

## چگونگی رشد گیاهان ذرت، آفتابگردان، شاهدانه و کلزا و برداشت سرب، روی و مس در دو خاک با کاربری معدن و کشاورزی در استان همدان

رویا زلقی<sup>1\*</sup>، علی اکبر صفری سنجانی<sup>2</sup>

<sup>1</sup> - نویسنده مسوول: دانشجوی دکتری بیولوژی خاک، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران (r.zalaghi@basu.ac.ir, roya\_zalaghy@yahoo.com)

<sup>2</sup> - استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران

تاریخ پذیرش: 1392/12/21

تاریخ دریافت: 1392/07/12

### چکیده

گیاه پالایی روشی سازگار با محیط زیست برای برداشت آلاینده‌ها از خاک‌های آلوده، با کاربرد گیاهان است. این پژوهش برای ارزیابی توانایی گیاهان ذرت (*zea mayse*)، آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، شاهدانه (*Cannabis sativa*) و کلزا (*Brassica napus*) کشت شده در خاک معدن سرب و روی آهنگران در برابر یک خاک کشاورزی (زراعی) برای انباشت فلزات سرب، روی و مس در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. وزن خشک بخش هوایی و ریشه و غلظت فلزات در آنها، فاکتورهای ترابری و غنی سازی و ریخت‌های گوناگون فلزات در خاک اندازه‌گیری شد. توزیع سرب و روی در هر دو خاک به صورت باقی‌مانده <کربناته> آلی <تبادلی و توزیع مس به صورت باقی‌مانده <آلی> <کربناته> تبادلی بود. کمترین و بیشترین غلظت سرب به ترتیب در بخش هوایی ذرت کشت شده در خاک کشاورزی و شاهدانه کشت شده در خاک معدن (25/50 و 301/30 میلی‌گرم در کیلوگرم) دیده شد. فاکتور ترابری سرب در دامنه 0/72-0/96 و به ترتیب آفتابگردان <شاهدانه> کلزا <ذرت> برای روی در دامنه 0/70-0/99 و به شکل آفتابگردان <ذرت> شاهدانه <کلزا> و برای مس در دامنه 0/49-1/83 و به ترتیب آفتابگردان <شاهدانه> کلزا <ذرت> بود. فاکتور غنی سازی سرب از 0/24 تا 0/48 به ترتیب در ذرت و شاهدانه دیده شد و برای روی نیز از 0/75 تا 1/01 به ترتیب در ذرت و آفتابگردان دیده شد. بیشترین فاکتور غنی سازی مس، در آفتابگردان (1/42) و کمترین آن در شاهدانه (0/39) دیده شد. نتایج نشان داد که هیچ یک از گیاهان بررسی شده بیش‌اندوز سرب، روی و مس نبودند. اما آفتابگردان و شاهدانه توانایی بیشتری در مقایسه با ذرت و کلزا برای انباشت سرب داشتند.

کلید واژه‌ها: بیش‌اندوز عناصر سنگین، ذرت، آفتابگردان، شاهدانه، کلزا

### مقدمه

امروزه فلزهای سنگین که بیشتر از کارکردهای مردم مانند بهره برداری از معدن و بهره‌گیری از کودهای شیمیایی، آفت کش‌ها و لجن گنداب‌ها در زیستگاه‌ها رها می‌شود، یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیستی شده‌اند (ژانگ و همکاران<sup>1</sup>، 2007). از طرفی آلودگی زیستگاه‌ها

به فلزهای سنگین ماندگار است و مانند آلاینده‌های آلی با کارکردهای زیستی ریزجانداران خاک و آب و همچنین با واکنش‌های شیمیایی، نوری و دمایی از بین نمی‌روند؛ بنابراین آلودگی زیستگاه‌ها به فلزهای سنگین در جهان به یک مشکل بسیار مهم تبدیل شده است. چون نیمه عمر بیولوژیکی این فلزها بالاست، انباشتگی آنها در بدن می‌تواند به مرزهای زیانباری رسیده و مایه‌ی بیماری در

برای جذب و ترابری فلزها و نگهداری آنها در اندام‌های هوایی گیاه است (باکر و بروکس<sup>8</sup>، 1989، وی و همکاران<sup>9</sup>، 2002). گیاهانی که تاکنون شناخته شده‌اند بیشتر از خانواده چلیپاییان (*Brassicaceae*) و لگومینوزه (*Fabaceae*) می‌باشند (سالت و همکاران<sup>10</sup>، 1998).

متأسفانه بیشتر گیاهان بیش‌اندوز شناسایی شده تاکنون دارای رشد کم و اندام کوچک می‌باشند (خان و همکاران<sup>11</sup>، 2000). گیاه شایسته برای بهسازی خاک بایستی توانایی انباشت فلز را داشته باشد، در بخش‌های بالای زمین فلز را انباشت کند، به اندازه بالای فلز در خاک بردباری داشته باشد، رشد تند و زیتوده بالا داشته باشد و مانند یک محصول کشاورزی به آسانی کشت شود و قابل درو باشد (مارچپول و همکاران<sup>12</sup>، 2004).

گیاهان روغنی در میان گیاهان دیگر از این دیدگاه ویژه هستند. فراورده این گیاهان می‌تواند در گام‌های گوناگونی پالایش شود و زیان فلزهای سنگین آنها برای کاربردهای گوناگون کاهش یابد. از اینرو آنها جایگاه ویژه‌ای در گیاه پالایی خاک‌های آلوده می‌توانند داشته باشند. بسیاری از آنها زیتوده و توان جذب بالایی دارند که راندمان بهسازی خاک را با این گیاهان افزایش می‌دهد (صفری سنجانی و خلیلی خواه<sup>13</sup>، 2008).

شاهدانه گیاهی صنعتی با کاربردهای ناخوراکی است که برای تناوب و کشت همراه بسیار ویژه است. توانایی رشد آن در سرزمین‌های گوناگون و کاربرد زیتوده آن در صنایع گوناگون، شایسته بودن آن را برای پاکسازی خاک‌های آلوده به عناصر سنگین هر چند به آهستگی نشان می‌دهد. صفری سنجانی و احمدی<sup>14</sup> (2012) ریخت‌های گوناگون سرب و کادمیم در خاکی که گیاه

جانداران شود (بوهن و همکاران<sup>1</sup>، 1985). پژوهش‌های بسیاری در راستای کم کردن اثرات منفی و زیانبار فلزهای سنگین انجام شده است. این پژوهش‌ها بسته به گونه، خواستگاه و شدت آلودگی، فلز را در زیستگاه‌ها از راه‌های گوناگونی جداسازی یا تثبیت (بی‌تحرك سازی) می‌کنند. یک روش درجا<sup>2</sup> ساده، کم هزینه و کاربردی در سطحی گسترده، گیاه پالایی و بهره‌گیری از گیاهان برای برداشت، از میان بردن و یا بی‌تحرك سازی آلاینده‌ها می‌باشد (مارکوس و همکاران<sup>3</sup>، 2006).

گیاه پالایی، روشی نوین برای برداشتن آلاینده‌ها (به ویژه فلزهای سنگین) از خاک‌های آلوده با کاربرد گیاهان بیش‌اندوز است (بروکس<sup>4</sup>، 1998). این تکنولوژی سازگار با طبیعت، از نظر اقتصادی به صرفه و برتر از روش‌های قدیمی می‌باشد (گاریسو و آلکورتا<sup>5</sup>، 2001).

در این راستا، گیاهانی که بردباری بالایی به غلظت زیاد فلزها و نیز توانایی خوبی برای انباشت فلزها در اندام‌های خود دارند، بیش‌اندوز<sup>6</sup> نامیده می‌شوند. غلظت فلزهای سنگین گاهی در این گیاهان می‌تواند 100-1000 برابر بیش از گیاهانی باشد که این ویژگی را ندارند. تاکنون نزدیک 450 گونه از نهان‌دانگان شناخته شده‌اند که می‌توانند فلزهای سنگین (آرسنیک، کادمیم، کبالت، مس، منگنز، نیکل، سرب، روی و مانند آنها) را در خود انباشته کنند (شارما و دویبی<sup>7</sup>، 2005). یک گیاه بیش‌اندوز به گیاهی گفته می‌شود که می‌تواند بیشتر از 100 (میلی‌گرم در کیلوگرم) کادمیم، بیشتر از 1000 (میلی‌گرم در کیلوگرم) مس و سرب و بیشتر از 10000 (میلی‌گرم در کیلوگرم) روی را در اندام هوایی خود انباشته کند. در گیاهان بیش‌اندوز، نگهداری فلز در اندام هوایی بیشتر از ریشه می‌باشد، که این نشان دهنده توانایی ویژه آن گیاهان

8- Baker and Brooks

9 - Wei *et al.*10- Salt *et al.*11- Khan *et al.*12- Marchiol *et al.*

13- Safari Sinangani and Khalilikhah

14- Safari Singani and Ahmadi

1- Bohn *et al.*2- *In situ*3- Marques *et al.*

4- Baker and Brooks

5- Garbisu and Alkorta

6 - Hyperaccumulator

7- Sharma and Dubey

## مواد و روش‌ها

### نمونه برداری خاک

برای انجام این پژوهش نیاز به دو خاک با ویژگی‌های نزدیک به هم بود که یکی با کاربری کشاورزی (ناآلوده) و دیگری خاک معدن (آلوده) باشد. بنابراین نمونه‌برداری خاک، از دو جایگاه انجام شد. جایگاه نخست خاک پیرامون معدن سرب و روی آهنگران واقع در جاده اراک-ملایر در 26 کیلومتری شهرستان ملایر از استان همدان با طول جغرافیایی  $48^{\circ}59'44''$  و عرض جغرافیایی  $34^{\circ}10'20''$  و جایگاه دیگر واقع در زمین‌های کشاورزی (زراعی) شهر جورقان با طول جغرافیایی  $48^{\circ}59'44''$  و عرض جغرافیایی  $34^{\circ}10'20''$  انجام شد. نمونه‌برداری خاک از عمق 0-30 سانتی متری به روش مرکب انجام و برخی ویژگی‌های خاک تعیین شد (جدول 1).

### آماده سازی گلدان‌ها و کشت

این پژوهش در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. برای این کار، چهار گیاه ذرت (رقم سینگل کراس 704)، آفتابگردان (رقم فرخ)، شاهدانه (رقم محلی اصفهان) و کلزا (رقم اکاپی) برای کشت گلدانی در گلخانه برگزیده شدند و هر گیاه جداگانه در هر خاک (معدن و کشاورزی) در سه تکرار کشت شد. روی هم رفته 24 گلدان 6 کیلوگرمی فراهم و در هر گلدان 10 بذر کاشته شد و یک هفته پس از کشت، در هر گلدان 5 گیاه نگهداشته شد. دمای گلخانه در دوره رشد میان 21 تا 32 درجه سلسیوس بود و آبیاری روزانه در حد ظرفیت رطوبتی خاک انجام گرفت و پس از 65 روز برداشت گیاهان انجام گردید.

### تجزیه گیاه

برای تجزیه گیاهان، اندام‌های هوایی و ریشه آنها جدا گردید و پس از شستشو با آب شهری و سپس با آب مقطر، گیاهان در دمای 65 درجه سانتیگراد در آون خشک شدند، پس از تعیین وزن خشک اندام‌های هوایی

شاهدانه در آن کشت شده را در شرایط افزودن کودهای گاوی و مرغی بررسی کردند و گزارش دادند که کشت شاهدانه مایه افزایش ریخت در دسترس و آلی فلزات در خاک در مقایسه با شاهد شده است.

چنانکه گفته شد گیاهان خانواده چلیپانان به دلیل زیتوده فراوان، توانایی ویژه ای در زیست پالایی خاک‌های آلوده دارند (پراساد و فریتز<sup>1</sup>، 2003). یکی از گونه‌های این خانواده کلزا می‌باشد که در دیگر پژوهش‌ها نیز از آن برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بسیار بهره‌گیری شده است (صفری سنجانی و خلیلی خواه، 2011، میرس و همکاران<sup>2</sup>، 2005، گیسبرت و همکاران<sup>3</sup>، 2006).

گیاه پالایی آفتابگردان نیز در سال‌های گذشته بررسی شده است. لین و همکاران<sup>4</sup>، (2009) دریافتند که آفتابگردان در بخش هوایی خود مقدار بالایی از فلزها را می‌تواند انباشته کند. پس گیاهی شایسته برای زیست پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌باشد. صفری سنجانی و خلیلی خواه (2008) برداشت سرب در گیاه آفتابگردان را با کاربرد عصاره کود گوسفندی و اتیلن دی‌امین تترا استیک اسید (EDTA) بررسی کرده و گزارش دادند که کاربرد کود گوسفندی و EDTA هر دو مایه افزایش غلظت سرب در زیتوده هوایی و ریشه این گیاه شد.

از آنجایی که پژوهش‌های اندکی، برداشت فلزهای سنگین از خاک‌های آلوده را در برابر خاک‌های کشاورزی در گیاهان روغنی مانند ذرت، آفتابگردان، شاهدانه و کلزا بررسی کرده‌اند، این پژوهش توان برداشت برخی فلزها را از دو خاک آلوده (معدن) و ناآلوده (کشاورزی) را در گیاهان روغنی مانند ذرت، آفتابگردان، شاهدانه و کلزا ارزیابی می‌کند.

1- Prasad and Freitas

2- Meers *et al.*

3- Gisbert *et al.*

4- Lin *et al.*

زلقى و صفرى سنجانى: چگونگى رشد گياهان ذرت...

### جدول 1- ويژگى هاى فيزيكى و شيميايى خاک هاى مورد بررسى

ويژگى (واحد)	معدن	كشاورزى (زراعى)
پ-هاش	7/8	7/7
رس (درصد)	11	18
شن (درصد)	69	56
سيلت (درصد)	20	26
كلاس بافت	شنى لومى	شنى لومى
كربنات كلسيم معادل (درصد)	10	8
گنجائش تبادل كاتيونى (سانتى مول بار بر كيلوگرم)	14	8
كربن آلى (درصد)	0/29	0/52
رسانايى الكترىكى (دسى زيمنس بر متر)	0/39	1/20
سرب كل <sup>1</sup> (ميلي گرم بر كيلوگرم)	626/03	70/01
روى كل <sup>1</sup> (ميلي گرم بر كيلوگرم)	56/37	18/18
مس كل <sup>1</sup> (ميلي گرم بر كيلوگرم)	25/04	15/31
سرب دردسترس <sup>2</sup> (ميلي گرم بر كيلوگرم)	124/50	34/01
روى دردسترس <sup>2</sup> (ميلي گرم بر كيلوگرم)	0/89	0/31
مس دردسترس <sup>2</sup> (ميلي گرم بر كيلوگرم)	4/50	3/69

1- عصاره گيرى شده با  $\text{HNO}_3$  4 نرمال به روش اسپوزيتو و همكاران<sup>1</sup> (1982)

2- عصاره گيرى شده با DTPA به روش ليندسى و نورول<sup>2</sup> (1978)

يك از عصاره ها به كمك دستگاه جذب اتمى مدل واريان 220 اندازه گيرى شد.

فاكتور ترابرى<sup>4</sup> از بخش كردن غلظت فلز در اندام هوايى به غلظت فلز در ريشه برآورد شد (استولتز و گرگر<sup>5</sup>، 2002). اين فاكتور نشان دهنده توانايى گياه در رساندن هر يك از فلزها به اندام هاى هوايى است كه هم به فلز و هم به ويژگى هاى گونه گياهى وابسته است.

فاكتور غنى شدگى<sup>6</sup> از نسبت غلظت فلز در بخش هوايى گياه (ميلي گرم بر كيلوگرم وزن خشك) به غلظت همان فلز در خاک (ميلي گرم بر كيلوگرم خشك) برآورد شد. اين فاكتور اغلب به بخش محلول فلزها و مواد آلى در خاکها بستگى دارد و مقدار كل فلز در خاک

و ريشه، گياهان آسياب شده و براى عصاره گيرى آماده گرديدند. عصاره گيرى به روش هضم تر انجام شد؛ براى اين كار به 1 گرم پودر خشك گياه (ريشه و بخش هوايى) 10 ميلي ليتر اسيد نيتريك غليظ (65 درصد) افزوده شد. نمونه ها براى 2 ساعت در دماى 65 درجه سانتى گراد در حمام آب گرم قرار گرفتند. سپس 2/6 ميلي ليتر پراكسيد هيدروژن 20 درصد به آن افزوده شد، پس از آن كه نمونه ها سرد شدند، با كاغذ صافى پالايش (فيلتر) گرديده و با آب مقطر به حجم 50 ميلي ليتر رسانده شد. عصاره هاى به دست آمده براى اندازه گيرى فلزهاى سنگين در دماى 4 درجه سانتى گراد نگهدارى شدند (سامكا - سيمرمن و كمپرس<sup>3</sup>، 2001). غلظت فلزها در هر

4- Translocation factor

5- Stoltz and Greger

6- Enrichment factor

1 - Sposito *et al.*

2 - Lindsay and Norvell

3- Samecka-Cymerman and Kempers

فاکتورها برای بررسی فلزهای سنگین در گیاه، خاک نمونه برداری (در 2 سطح) و گونه‌ی گیاه (در 4 سطح) بود. پردازش داده‌ها و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel و آنالیز آماری آن‌ها به کمک نرم‌افزار SAS نسخه 9/1 انجام شد. مقایسه میانگین هر یک از ویژگی‌های یادشده در تیمارهای بکار رفته نیز به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

## بحث و نتایج

### فلزها در خاکها

آزمایش خاک‌ها نشان داد که از دیدگاه آماری مقدار سه عنصر سرب، روی و مس در خاک معدن به اندازه چشم‌گیری بیشتر از خاک کشاورزی بود ( $p < 0/01$ ). همه سرب در خاک معدن و کشاورزی به ترتیب 626/03 و 70/01 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همه (کل) روی در دو خاک معدن و کشاورزی به ترتیب 75/06 و 25/28 میلی‌گرم در کیلوگرم و همه مس نیز 26/04 و 15/31 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین بخش بندی فلزهای خاک‌ها نشان داد که میان ریخت‌های گوناگون هر سه عنصر در خاک معدن و خاک کشاورزی ناهمبندی چشم‌گیری دیده می‌شود و این ریخت‌ها در خاک معدن به اندازه چشم‌گیری بیشتر می‌باشند (جدول 2).

سرب بیشتر به ریخت‌های باقی‌مانده (44/71 تا 66/82 درصد) و کربناته (23/55 تا 32/87 درصد) در هر دو خاک دیده شد (جدول 2). به طور کلی توزیع سرب در هر دو خاک به صورت باقی‌مانده < کربناته < آلی < تبادلی بود. همچنین با افزایش اندازه سرب در خاک معدن در برابر خاک کشاورزی، این فلز بیشتر در بخش‌های کربناته و باقی‌مانده ته نشین شده است و بخش‌های تبادلی و آلی گنجایش اندکی برای جذب و نگهداری آلودگی سرب در خاک داشتند. البته در این پژوهش دو خاک با ماده آلی اندک آزمایش شده‌اند و شاید در خاک‌های آلی و با افزایش ماده آلی و CEC خاک گنجایش بخش‌های آلی و تبادلی نیز افزایش یابد.

روی آن چندان تاثیرگذار نیست (لیو و همکاران<sup>1</sup>، 2010). برداشت در اندام هوایی از حاصل‌ضرب وزن خشک زیتوده هوایی در غلظت فلز در زیتوده هوایی به دست آمده و برحسب میکرو گرم برداشت فلز از هر گلدان برآورد شد.

### تجزیه خاک

بخش بندی فلزهای سنگین (سرب، روی و مس) در خاک پیش و پس از کشت گیاه، به روش اسپوزیتو و همکاران (1982) انجام شد. در این روش به 2 گرم از خاک به ترتیب عصاره‌های زیر افزوده شد:

- 1- 25 میلی لیتر  $KNO_3$  نیم مولار به مدت 16 ساعت (برای استخراج ریخت محلول و تبادلی)
  - 2- 25 میلی لیتر آب مقطر به مدت 2 ساعت و سه مرتبه تکرار (برای شستشو و خروج  $KNO_3$ )
  - 3- 25 میلی لیتر  $NaOH$  نیم مولار به مدت 16 ساعت (برای استخراج ریخت آلی)
  - 4- 25 میلی لیتر EDTA پنج صدم مولار به مدت 6 ساعت (برای استخراج ریخت کربناته)
  - 5- 25 میلی لیتر  $HNO_3$  چهار مولار در دمای 80 درجه سانتیگراد به مدت 16 ساعت (برای استخراج ریخت سولفید شده و باقیمانده فلزها).
- در هر گام تکان دادن سوسپانسیون خاک در 150 دور در دقیقه انجام شد و پس از آن عصاره‌ها با سرعت 3500 دور در دقیقه به مدت 5 دقیقه سانتریفیوژ شدند و نمونه‌ها با کاغذ پالایش شده و غلظت فلزهای سنگین به کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. مجموع فلز عصاره-گیری شده با  $KNO_3$  و آب مقطر به عنوان بخش تبادلی گزارش شد که نشان دهنده بخش در دسترس یا فراهم هر یک از فلزها در خاک‌ها است.

### آنالیز آماری

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در چارچوب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد.

کلين<sup>3</sup>، 1991؛ پيچل و آندرسون<sup>4</sup>، 1997). پيامد کشت گياه بر غلظت مس مایه افزايش ريخت‌هاى دردسترس و آلى و کاهش ريخت‌هاى کربناته و باقى‌مانده شده است (جدول 2). گالاردولارا و تورس مارتين<sup>5</sup> (1990) افزايش ريخت تبادلى مس را در اثر کشت گياه گزارش دادند.

### رشد گياهان و غلظت فلزها در اندام‌هاى گياهان

در جدول 3 پيامد نوع خاک و گونه گياه بر زيتوده اندام هاى هوايى و ريشه گياهان آورده شده است. پيامد نوع خاک و گونه گياهي بر زيتوده بخش هوايى و ريشه گياهان چشمگير بود ( $p < 0/01$ ) ولى برهم کنش ميان آنها از ديدگاه آمارى چشمگير نبود (جدول 3). مقايسه ميانگين هاى زيتوده اندام هاى هوايى و ريشه هر گياه در هر خاک در جدول 4 آمده است. زيتوده بخش هوايى گياهان کشت شده در خاک کشاورزى با ميانگين 11/18 گرم در گلدان به اندازه چشمگيري بيشتر از زيتوده بخش هوايى در خاک معدن با ميانگين 9/52 گرم در گلدان بود. همچنين در ميان گياهان بيشترين زيتوده بخش هوايى را ذرت (14/02 گرم در گلدان) و کمترين زيتوده را کلزا (6/29 گرم در گلدان) داشت و مى‌توان گفت که زيتوده ذرت 2/5 برابر کلزا بود. زيتوده ريشه گياهان نيز در خاک کشاورزى با ميانگين 2/65 گرم در گلدان بيشتر از زيتوده ريشه در خاک معدن با ميانگين 2/05 گرم در گلدان بود. در ميان گياهان، بيشترين زيتوده ريشه را ذرت (3/32 گرم در گلدان) و کمترين را کلزا (1/63 گرم در گلدان) داشت.

### گياه پالايى سرب

همان‌گونه که در جدول 3 ديده مى‌شود، پيامد خاک، گونه گياه و نيز برهمکنش خاک و گونه گياه بر غلظت سرب در اندام هاى هوايى و ريشه گياهان بسيار

ميانگين ريخت‌هاى گوناگون فلزها پيش و پس از کشت گياه در جدول 2 آورده شده است. همان‌گونه که ديده مى‌شود با کشت و برداشت گياهان ريخت تبادلى و آلى سرب در هر دو خاک کشاورزى و معدن افزايش و ريخت کربناته و باقى‌مانده کاهش يافته است. صفرى سنجانى و احمدى (2012) نيز افزايش ريخت تبادلى و آلى سرب و کاهش ريخت کربناته را پس از کشت شاهدانه گزارش دادند. اين يافته شايد وابسته به پيامد سودمند ريشه و ريزجانداران خاک بر افزايش زيبست فراهمى فلزها در خاک باشد.

عنصر روى نيز بيشتر به ريخت باقى‌مانده (80/20 تا 96/28 درصد) در خاک ديده شد. روند توزيع روى در هر دو خاک به گونه باقى‌مانده < کربناته > آلى < تبادلى و همانند روند سرب بود. بهارا و همکاران<sup>1</sup> (2008) ريخت باقى‌مانده را ريخت غالب فلز روى در خاک گزارش دادند. عنصر روى بيشتر در بخش‌هاى باقى‌مانده و کربناته در خاک معدن انباشته شده است. در برابر فلز سرب، کشت گياه مایه کاهش ريخت‌هاى دردسترس، آلى و کربناته فلز روى در خاک شده است. البته غلظت روى در ريخت‌هاى دردسترس و آلى بسيار پايين بوده و کاهش چنداني در اين دو ريخت ديده نمى‌شود (جدول 2) و شايد بتوان کاهش اين دو ريخت را به غلظت پايين روى در اين دو ريخت و جذب بهتر آن در گياه نسبت داد. ليانگ و همکاران<sup>2</sup> (1991) جذب روى از خاک را در گياه از فازهاى تبادلى، محلول در اسيد و احتمالاً باقى‌مانده گزارش کرده‌اند.

عنصر مس بيشتر به ريخت‌هاى باقى‌مانده (53/89 تا 65/77 درصد) و سپس آلى (15/00 تا 21/10 درصد) در خاک ديده شد. توزيع مس در هر دو خاک به گونه باقى‌مانده < آلى > کربناته < تبادلى بود که با دو عنصر سرب و روى ناهممانند است. اين روند در ديگر پژوهش‌ها نيز گزارش شده است (اسپوزيتو و همکاران، 1982؛ سيمز و

3- Sims and Kline

4- Pitchel and Anderson

5- Gallardo-Lara and Torres-Martín

1- Behera *et al.*

2- Liang *et al.*

چشمگیر ( $p < 0/01$ ) و نیز بر برداشت سرب در اندام های ریشه هر کدام از گیاهان در دو خاک معدن و کشاورزی هوایی بسیار چشمگیر ( $p < 0/01$ ) بوده است.

### جدول 2- غلظت ریخت‌های فلزهای سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) و (درصد) هر ریخت نسبت به غلظت کل در خاک‌ها

غلظت کل	ریخت فلز عصاره‌گیری شده				زمان عصاره‌گیری	نوع خاک	فلز
	باقیمانده	کربناته	آلی	تبادلی			
621/41	415/23 (66/82)	151/35 (24/36)	30/75 (4/95)	24/08 (3/88)	پیش از کشت گیاه	معدن	سرب
626/03	406/58 (64/95)	147/43 (23/55)	38/53 (6/15)	33/50 (5/35)	پس از کشت گیاه		
71/50	32/83 (45/92)	23/50 (32/87)	10/83 (15/15)	4/33 (6/06)	پیش از کشت گیاه	کشاورزی	سرب
70/01	31/30 (44/71)	16/96 (24/23)	13/74 (19/63)	8/01 (11/44)	پس از کشت گیاه		
76/16	60/53 (80/34)	15/03 (19/95)	0/56 (0/74)	0/04 (0/05)	پیش از کشت گیاه	معدن	روی
75/06	60/20 (80/20)	14/60 (19/45)	0/25 (0/33)	0/02 (0/03)	پس از کشت گیاه		
25/67	24/21 (94/46)	1/03 (4/02)	0/42 (1/64)	0/01 (0/04)	پیش از کشت گیاه	کشاورزی	روی
25/28	24/34 (96/28)	0/94 (3/72)	0/003 (0/01)	0/003 (0/01)	پس از کشت گیاه		
26/20	26/20 (65/77)	3/70 (14/23)	3/90 (15/00)	1/50 (5/77)	پیش از کشت گیاه	معدن	مس
26/05	15/90 (61/04)	3/56 (13/67)	4/58 (17/58)	2/00 (7/68)	پس از کشت گیاه		
15/63	8/50 (56/67)	2/50 (16/67)	3/12 (20/80)	1/51 (10/07)	پیش از کشت گیاه	کشاورزی	مس
15/31	8/25 (53/89)	2/14 (13/97)	3/23 (21/10)	1/69 (11/04)	پس از کشت گیاه		

### جدول 3- پیامد خاک و گونه گیاه بر میانگین مربعات غلظت فلزها در اندام‌های گیاه و زیتوده هوایی و ریشه گیاه

اشتباه	منبع تغییر			درجه آزادی
	خاک* گیاه	گیاه	خاک	
16	3	3	1	درجه آزادی
1/91	0/73 ns	68/03***	16/67**	زیتوده هوایی
0/10	0/22 ns	3/22***	2/11***	زیتوده ریشه
220/15	7270/39***	7690/08***	173456/10***	غلظت سرب اندام هوایی
119/25	4831/69***	5651/10***	236969/63***	غلظت سرب ریشه
86089/21	581012/30**	847968/33***	14104857/39***	کل برداشت سرب اندام هوایی
0/01	0/027 ns	0/031 ns	0/002 ns	فاکتور ترابری سرب
0/001	0/01***	0/02***	0/03***	فاکتور غنی شدن سرب
42/25	54/15 ns	61/35 ns	9158/01***	غلظت روی اندام هوایی
45/01	154/39*	146/98*	19123/57***	غلظت روی ریشه
3634/99	29967/08**	134766/98***	627079/15***	کل برداشت روی اندام هوایی
0/012	0/025 ns	0/037 ns	0/155**	فاکتور ترابری روی
0/01	0/01 ns	0/01 ns	0/09*	فاکتور غنی شدن روی
32/08	17/75 ns	212/91**	17/49 ns	غلظت مس اندام هوایی
8/70	20/71 ns	22/73 ns	73/43**	غلظت مس ریشه
3272/05	4331/79 ns	45892/72***	80/48 ns	کل برداشت مس اندام هوایی
0/25	0/29 ns	1/34 **	0/11 ns	فاکتور ترابری مس

زلقى و صفرى سنجانى: چگونگى رشد گياهان ذرت...

0/06	0/08 ns	0/57***	0/49*	فاكتور غنى شدن مس
(P < 0.001) ***, (P < 0.01) **, (P < 0.05) *, (P > 0.05) ns				

#### جدول 4- میانگین (انحراف استاندارد) زیتوده هوایی و ریشه هر گیاه در هر خاک

کلتزا	شاهدانه	آفتابگردان	ذرت	خاک	
5/32 <sup>c</sup> (0/58)	7/87 <sup>d</sup> (0/55)	11/43 <sup>bc</sup> (0/82)	13/45 <sup>ab</sup> (2/30)	معدن	زیتوده اندام هوایی
7/27 <sup>de</sup> (0/40)	10/39 <sup>c</sup> (1/54)	12/49 <sup>abc</sup> (0/88)	14/59 <sup>a</sup> (2/31)	کشاورزی	(g/pot)
1/49 <sup>d</sup> (0/15)	1/80 <sup>cd</sup> (0/29)	2/16 <sup>c</sup> (0/07)	2/76 <sup>b</sup> (0/25)	معدن	زیتوده ریشه
1/78 <sup>cd</sup> (0/27)	2/16 <sup>c</sup> (0/40)	2/76 <sup>b</sup> (0/34)	3/89 <sup>a</sup> (0/52)	کشاورزی	(g/pot)

برای هر پارامتر ناهمبندی میانگین‌های با دست کم یک حرف یکسان از دیدگاه آماری چشم گیر نیست (p > 0.05).

آفتابگردان دیده شد که این وابسته به زیتوده بالاتر و رشد بهتر این گیاهان در خاک کشاورزی در برابر شاهدانه بوده است.

این بخش از پژوهش نشان داد که گیاهان کشت شده در خاک آلوده معدن مقدار بالاتری سرب در خود انباشته نمودند و بنابراین برای کاربرد مستقیم در خوراکدهی دام‌ها مناسب نیستند. این یافته با گزارش لیو و همکاران (2005) همخوانی دارد. ایشان در بررسی برداشت فلزات سنگین از خاک‌های سه منطقه در نزدیکی یک معدن در چین، گزارش دادند که با افزایش آلودگی خاک گیاهان غلظت بالاتری از عناصر سنگین را جذب نمودند و حتی در برخی گیاهان غلظت فلز از حدود مجاز فلزات سنگین بیشتر شد.

#### گیاه پالایی روی

در جدول 3 دیده می‌شود که پیامد نوع خاک بر غلظت روی در اندام‌های هوایی گیاهان ( $p < 0/001$ )، برهمکنش خاک و گونه گیاه بر غلظت روی در ریشه گیاهان ( $p < 0/05$ ) و پیامد برهمکنش خاک و گونه گیاه بر برداشت روی در اندام‌های هوایی ( $p < 0/01$ ) چشمگیر بوده است.

در جدول 6 مقایسه میانگین غلظت روی در اندام‌های گیاهان در دو خاک آورده شده است. انباشتگی روی در گیاهان رشد یافته در خاک معدن بیشتر از خاک کشاورزی بود؛ اما دامنه غلظت روی در برابر سرب تغییرپذیری کمتری داشت. روی در بخش هوایی گیاهان، در خاک

آورده شده است. مقدار هر سه فلز در اندام‌های هوایی و ریشه هر یک از گیاهان کشت شده در خاک معدن به اندازه چشم گیری بیشتر از آنهایی است که در خاک کشاورزی کشت شده اند. به هر گونه میانگین‌ها تغییر پذیری بزرگی را بر پایه گونه‌ی گیاهی نشان می‌دهند و روند غلظت سرب در اندام‌های هوایی گیاهان به گونه شاهدانه < آفتابگردان < کلتزا < ذرت بود ولی این روند در ریشه به گونه شاهدانه < ذرت < کلتزا < آفتابگردان بود (جدول 5). با برابر نهادن غلظت سرب در اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان گوناگون و نیز با توجه به فاکتور ترابری سرب در گیاهان آزمایش شده می‌توان دریافت؛ که گیاه آفتابگردان و شاهدانه توانایی بیشتری برای ترابری سرب از ریشه به اندام‌های هوایی دارد. فاکتور ترابری سرب آنها به ترتیب 0/96 و 0/95 در خاک معدن بود. به هر گونه بیشترین غلظت سرب در اندام‌های هوایی و ریشه در گیاه شاهدانه کشت شده در خاک معدن (به ترتیب 301/30 و 317/34 میلی گرم در کیلوگرم) دیده شد که به اندازه چشم گیری بیشتر از گیاهان دیگر است.

برداشت سرب در اندام‌های هوایی گیاه شاهدانه از هر گلدان خاک معدن (2374/99 میکرو گرم در گلدان) نیز به اندازه چشم گیری بیشتر از گیاهان دیگر است. فاکتور غنی سازی و برداشت سرب از خاک معدن در این گیاه بیشترین و برابر 0/48 بود.

در برابر خاک معدن، در خاک کشاورزی بیشترین برداشت سرب در اندام‌های هوایی گیاه ذرت و سپس



معدن با میانگین 63/66 میلی گرم در کیلوگرم (وزن خشک) بیشتر از خاک کشاورزی با میانگین

**جدول 5- آزمون میانگین (انحراف استاندارد) غلظت سرب در اندام‌های هوایی و ریشه، برداشت در اندام‌های هوایی، فاکتور ترابری و فاکتور غنی سازی گیاهان در دو خاک معدن و کشاورزی**

کلترا	شاهدانه	آفتابگردان	ذرت	خاک	
155/51 <sup>bc</sup> (16/04)	301/30 <sup>a</sup> (16/35)	180/55 <sup>b</sup> (12/88)	151/35 <sup>c</sup> (32/30)	معدن	غلظت در اندام‌های هوایی
26/40 <sup>d</sup> (1/10)	28/33 <sup>d</sup> (3/063)	28/37 <sup>d</sup> (2/95)	25/50 <sup>d</sup> (2/05)	کشاورزی	(میلی گرم بر کیلوگرم)
216/85 <sup>b</sup> (25/91)	317/34 <sup>a</sup> (4/75)	189/57 <sup>c</sup> (10/75)	197/94 <sup>c</sup> (11/36)	معدن	غلظت در ریشه
29/57 <sup>d</sup> (1/70)	35/37 <sup>d</sup> (1/26)	30/37 <sup>d</sup> (2/51)	31/47 <sup>d</sup> (2/12)	کشاورزی	(میلی گرم بر کیلوگرم)
831/05 <sup>b</sup> (152/31)	2374/99 <sup>a</sup> (278/67)	2056/25 <sup>a</sup> (34/13)	2081/20 <sup>a</sup> (760/55)	معدن	برداشت در اندام‌های هوایی
192/13 <sup>c</sup> (18/55)	291/22 <sup>bc</sup> (25/44)	355/43 <sup>bc</sup> (54/13)	371/77 <sup>bc</sup> (65/79)	کشاورزی	(میکروگرم در گلدان)
0/72 <sup>cb</sup> (0/10)	0/95 <sup>a</sup> (0/03)	0/96 <sup>a</sup> (0/09)	0/76 <sup>ab</sup> (0/14)	معدن	فاکتور ترابری
0/90 <sup>ab</sup> (0/09)	0/80 <sup>ab</sup> (0/13)	0/94 <sup>a</sup> (0/17)	0/82 <sup>ab</sup> (0/12)	کشاورزی	
0/25 <sup>c</sup> (0/03)	0/48 <sup>a</sup> (0/03)	0/29 <sup>c</sup> (0/02)	0/24 <sup>c</sup> (0/05)	معدن	فاکتور غنی سازی
0/37 <sup>b</sup> (0/02)	0/40 <sup>b</sup> (0/05)	0/40 <sup>b</sup> (0/04)	0/36 <sup>b</sup> (0/03)	کشاورزی	

برای هر پارامتر ناهمبندی میانگین‌های با دست کم یک حرف یکسان از دیدگاه آماری چشم گیر نیست ( $p>0.05$ ).

**جدول 6- آزمون میانگین (انحراف استاندارد) غلظت روی در اندام‌های هوایی و ریشه، برداشت در اندام‌های هوایی، فاکتور ترابری و فاکتور غنی سازی گیاهان در دو خاک معدن و کشاورزی**

کلترا	شاهدانه	آفتابگردان	ذرت	خاک	
62/88 <sup>ab</sup> (5/40)	64/50 <sup>ab</sup> (12/09)	71/08 <sup>a</sup> (10/80)	56/21 <sup>b</sup> (4/63)	معدن	غلظت در اندام‌های هوایی
23/17 <sup>c</sup> (1/97)	24/33 <sup>c</sup> (2/06)	25/63 <sup>c</sup> (2/55)	25/27 <sup>c</sup> (3/15)	کشاورزی	(میلی گرم بر کیلوگرم)
89/06 <sup>a</sup> (9/63)	92/94 <sup>a</sup> (3/11)	71/80 <sup>b</sup> (8/64)	76/68 <sup>b</sup> (12/72)	معدن	غلظت در ریشه
26/20 <sup>c</sup> (1/76)	26/13 <sup>c</sup> (3/36)	26/90 <sup>c</sup> (1/71)	25/43 <sup>c</sup> (1/96)	کشاورزی	(میلی گرم بر کیلوگرم)
335/87 <sup>c</sup> (60/06)	508/07 <sup>b</sup> (106/46)	806/34 <sup>a</sup> (62/62)	749/19 <sup>a</sup> (72/59)	معدن	برداشت در اندام‌های هوایی
168/31 <sup>d</sup> (16/50)	254/84 <sup>cd</sup> (58/16)	318/75 <sup>c</sup> (9/73)	364/42 <sup>c</sup> (34/65)	کشاورزی	(میکروگرم در گلدان)
0/71 <sup>c</sup> (0/07)	0/70 <sup>c</sup> (0/14)	0/99 <sup>a</sup> (0/04)	0/74 <sup>bc</sup> (0/11)	معدن	فاکتور ترابری
0/89 <sup>abc</sup> (0/14)	0/94 <sup>ab</sup> (0/11)	0/96 <sup>a</sup> (0/16)	0/99 <sup>a</sup> (0/05)	کشاورزی	
0/84 <sup>ab</sup> (0/07)	0/86 <sup>ab</sup> (0/16)	0/95 <sup>ab</sup> (0/14)	0/75 <sup>b</sup> (0/06)	معدن	فاکتور غنی سازی
0/92 <sup>ab</sup> (0/07)	0/96 <sup>a</sup> (0/08)	1/01 <sup>a</sup> (0/11)	1/00 <sup>a</sup> (0/13)	کشاورزی	

برای هر پارامتر ناهمبندی میانگین‌های با دست کم یک حرف یکسان از دیدگاه آماری چشم گیر نیست ( $p>0.05$ ).

بیشترین غلظت روی در ریشه گیاهان در گیاه شاهدانه کشت شده در خاک معدن 92/94 و کمترین غلظت در ریشه ذرت کشت شده در خاک کشاورزی 25/43 میلی گرم در کیلوگرم اندازه گیری شد (جدول 6). در

24/60 میلی گرم در کیلوگرم (وزن خشک) بود. غلظت روی در بخش هوایی گیاهان از 23/17 تا 71/08 میلی گرم در کیلوگرم (وزن خشک) بود که به ترتیب در اندام‌های هوایی کلترا کشت شده در خاک کشاورزی و آفتابگردان کشت شده در خاک معدن می‌باشند (جدول 6).

هاى هوايى ( $p < 0/001$ ) و بر فاکتور غنى سازى ( $p < 0/001$ ) چشمگير بوده است.

روى هم رفته ميانگين غلظت مس در ريشه گياهان در خاک معدن (15/08 ميلي گرم در كيلوگرم) بيشتر ( $p < 0/05$ ) از خاک کشاورزى (11/58 ميلي گرم در كيلوگرم) مى باشد. در ميان گياهان، ريشه کلزا کشت شده در خاک معدن با ميانگين 18/17 ميلي گرم در كيلوگرم غلظت بيشترى از مس ( $p < 0/05$ ) در برابر شاهدانه، آفتابگردان و ذرت (به ترتيب با ميانگين هاى 12/12، 13/46 و 16/55 ميلي گرم در كيلوگرم) دارد که ناهمانندى آن با گياه شاهدانه چشم گير است (جدول 7).

آفتابگردان کشت شده در خاک معدن با ميانگين 24 ميلي گرم در كيلوگرم در بخش هوايى غلظت بيشترى از مس ( $p < 0/05$ ) در برابر شاهدانه، کلزا و ذرت (به ترتيب با ميانگين هاى 10/22، 11/29 و 13/65 ميلي گرم در كيلوگرم) انباشته است و ناهمانندى آن با همه گياهان ياد شده از ديدگاه آمارى چشمگير است. در ميان همه نمونه ها، آفتابگردان رشد يافته در خاک معدن بيشترين غلظت (24/00 ميلي گرم در كيلوگرم وزن خشك) مس در بخش هوايى و ذرت رشد يافته در خاک کشاورزى کمترين غلظت (7/38 ميلي گرم در كيلوگرم وزن خشك) مس در بخش هوايى را داشت (جدول 7).

در پژوهشى که استولتز و گرگر (2002) انجام دادند اندازه مس انباشته شده در زيتوده گياهان را ميان 6/4 تا 160 ميلي گرم در كيلوگرم گزارش کردند، شو و همکاران (2002) نيز غلظت مس را در دامنه گسترده اى از گياهان ميان 7 تا 198 ميلي گرم در كيلوگرم گزارش کردند؛ اما در اين مطالعه، غلظت مس در گياهان از 24/00 ميلي گرم در كيلوگرم (وزن خشك) تجاوز نکرد، که مى تواند به غلظت کم مس در خاک ها و زيست فراهمى پايين آن وابسته باشد.

بيشترين برداشت مس در اندام هاى هوايى در گياه آفتابگردان (270/43 و 272/97 ميكروگرم از گلدان به ترتيب براى آفتابگردان کشت شده در خاک معدن و

پژوهش هاى استولتز و گرگر (2002) و شو و همکاران<sup>1</sup> (2002)، که محدوده گسترده اى از خاک ها و گياهان را بررسى کردند، اندازه غلظت روى در گياهان به ترتيب ميان 68-1630 و 66-7607 ميلي گرم در كيلوگرم گزارش شد؛ ولى در اين پژوهش غلظت روى از 71/08 در اندام هاى هوايى آفتابگردان کشت شده در خاک معدن و 92/94 ميلي گرم در كيلوگرم در ريشه شاهدانه کشت شده در خاک معدن بيشتر نشد.

از سوى ديگر در اين پژوهش غلظت روى در بيشتر نمونه ها در بخش هوايى گياهان کمتر از ريشه بود که با گزارش ليو و همکاران (2008) همخوانى دارد. ولى هائو و همکاران<sup>2</sup> (2012) گزارش کردند که غلظت روى در برگ و ساقه آفتابگردان بيشتر از ريشه آن است و نشان دهنده اين نکته است که روى در گياه آفتابگردان آسان تر از ريشه به بخش هاى بالاتر مى رسد.

براي عنصر روى بيشترين فاکتور ترابرى، بيشترين فاکتور غنى سازى و نيز بيشترين برداشت کل اندام هاى هوايى در گياه آفتابگردان ديده شد (جدول 6). به هر گونه در اين پژوهش غلظت روى حتى در خاک معدن نيز چندان بالا نبود (75/06 ميلي گرم بر كيلوگرم) و نيمى توان نتيجه گرفت که در خاک هاى آلوده و با غلظت هاى بسيار بالای روى گياه آفتابگردان بتواند بردبارى شايسته اى داشته باشد.

### گياه پلايى مس

در جدول 3 ديده مى شود که پيامد نوع خاک بر غلظت مس و برداشت مس در اندام هاى هوايى و نيز بر فاکتور ترابرى مس چشم گير نبود؛ ولى پيامد نوع خاک بر غلظت مس در ريشه گياهان ( $p < 0/01$ ) و فاکتور غنى سازى ( $p < 0/05$ ) چشمگير است. هر چند پيامد گونه گياه بر غلظت مس در ريشه و فاکتور ترابرى آن در گياه چشم گير نيست؛ ولى پيامد گونه گياه بر غلظت مس در اندام هاى هوايى ( $p < 0/01$ )، بر برداشت مس در اندام

1- Shu et al.

2- Hao et al.

مانند گونه فلز، pH محلول، طبیعت و ویژگی‌های جایگاه، گوناگونی گونه‌های شیمیایی، غلظت یون‌های فلزی و گزینش‌گری زیتوده ریشه برای پیوند با گونه‌های ویژه فلز بستگی دارد (گاردری-تورسیدی<sup>1</sup> و همکاران، 2004).

### بحث

دامنه غلظت بهنجار (نرمال) و بحرانی فلزها در خاک و گیاهان در جدول 8 آورده شده است. در این پژوهش غلظت سرب در بسیاری از موارد در بخش هوایی و ریشه‌ی گیاهان کشت شده در خاک معدن در دامنه بحرانی بود (جدول 5 و 8). اما، بنابر شناسه‌ای که برای گیاهان بیش اندوز پیشنهاد شده است، هیچ یک از این گیاهان جزو بیش اندوزها بشمار نمی‌روند. یاد آور شود که جذب و انباشتگی یک فلز نه تنها به گیاه بلکه به بستر رشد آن و به زیست‌فراهمی فلز نیز بستگی دارد. غلظت روی در همه نمونه‌ها در دامنه نرمال بود، اما غلظت مس در بخش هوایی آفتابگردان اندکی بیشتر از دامنه نرمال گزارش شده توسط کاباتا-پندیاس<sup>2</sup> (2000) بود (جدول 7 و 8). از آنجایی که غلظت روی و مس خاک در این پژوهش نسبتاً پایین بود نمی‌توان گفت گیاهان بررسی شده برای این دو عنصر بیش اندوز بوده‌اند یا نه، و این به پژوهش‌های ویژه خود نیاز دارد. زمین‌های پیرامون معدن سرب و روی آهنگران از نظر روی و مس دشواری و آلودگی ندارند و بیشتر غلظت بالای سرب در این منطقه نیاز به بهسازی دارد.

فاکتور ترابری بیش از 1 نشان دهنده‌ی توانایی بالای گیاه برای ترابری فلز از ریشه به ساقه است. که شاید وابسته به سیستم ترابری کارآمد گیاه باشد (زائو و همکاران<sup>3</sup>، 2002) و اگر در زیست‌بهسازی، برداشت آلودگی و عنصر سنگین از خاک با گیاه هدف باشد، گیاهانی برترند که افزون بر جذب بالای آلودگی بتوانند فلز را به بخش‌های هوایی خود برسانند

کشاورزی) دیده شد. هر چند غلظت مس در اندام‌های هوایی گیاه آفتابگردان کشت شده در خاک معدن تا اندازه‌ای بیشتر از آن در آفتابگردان کشت شده در خاک کشاورزی است؛ ولی این ناهمبندی از دیدگاه آماری چشمگیر نیست و رشد بهتر گیاه در خاک کشاورزی آن را جبران نموده و از دیدگاه آماری برداشت مس از هر دو خاک برابر شده است.

غلظت مس در اندام‌های هوایی کلزا، شاهدانه و آفتابگردان کشت شده در خاک کشاورزی و نیز آفتابگردان کشت شده در خاک معدن بیشتر از آن در ریشه بود. این یافته‌ها در برابر گزارش لیو و همکاران (2008) است. آنها گزارش کردند که غلظت مس در بخش هوایی کمتر از ریشه است، البته گیاهان کشت شده در این پژوهش‌ها ناهمبند است. به هر گونه غلظت مس در اندام‌های هوایی کلزا، شاهدانه و ذرت کشت شده در خاک معدن و نیز ذرت کشت شده در خاک کشاورزی کمتر از آن در ریشه بود که با گزارش لیو و همکاران (2008) همخوانی دارد. اگر چه رفتار برخی از گیاهان مانند کلزا و شاهدانه در خاک آلوده و ناآلوده یکسان نیست؛ ولی فاکتور ترابری مس در گیاه آفتابگردان کشت شده در هر دو خاک بیشتر از 1 و ذرت کشت شده در هر دو خاک کمتر از 1 است. در این پژوهش بالاتر بودن غلظت مس در اندام‌های هوایی گیاهان شاهدانه و کلزای کشت شده در خاک کشاورزی نسبت به خاک معدن شاید وابسته به غلظت بالای سرب در خاک معدن و اثرات آنتاگونیسمی سرب بر جذب مس باشد. بلادی و همکاران (2011)، اثر آنتاگونیسمی سرب بر جذب مس توسط گیاه را در یک خاک آهکی گزارش دادند. در این بررسی گزارش شد که جذب مس در گیاهان اسپرس و نخود فرنگی در خاک‌های آلوده وابسته به غلظت‌های بالای سرب (800 میلی‌گرم در کیلوگرم) بود و آنها مس کمتری جذب نمودند در برابر آنها در گیاه یونجه این پیامد آنتاگونیسمی دیده نشد. رقابت میان دو گونه شیمیایی برای پیوند در جایگاه‌های پیتیدی، به پارامترهایی

1- Gardrea-Torresdey *et al.*

2- Pendias

3- Zhao *et al.*

زلقى و صفرى سنجانى: چگونگى رشد گياهان ذرت...

تا با برداشت گياه فلز نيز از خاك برداشت شود (صفرى سنجانى و خليلى خواه، 2011).

**جدول 7- آزمون ميانگين (انحراف استاندارد) غلظت مس در اندام هاى هوايى و ريشه، برداشت در اندام هاى هوايى، فاكترور ترابرى و فاكترور غنى سازى گياهان در دو خاك معدن و كشاورزى**

كلزا	شاهدانه	آفتابگردان	ذرت	خاك	
11/29 <sup>bc</sup> (8/44)	10/22 <sup>c</sup> (6/92)	24/00 <sup>a</sup> (7/80)	13/65 <sup>bc</sup> (6/15)	معدن	غلظت در اندام هاى هوايى
11/41 <sup>bc</sup> (3/94)	11/83 <sup>bc</sup> (3/09)	21/71 <sup>ab</sup> (3/00)	7/38 <sup>c</sup> (2/18)	كشاورزى	(مبلى گرم بر كيلوگرم)
18/17 <sup>a</sup> (4/83)	12/12 <sup>bcd</sup> (3/27)	13/46 <sup>abcd</sup> (1/98)	16/55 <sup>ab</sup> (2/45)	معدن	غلظت در ريشه
9/14 <sup>d</sup> (4/61)	9/93 <sup>cd</sup> (0/51)	12/34 <sup>bcd</sup> (1/11)	14/90 <sup>abc</sup> (1/72)	كشاورزى	(مبلى گرم بر كيلوگرم)
62/89 <sup>c</sup> (51/46)	82/11 <sup>bc</sup> (60/13)	270/43 <sup>a</sup> (68/39)	184/43 <sup>ab</sup> (93/56)	معدن	برداشت در اندام هاى هوايى
82/24 <sup>bc</sup> (25/42)	125/77 <sup>bc</sup> (49/97)	272/97 <sup>a</sup> (56/46)	104/24 <sup>bc</sup> (12/25)	كشاورزى	(ميكروگرم در گلدان)
0/71 <sup>c</sup> (0/69)	0/95 <sup>abc</sup> (0/68)	1/83 <sup>a</sup> (0/73)	0/83 <sup>bc</sup> (0/35)	معدن	فاكترور ترابرى
1/40 <sup>abc</sup> (0/50)	1/18 <sup>abc</sup> (0/27)	1/76 <sup>ab</sup> (0/22)	0/49 <sup>c</sup> (0/13)	كشاورزى	
0/43 <sup>c</sup> (0/33)	0/39 <sup>c</sup> (0/26)	0/92 <sup>b</sup> (0/30)	0/52 <sup>bc</sup> (0/23)	معدن	فاكترور غنى شدن
0/74 <sup>bc</sup> (0/26)	0/77 <sup>bc</sup> (0/20)	1/42 <sup>a</sup> (0/20)	0/48 <sup>bc</sup> (0/15)	كشاورزى	

براي هر پارامتر ناهمبندى ميانگين هاى با دست كم يك حرف يكسان از ديده گاه آمارى چشم گير نيست ( $p > 0.05$ ).

**جدول 8- مرز زيانبار و دامنه غلظت عناصر سنگين (mg/kg) در خاك و گياه (كاباتا - پندياس، 2000)**

فلز	بازه غلظت نرمال در خاك	غلظت بحراني در خاك	غلظت نرمال در گياه	غلظت بحراني در گياه
سرب	2-300	100-400	0/2-20	30-300
روى	1-900	70-400	1-400	100-400
مس	2-250	60-125	5-20	20-100

بنابراين در ميان گياهان آزمون شده، گياه آفتابگردان و شاهدانه هر دو توانايى بالايى براى ترابرى فلزها به بخش هاى هوايى دارند. از آنجايى كه وزن خشك آفتابگردان نسبت به شاهدانه بيشتر است، مى توان گفت آفتابگردان توانايى بهترى در گياه پالايى فلز اين خاك ها در شرايط كشت شده دارد. از طرفى حساسيت گياه آفتابگردان و نياز آبي بالاي آن (ياوسون و همكاران<sup>1</sup>، 2011) در برابر بردبارى بالاي شاهدانه به شرايط اقليمى سخت تر و كشت آسان تر، سيستم عميق ريشه هاى آن و كاربردهاى گوناگون صنعتى آن، گياه شاهدانه را براى گياه پالايى برترى مى دهند (سيسترو و همكاران<sup>2</sup>، 2003). شاهدانه براى عنصر سرب يك بيش اندوز است كه نسبت

فاكترور ترابرى براى سرب در دامنه 0/72-0/96 بود (جدول 5). روند فاكترور ترابرى سرب در ميان گياهان به گونه آفتابگردان < شاهدانه < كلزا < ذرت مى باشد. فاكترور ترابرى عنصر روى براى همه گياهان كمتر از 1 و در دامنه 0/70-0/99 مشاهده شد و روند آن در گياهان به ترتيب آفتابگردان < ذرت < شاهدانه < كلزا بود (جدول 6). براى مس فاكترور ترابرى در دامنه 0/49-1/83 بود و روند آن در گياهان به شكل آفتابگردان < شاهدانه < كلزا < ذرت بود (جدول 7). فاكترور ترابرى مس براى گياه آفتابگردان در هر دو خاك و براى دو گياه شاهدانه و كلزا در خاك كشاورزى بيشتر از 1 مى باشد و اين گياهان توانايى بالايى براى ترابرى اين فلز از ريشه به اندام هوايى دارند؛ ولى براى ذرت در هر دو خاك كمتر از 1 مى باشد.

1- Yawson *et al.*

2- Citterio *et al.*

آفتابگردان کشت شده در خاک کشاورزی دیده شد (جدول 8). میانگین فاکتور غنی سازی روی در 4 گیاه آزمایش شده (در دو خاک معدن و کشاورزی) نشان داد که روند کاهش فاکتور غنی سازی روی در میان گیاهان به شکل آفتابگردان <شاهدانه> کلزا <ذرت بود.

بیشترین اندازه فاکتور غنی سازی برای مس، در آفتابگردان کشت شده در خاک کشاورزی (1/42) و کمترین اندازه آن (0/39) در شاهدانه کشت شده در خاک معدن دیده شد (جدول 7) و همان گونه که دیده شد فاکتور غنی سازی مس نیز وابسته نوع خاک و گونه گیاهان بود؛ اما میانگین آن (میانگین دو خاک معدن و کشاورزی) به صورت آفتابگردان <کلزا> شاهدانه <ذرت بود.

### نتیجه گیری

برپایه یافته‌های این پژوهش، بنابه شناسه هایی که درباره گیاهان بیش‌اندوز پیشنهاد شده، هیچ یک از گیاهانی که در این پژوهش بررسی شدند در این دسته قرار نمی‌گیرند. به هر گونه از میان همه گیاهان آزمایش شده آفتابگردان همواره بیشترین فاکتور ترابری را داشت و شاید بتوان گفت آفتابگردان گیاه مناسبی برای اهداف زیست پالایی در خاک‌های با آلودگی پایین می باشد. در برابر آن شاهدانه بیشترین برداشت فلز را در اندام های هوایی و بیشترین فاکتور غنی سازی را برای عنصر سرب داشت و نیز همانند آفتابگردان فاکتور ترابری و غنی شدگی بالایی داشت. با توجه به پایداری بهتر شاهدانه (در برابر آفتابگردان) برای رشد در زیستگاه های دشوار و خاکهای با آلودگی بالاتر، می‌توان گفت شاهدانه گیاهی شایسته‌تر برای اهداف زیست بهسازی خاک‌های پیرامون معدن سرب و روی آهنگران می‌باشد.

به گیاهان دیگر غلظتی نزدیک دو برابر سرب را در اندام‌های هوایی خود جذب کرده و مانند گیاه آفتابگردان به خوبی سرب را از ریشه به اندام های هوایی می‌رساند. سیترو و همکاران (2005) در پژوهش‌های خود بر روی شاهدانه، این گیاه را فراناباشتگر یا بیش‌اندوز نمی‌داند اما بردبار به کادمیم، نیکل و کروم گزارش کردند.

فاکتور غنی سازی، توانایی گیاه را برای جذب فلزها از خاک و درجه‌ی ترابری فلز را از محلول خاک به بخش‌های هوایی گیاه نشان می‌دهد (جاسویکز و همکاران<sup>1</sup>، 2010). یکی از شناسه‌های مهم در گزینش گونه‌های بیش‌اندوز فاکتور غنی سازی بیش از 1 می‌باشد، که توانایی بالای گیاه را در جذب فلز از خاک و ترابری و نگهداشت آن را در بخش‌های بالایی نشان می‌دهد (باکر و بروکس، 1989). البته برخی پژوهشگران نشان دادند که حتی با فاکتور غنی سازی کمتر از 1 نیز برخی گیاهان باز هم بیش‌اندوز فلزهای سنگین به‌شمار می‌روند (زو و همکاران، 2005). برای همه گیاهان فاکتور غنی سازی فلزها در خاک کشاورزی بیشتر از آن در خاک معدن بود، این با گزارش سینگ و همکاران<sup>2</sup> (2010) همخوانی دارد. بنابه رای آنها فاکتور غنی سازی بیشتر وابسته به زیست فراهمی و غلظت فلزهای سنگین در خاک می‌باشد و با افزایش غلظت فلز در خاک معدن در برابر خاک کشاورزی، جذب فلز در گیاه به همان نسبت افزایش نمی‌یابد؛ زیرا از یک سو بخش بزرگی از فلز در خاک معدن به ریخت نافراهم و دور از دسترس می‌باشد و از سوی دیگر گیاه نیز توانایی جذب اندکی برای فلزهای سنگین دارد. آزمون میانگین فاکتور غنی سازی 4 گیاه آزمایش شده (در دو خاک معدن و کشاورزی) نشان داد که روند کاهش فاکتور غنی سازی سرب در میان گیاهان به صورت شاهدانه <آفتابگردان> کلزا <ذرت بود.

فاکتور غنی سازی روی نیز میان 0/75 تا 1/01 متغیر بود، که به ترتیب در ذرت کشت شده در خاک معدن و

<sup>1</sup>- Jasiewicz *et al.*

<sup>2</sup>- Singh *et al.*

### منابع

- 1- Baker, A.J.M., and Brooks, R.R. 1989. Terrestrial higher plants which accumulate metallic elements (a review of their distribution, ecology and phytochemistry). *Biorecovery*, 1: 81–126.
- 2- Behera, S.K., Singh, D., Dwivedi, B.S., Singh, S., Kumar, K., and Rana, D.S. 2008. Distribution of fractions of zinc and their contribution towards availability and plant uptake of zinc under long-term maize (*Zea mays L.*) wheat (*Triticum aestivum L.*) cropping on an Inceptisol. *Soil Research*, 46(1): 83-89.
- 3- Beladi, M., Kashani, A., Habibi, D., Paknejad, F., and Golshan, M. 2011. Uptake and effects of lead and copper on three plant species in contaminated soils: Role of phytochelatin. *African Journal of Agricultural Research*, 6(15): 3483-3492.
- 4- Bohn, H.L., McNeal, B.L., and O' Connor, A.G. 1985. *Soil Chemistry*, second ed. Wiley-InterScience Publications, New York, USA.
- 5- Brooks, R.R. 1998. *Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining*. CABI Publishing Series, University of Michigan.
- 6- Citterio, S., Santagostino, A., Fumagalli, P., Prato, N., Ranalli, P., and Sgorbati, S. 2003. Heavy metal tolerance and accumulation of Cd, Cr and Ni by *Cannabis sativa L.* *Plant and Soil*, 256(2): 243-252.
- 7- Citterio, S., Prato, N., Fumagalli, P., Aina, R., Massa, N., Santagostino, A., Sgorbati, S., and Berta, G. 2005. The arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* induces growth and metal accumulation changes in *Cannabis sativa L.* *Chemosphere*, 59:21-29.
- 8- Gallardo-Lara, F., and Torres-Martín, M. 1990. Dynamics of copper fractions in the soil-plant system under conditions of intensive forage cropping. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 153(4): 291-292.
- 9- Garbisu, C., and Alkorta, I. 2001. Phytoextraction: A cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, 77: 229–236.
- 10- Gardrea–Torresdey, J.L., Rosa, G.D., and Peralta–Videa, J.R. 2004. Use of phytofiltration technologies in the removal of heavy metals: A review. *Pure Applied Chemistry*, 76: 801-813.
- 11- Gisbert, C., Clemente, R., Navarro-Aviñó, J., Baixauli, C., Giner, A., Serrano, R., Walker, D.J., and Bernal, M.P. 2006. Tolerance and accumulation of heavy metals by Brassicaceae species grown in contaminated soils from Mediterranean regions of Spain. *Environmental and Experimental Botany*, 56: 19–27.
- 12- Hao, X.Z., Zhou, D.M., Li, D.D., and jiang. P. 2012. Growth, Cadmium and Zinc Accumulation of Ornamental Sunflower (*Helianthus annuus L.*) in Contaminated Soil with Different Amendments. *Pedosphere*, 22(5): 631–639.
- 13- Jasiewicz, C., Baran, A. and Tarnawski, M. 2010. Effect of bottom sediment on

- content, bioaccumulation and translocation of heavy metals in maize biomass. *J. Elementol*, 15:281–290.
- 14- Khan, A.G., Kuek, C., Chaudhry, T.M., Khoo, C.S., and Hayes, W.J. 2000. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, 41:197–207.
  - 15- Liang, J., Karamanos, R.E., and Stewart, J.W.B. 1991. Plant availability of Zn fractions in Saskatchewan soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 71(4): 507-517.
  - 16- Lindsay WL, Norvell WA. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42:421-428.
  - 17- Lin, C.C., Liu, J., Liu, L., Zhu, T. C., Sheng, L. X. and Wang, D. L. 2009. Soil amendment application frequency contributes to phytoextraction of lead by sunflower at different nutrient levels. *Environ. Experimental Botany*, 65: 410–416.
  - 18- Liu, H., Probst, A., and Liao, B. 2005. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill (Hunan, China). *Science of the Total Environment*, 339: 153–166.
  - 19- Liu, W., Zhou, Q., An, J., Sun, Y., and Liu, R. 2010. Variations in cadmium accumulation among Chinese cabbage cultivars and screening for Cd-safe cultivars. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 737–743.
  - 20- Liu, X., Gao, Y., Sardar Khan., Duan, G., Chen, A., Ling, L., Zhao, L., Liu, Z., and Wu, X. 2008. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity in Heqing, Yunnan. *Journal of Environmental Sciences*, 20: 1469–1474.
  - 21- Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P., and Zerbi, G. 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. *Environmental Pollution*, 132: 21-27.
  - 22- Marques, A.P.G.C., Oliveira, R.S., Rangel, A.O.S.S., and Castro, P.M.L. 2006. Zinc accumulation in *Solanum nigrum* is enhanced by different arbuscular mycorrhizal fungi. *Chemosphere*, 65: 1256-1263.
  - 23- Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M., Lesage, E., and Tack, F.M.G. 2005. Potential of *Brassica rapa*, *Cannabis sativa*, *Helianthus annuus* and *Zea mays* for phytoextraction of heavy metals from calcareous dredged sediment derived soils. *Chemosphere*, 61: 561–572.
  - 24- Pendias, d.H. 2000. Trace elements in soil and plants. Third ed, CRC press, Boca Raton, London, New York Washington, D.C.PP.
  - 25- Pichel, J., and Anderson, M. 1997. Trace metal bioavailability in municipal waste and sewage sludge. *Composts Bioresource Technology*, 60: 223-229.
  - 26- Prasad, M.N.V., and Freitas, H. 2003. Metal hyperaccumulation in plants biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6: 285–321.

- 27-Safari Singani, A.A., and Ahmadi, P. 2012. Manure Application and Cannabis Cultivation Influence on Speciation of Lead and Cadmium by Selective Sequential Extraction. *Soil and Sediment Contamination*, 21(3): 305-321.
- 28-Safari Sinegani, A.A., and Khalilikhah, F. 2008. Phytoextraction of lead by *Helianthus annuus*: effect of mobilising agent application time. *Plant Soil and Environment*, 54 (10): 434–440.
- 29-Safari Sinegani, A.A., and Khalilikhah, F. 2011. The effect of application time of mobilising agents on growth and phytoextraction of lead by *Brassica napus* from a calcareous mine soil. *Environmental Chemistry Letters*, 9(2): 259-265.
- 30-Salt, D.E., Smith, R.D., and Raskin, I. 1998. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49:643–68.
- 31-Samecka-Cymerman, A., and Kempers, A.J. 2001. Concentrations of heavy metals and plant nutrients in water, sediments and aquatic macrophytes of anthropogenic lakes (former open cut brown coal mines) differing in stage of acidification. *Science of the Total Environment*, 281:87-98.
- 32-Shu, W.S., Ye, Z.H., Lan, C.Y., Zhang, Z.Q., and Wong, M.H. 2002. Lead, zinc and copper accumulation and tolerance in populations of *Paspalum distichum* and *Cynodon dactylon*. *Environmental Pollution*, 120: 445–453.
- 33-Sims, J.T., and Kline, J.S. 1991. Chemical fractionation and uptake of heavy metals in soils amended with co-composted sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, 20: 387–395.
- 34-Singh, A., Agrawal, M., and Marshall, M. F. 2010. The role of organic vs. inorganic fertilizers in reducing phytoavailability of heavy metals in a wastewater-irrigated area. *Ecological Engineering*, 36: 1733–1740.
- 35-Sharma, P., and Dubey, R.S., 2005. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17: 35-52.
- 36-Sposito, G., Lund, L.J., and Chang, A.C. 1982. Trace Metal Chemistry in Arid-zone Field Soils Amended with Sewage Sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in Solid Phases I. *Soil Science Society of America Journal*, 46: 260-264.
- 37-Stoltz, E., and Greger, M. 2002. Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings. *Environmental and Experimental Botany*, 47: 271–280.
- 38-Wei, C.Y., Chen, T.B., and Huang, Z.C. 2002. Cretan brake (*Pteris cretica L.*): an Arsenic accumulating plant. *Acta Ecologica Sinica*, 22:777– 782.
- 39-Yawson, D.O., Bonsu, M., Armah, F.A., and Afrifa, E.K.A. 2011. Water requirement of sunflower (*Helianthus annuus L.*) in a tropical humid-coastal savanna zone. *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science*, 6(1): 1-8.
- 40-Zhao, F.J., Hamon, R.E., Lombi, E., Mclaughlin, M.J., and McGrath, S.P. 2002. Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of the



hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. Journal of Experimental Botany, 53:535–543.

41-Zhuang, X., Chen, J., Shim, H., and Bai, Z. 2007. New advances in plant growth-promoting rhizobacteria for bioremediation. Environment International, 33:406-413.

42-Zu, Y.Q., Li, Y., Chen, J.J., Chen, H.Y., Qin, L., and Christian, S. 2005. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China. Environment International, 31:755–762.