و بیش انباشتگر بر قابلیت جذب روی در خاک و غلظت آن در دانه گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. رحیمیان، ح. و م. بنایان. ۱۳۷۵. *مبانی فیزیولوژیکی اصلاح نباتات* (ترجمه)، انتشارات جهاد دانشگاهی. دانشگاه مشهد. چاپ اول.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.4.1]

۵. شنبه دستجردی، ف.، م. تدین‌نژاد و ک. شیرانی. ۱۳۸۶. گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به عنصر روی در منطقه ایرانکوه توسط گونه-های مرتعی. مجله علوم خاک و آب ۲۱(۲):۲۳۵-۲۴۲.

۶. صلحی، م. ۱۳۸۴.گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به عناصر سرب و روی و استفاده از رادیوایزوتوپ روی جهت مطالعه رفتار روی در خاک و گیاه. رساله دکتری خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۷. علامه، ا. ۱۳۷۶. گزارش اکتشاف معدن گوشفیل. شرکت باما. اصفهان. صفحه ۱۵۰.

8. Adesodun, J. K., M. O. Atayese, T. A. Agbaje, A. Osadiaye, O. F. Mafe and A. A. Soretire. 2010. Phytoremediation potential of sunflowers (*Tithonia diversifolia* and *Helianthus annus*) for metal in soils contaminated with Zinc and Lead nitrates. Water Air Soil Pollut. 207:195-201.
9. Alloway, B. J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris. PP. 1-139.
10. Assuncao, A. G. L., P. De CostaMartins, S. De Folter, R. Vooijs, H. Schat and M. G. M. Aarts. 2001. Elevated expression of metal transporter genes in three accessions of the metal hyperaccumulator *Thlaspi Caerulescens*. Plant Cell Environ. 24:217–226.
11. Baris Kutman, U., b. Yildiz, L. Ozturk and I. Cakmak. 2010. Biofortification of Durum wheat with zinc through soil and foliar applications of nitrogen. Durum wheat pasta symposium. Cereal Chem. 87(1): 1-9.
12. Brown, S. L., R. F. Chaney, J. S. Angle and A. J. M. Baker. 1995. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi Caerulescens* and metal tolerant silene vulgaris grown on sludge-amended soils. Environ. Sci. technol. 29: 1581- 1585.
13. Ceirwyn, S. J. 1995. Analytical Chemistry of Food. Chapman & Hall. INC, New York. PP. 76-77.
14. Frey, B. C. and K. Zierold. 2000. Distribution of Zn in functionally different leaf epidermal cells of the hyperaccumulator *Thlaspi Caerulescens*. Plant Cell Environ. 23(7):675-687.
15. Garbisu, C. and I. Alkorta. 2003. Basic concepts on heavy metal soil bioremediation. Eur. J. Min Proc and Environ. Protect. 3(1): 58-66.
16. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
17. Macnair, M. R., V. Bert, S. B. Huitson, V. Saumitou-Laprade and D. Petit. 1999. Zinc tolerance and hyperaccumulation are genetically independent characters. Proc. R Soc. London. 226: 2175–2179.
18. Miller, M. and R. P. Dick. 1995. Dynamic of soil C and microbial biomass on whole soil and aggregate in two cropping system. Appl. Soil Ecol. 2: 989-996.
19. Monsant, A. C., C. Tang and A. J. M. Baker. 2008. The effect of nitrogen from on rhizosphere soil pH and zinc phytoextraction by *Thlaspi Caerulescens*. Chemosphere. 73: 635- 642.
20. Moteshare Zadeh, B., G. R. Savaghebi, H. A. Alikhani and H. Mirseyed Hosseini. 2008. Effect of sunflower and amaranthus culture and application of inoculants on phytoremediation of the soils contaminated with cadmium. J. Agric. and Environ. Sci. 4: 93-103.
21. Padmavathiama, P. K. and Y. l. Loretta. 2007. Phytoremediation technology: hyper accumulation metals in plants. Water Air Soil Pollut. 184: 105-126.
22. Pence, N. S., P. B. Larsen, S. D. Ebbs, D. L. D. Letham, M. M. Lasat, D. F. Garvin, D. Eide and L. V. Kochian. 2000. The molecular physiology of heavy metal transport in the Zn/Cd hyperaccumulator *Thlaspi Caerulescens*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 97: 4956–4960.
23. Robinson, B. H., M. Leblanc, D. Petit, R. R. Brooks, J. H. Kirkman and P. E. H. Gregg. 1998. The potential of *Thlaspi Caerulescens* for phytoremediation of contaminated soils. Plant and soil. 203: 47-56.
24. Shah, K. and J. M. Nongkynrih. 2007. Metal hyperaccumulation and bioremediation. Bio Plantarum. 51: 618-634.
25. Zhao, F. J. and S. P. McGrath. 2009. Biofortification and phytoremidation. Plant Bio. 12: 373-380.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.4.1]