

## محور مقاله: آلودگی خاک و آب و سلامت محصولات کشاورزی

## کارایی فارچ‌های آربوسکولار میکوریزا، ریزوباکتورها و کرم خاکی بر گیاه بهسازی سرب توسط گاوپونه

علی محوچی\* و فایز رئیسی

گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

## چکیده

درشت‌اریزجانداران بخش‌های مهم سیستم‌های خاک-گیاه به شمار می‌آیند، زیرا در بهبود رشد گیاه و انباشت زیستی فلزهای سنگین در گیاه و همچنین گیاه بهسازی خاک‌های آلوده مشارکت دارند. هدف اصلی این پژوهش بررسی اثر همزمان این جانداران بر گیاه بهسازی خاک آلوده پیرامون معدن باما (ایرانکوه- اصفهان) توسط گیاه بومی گاوپونه (*Stachys inflata Benth.*) بود. مایه‌زنی گونه‌های مقاوم به فلزهای سنگین درشت‌اریزجانداران شامل کرم خاکی (*Eisenia fetida*)، دو گونه قارچی (*Septoglomus constrictum* و *Funneliformis mosseae*) و دو گونه باکتری گرم مثبت (*B. licheniformis* و *Bacillus sp.*) به تنهایی یا همراه با هم در یک آزمایش فاکتوریل گلدانی تحت شرایط گلخانه به مدت چهار ماه انجام گرفت. کرم خاکی، قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌ها کربن آلی محلول را افزایش ولی pH خاک را کاهش دادند و از این‌رو تحرک و انحلال‌پذیری سرب، به ویژه در حضور کرم خاکی و باکتری‌ها (به ترتیب ۱/۵۵ و ۱/۹۸ برابر) نسبت به شاهد افزایش یافت. انباشت زیستی سرب گاوپونه در حضور کرم خاکی و باکتری‌ها به تنهایی یا همراه با قارچ‌های میکوریزا نسبت به مایه‌زنی میکوریزا به تنهایی کمتر بود. همچنین کرم خاکی و باکتری‌ها ترابری سرب از ریشه به اندام هوایی (فاکتور ترابری) را افزایش ولی میکوریزا کاهش داد.

**کلمات کلیدی:** تحرک سرب، گیاه بهسازی، اثر متقابل میکروبی، گیاه بومی، انباشت زیستی، ترابری

## مقدمه

سمیت فلزهای سنگین و انباشت آنها در زنجیره غذایی یکی از بارزترین دشواری‌های زیست محیطی و بهداشتی جوامع مدرن امروزی است (کاباتا-پندیاس و موخرجی، ۲۰۰۷). زدودن فلزهای سنگین از خاک‌های آلوده با روش‌های سنتی فیزیکی و شیمیایی ناکارآمد و بسیار هزینه‌بر است. بنابراین تلاش‌هایی برای ایجاد فن‌آوری‌های کارا و ارزان قیمت و نیز سازگار با محیط زیست برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین صورت گرفته است (علی و همکاران، ۲۰۱۳). گیاه بهسازی (Phytoremediation) یکی از فن‌آوری‌های نویدبخش و سازگار با محیط زیست است که در آن از توانایی گیاهان یا هم‌زیستی گیاهان و میکروبه‌ها در جذب، ترابری و انباشت آلاینده‌های خاک به‌ویژه فلزهای سمی استفاده می‌شود (علی و همکاران، ۲۰۱۳). در این روش گزینش گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. گزینش گیاه وابسته به شرایط اقلیمی و همچنین میزان آلودگی است (ماتینا، ۲۰۰۳). به‌طور کلی برای گزینش یک گیاه در گیاه‌پالایی فلزهای سمی خاک باید عوامل زیر را در نظر گرفت: ۱- توان جذب زیاد، ۲- تولید زیست‌توده بالا و ۳- ترابری زیاد عنصر از ریشه به ساقه (راسکین و انسلی، ۲۰۰۰). در گیاه بهسازی خاک‌های آلوده به فلزهای سمی، مقدار جذب عنصر توسط گیاه از خاک بسیار حائز اهمیت است و اغلب میزان جذب عنصر به تحرک و زیست‌فراهمی آن عنصر و یا شکل قابل دسترس آن در خاک بستگی دارد (اسپوزیتو و همکاران، ۱۹۸۲). میزان جذب یک عنصر همواره همبستگی قوی با شکل قابل دسترس آن عنصر دارد و غلظت کل عنصر با میزان جذب آن توسط گیاه رابطه‌ای ندارد و یا یک رابطه ضعیف وجود دارد (سیزمو و همکاران، ۲۰۱۱). استخراج گیاهی یکی از روش‌های گیاه‌پالایی فلزهای سنگین است که در آن جذب و گردآوری آلاینده‌ها در بافت‌های قابل جذب گیاهی مدنظر می‌باشد و با برداشت گیاهان، آلاینده‌ها از خاک زدوده می‌شوند (ماتینا، ۲۰۰۳؛ علی و همکاران، ۲۰۱۳). برخی از جانداران خاک قادر به افزایش رشد و نمو گیاه و همچنین بهبود ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک بوده و جذب عناصر غذایی توسط گیاه را با تشدید فعالیت انواع آنزیم‌ها و عوامل رشد در خاک بهبود می‌بخشند. قارچ میکوریزا، باکتری‌های ریزوسفری و کرم‌های خاکی از جمله این موجودات هستند که نه تنها در رشد بلکه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در تغییر و تحولات شیمیایی فلزهای سنگین در محیط‌های آلوده نیز کارا هستند (علی و همکاران، ۲۰۱۳). در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین، حضور ریزجاندارانی مانند قارچ‌های میکوریزا در ریزوسفر، می‌تواند فراهمی و سمیت فلزهای سنگین را برای گیاه تغییر دهد و از این راه نقش مهمی در جذب آنها و در نتیجه گیاه بهسازی داشته باشد (علی و همکاران، ۲۰۱۳). بین پژوهش‌های انجام شده، پیامد جانداران خاک از قبیل کرم‌های خاکی (سیزمو و همکاران، ۲۰۱۱)، قارچ‌های میکوریزا (ما

\* ایمیل نویسنده مسئول: alimahohi@yahoo.com

و همکاران، ۲۰۰۶) و نیز باکتری‌ها (لی و ونگ، ۲۰۱۰) به صورت جداگانه و یا پیامد هم‌زمان کرم خاکی و قارچ میکوریزا (آقابابایی و همکاران، ۲۰۱۴)، کرم خاکی و باکتری (سوارز و همکاران، ۲۰۱۴) و قارچ و باکتری (ویواس و همکاران، ۲۰۰۳) بر گیاه بهسازی خاک‌های آلوده بررسی شده است، اما تاکنون پژوهشی در مورد کاربرد هم‌زمان هر سه جاندار (کرم خاکی، قارچ میکوریزا و باکتری‌ها) بر رشد گیاه، نه تنها در خاک‌های آلوده با سابقه طولانی مدت، بلکه در خاک‌های طبیعی غیرآلوده نیز گزارش نشده است. بنابراین، هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر هم‌زمان این جانداران بر گیاه بهسازی خاک آلوده پیرامون معدن باما (ایرانکوه- اصفهان) توسط گیاه بومی گاوپونه (*Stachys inflata Benth.*) می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

نمونه برداری خاک از منطقه دارای پوشش گیاهی در معدن سرب باما (جنوب غربی شهر اصفهان) از عمق ۰-۱۵ سانتی متری سطح خاک انجام و پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک و از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. خاک مورد مطالعه یک خاک آهکی با بافت لومی است که میزان سرب کل و قابل دسترس آن به ترتیب ۳۸۷ و ۱۷ mg kg<sup>-1</sup> بود. این آزمایش به صورت فاکتوریل (۲×۲×۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه اجرا شد. در مجموع ۸ تیمار شامل شاهد (CK)، کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M)، باکتری (B)، کرم خاکی و قارچ میکوریزا (ME)، کرم خاکی و باکتری (BE)، قارچ و باکتری (MB) و کرم خاکی، قارچ میکوریزا و باکتری (MBE) هر کدام در چهار تکرار وجود داشت. خاک آلوده به سرب نمونه‌برداری شده (از عمق ۰-۱۵ سانتی متری سطح خاک آلوده دارای پوشش گیاهی) پس از الک (۲ میلی‌متر) و استریل شدن در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت در اتوکلاو، در شرایط استریل به گلدان‌هایی با گنجایش ۴ کیلوگرم منتقل شد. به منظور بررسی پیامد جانداران بر استخراج سرب، گیاه بومی گاوپونه (*Stachys inflata Benth.*) به دلیل فاکتور انتقال بالای فلزات به اندام هوایی (صفری سنجانی و شبیه دستجردی، ۲۰۰۸) گزینش شد. خاک نیمی گلدان‌ها با ۱۰۰ گرم مایه تلقیح قارچ میکوریزا (آمیزه‌ای از هیف‌ها، اسپورها و ریشه‌های میکوریزی همراه خاک) شامل آمیزه برابر از مایه تلقیح قارچ‌های فونلی فورمیس موسه‌آ و سپتوگلو موس کانستریکتوم در زیر ریشه جاسازی و مایه‌زنی شدند. در سایر تیمارها نیز ۱۰۰ گرم از همان خاک مایه تلقیح قارچی استریل شده به منظور فراهم کردن شرایط یکسان افزوده شد. تعداد ۴ عدد کرم خاکی بالغ با طول (۴ ± ۰/۵۰ cm) و وزن تر (۰/۴ ± ۰/۵ g) یکسان به گلدان‌های تیمار کرم خاکی و تیمارهای هم‌زمان کرم-باکتری، کرم-قارچ میکوریزا و همچنین کرم-قارچ میکوریزا-باکتری دو هفته پس از استقرار گیاهان اضافه شد. در تمامی واحدهای آزمایشی برای تغذیه کرم‌های خاکی ۲ درصد ماده آلی استریل به شکل بقایای پودر شده یونجه با اندازه یک میلی‌متر طی دو مرحله در تیمارهای کرم خاکی به سطح خاک اضافه و در سایر تیمارها به طور کامل آمیخته شد. برای تیمار باکتریایی مقدار ۱۵ میلی‌لیتر از محیط کشت مایع (Nutrient Broth, NB) دارای باکتری‌ها شامل آمیزه برابر از باسیلوس و باسیلوس لیچنی فورمیس به گلدان‌ها پیش از انتقال جوانه‌ها مایه‌زنی گردید. در سایر تیمارها نیز ۱۵ میلی‌لیتر از همان مایه تلقیح باکتریایی استریل شده به منظور فراهم کردن شرایط یکسان افزوده شد. تیمار باکتریایی شامل ترکیبی از باکتری‌های باسیلوس و باسیلوس لیچنی فورمیس می‌باشد که به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور در محیط رشد کرده‌اند. جمعیت این باکتری‌ها بر اساس فراوانی کلی باکتری‌ها در خاک آلوده نمونه‌برداری شده از منطقه بررسی شده، حدود ۲/۶×۱۰<sup>۸</sup> (CFU ml<sup>-1</sup>) تنظیم گردید. دو جوانه گیاه در هر گلدان کشت شده و آبیاری گلدان‌ها به وسیله آب مقطر استریل، بر اساس نیاز گیاه و نگهداری گلدان‌ها در شرایط گلخانه به مدت ۴ ماه انجام گردید. پس از برداشت گیاه، ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند pH (توماس، ۱۹۹۶)، کربن آلی محلول (جونز و همکاران، ۲۰۰۶) و سرب قابل جذب خاک (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) اندازه‌گیری شد. غلظت سرب نمونه‌های گیاهی (اندام هوایی و ریشه) پس از خشک شدن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و آسیاب شدن با استفاده از روش خاکستر تعیین گردید (کمپبل و پلنک، ۱۹۹۸). غلظت سرب با دستگاه جذب اتمی (AAS Model GBC 932 Plus) اندازه‌گیری شد. فاکتور ترابری (Translocation Factor) و فاکتور انباشت زیستی اصلاح شده (Modified Bioaccumulation Factor) برطبق روابط زیر و بر پایه سرب قابل جذب (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷) به منظور ارزیابی پتانسیل گیاهان در زیست‌پالایی خاک آلوده استفاده گردید:

$$\text{فاکتور انباشت زیستی} = \frac{\text{غلظت سرب در ریشه گیاه}}{\text{غلظت سرب قابل جذب خاک}}$$
$$\text{فاکتور ترابری} = \frac{\text{غلظت سرب در اندام هوایی گیاه}}{\text{غلظت سرب در ریشه گیاه}}$$

پیش از انجام تجزیه‌های آماری، ابتدا پیش‌فرض‌های تجزیه واریانس از قبیل همگنی واریانس و توزیع نرمال داده‌های خام بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل خطی جامع (General Linear Model) توسط نرم‌افزار SAS از راه تجزیه واریانس فاکتوریل انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

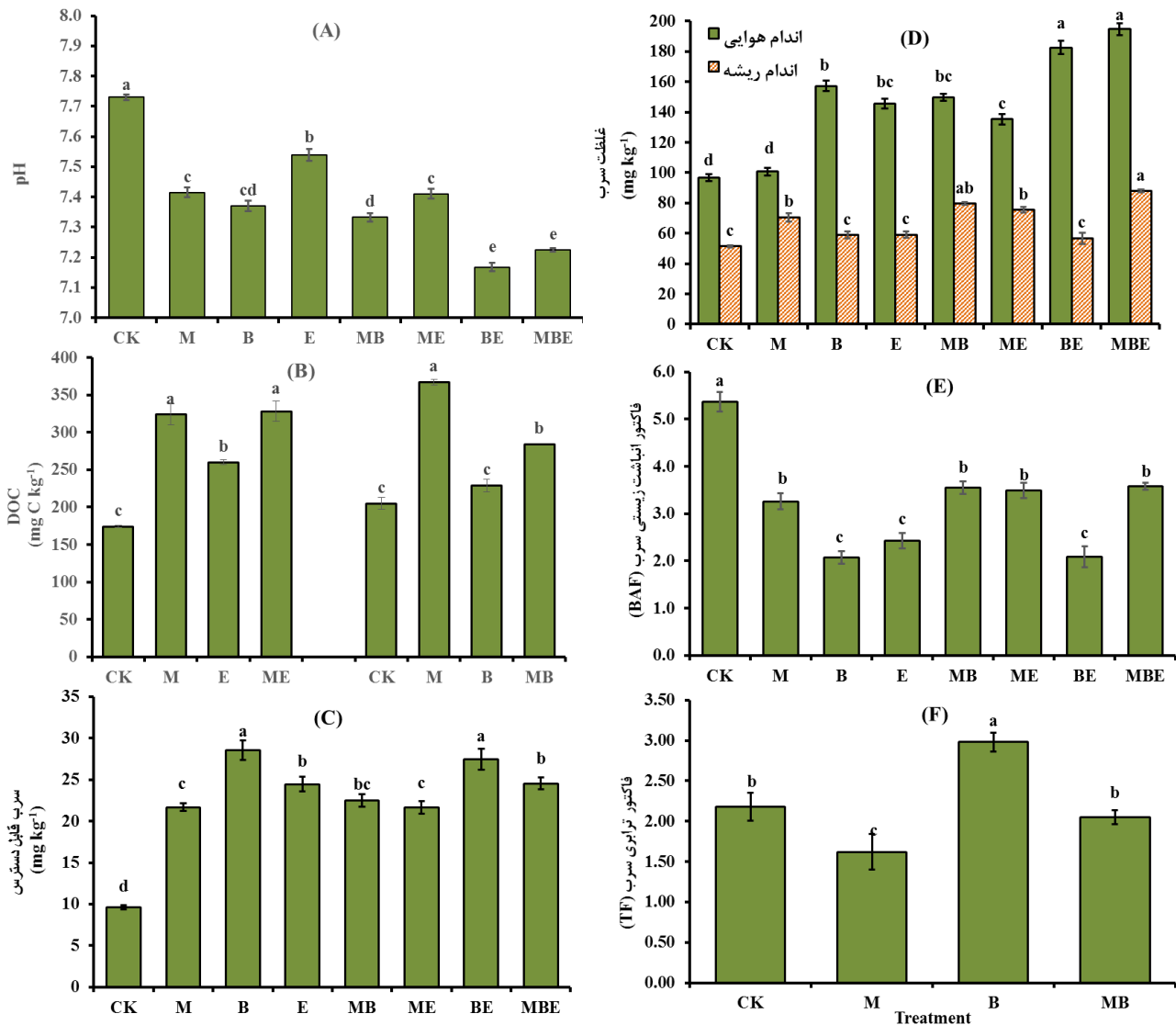
در کشت گاوپونه در تمام تیمارهای جداگانه و هم‌زمان pH خاک کاهش یافت به طوری که تیمار هم‌زمان کرم خاکی و باکتری بیش‌ترین کاهش pH خاک (۰/۵۶ واحد) را نشان داد، اما تفاوت معنی‌دار با تیمار هم‌زمان هر سه جاندار نداشت (شکل ۱). در هر حال در اغلب تیمارهای هم‌زمان، به‌ویژه در حضور باکتری، کاهش pH خاک مشهودتر بود. کرم‌های خاکی با تغییر pH و کربن آلی محلول خاک قادر به تغییر قابلیت دسترسی فلزهای سنگین هستند (سیزمو و هادسون، ۲۰۰۹). کرم‌های خاکی می‌توانند از راه کاهش pH قابلیت دسترسی فلزهای سنگین خاک را افزایش دهند (یو و همکاران، ۲۰۰۵). اثر هم‌زمان سه جاندار بر کربن آلی محلول خاک معنی‌دار نبود، اما اثر متقابل دوگانه آنها معنی‌دار ( $P \leq 0.01$ ) بود (جدول ۱). به‌طور کلی، کربن آلی محلول خاک در تیمارهای جداگانه کرم خاکی و میکوریزا افزایش یافت، اما حضور یا عدم حضور باکتری تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. ون و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند فعالیت ایزنیا فتیدا موجب افزایش DOC خاک می‌شود.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (آماره F اثر کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M) و باکتری (B) بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و فاکتورهای گیاه بهسازی سرب در گاوپونه

C.V. (%)	MSe	اثرهای متقابل				اثرهای اصلی			منبع تغییر ویژگی
		M×B×E	B×E	M×E	M×B	E	B	M	
-	۲۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	درجه آزادی
۰/۳۳۱	۰/۰۰۰۶	۶/۱۱*	ns	۵۱***	۷۳***	۹/۲۳**	۱۴۶***	۷۱***	pH
۸/۳۲	۵۰۹	ns	۱۷۵***	۲۶***	۴۶***	۳۲***	۱۳***	۱۸۶***	DOC
۷/۳۷	۲/۷۶	۵۹***	۳۵***	۲۵***	۶۱***	۴۶***	۱۲۰***	ns	Pb <sub>Av</sub>
۴/۵۲	۴۵/۰	۴۷***	۳۴***	ns	ns	۱۵۷***	۲۴۹***	ns	Pb <sub>Shoot</sub>
۸/۴۲	۲۵/۰	۱۲***	ns	۹/۲۳**	ns	ns	ns	۷/۰۴*	Pb <sub>Root</sub>
۱۱/۰	۰/۱۰۶	۴۷***	۳۶***	۴۸***	۷۶***	۳۳***	۵۰***	۱۸***	BAF
۹/۶۱	۰/۰۴۴	ns	ns	ns	۶/۰۸*	۳۸***	۶۷***	۹۸***	TF

ns: نامعنی‌دار در سطح پنج درصد ( $P > 0.05$ ); \* معنی‌دار در سطح پنج درصد ( $P \leq 0.05$ ); \*\* معنی‌دار در سطح یک درصد ( $P \leq 0.01$ ) و \*\*\* معنی‌دار در سطح یک‌دهم درصد ( $P \leq 0.001$ ). C.V.: ضریب تغییر، MSe: میانگین مربع‌های خطا، DOC: کربن آلی محلول، Pb<sub>Av</sub>: سرب قابل دسترس خاک، Pb<sub>Shoot</sub>: غلظت سرب اندام هوایی، Pb<sub>Root</sub>: غلظت سرب اندام ریشه، BAF: فاکتور انباشت زیستی، TF: فاکتور ترابری.

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد سرب قابل دسترس در سطح یک درصد تحت تأثیر تیمارهای هم‌زمان درشت/ریزجانداران قرار گرفت. تیمارهای کرم خاکی و باکتری سرب قابل دسترس در کشت گاوپونه را به میزان قابل توجه افزایش دادند، درحالی‌که اثر جداگانه تیمار میکوریزا بر سرب قابل دسترس معنی‌دار نبود (جدول ۱). کاهش محسوس pH خاک و افزایش کربن آلی محلول خاک به وسیله این جانداران یافته‌های بالا را تأیید می‌کند. این جانداران (کرم خاکی، میکوریزا و باکتری) کربن آلی محلول خاک را به دلیل افزایش فعالیت میکروبی و سرعت معدنی شدن کربن افزایش داده و در نتیجه منجر به کاهش pH خاک شده‌اند. باکتری‌ها نیز از راه تغییر pH خاک، رهاسازی کلات‌کننده‌ها (مانند اسیدهای آلی و سیدروفورها) (گنزالزگورنو و همکاران، ۲۰۰۵) قادر به تغییر قابلیت دسترسی فلزهای سنگین هستند.



شکل ۱- اثر متقابل بین مایه‌زنی کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M) و باکتری (B) بر کربن آلی محلول (DOC) (A)، pH (B)، سرب قابل دسترس خاک (C) غلظت سرب ریشه و اندام هوایی گاوپونه (D)، فاکتور انباشت زیستی (E) و فاکتور ترابری سرب (F) خاک در کشت گاوپونه. حروف ناهم‌اند بالای هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست (آزمون دانکن،  $P \leq 0.05$ ، اعداد میانگین و خطوط عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد هستند (A: n=4; B & F: n=8). CK: تیمار شاهد.

میکوریزا نیز از راه تولید اسیدهای آلی و یا تحریک گیاه در تغییر ترشحات گیاهی می‌تواند بر قابلیت دسترسی فلزها کارا باشد، اما به‌واسطه بی جنبش کردن فلز درون میسلیم‌های خود (گنزالزگورنو و همکاران، ۲۰۰۵) باعث کاهش قابلیت دسترسی فلز برای گیاه می‌شوند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که در حضور هم‌زمان هر سه جاندار اثر منفی قارچ میکوریزا بر قابلیت دسترسی سرب کاهش یافته و غلظت سرب قابل دسترس در مقایسه با تیمارهای دوگانه با حضور قارچ میکوریزا (ME و MB) بیشتر بود. از سوی دیگر اثر متقابل تیمارهای کرم خاکی، میکوریزا و باکتری بر غلظت سرب ریشه و اندام هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اگرچه غلظت سرب اندام هوایی در تیمار میکوریزا با شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت، اما در دیگر تیمارهای جداگانه و هم‌زمان افزایش یافت (شکل ۱). افزون بر این، غلظت سرب اندام هوایی در تیمار میکوریزا نسبت به تیمارهای نامیکوریزایی

کمتر، اما غلظت سرب ریشه در حضور میکوریزا نسبت به عدم حضور آن بیشتر بود. تیمار هم‌زمان میکوریزا، باکتری و کرم خاکی (MBE) بیش‌ترین غلظت سرب ریشه و اندام هوایی را نشان داد. بیش‌ترین غلظت سرب در اندام هوایی در تیمار هم‌زمان میکوریزا، باکتری و کرم خاکی مشاهده شد. غلظت سرب در اندام هوایی ( $1-200 \text{ mg kg}^{-1}$ ) و ریشه ( $1-90 \text{ mg kg}^{-1}$ ) در دامنه مقادیر گزارش شده برای گیاه گاوپونه در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین قرار داشت (صفری سنجانی و شنبه دستجردی، ۲۰۰۸)، اما با وجود غلظت بالای سرب در این گیاه بومی، به عنوان یک بیش‌اندوز تلقی نمی‌گردد. زیرا بیش‌اندوزها غلظت سرب در اندام هوایی بیش‌اندوزها به ترتیب  $1-1000 \text{ mg kg}^{-1}$  گزارش شده است (وامرالی و همکاران، ۲۰۱۰). مایه‌زنی کرم خاکی، میکوریزا و باکتری بر انباشت زیستی و فاکتور ترابری سرب گاوپونه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین انباشت زیستی سرب ( $5/45$ ) در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۱). انباشت زیستی سرب در حضور میکوریزا نسبت به عدم حضور آنها بیشتر بود. به عبارت دیگر قارچ‌های میکوریزا انباشت زیستی را افزایش می‌دهند، درحالی‌که کرم خاکی و باکتری به‌ویژه همراه با یکدیگر منجر به کاهش انباشت زیستی می‌شوند. صرف نظر از اثر باکتری و کرم خاکی در افزایش فاکتور ترابری، ثابت شده است که گاوپونه توانایی زیادی در انباشت فلز سرب در اندام هوایی خود دارد (صفری سنجانی و دستجردی، ۲۰۰۸). اگرچه میکوریزا فاکتور ترابری را کاهش داد، اما باکتری‌ها ترابری سرب از ریشه به اندام هوایی را بیشتر افزایش داد. کاهش ترابری فلزهای سنگین و بی‌جنبش شدن آنها درون ریشه در تیمار میکوریزا ممکن است ناشی از جذب فلز در دیواره سلولی باشد (گو و همکاران، ۲۰۱۷). اثر باکتری و کرم خاکی در افزایش فاکتور ترابری احتمالاً ناشی از افزایش قابلیت دسترسی سرب در خاک در این تیمارها می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

به طور کلی با توجه به اثر کمتر میکوریزا به تنهایی در افزایش قابلیت دسترسی سرب، حضور هم‌زمان کرم خاکی، میکوریزا و باکتری می‌تواند اثرهای کرم خاکی و باکتری را تعدیل نماید. صرف نظر از اثر جانداران، گاوپونه توانایی زیادی در ترابری فلز سرب به اندام هوایی خود داشت. هم‌چنین کرم خاکی و باکتری ترابری این فلز از ریشه به اندام هوایی (فاکتور ترابری) را افزایش و میکوریزا کاهش داد. اثر باکتری و کرم خاکی در افزایش فاکتور ترابری می‌تواند به دلیل نقش آنها در افزایش قابلیت دسترسی سرب خاک از راه تحریک معدنی شدن مواد آلی، تولید کربن آلی محلول و کاهش pH باشد. بنابراین علی‌رغم اثر قابل توجه تیمارهای گوناگون به‌ویژه در حضور کرم و باکتری در افزایش غلظت سرب توسط این گیاه، استخراج سرب خاک توسط گاوپونه به اندازه لازم جهت استفاده عملی از آن به منظور اصلاح این خاک کافی نیست و زمان بسیار طولانی نیاز دارد.

### منابع

- Aghababaei F. Raiesi F. and Hosseinpur A. 2014. The significant contribution of mycorrhizal fungi and earthworms to maize protection and phytoremediation in Cd-polluted soils. *Pedobiologia*, 57, 223-233.
- Ali H. Khan E. and Sajad M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals: concepts and applications. *Chemosphere*, 91, 869-881.
- Campbell C.R. and Plank C.O. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. In: Kalra Y.P. (ed) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press Taylor & Francis Group. PP. 37-50.
- Gonzalez-Guerrero, M., Azcon-Aguilar, C., Mooney, M., Valderas, A., MacDiarmid, C.W., Eide, D.J. and Ferrol, N. 2005. Characterization of a *Glomus intraradices* gene encoding a putative Zn transporter of the cation diffusion facilitator family. *Fungal Genetics and Biology*, 42, 130-140.
- Gu, H.H., Zhou, Z., Gao, Y.Q., Yuan, X.T., Ai, Y.J., Zhang, J.Y., Zuo, W.Z., Taylor, A.A., Nan, S.Q. and Li, F.P. 2017. The influences of arbuscular mycorrhizal fungus on phytostabilization of lead/zinc tailings using four plant species. *International Journal of Phytoremediation*, 19, 739-745.
- Jones, D.L. and Willett, V.B. 2006. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 991-999.
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A.B. 2007. Trace elements from soil to human. Springer-Verlag Berlin New York.
- Li W.C. and Wong M.H. 2010. Effects of bacteria on metal bioavailability speciation and mobility in different metal mine soils: a column study. *Journal of Soils and Sediments*, 10, 313-325.
- Lindsay W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc iron manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428.
- Ma Y. Dickinson N.M. and Wong M.H. 2006. Beneficial effects of earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi on establishment of leguminous trees on Pb/Zn mine tailings. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 1403-1412.



- Mattina M.J.I. Lannucci-Berger W. Musante C. and White J.C. 2003. Concurrent plant uptake of heavy metal and persistent organic pollutants from soil. *Environmental Pollution*, 124, 375-378.
- Raskin I. and Ensley B.D. 2000. *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment*. John Wiley and Sons New York pp. 303.
- Safari Sinegani, A.A. and Shanbeh Dastjerdi, F. 2008. The potential of Irankoh indigenous plant species for the phytoremediation of cadmium and lead contaminated land. *Soil and Sediment Contamination*, 17, 181-188.
- Sizmur T. Palumbo-Roe B. Watts M.J. and Hodson M.E. 2011. Impact of the earthworm *Lumbricus terrestris* (L.) on As Cu Pb and Zn mobility and speciation in contaminated soils. *Environmental Pollution*, 159, 742-748.
- Sizmur, T. and Hodson, M.E. 2009. Do earthworms impact metal mobility and availability in soil? A review. *Environmental Pollution*, 157, 1981-1989.
- Sposito G. Lund L.J. and Chang A. 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. *Soil Science Society of America Journal*, 46, 260-264.
- Suarez D.E.C. Gigon A. Puga-Freitas R. Lavelle P. Velasquez E. and Bloin M. 2014. Combined effects of earthworms and IAA-producing rhizobacteria on plant growth and development. *Applied Soil Ecology*, 80, 100-107.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (ed.). *Methods of Soil Analysis*. SSSA Madison. pp. 475-490.
- Vamerali, T., Bandiera, M. and Mosca, G. 2010. Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 8, 1-17.
- Vivas A. Voros I. Biro B. Campos E. Barea J.M. and Azcon R. 2003. Symbiotic efficiency of autochthonous arbuscular mycorrhizal fungus (*G. mosseae*) and *Brevibacillus sp.* isolated from cadmium polluted soil under increasing cadmium levels. *Environmental Pollution*, 126, 179-189.
- Wan, J.H.C. and Wong, M.H. 2004. Effects of earthworm activity and P-solubilizing bacteria on phosphorus transformation in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167, 209-213.
- Yu, X., Cheng, J. and Wong, M.H. 2005. Earthworm-mycorrhiza interaction on Cd uptake and growth of ryegrass. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 195-201.
- Zhang, Z., Wen, X., Huang, Y., Inoue, C., and Liang, Y. 2017. Higher accumulation capacity of cadmium than zinc by *Arabidopsis halleri* ssp. *germmifera* in the field using different sowing strategies. *Plant and Soil*, 418, 165-176.



# 16<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



Topic for submission: Soil and Water Pollution and Crop Health

## The efficiency of arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobacteria and earthworm on phytoremediation of lead by *stachys inflata*

Mahohi\*, A., Raiesi, F.

Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran

### Abstract

Micro- and macro-organisms are important components of soil-plant systems; since they are involved in plant growth promotion and bioaccumulation of heavy metals in the plant, with a great contribution to the phytoremediation of metal-contaminated soils. The main objective of this study was to examine the combined influences of these organisms on lead (Pb) availability and phytoremediation in a soil highly polluted with Pb mining activities, Bama (Iankouh-Isfahan) by the native plant, Gavponeh (*Stachys inflata* Benth.). Metal tolerant AMF (*Funneliformis mosseae* and *Septoglomus constrictum*), PGPR (*Bacillus sp.* and *B. licheniformis*) and earthworms (*Eisenia fetida*) were used either alone or in combination in a factorial pot experiment under greenhouse conditions for 4 months. Inoculation of AMF, PGPR and earthworm led to an increase in dissolved organic carbon and decrease in soil pH and subsequently an increase of soil Pb mobility and availability, especially in earthworm and bacterial treatments (1.55 and 1.98 time, respectively) compared to control. Pb bioaccumulation factor in earthworms and PGPR (individually or with mycorrhiza) was lower than individual mycorrhizal inoculation. Pb translocation factor was increased by earthworms and PGPR but decreased by mycorrhizal inoculation.

**Keywords:** Pb mobility, phytoremediation, microbial interaction, native plant, bioaccumulation, translocation

---

\* Corresponding author, Email: alimahohi@yahoo.com