مقاله پژوهشی، صفحات ۱۵۴-۱۳۹

مقایسه اثر دو نوع ورمی‌کمپوست بر آرسنیک قابل دسترس خاک، رشد و انباشت آرسنیک در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

حسن سالاری[۱،۳] ریحانه عموآقایی[۱،۲*] و حسین مظفری[۳]

[۱] ایران، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده علوم، گروه زیست گیاهی.

[۲] ایران، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی.

[۳] ایران، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، گروه اکولوژی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۷

چکیده

آرسنیک یک شبه فلز خیلی سمی است که اثرات نامطلوبی بر رشد گیاهان دارد و خطراتی را برای سلامتی انسان ایجاد می‌کند، پیشنهاد شده است که افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی می‌تواند تحرک فلز یا شبه فلزات در خاک را کاهش دهد و در نتیجه رشد گیاهان در خاک‌های آلوده را بهبود دهد. بنابراین در مطالعه حاضر در دو آزمایش جداگانه اثر دو نوع ورمی‌کمپوست (۰، ۲، ۴ و ۸ درصد وزنی با خاک) بر رشد گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) در خاک‌های آلوده شده با آرسنیک (۰ ، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بررسی شد. نتایج نشـان داد که با افزایش سطح آرسنیک خاک، درصد ظهور گیاهچه، محتوای کلروفیل *a* و *b* برگ و وزن خشک گیاه کاهش و میانگین زمان ظهور و میزان نشت الکترولیت‌ها در برگ گیاه افزایش یافت. در شرایط بدون تنش و تحت تنش آرسنیک با افزایش میزان ورمی‌کمپوست، درصد ظهور، محتوای کلروفیل *a* و *b* برگ و وزن خشک گیاه با کاربرد ورمی-کمپوست نوع ۱ افزایش ولی با استفاده از ورمی‌کمپوست نوع ۲ کاهش یافت. ورمی‌کمپوست نوع ۱ باعث کاهش آرسنیک قابل دسترس خاک و غلظت آرسنیک ریشه و بخش هوایی گلرنگ شد اما ورمی‌کمپوست نوع ۲ موجب افزایش این صفات شد. بررسی خواص کیفی این دو نوع ورمی‌کمپوست نشان داد تفاوت میزان فلزات سنگین مخصوصاً آرسنیک، اسیدیته، هدایت الکتریکی و توان تبادل کاتیونی در این دو نوع کود بر میزان آرسنیک قابل دسترس خاک اثر گذاشته و موجب شده است تا این دو نوع ورمی‌کمپوست اثر متفاوتی بر تجمع آرسنیک در گلرنگ داشته باشند.

واژه های کلیدی: آرسنیک، درصد ظهور، کلروفیل، نشت الکترولیت‌ها

*نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: rayhanehamooaghaie@yahoo.com

مقدمه

فلزات سنگین اثرات مضری بر سلامت موجودات دارند و امروزه آلودگی مواد غذایی به فلزات سنگین با فعالیت‌های صنعتی و انسانی و تکنولوژی مدرن افزایش یافته است. آرسنیک یکی از این فلزات سنگین است که نه تنها در گیاهان باعث کاهش بیوماس و محصـول می‌شـود، بلکه به عنوان یکی از سمی‌ترین و سرطان‌زاترین عناصر برای انسان و جانوران در نظر گرفته می‌شود [۳۷]. این عنصر در محیط بسیار متحرک بوده و با توجه به شباهت شیمیایی آرسنیک با فسفر، در گیاهان این شبه فلز برای جذب با فسفر رقابت می‌کند و با جایگزین کردن فسفر در ملکول‌های زیستی نظیر ATP یا غشای فسفولیپیدی و اجزای داخلی سلول‌ها و یا از طریق اتصال با گروه‌های سولفیدریل پروتئین‌ها و برخی آنزیم‌ها و مهار عملکرد آنها موجب اختلال در متابولیسم گیاه می‌شود. علاوه بر این، تبدیل آرسنیک ۵ ظرفیتی به آرسنیک سه ظرفیتی در سلول بطور مستقیم و اختلال در فرآیندهای سلولی بطور غیرمستقیم تولید گونه‌های فعال

اکسیژن (ROS) در گیاهان را القا می‌کند که موجب پراکسیداسیون چربی‌های غشا و نشت الکترولیت‌ها از سلول می‌شود [۱۴]. مجموع اثرات فوق منجر به کاهش محتوای کلروفیل و جذب مواد مغذی و کاهش جوانه‌زنی دانه و رشد گیاهان می‌شود [۱۴، ۲۰ و ۴۰]. آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، حداکثر میزان آرسنیک مجاز در خاک را ۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و در آب آشامیدنی ۱۰ میکروگرم در لیتر معرفی کرده است. اگرچه بیشتر کشورهای جنوب‌شرقی آسیا مانند بنگلادش، هند، چین، پاکستان با مشکل آلودگی با آرسنیک مواجه هستند [۳۷]، ولی در سال-های اخیر، در مناطقی از ایران از جمله اطراف معادن استان-های آذربایجان شرقی و غربی، زنجان، کردستان، کرمان و خراسان رضوی نیز آلودگی منابع خاک بیش از حد مجاز گزارش شده است [۱]. در کنار فرآیندهای طبیعی مانند فعالیت‌های آتشفشانی و هوازدگی مواد معدنی زمین، فعالیت‌های انسانی نیز در انتشار آرسنیک به محیط نقش داشته است. مثلاً گزارش شده که منابع آب شهر رفسنجان به دلیل مجاورت با مجتمع مس سرچشمه، در حد قابل‌توجهی آلوده به آرسنیک است [۵] و ممکن است آبیاری با آب‌های زیرزمینی آلوده موجب افزایش آرسنیک در خاک و گیاهان این منطقه شود. همچنین استفاده بیش از حد از کودها و آفت‌کش‌های حاوی آرسنیک، باعث ورود این عنصر خطرناک به زنجیره‌های غذایی موجودات زنده می‌شود. علاوه بر این در سال‌های اخیر، کوددهی با پسماندهای جامد شهری و ضایعات صنعتی آلوده به آرسنیک نیز از جمله عوامل آلودگی خاک و محصولات کشاورزی به آرسنیک می‌باشد [۳۳].

صنعتی شدن جوامع امروزی، افزایش جمعیت و تغییر الگوی مصرف مواد توسط انسان‌ها مخصوصاً در شهرهای بزرگ موجب شده است تولید ضایعات صنایع، کارخانجات و معادن، پسماندهای کشاورزی و فاضلاب‌های شهری افزایش یابد. برای مدیریت این پسماندها یکی از راهکارهایی که پیشنهاد شده است تبدیل این پسماندها به کمپوست یا ورمی‌کمپوست است. برای تولید ورمی‌کمپوست، انواع مواد آلی شامل پسماندهای کارخانه‌ها و کشاورزی، زباله‌های شهری و خانگی، توسط آنزیم‌های سیستم گوارشی کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌های خاک طی یک فرایند گرمادوست تجزیه و به کودهای مغذی و سرشار از عناصر غذایی برای رشد گیاهان تبدیل می‌شوند [۲۵]. در بسیاری از منابع گزارش شده است که ورمی‌کمپوست یک کود آلی مفید است که خواص فیزیکوشمیایی خاک مانند: هدایت الکتریکی، pH، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، تخلخل و پتانسیل زهکشی و ظرفیت نگهداری آب در خاک تاثیر می‌گذارد. گزارش‌های بسیاری مبنی بر اثر مثبت ورمی-کمپوست بر بهبود جوانه‌زنی بذر، رشد و زیست توده گیاهان مختلف ارائه شده است[۷، ۸ و ۲۵]. بررسی منابع نشان می‌دهد اثر ورمی‌کمپوست بر جذب فلزات سنگین در گیاهان بسیار متغیر و به صورت کاهش، افزایش و یا بدون اثر بر تجمع این فلزات در تحقیقات مختلف گزارش شده است. برای مثال عبدوسی [۶] گزارش کرد که در خاک‌های آلوده به کادمیوم، مصرف ورمی‌کمپوست باعث کاهش تجمع این فلز و در نتیجه افزایش عملکرد و زیست توده گیاه اسفناج شد و پیشنهاد کرد مقدار قابل توجهی از کادمیوم با ماده آلی ورمی‌کمپوست، کمپلکس تشکیل داده و این عمل موجب کاهش جذب این فلز توسط گیاه شده است. Zuo و همکاران [۳۹] نیز گزارش دادند ورمی-کمپوست حاصل از لجن فاضلاب خواص فیزیکوشیمیایی خاک را با بهبود تخلخل، کاهش شوری و اسیدیته، افزایش مواد آلی، ازت و فسفر بهبود داد و در نتیجه محصول و بیوماس ذرت را در حد معنی‌داری افزایش داد. البته مصرف این ورمی‌کمپوست هم تجمع مس، نیکل، سرب، روی و کادمیوم در ریشه ذرت رشد یافته در خاک گل آلود افزایش داد اما تجمع فلز در گیاه در مقایسه با کاربرد مستقیم لجن فاضلاب کمتر بود. در مقابل بلوچی و همکاران [۲] اعلام کردند کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش انباشت فلز کادمیوم در بخش هوایی و ریشه گیاه لوبیا چیتی گردید. بر

خلاف گزارش‌های فوق، تحقیق موسوی و همکاران [۱۰] نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست به میزان۲۰ و۴۰ تن در هکتار اثر معنی‌داری بر جذب فلز نیکل در بخش هوایی گیاه برنج در مقایسه با شاهد نداشت. این تنوع نتایج اثر ورمی-کمپوست در تحقیقات مختلف، اغلب به تفاوت واکنش گیاهان مختلف و یا شرایط خاک نسبت داده شده است. در حالی‌که حداقل بخشی از این اختلاف نتایج ممکن است ناشی از کیفیت ورمی‌کمپوست استفاده شده نیز باشد. اما متاسفانه در بیشتر منابع خواص فیزیکوشیمیایی و حتی میزان فلزات سنگین موجود در ورمی‌کمپوست مصرفی مورد توجه و تحلیل قرار نگرفته است.

در باور عامه ورمی‌کمپوست عمدتاً از تغییر شکل شاخ و برگ گیاهان و ضایعات کشاورزی توسط کرم‌های خاکی و ریزباکتری‌های خاک تولید می‌شود و یک کود آلی بدون ضرر و سازگار با محیط زیست است. اما اگر پسماندهای شهری و صنعتی و حتی در برخی موارد، پسماندهای کشاورزی که دارای مقادیر بالای عناصر سنگین هستند در فرایند تولید کمپوست و ورمی‌کمپوست استفاده شوند ممکن است این فلزات سنگین توسط گیاهان جذب و به زنجیره‌ها و شبکه‌های غذایی وارد شوند و بر سلامت همه موجودات از جمله انسان اثرات زیانبار بگذارند[۳۳]. بنابراین رعایت استانداردهای میزان آلاینده‌های فلزات سنگین در تولید ورمی‌کمپوست در حفظ محیط زیست و ارتقاء سلامت جامعه مهم است. از این‌رو امروزه کشورهای مختلف برای مراحل مختلف تولید و مصرف ورمی‌کمپوست سیاست‌های زیست محیطی و استانداردهایی را تدوین کرده‌اند. برای مثال حد مجاز و استاندارد آرسنیک در ورمی‌کمپوست در کشورهای ایران، استرالیا و آمریکا به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است [۴].

در یک تحقیق میزان فلزات سنگین آرسنیک، جیوه، کادمیوم و سرب را در بعضی انواع ورمی‌کمپوست تولید شده در استان‌های تهران را در حد مجاز و در محدوده استاندارد مورد تایید ایران گزارش کرده‌اند[۴]. لیکن با توجه به هزینه-دار بودن سیستم تفکیک پسماند در ایران و به دلیل عدم مدیریت یا نظارت کافی، گاهی کاربرد پسماندهای غیرقابل کمپوست حاوی مواد شیمیایی و شوینده‌ها و سیستم‌های الکترونیکی و باطری‌های مصرفی در وسایل نقلیه باعث ورود انواع فلزات سنگین به ورمی‌کمپوست و در نهایت آلودگی محصولات باغی و زراعی می‌شود [۳۳]. لذا بررسی مداوم کیفیت ورمی‌کمپوست و اثر آن بر انباشت فلزات سنگین در گیاهان ضروری است. در بین فلزات سنگین و متالوئیدهای سمی، میزان آرسنیک در ورمی‌کمپوست و یا اثر ورمی‌کمپوست در تحمل و تجمع این متالوئید در گیاهان کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین در مطالعه حاضر اثر دو نمونه ورمی‌کمپوست بر رشد گیاه گلرنگ در خاک آلوده به آرسنیک ارزیابی شد.

گلرنگ با نام علمی *Carthamus tinctorius* L.، گیاهی یک ساله از خانواده Asteraceae است که بومی مشرق زمین بوده و پس از آن به سایر مناطق دنیا منتشر شده است و امروزه در اغلب کشورها کاشت می‌شود. گلرنگ به دلیل ویژگی-های مطلوب و خاص نظیر، قابلیت استفاده از گل‌های آن به منظور تهیه رنگ‌های قرمز و زرد برای پوشاک و غذا، کیفیت بالای روغن دانه‌ها برای تولید روغن نباتی، تولید کنجاله به‌عنوان مکمل غذایی مناسب برای دام و مقاومت نسبتاً زیاد آن به تنش‌هایی مانند شوری، خشکی، سرمای زمستانه و برخی فلزات سنگین، همواره در کشاورزی بسیاری مناطق مورد توجه ویژه بوده است[۱۶]. با توجه به اهمیت و تحمل نسبتا خوب این گیاه به فلزات سنگین، گلرنگ برای این تحقیق انتخاب شد و اثر دو نمونه ورمی‌کمپوست تهیه شده با مواد اولیه متفاوت، بر رشد و میزان انباشت آرسنیک در گیاه گلرنگ در خاک آلوده به این عنصر بررسی شد.

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۵۴-۱۳۹

مواد و روشها

آماده‌سازی وسایل و مواد

نمونه خاک مورد استفاده در این تحقیق از عمق ۱۵ سانتی-متری یک منطقه بکر و دور از منابع آلاینده فلزات سنگین در کرمان با مختصات جغرافیایی ۲۹/۵۲۱۷ درجه شمالی و ۵۶/۸۱۸۳ درجه شرقی جمع‌آوری شد. این خاک پس از خشک شدن در هوا و الک کردن (۱ میلی‌متر)، برای تجزیه و تحلیل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیشتر مورد آزمایش قرار گرفت. pH و EC خاک در یک عصاره ۱:۵ (حجم آب: وزن خاک) توسط یک pH متر Metrhom (مدل ۷۱۳) و رسانایی‌سنج Metrhom (مدل ۷۱۲) اندازه‌گیری شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر [۱۸] و نیتروژن کل به روش کلدال [۳۰]، درصد کربن آلی به روش اکسایش تر [۳۱] و CEC خاک [۳۵] برآورد شد. تجزیه عناصر خاک با استفاده از روش هضم اسیدی با HNO_3،HCl و $HClO_4$ و دستگاه ICP صورت گرفت [۲۱]. خواص فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده

بافت خاک	CEC (meq/100g)	EC (1:5) (ms/cm)	pH (1:5)	O.C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	As mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg
لومی- شنی	**۱۵/۱۱**	**۱/۷۸**	**۶/۴**	**۰/۲۷**	**۰/۰۰۳**	**۰/۵**	**۲۴/۷**	**۰/۵**	**۲۲/۷۶**	**۴۵۰**	**۱۲**	**۲۱**

در این تحقیق دو نوع ورمی‌کمپوست، اولی از شرکت گلباران سبز گیلان در شهر رشت در شمال ایران و دومی از یک تولیدکننده محلی در کرمان تهیه شدند که برای سهولت در کل مقاله به آن‌ها به ترتیب با عنوان ورمی‌کمپوست نوع ۱ و ۲ اشاره می‌شود. نمونه‌های ورمی‌کمپوست‌ها مشابه خاک، مورد تجزیه و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی قرار گرفت. خواص فیزیکوشیمیایی ورمی‌کمپوست‌ها در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲: خصوصیات فیزیکوشیمیایی ورمی‌کمپوست‌های مورد استفاده

نوع ورمی‌کمپوست	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	As mg/kg	K (%)	P (%)	N (%)	O.C (%)	pH (1:5) عصاره	EC (1:5) (ms/cm)	CEC (meq/100g)
نوع ۱	**۱۰**	**۴۶**	**۱۰۵**	**۱۵**	**۰/۰۰۵**	**۰/۲۱**	**۰/۱۲**	**۰/۹۸**	**۱۲/۰۶**	**۷/۴**	**۱/۲۲**	**۱۶/۴۷**
نوع ۲	**۰/۰۰۳**	**۰/۰۲۲**	**۰/۰۲۴**	**۰/۵۹**	**۱۱**	**۰/۸۷**	**۰/۸۵**	**۰/۶۷**	**۲۰/۷**	**۸/۴۵**	**۶/۴۷**	**۲۹/۶۴**

بذرهای گلرنگ رقم گلدشت از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر ایران در کرج تهیه شدند.

اجرای آزمایش

در این تحقیق، دو آزمایش جداگانه با استفاده از دو نوع ورمی‌کمپوست به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در هر دو آزمایش نوع خاک یکسان بود و فاکتورها شامل آرسنیک در ۳ سطح (۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و ورمی‌کمپوست در ۴ سطح ۰، ۲، ۴ و ۸ درصد وزنی با خاک بود. برای آلودگی خاک به غلظت‌های مختلف آرسنیک ۰ ، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، مقدار مورد نیاز آرسنات‌سدیم (Na_2HAsO_4 $0.7H_2O$) در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و سپس کاملاً با خاک هر گلدان مربوطه مخلوط شد. برای تثبیت آرسنیک در خاک، سیکل‌های اشباع مکرر با آب مقطر جهت به تعادل رسیدن خاک با آرسنیک داده شد. دو روز قبل از کاشت مقادیر لازم ورمی‌کمپوست‌ها به خاک هر گلدان اضافه شدند. بذر گلرنگ با هیپوکلریت سدیم ۰/۳ درصد ضدعفونی شد و سپس چندین بار آب مقطر شسته و در هر

گلدان متوسط با وزن خاک دو کیلوگرم تعداد ۲۵ بذر گلرنگ (به منظور حداقل جامعه آماری جهت سنجش ظهور گیاهچه) کاشته شد. در هر دو آزمایش، گلدان‌ها در گلخانه با دوره نوری ۸/۱۶ ساعت و دوره حرارتی ۲۶ درجه سانتیگراد در روز ۲۳ درجه سانتیگراد در شب و رطوبت نسبی ۶۰ درصد قرار داده شدند و میزان ظهور نشاها و رشد گیاهان بررسی شد. پس از تکمیل جوانه‌زنی، تعداد گیاهان هر گلدان به ۵ عدد کاهش داده شد.

میزان آرسنیک قابل جذب در تیمارهای مختلف

جهت اندازه‌گیری آرسنیک قابل جذب خاک از روش DTPA/TEA استفاده شد [۲۱] . ۱۰ میلی‌لیتر دی اتیلن تری-امین پنتا استیک اسید (DTPA) ۰/۰۰۵ مولار، تری اتانول امین (TEA) ۰/۱ مولار و محلول ۰/۰۱ مولار $CaCl_2$ با pH (=7.3) به ۵ گرم خاک اضافه شد. نمونه‌ها پس از شیک‌شدن به مدت ۲ ساعت و سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه) مایع رویی از طریق کاغذ صافی واتمن صاف شد و با آب دیونیزه تا ۲۵ میلی‌لیتر رقیق شد. سپس جهت اندازه-گیری آرسنیک محلول‌ها به دستگاه ICP-OES 735 (Varian ساخت کشور استرالیا) تزریق شدند.

محاسبه و میانگین زمان ظهور گیاهچه: روزانه تعداد نشاهای ظهور کرده در گلدان‌ها تا زمانی که در همه آنها میزان ظهور نشاها ثابت شد ثبت گردید. از روی نتایج به دست آمده مقادیر درصد ظهور و میانگین زمان ظهور (MET)، از فرمول‌های زیر محاسبه شدند [۱۱].

$$MET = \sum (Ni.\ Ti) / \sum Ni \qquad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه Ni تعداد دانه‌های جدید جوانه‌زده ، Ti تعداد روزهای پس از کاشت گیاه است.

سنجش وزن خشک گیاه: پس از گذشت ۴۵ روز از زمان کاشت، ریشه و بخش هوایی گلرنگ در هر گلدان جدا و وزن خشک آنها اندازه‌گیری گردید. برای تعیین وزن خشک، اندام هوایی پس از شتسشو با آب مقطر، وزن شد و سپس در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد در آون خشک گردید و سپس وزن خشک بخش هوایی با استفاده از ترازوی دیجیتال شرکت AND، ساخت کشور ژاپن (مدل GF 200) با دقت ۰/۰۰۱ گرم بدست آمد.

اندازه گیری کلروفیل: در نمونه‌های برگ تازه، کلروفیل به کمک استون ۸۰٪ استخراج و جذب عصاره حاصل در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانش شد. میزان کلروفیل a و b برگ با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳ تعیین شد

$$\text{Chlorophyll } a = \frac{[(12.7 \times D663) - (2.69 \times D654)] \times V}{1000 \times W} \qquad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{Chlorophyll } b = \frac{[(22.9 \times D654) - (4.93 \times D663)] \times V}{1000 \times W} \qquad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه‌ها V حجم نهایی عصاره برحسب میلی‌لیتر، D جذب نوری و W وزن بافت برحسب گرم است [۲۴].

اندازه گیری نشت الکترولیت‌ها

نشت الکترولیتی (EL) همانطور که قبلا توسط Dionisio-Sese و همکاران [۱۷] توصیف شده بود با فرمول زیر اندازه‌گیری شد.:

$$EL\ (\%) = EC1 / EC2 \times 100 \qquad \text{رابطه ۴}$$

که در آن EC1 هدایت الکتریکی اولیه است که برای قطعات کوچک (۰/۲ گرم) نمونه تازه برگ غوطه‌ور شده در ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه بعد از ۲۴ ساعت نگه داشتن در دمای اتاق اندازه‌گیری می‌شود و EC2 هدایت الکتریکی نهایی، پس از جوشاندن لوله‌های حاوی نمونه‌ها در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه است.

سنجش آرسنیک گیاه

جهت سنجش میزان آرسنیک در نمونه گیاهی ۰/۲ گرم از نمونه ریشه و بخش هوایی گیاه خشک شده با ۹ میلی‌لیتر اسید نیتریک (HNO_3) و ۰/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن (H_2O_2) هضم [۲۱] و اندازه‌گیری آرسنیک گیاه با استفاده از دستگاه ICP (Varian ساخت کشور استرالیا) انجام شد.

تحلیل آماری

داده‌های حاصل توسط نرم‌افزار آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد و معنی‌داری اختلاف بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد تعیین گردید.

نتایج

اثر ورمی‌کمپوست بر غلظت آرسنیک قابل‌جذب در خاک

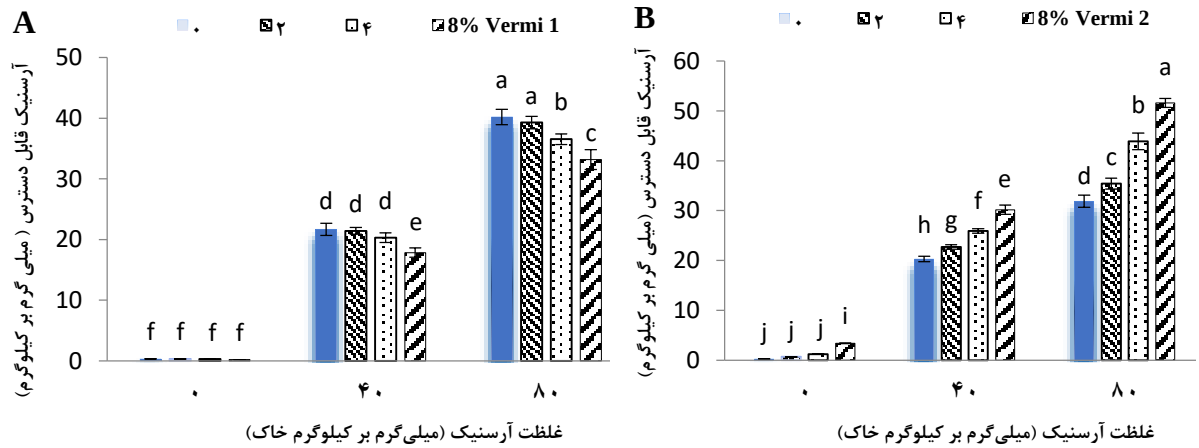
نتایج آنالیز واریانس نشان داد که در هر دو آزمایش، اثر مستقل و بر همکنش سطوح مختلف آرسنیک و ورمی-کمپوست بر میزان آرسنیک خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح ورمی-کمپوست نوع ۱ در خاک، غلظت آرسنیک قابل‌جذب در خاک در حد چشمگیری کاهش یافته است بطوری‌که در هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک کمترین غلظت آرسنیک قابل‌جذب در خاک با تیمار ۸ درصد وزنی ورمی‌کمپوست بدست آمد. کاربرد تیمار ۸ درصد وزنی این ورمی‌کمپوست غلظت آرسنیک قابل‌جذب در خاک را به ترتیب ۱۷/۷۲ و ۱۷/۵ درصد در دو سطح ۴۰ و ۸۰ میلی گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد این گروه‌ها کاهش داد (شکل ۱-A).

جدول ۳: آنالیز واریانس اثر متقابل غلظت آرسنیک و ورمی‌کمپوست بر شاخص‌های ظهور و آرسنیک خاک در گلرنگ

		آزمایش اول با ورمی‌کمپوست نوع ۱			آزمایش دوم با ورمی‌کمپوست نوع ۲		
متغیرها	درجه آزادی	درصد ظهور	میانگین زمان ظهور	آرسنیک خاک	درصد ظهور	میانگین زمان ظهور	آرسنیک خاک
غلظت آرسنیک	۲	۲۵۵۳/۰۸۳**	۴۷/۵۲۱**	۲۳۸۲/۷۶ **	۴۳۹۸/۵۸۳**	۲۲۹/۶۳۲**	۴۸۰۱/۳۲**
غلظت ورمی‌کمپوست	۳	۲۶۹/۵۸۳**	۱۰/۸۵۵**	۲۷/۱۹۱ **	۲۵۲/۹۹۱**	۱۴/۷۲۹**	۱۸۴/۲۴۳ **
آرسنیک × ورمی‌کمپوست	۶	۴۳/۵۲۸**	۱/۹۴۹**	۹/۸۳۷ **	۶۱/۵۴۶**	۲/۲۹۹**	۵۲/۵۹۹**
خطا	۲۴	۱/۸۶۱	۰/۳۲۶	۱/۲۱۱	۴/۸۰۶	۰/۶۰۴	۲/۶۴۷

** معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪



شکل ۱: اثرات متقابل غلظت‌های مختلف آرسنیک (۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک) و سطوح مختلف (۰، ۲، ۴ و ۸ درصد وزنی) ورمی‌کمپوست نوع ۱ (A) و ورمی‌کمپوست نوع ۲ (B) بر غلظت آرسنیک قابل‌جذب در خاک

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها ± SE بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

در مقابل اثر افزایش سطح ورمی‌کمپوست نوع ۲ در خاک، موجب افزایش غلظت آرسنیک قابل‌جذب در خاک شد و کاربرد تیمار ۸ درصد وزنی این ورمی‌کمپوست غلظت آرسنیک قابل‌جذب در خاک را به ترتیب تقریباً ۵۷/۳ و ۲۸/۵ درصد در هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ میلی گرم ارسنیک در کیلوگرم خاک افزایش داد (شکل ۲-B).

اثر ورمی‌کمپوست بر ظهور گیاهچه

با توجه به نتایج آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل آرسنیک و ورمی‌کمپوست بر درصد ظهور و میانگین زمان ظهور گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

با افزودن ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک در خاک، درصد ظهور ۱۸/۵ و ۳۶ درصد کاهش یافت ولی میانگین زمان ظهور

۲۳/۵ و ۶۰ درصد نسبت به شاهد این گروه‌ها (یعنی تیمار بدون آرسنیک) افزایش یافت.

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح ورمی-کمپوست نوع ۱ در خاک، درصد ظهور افزایش و میانگین زمان ظهور در حد معنی‌داری کاهش یافته است بطوری‌که کاربرد تیمار ۸ درصد وزنی این ورمی‌کمپوست در سطوح ۰ و ۴۰ و ۸۰ میلی گرم ارسنیک در کیلوگرم خاک درصد ظهور را ۴/۷ و ۱۷/۱۵ و ۳۲/۸ درصد افزایش ولی میانگین زمان ظهور ۱۴/۲۴ و ۱۶ و ۲۶/۲ درصد نسبت به شاهد این گروه‌ها کاهش داد (شکل ۲-A و B).

در مقابل اثر افزایش سطح ورمی‌کمپوست نوع ۲ در خاک، موجب کاهش درصد ظهور و افزایش میانگین زمان ظهور شد و کاربرد تیمار ۸ درصد وزنی این ورمی‌کمپوست در سطوح ۰ و ۴۰ و ۸۰ میلی گرم ارسنیک در کیلوگرم خاک درصد ظهور را ۴/۲ و ۷/۲۶ و ۲۷/۱۳ درصد کاهش ولی میانگین زمان ظهور ۶/۴۸ و ۲۱/۶۵ و ۱۵/۴۷ درصد نسبت به شاهد این گروه‌ها افزایش داد (شکل ۲-C و D).

اثر ورمی‌کمپوست بر وزن خشک بخش هوایی گیاه گلرنگ

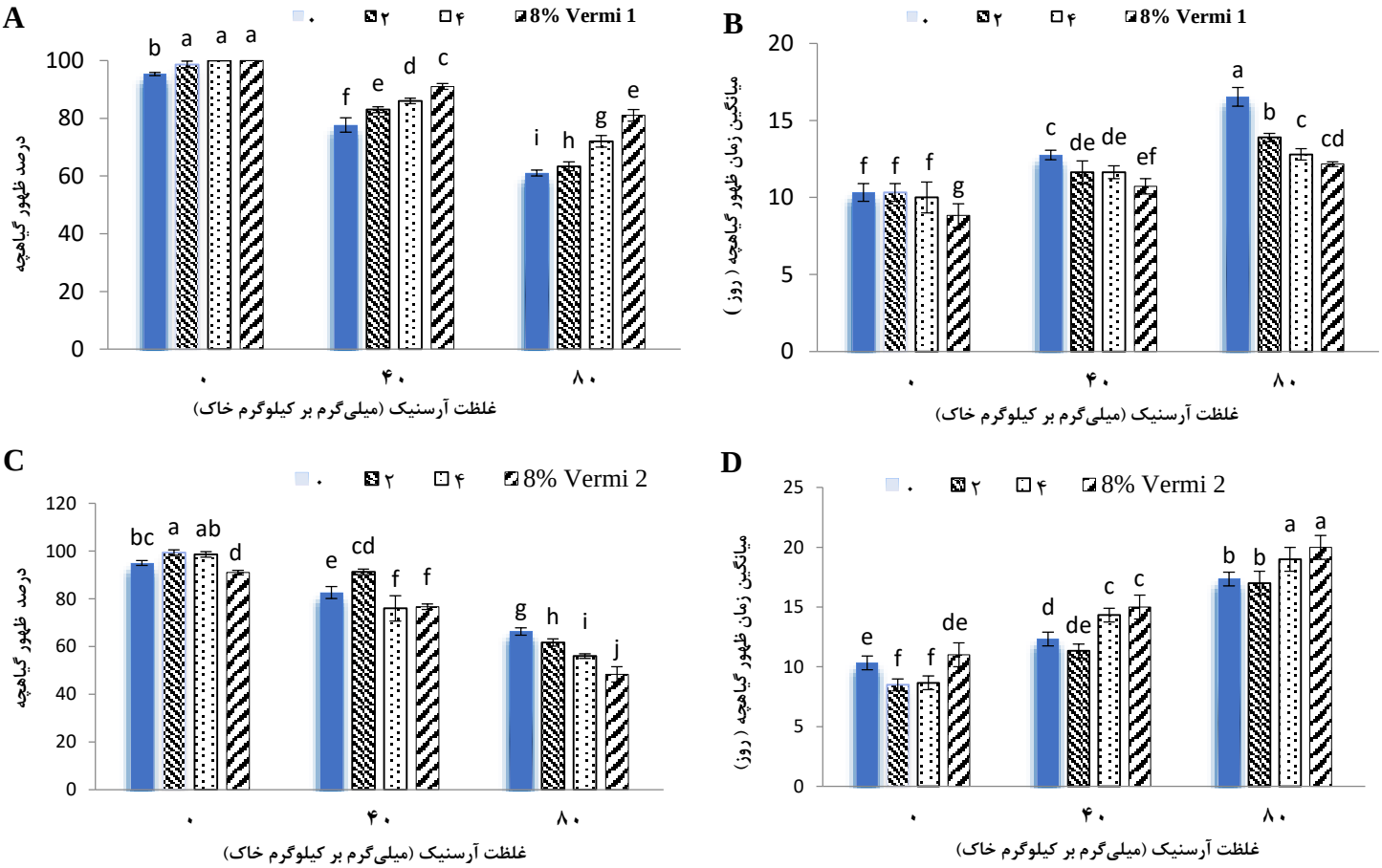
با توجه به نتایج آنالیز واریانس (جدول ۴) اثر مستقل و متقابل آرسنیک و ورمی‌کمپوست بر وزن خشک بخش هوایی گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است.

با افزودن ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک در خاک، وزن خشک بخش هوایی گیاه ۳۲/۷۷ و ۵۸/۸ درصد کاهش یافت.

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح ورمی-کمپوست نوع ۱ در خاک، وزن خشک بخش هوایی گیاه در حد معنی‌داری افزایش یافته است بطوری‌که کاربرد تیمار ۸ درصد وزنی این ورمی‌کمپوست در سطوح ۰ و ۴۰ و ۸۰ میلی گرم ارسنیک در کیلوگرم خاک وزن خشک بخش هوایی گیاه را ۳۹ و ۳۷/۵ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد این گروه‌ها افزایش داد (شکل ۳-A).

در مقابل اثر افزایش سطح ورمی‌کمپوست نوع ۲ در خاک، موجب کاهش وزن خشک بخش هوایی گیاه شد و کاربرد

تیمار ۸ درصد وزنی این ورمی‌کمپوست در سطوح ۰ و ۴۰ و ۸۰ میلی گرم ارسنیک در کیلوگرم خاک وزن خشک بخش هوایی گیاه را ۹/۲۵ و ۱۵ و ۲۶/۵ درصد نسبت به شاهد این گروه‌ها کاهش داد (شکل ۳-B).



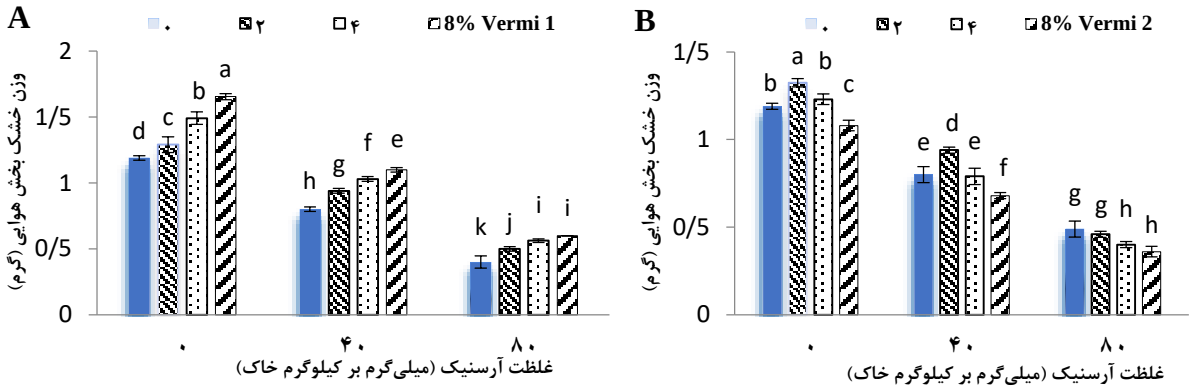
شکل۲- اثرات متقابل غلظت‌های مختلف آرسنیک (۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک) و سطوح مختلف (۰، ۲، ۴ و ۸ درصد وزنی) ورمی‌کمپوست نوع ۱ (A و B) و ورمی‌کمپوست نوع ۲ (C و D) بر درصد ظهور و میانگین زمان ظهور

حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها ± SE بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۴: آنالیز واریانس اثر متقابل غلظت آرسنیک و ورمی‌کمپوست بر وزن خشک و محتوای کلروفیل گلرنگ

متغیرها	درجه آزادی	آزمایش اول با ورمی‌کمپوست نوع ۱			آزمایش دوم با ورمی‌کمپوست نوع ۲		
		وزن خشک بخش هوایی	محتوای کلروفیل *a*	محتوای کلروفیل *b*	وزن خشک بخش هوایی	محتوای کلروفیل *a*	محتوای کلروفیل *b*
غلظت آرسنیک	۲	۰/۴۳۸**	۱۳/۰۵۲**	۷/۵۰۸**	۰/۷۵۲**	۲۲/۱۲۵**	۱۰/۴۱۸**
غلظت ورمی‌کمپوست	۳	۰/۲۵**	۲/۴۱۱**	۱/۵۴۹**	۰/۲**	۱/۰۳۳**	۰/۳۰۳**
آرسنیک × ورمی‌کمپوست	۶	۰/۱**	۰/۱۳۴**	۰/۰۰۷ns	۰/۱**	۰/۳۹**	۰/۱۱۰**
خطا	۲۴	۰/۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۰۷	۰/۰۲	۰/۰۳۳	۰/۰۰۵

** معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ns عدم معنی‌داری



شکل ۳- اثرات متقابل غلظت‌های مختلف آرسنیک (۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک) و سطوح مختلف (۰، ۲، ۴ و ۸ درصد وزنی) ورمی‌کمپوست نوع ۱ (A) و ورمی‌کمپوست نوع ۲ (B) بر وزن خشک بخش هوایی گیاه گلرنگ

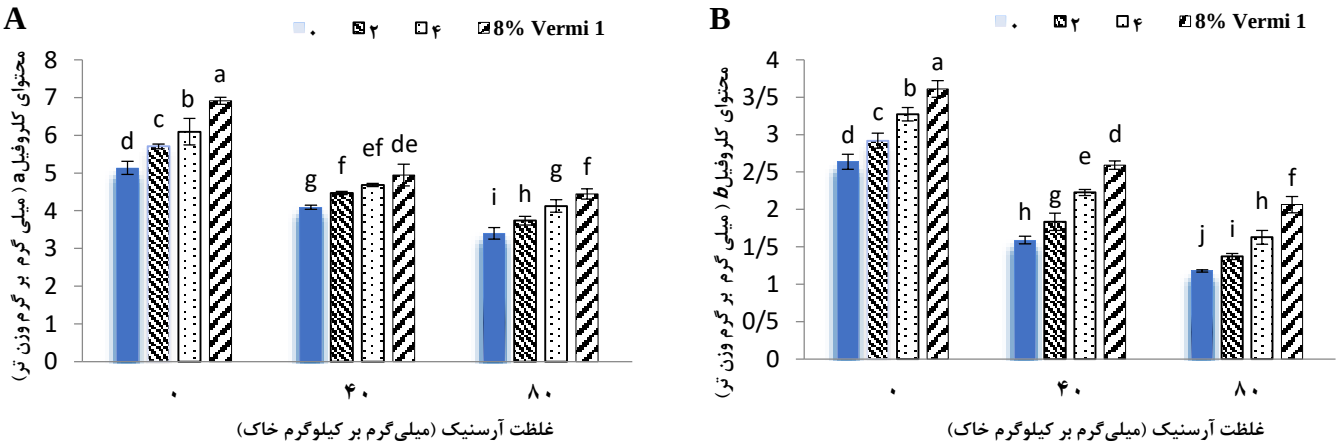
حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها ± SE بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

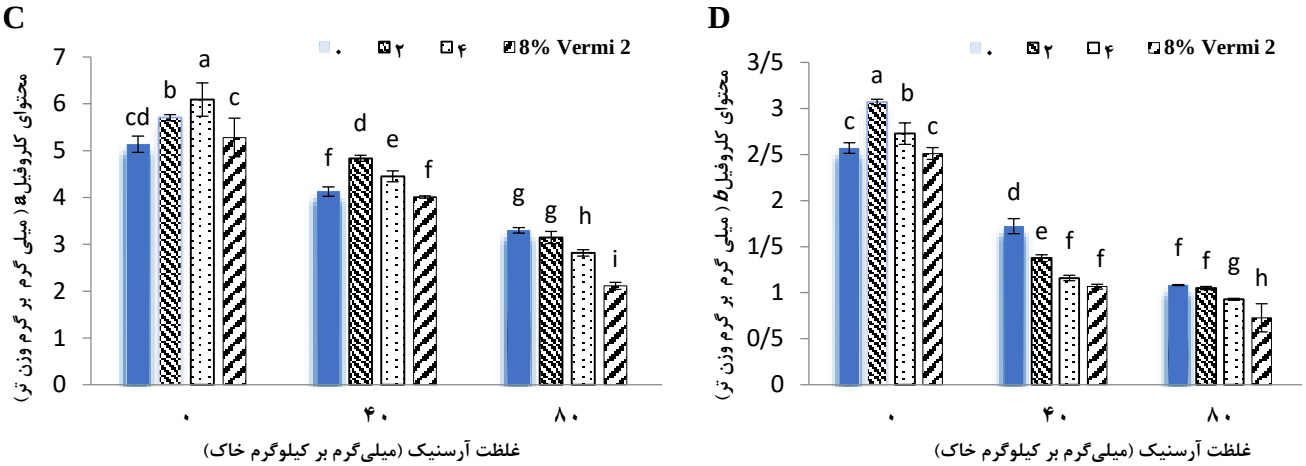
اثر ورمی‌کمپوست بر محتوای کلروفیل *a* و *b* برگ گلرنگ

با توجه به نتایج آنالیز واریانس (جدول ۴) در هر دو آزمایش اثر مستقل آرسنیک و ورمی‌کمپوست بر محتوای کلروفیل *a* و*b* و اثر متقابل آرسنیک و ورمی‌کمپوست بر محتوای کلروفیل *a* در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است. فقط اثر متقابل آرسنیک و ورمی‌کمپوست نوع ۱ بر محتوای کلروفیل *b* معنی‌دار نبوده است.

با افزودن ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک در خاک، محتوای کلروفیل *a* ۲۰ و ۳۳/۶۷ درصد و محتوای کلروفیل *b* ۳۹/۵ و ۵۵/۳ درصد کاهش یافت.

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح ورمی-کمپوست نوع ۱ در خاک، محتوای کلروفیل *a* و *b* در حد معنی‌داری افزایش یافته است بطوری‌که کاربرد تیمار ۸ درصد وزنی این ورمی‌کمپوست در سطوح ۰ و ۴۰ و ۸۰ میلی گرم ارسنیک در کیلوگرم خاک محتوای کلروفیل *a* را ۳۴/۷۸ و ۲۰/۸۸ و ۳۰/۷ درصد و محتوای کلروفیل *b* ۳۷/۲۳ و ۶۴ و ۷۶/۳۵ درصد نسبت به شاهد این گروه‌ها افزایش داد (شکل ۴-A و B).





شکل ۴- اثرات متقابل غلظت‌های مختلف آرسنیک (۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک) و سطوح مختلف (۰، ۲، ۴ و ۸ درصد وزنی) ورمی‌کمپوست نوع ۱ (A و B) و ورمی‌کمپوست نوع ۲ (C و D) بر محتوای کلروفیل a و b در برگ گلرنگ

حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها ± SE بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است

در مقابل اثر افزایش سطح ورمی‌کمپوست نوع ۲ در خاک، موجب کاهش محتوای کلروفیل a و b شد و کاربرد تیمار ۸ درصد وزنی این ورمی‌کمپوست در سطوح ۰ و ۴۰ و ۸۰ میلی گرم ارسنیک در کیلوگرم خاک محتوای کلروفیل a را ۲/۹۵ و ۲/۷۹ و ۳۶ درصد و محتوای کلروفیل b را ۲ و ۳۸ و ۳۲/۸ درصد نسبت به شاهد این گروه‌ها کاهش داد (شکل ۴-C و D).

اثر ورمی‌کمپوست بر غلظت آرسنیک در ریشه و بخش هوایی

با توجه به نتایج آنالیز واریانس (جدول ۵) اثر مستقل و متقابل آرسنیک و ورمی‌کمپوست بر غلظت آرسنیک بخش هوایی و ریشه گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است.

جدول ۵: آنالیز واریانس اثر متقابل غلظت آرسنیک و ورمی‌کمپوست بر میزان آرسنیک ریشه و بخش هوایی و نشت الکترولیت

متغیرها	درجه آزادی	آزمایش اول با ورمی‌کمپوست نوع ۱			آزمایش دوم با ورمی‌کمپوست نوع ۲		
		نشت الکترولیت	آرسنیک ریشه	آرسنیک بخش هوایی	نشت الکترولیت	آرسنیک ریشه	آرسنیک بخش هوایی
غلظت آرسنیک	۲	۶۷۳/۹۲۶**	۱۰۶۷/۷۴۷**	۱۳۱/۰۵۴**	۱۹۵۷/۴۲۵**	۲۴۴۷/۰۷۵**	۲۲۴/۱۴۳**
غلظت ورمی‌کمپوست	۳	۴۸/۱۸۸**	۴/۰۱۲**	۳/۲۵۳**	۱۶۵/۴۷۳**	۱۵۴/۹۶۳**	۲/۵۹۰**
آرسنیک × ورمی‌کمپوست	۶	۱۳/۶۳۹**	۱/۹۶۸**	۱/۵۷۲**	۳۷/۰۷۲**	۵۸/۰۷۸**	۰/۴۴۹**
خطا	۲۴	۰/۳۵۵	۰/۱۱	۰/۲۷	۱/۲۷۴	۰/۳۲۷	۰/۰۵۵

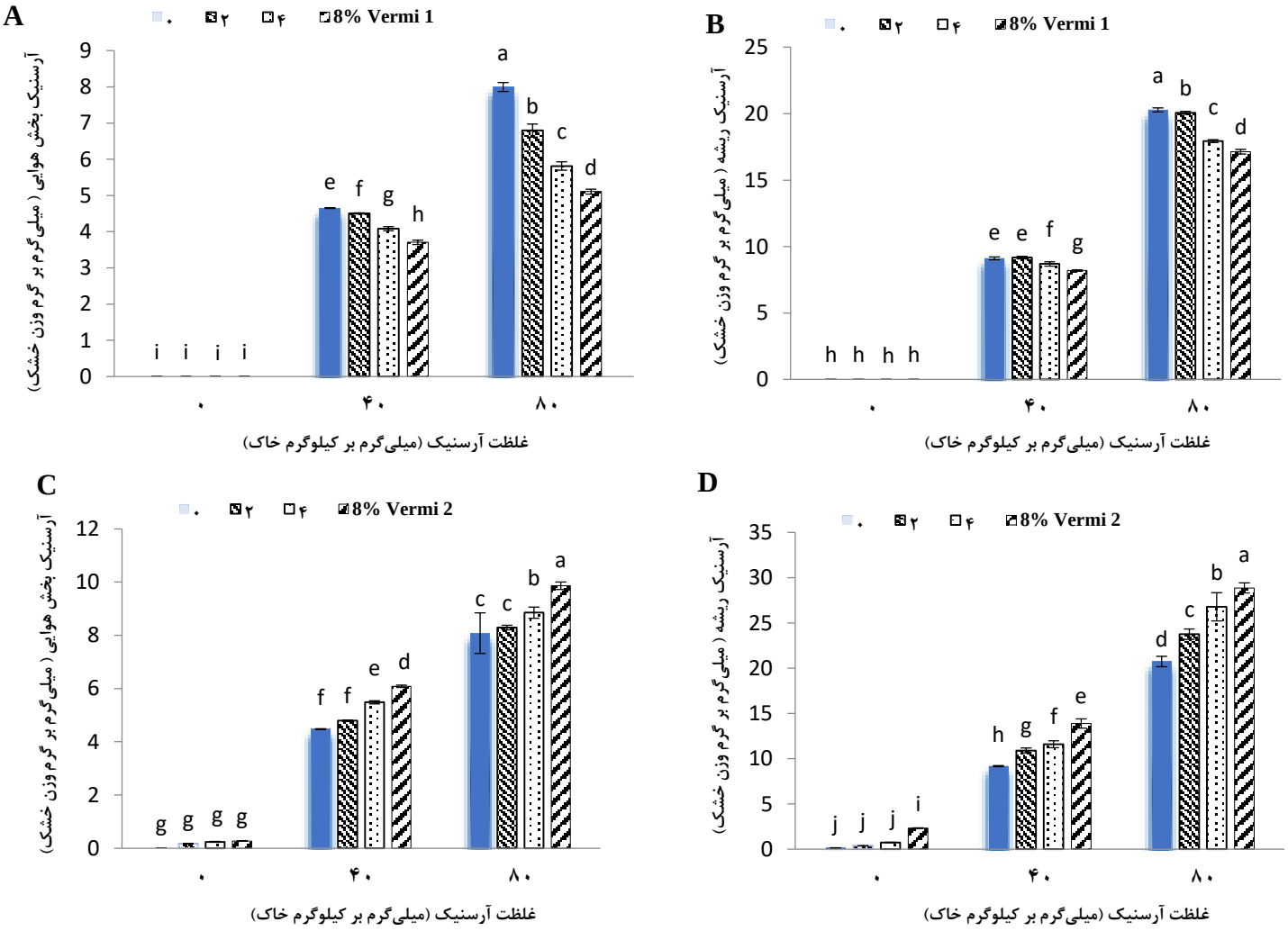
** معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪

با توجه به نتایج شکل ۵ در غلظت صفر آرسنیک خاک کاربرد ورمی‌کمپوست نوع ۱ اثری بر میزان آرسنیک بافتها نداشت اما کاربرد ورمی‌کمپوست نوع ۲ آرسنیک بافتها را افزایش داد که در سطح ۸ درصد ورمی‌کمپوست این اثر معنی‌دار بود.

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۵۴-۱۳۹

در شرایط بدون تنش، افزایش غلظت ورمی‌کمپوست نوع ۱ تاثیر معنی‌داری بر میزان آرسنیک گیاه نداشت اما در سطوح ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک خاک، با افزایش سطح ورمی‌کمپوست نوع ۱ در خاک، غلظت آرسنیک در بخش هوایی و ریشه نسبت به شاهد این گروه‌ها (یعنی تیمار بدون ورمی‌کمپوست) کاهش یافت (شکل ۵-A و B).

در مقابل در سطوح ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک خاک، تیمار ۸ درصد وزنی ورمی‌کمپوست ۲ ، غلظت آرسنیک را در بخش هوایی ۳۵/۷ و ۲۲ درصد و در ریشه ۵۱ و ۳۹ درصد نسبت به شاهد این گروه‌ها (یعنی تیمار بدون ورمی‌کمپوست) افزایش داد (شکل ۵-C و D).



شکل ۵- اثرات متقابل غلظت‌های مختلف آرسنیک (۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک) و سطوح مختلف (۰، ۲، ۴ و ۸ درصد وزنی) ورمی‌کمپوست نوع ۱ (A و B) و ورمی‌کمپوست نوع ۲ (C و D) بر غلظت آرسنیک بخش هوایی و ریشه

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها ± SE بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۵۴-۱۳۹

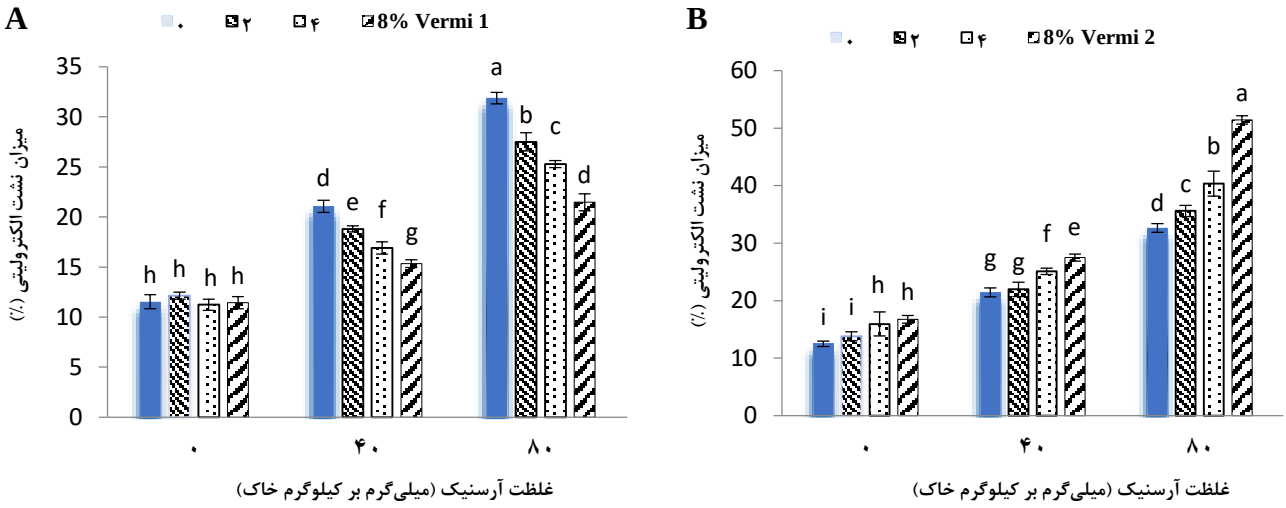
اثر ورمی‌کمپوست بر میزان نشت الکترولیت‌ها در برگ گیاه گلرنگ

با توجه به نتایج آنالیز واریانس (جدول ۵) اثر مستقل و متقابل آرسنیک و ورمی‌کمپوست بر میزان نشت الکترولیتی در برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است.

با افزودن ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک در خاک، میزان نشت الکترولیتی در برگ را ۸۲/۷ درصد نسبت به شاهد این گروه‌ها (یعنی تیمار بدون آرسنیک) افزایش یافت. افزودن ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک در خاک، میزان نشت الکترولیتی در برگ را بیش از ۲/۵ برابر نسبت به شاهد (یعنی تیمار بدون آرسنیک) افزایش داد.

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح ورمی-کمپوست نوع ۱ در خاک، میزان نشت الکترولیتی در برگ در حد معنی داری کاهش یافته است بطوری‌که کاربرد تیمار ۸ درصد وزنی این ورمی‌کمپوست نشت الکترولیتی گیاه را ۲۷/۲ و ۳۲/۶ درصد در سطوح ۴۰ و ۸۰ میلی گرم ارسنیک در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد این گروه‌ها کاهش داد (شکل ۶-A و B).

در مقابل اثر افزایش سطح ورمی‌کمپوست نوع ۲ در خاک، موجب افزایش میزان نشت الکترولیتی در برگ شد و کاربرد تیمار ۸ درصد وزنی این ورمی‌کمپوست نشت الکترولیتی گیاه را ۲۸/۳۲ و ۵۷/۵ درصد در سطوح ۴۰ و ۸۰ میلی گرم ارسنیک در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد این گروه‌ها افزایش داد (شکل ۶-C و D).



شکل۶ – اثرات متقابل غلظت‌های مختلف آرسنیک (۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک) و سطوح مختلف (۰، ۲، ۴ و ۸ درصد وزنی) ورمی‌کمپوست نوع ۱ (A) و ورمی‌کمپوست نوع ۲ (B) بر میزان نشت الکترولیتی در برگ گلرنگ.

حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها ± SE بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

بحث

معمولاً ورمی‌کمپوست یک کود زیستی سازگار با محیط زیست در نظر گرفته می‌شود که در کشاورزی پایدار استفاده از آن توصیه می‌شود. لیکن باید توجه داشت که ورمی-کمپوست‌ها با توجه به مواد اولیه مورد استفاده برای تولید آنها دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند و همین امر سبب می-شود مارک‌های مختلف این کود آلی اثرات متفاوتی بر

ویژگی‌های خاک و رشد گیاهان داشته باشند. بنابراین در اغلب کشورهای جهان استانداردهایی برای عرضه این کود آلی به بازار تعیین شده است. برای مثال طبق استانداردهای جهانی بهتر است pH در محدوده ۶ تا ۷ و EC کمتر از ۲ باشد و محتوای فلزات سنگین آن باید کم و برای آرسنیک کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باشد [۲۸]. بر اساس جدول۲، در ورمی‌کمپوست نوع ۱ pH و EC و محتوای فلزات سنگین و مخصوصا آرسنیک در محدوده مجاز از نظر استانداردهای بین المللی قرار دارد، اما مقادیر این ویژگی‌ها در ورمی‌کمپوست نوع ۲ فراتر از حد مجاز بوده است. احتمالا این تفاوت‌ها ناشی از تفاوت مواد اولیه بکاربرده شده برای تهیه این دو نوع ورمی‌کمپوست است.

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح ورمی-کمپوست نوع ۱ در خاک، غلظت آرسنیک قابل‌جذب در خاک در حد چشمگیری کاهش یافته است (شکل ۱- A) در مقابل افزایش سطح ورمی‌کمپوست نوع ۲ در خاک، موجب افزایش غلظت آرسنیک قابل‌جذب در خاک شد (شکل ۱- B). بطور کلی پیشنهاد شده است که کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوست، بیوچار و کودهای حیوانی با تبدیل فرم‌های قابل دسترس فلزات سنگین به فرم‌های کمتر قابل دسترس مانند اکسیدهای فلزی و کربنات‌های متصل به مواد آلی، فعالیت و تحرک آنها را کاهش می‌دهند. به نظر می‌رسد میزان حضور برخی ترکیبات مانند هیومیک‌اسیدها که با انواع زیادی از فلزات مانند مس، کروم، کادمیوم و سرب باند می-شوند در میزان تثبیت و بی‌تحرک شدن این فلزات در خاک موثر است [۳۸]. با توجه به یکسان بودن شرایط رشد گیاه و صفات خاک در هر دو آزمایش، می‌توان احتمال داد تفاوت pH ، EC و CEC و محتوای فلزات سنگین و مخصوصاً آرسنیک این دو نوع ورمی‌کمپوست موجب تفاوت در دسترسی به آرسنیک خاک برای گیاه شده است. احتمالاً میزان بالاتر ترکیباتی مانند هیومیک اسیدها در ورمی-کمپوست نوع ۱ لیگاندهای قابل اتصال به آرسنیک در خاک را افزایش داده است و در نتیجه سهم آرسنیک قابل‌جذب در خاک در حد چشمگیری کاهش یافته است. البته میزان هیومیک اسیدها در این تحقیق برآورد نشده است و نمی‌توان قاطعانه نظر داد اما اتصال آرسنیک به فولویک و هیومیک اسید موجود در ورمی‌کمپوست در مطالعه سایر محققان نشان داده شده است [۳۶].

نتایج مشابه با هر دو نوع ورمی‌کمپوست، قبلا بوسیله محققان دیگر گزارش شده است. برای مثال مشابه با نتایج حاصل از کاربرد ورمی کمپوست۱، Madrid– Martínez و Marrugo-Negrete [۲۷] نیز اعلام کردند که کاربرد بهبود دهنده‌هایی مانند ورمی‌کمپوست و آهک، میزان دسترسی به فلزاتی مانند سرب و کادمیوم و جیوه و آرسنیک در خاک را کاهش می‌دهد. Wang و همکاران [۳۸] هم گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست، pH و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک را افزایش داد و در نتیجه با اتصال فلزات به محل‌های جذب بار منفی و تشکیل ترکیبات آلی فلزی نامحلول، تحرک فلزات سمی در خاک و در نهایت جذب فلزات سمی توسط گیاه کاهو را کاهش داد. Zuo و همکاران [۳۹] معتقدند ورمی‌کمپوست باعث می‌شود فلزات سنگین به فرم‌های باند شده پایدار در عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار گیرند و این امر ریسک آبشویی و دسترسی آنها برای گیاه را کاهش می‌دهد.

باید توجه داشت که غلظت قابل جذب فلزات سنگین در خاک کم بوده و توزیع فلز در بخش‌های مختلف خاک به میزان مواد آلی، pH، CEC و برخی صفات دیگر خاک بستگی دارد. اگر چه فلزات سنگین تمایل بالایی برای اتصال به مواد آلی خاک نشان می‌دهند و CEC بالاتر ممکن است لیگاندهای بار منفی زیادی را برای اتصال این فلزات فراهم آورد اما در برخی موارد کمپلکس‌های مواد آلی–فلز که تشکیل می‌شوند حلالیت بالایی داشته و در نتیجه ممکن است مشابه با نتایج حاصل از ورمی‌کمپوست نوع ۲ در تحقیق حاضر، تحرک و دسترسی به فلز در خاک را افزایش دهند. Manáková و همکاران [۲۶] گزارش کردند که کاربرد

ورمی‌کمپوست و کمپوست، تحرک و آرسنیک قابل دسترس خاک را افزایش داد. Pan و همکاران [۳۲] گزارش کردند که ورمی‌کمپوست، pH و CEC و مواد آلی خاک را افزایش داد و موجب کاهش کادمیوم قابل جذب در خاک و گیاه شد اما بطور معنی‌داری غلظت آرسنیک در خاک و گیاه را افزایش داد. این محققان معتقدند مواد آلی خاک پتانسیل کاهش دسترسی به فلزات کاتیونی (مانند کادمیوم) اما افزایش رهایی متالوئیدهای آنیونی (مانند آرسنیک) را دارند. این ممکن است مربوط به افزایش pH و CEC و مواد آلی و فسفر محلول باشد [۱۳]. افزایش pH برای جذب فرم‌های آنیون AsO_3^{4-} و AsO_3^{3-} مطلوب نیست و CEC بالاتر ورمی-کمپوست هم، نقاط اتصال بار منفی خاک را افزایش می‌دهد که موجب دفع اکسی‌آنیون‌های آرسنیک در خاک می‌شود [۲۹]. در این مطالعه هم سطوح بالاتر pH و CEC و مواد آلی ورمی‌کمپوست نوع ۲ احتمالاً موجب کاهش اتصال آرسنیک در خاک شده و در نتیجه میزان آرسنیک قابل دسترس در این تیمارها را افزایش داده است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تحت هر دو شرایط بدون تنش و تحت تنش آرسنیک، افزایش سطح ورمی‌کمپوست نوع ۱ موجب شد تعداد بیشتری بذر جوانه زده و گیاهچه های قویتر با سرعت و یکنواختی بیشتر در مدت زمان کمتری در سطح خاک ظاهر شدند (شکل ۲-A و B). بطور مشابهی تیمار با ورمی‌کمپوست باعث افزایش شاخص‌های انرژی، سرعت، شاخص و ضریب ظهور گیاهچه و بنیه وزنی تر گیاه اسفرزه و در مقابل کاهش میانگین زمان ظهور نشاهای اسفرزه در شرایط بدون تنش شد [۸]. با توجه به نقش دسترسی به آب کافی و هورمون‌ها در فرآیند جوانه‌زنی و رشد گیاهچه، احتمالاً نقش ورمی‌کمپوست در بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک و همچنین حضور تنظیم-کننده‌های رشد از جمله اکسین، سیتوکینین و جیبرلین در ورمی‌کمپوست در شرایط بدون تنش آرسنیک در بهبود شاخص‌های ظهور موثر بوده است. همچنین پیشنهاد شده است که در طی فرآیند تهیه ورمی‌کمپوست تقریبا ۵۰ درصد کربن مواد اولیه در طی فرآیند تجزیه هوازی توسط کرم‌ها بصورت CO_2 از دست می‌رود اما ازت نه تنها کم نمی‌شود بلکه در رابطه با افزودن موکوس کرم‌ها و نیز با توجه به کاهش حجم سوبسترای اولیه، غلظت نیترات و آمونیوم در ورمی افزایش هم پیدا می‌کند و افزایش نسبت ازت به کربن و بهبود دسترسی به منابع ازت به جوانه‌زنی و رشد گیاه کمک می‌کند [۱۹] اثر مثبت ورمی‌کمپوست نوع ۱ بر شاخص‌های ظهور تحت تنش آرسنیک احتمالا با کاهش آرسنیک قابل دسترس خاک در اثر تیمار با این نوع ورمی-کمپوست (شکل ۱- A) مرتبط است که موجب کاهش آرسنیک محلول در اطراف دانه و ممانعت از سمیت آن برای ظهور گیاهچه شده است.

در مقابل، کاربرد ورمی‌کمپوست نوع ۲، درصد و سرعت ظهور گیاهچه گلرنگ را کاهش داد (شکل ۲-C و D) که احتمالاً ناشی از EC بالاتر و همچنین سطح بالاتر فلزات سنگین در این نوع ورمی‌کمپوست (جدول۲) می‌باشد. بطور مشابهی، ورمی‌کمپوست حاصل از لجن در رابطه باEC و محتوای فلزات سنگین بالا، درصد جوانه‌زنی چچم زمستانه را کاهش داد. تحت تنش آرسنیک، اثر ورمی‌کمپوست نوع ۲ بر افزایش آرسنیک قابل جذب خاک (شکل ۱-B) موجب کاهش شاخص‌های ظهور نشاهای گلرنگ (شکل ۲-C و D) شده است. کاهش جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه ناشی از افزایش فلزات سنگین قبلاً گزارش شده است [۳]. مطالعه Imran و همکاران [۲۰] هم نشان داد که آرسنیک شاخص-های جوانه‌زنی دانه آفتابگردان را کاهش و میانگین زمان جوانه‌زنی دانه را افزایش داد. آنها پیشنهاد کردند اثر منفی آرسنیک بر جوانه‌زنی و رشد دانه‌رست ناشی از کاهش تقسیم سلولی و رشد طولی سلول است. علاوه بر این آرسنیک با جایگزینی فسفر در مسیر تولید ATP اختلال ایجاد می‌کند و کاهش دسترسی به منابع انرژی فرآیند جوانه-زنی و رشد را محدود می‌کند.

نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک، بیوماس گیاه گلرنگ را کاهش داد (شکل ۳) که مشابه با گزارش Zvobgo و همکاران [۴۰] مبنی بر کاهش بیوماس در برخی ژنوتیپ‌های جو تحت تنش آرسنیک بود. کاهش بیوماس گیاه گلرنگ تحت تنش آرسنیک احتمالا ناشی از کاهش محتوای کلروفیل (شکل ۴) و در نتیجه افت کارایی فتوسنتز و همچنین مرتبط با ایجاد تنش اکسیداتیو (با توجه به افزایش نشت الکترولیت‌ها در (شکل ۶-A) در این گیاه است. آرسنیک بر جذب آب و مواد مغذی ضروری خصوصاً فسفر، اثر منفی دارد و متابولیسم پروتئین و فسفوریلاسیون اکسیداتیو و فتوسنتز را در گیاه کاهش می‌دهد و باعث پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی می‌شود و در نتیجه موجب کاهش رشد گیاه می‌شود [۱۵]. کاربرد ورمی‌کمپوست نوع ۱، نه‌تنها در شرایط نرمال بلکه تحت تنش آرسنیک نیز باعث افزایش محتوای کلروفیل (شکل ۴-A و B) و در نتیجه افزایش بیوماس گیاه گلرنگ (شکل ۳-A) نسبت به گیاهان شاهد شد. بطور مشابهی Karmakar و Prakash [۲۲] گزارش کردند که آرسنیک ارتفاع و سطح برگ و ماده خشک بخش هوایی و محتوای کلروفیل را در گیاه گندم را کاهش داد و کاربرد ورمی‌کمپوست این پارامترهای رشد را بهبود داد. ورمی-کمپوست غنی از مواد آلی است که می‌تواند باعث افزایش تخلخل خاک و در نتیجه کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شود و با دارا بودن محتوای بالای نیتروژن و فسفر و سایر مواد مغذی، حاصلخیزی خاک و رشد گیاه را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند ایندول‌استیک اسید، GA_3 و کینتین در ورمی‌کمپوست می‌تواند به عنوان یکی از دلایل احتمالی برای کمک به افزایش رشد و عملکرد گیاه باشد [۳۴]. هیومیک اسید موجود در ورمی‌کمپوست نیز در افزایش رشد گیاه موثر است زیرا رشد ریشه گیاه را تحریک می‌کند و دسترسی و جذب عناصر مغذی از خاک را تسهیل می‌نماید. بر اساس نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد کاربرد ورمی‌کمپوست نوع ۱ علاوه بر مکانیسم‌های بالا، از طریق کاهش دادن میزان آرسنیک قابل جذب خاک، جذب و تجمع آرسنیک در ریشه و بخش هوایی گلرنگ را کاهش داده است (شکل ۵-A و B) و همین امر به حفظ کلروفیل و احتمالاً توانایی فتوسنتز بهتر کمک کرده است و در نتیجه بیوماس گیاه گلرنگ را افزایش داده است. اثر ورمی‌کمپوست نوع ۱ بر کاهش جذب و تجمع آرسنیک در ریشه و بخش هوایی گلرنگ (شکل ۵-A و B) موجب کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از سمیت آرسنیک در این گیاه شده است. بطوری که میزان نشت الکترولیت‌ها به عنوان یک شاخص تخریب غشاها در برگ این گیاهان کاهش یافته است (شکل ۶-A). بطور مشابهی Landorfa-Svalbe و همکاران [۲۳] دریافتند که کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست میزان جذب سرب در ذرت را کاهش داد و همچنین در رابطه با تامین ازت بیشتر برای گیاه، محتوای کلروفیل را افزایش داد و در نتیجه موجب بهبود شاخص‌های رشد و بیوماس گیاه شد. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست سبب کاهش میزان سرب و کادمیوم در خاک، ریشه و ساقه گیاه آفتابگردان زینتی شد و در نتیجه موجب رشد بهتر و افزایش سطح تحمل گیاه به این فلزات سنگین شد [۹].

از سوی دیگر با افزایش سطح ورمی‌کمپوست نوع ۲ در خاک، محتوای کلروفیل برگ (شکل ۴-C و D) و بیوماس گیاه گلرنگ (شکل ۳-B) کاهش یافت که احتمالاً با شوری بالا و محتوای بالای فلزات سنگین و مخصوصاً آرسنیک در این ورمی‌کمپوست مرتبط است. علاوه بر این همانطور که قبلا ذکر شد کاربرد ورمی‌کمپوست نوع ۲، فراهمی آرسنیک در بخش محلول خاک را افزایش داده (شکل ۱-B) و در نتیجه موجب جذب و تجمع بیشتر فلز در گیاه شد (شکل ۵-C و D) و سمیت این شبه فلز در گیاه منجر به کاهش محتوای کلروفیل و افت رشد گیاه شد. معلوم شده است که غلظت بالای آرسنیک در برگ مانع از بیوسنتز کلروفیل در گیاهان می‌شود. علاوه بر این تنش اکسیداتیو ناشی از تجمع آرسنیک موجب تخریب زودهنگام رنگدانه‌های فتوسنتزی

می‌شود [۱۴]. در مطالعه حاضر، با افزایش سطح ورمی-کمپوست نوع ۲ در خاک، در شرایط بدون تنش آرسنیک، میزان نشت الکترولیت‌ها با کاربرد ۲ درصد این کود نسبت به شاهد بطور معنی‌داری تغییر نکرد اما در سطح ۸ درصد این نوع ورمی‌کمپوست میزان نشت الکترولیت‌ها به ملایمت افزایش یافت (شکل ۶-B) که احتمالاً ناشی از اثر شوری بالا و محتوای بالای فلزات سنگین و مخصوصا آرسنیک در این ورمی‌کمپوست بوده است و افزایش میزان آرسنیک در گیاهان تیمار شده با ورمی‌کمپوست نوع ۲ تحت شرایط بدون تنش آرسنیک این نتیجه را تایید می‌کند. به هر حال تحت تنش آرسنیک، میزان نشت الکترولیت‌ها با کاربرد همه سطوح ورمی‌کمپوست نوع ۲ بطور چشمگیری افزایش یافت (شکل ۶-B). احتمالاً ورمی‌کمپوست نوع ۲ با افزایش غلظت آرسنیک در گیاه، باعث اختلال در وضعیت اکسید و احیای سلول و تولید گونه‌های فعال اکسیژن ROS شده است. سپس این گونه‌های فعال اکسیژن موجب تخریب و پراکسیداسیون چربی‌های غشا و در نتیجه افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها شده و تجزیه کلروفیل در برگ را تسریع کرده‌اند. مشابه با نتایج حاصل از ورمی‌کمپوست نوع ۲، یک تحقیق نشان داد که سمیت ناشی از آرسنیک در برگ‌های گیاه باعث کاهش محتوای کلروفیل و افت کارایی فتوسنتز در گیاهچه برنج شد و در نتیجه رشد گیاه را کاهش داد [۱۵]. برخی تحقیقات دیگر هم افزایش انباشت فلز در گیاه در اثر تیمار با ورمی‌کمپوست را نشان داده‌اند. برای مثال Angelovaو همکاران [۱۲] گزارش کردند که استفاده از ورمی‌کمپوست جذب فلز کادمیوم را در برگ گیاه سیب-زمینی افزایش داد. همچنین افزایش جذب نیکل در بخش هوایی گیاه ذرت تقویت‌شده با ورمی‌کمپوست گزارش شده است. اما این محققان گزارش نمودند که تیمار با ورمی-کمپوست علیرغم افزایش تجمع فلز در گیاه، رشد گیاه را بهبود داده است. احتمالا این تفاوت نتایج مربوط به نوع و مقدار فلز سنگین، تفاوت سطح تحمل گیاهان به فلز مورد آزمایش و میزان و ویژگی‌های ورمی‌کمپوست بکار رفته در این تحقیقات می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ورمی‌کمپوست نوع ۲ به دلیل شوری (EC = ۶/۴۷) و اسیدیته بالا (pH =۸/۴۵) و همچنین مقادیر بالای فلزات سنگین و بطور خاص آرسنیک طبق استانداردهای بین‌المللی نباید در کشاورزی استفاده شود. دو نوع ورمی‌کمپوست اثر متفاوتی داشتند. ورمی-کمپوست نوع ۱، غلظت آرسنیک در گیاه گلرنگ را کاهش و در نتیجه پارامترهای رشد گیاه را بهبود داد، در مقابل ورمی‌کمپوست نوع ۲، اثر معکوس داشت. این نتایج ناشی از تفاوت ویژگی‌هایی مانند میزان EC و pH و CEC و محتوای بالای فلزات سنگین و مخصوصاً آرسنیک این دو نوع ورمی‌کمپوست بود که باعث شد میزان آرسنیک قابل دسترس خاک با کاربرد ورمی‌کمپوست نوع ۱، کاهش و با استفاده از ورمی‌کمپوست نوع ۲ افزایش یابد. بنابراین می-توان نتیجه‌گیری کرد که باید نظارت دقیق برای رعایت استانداردها در تولید ورمی‌کمپوست وجود داشته باشد تا از آلودگی خاک و محصولات زراعی به آلاینده‌هایی مانند آرسنیک جلوگیری شود.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان از دانشگاه شهرکرد برای پشتیبانی مالی این پژوهش در قالب رساله دکتری سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان برای در اختیار گذاشتن گلخانه و تجهیزات آزمایشگاهی تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

۱. ایگدهلو ن خ م. گلچین ا. (۱۳۹۸). ارزیابی خطر آلودگی منابع آب و خاک کشور به آرسنیک. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۷. صفحات ۱۶۱۷-۱۶۱۲. DOI: 10.22059/ijswr.2019.274404.668103

۲. بلوچی ح. امینی ف. ، دهنوی م م. عطارزاده م. (۱۳۹۷). تأثیر ترکیبات مختلف بستر کاشت بر انباشتگی فلزات سنگین در لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.). پژوهش‌های حبوبات ایران، جلد۹ شمارۀ۲ ، صفحۀ ۵۴-۴۱ . 10.22067/IJPR.V9I2.55252 DIO.

۳. بنی‌شریف ع. عموآقایی ر. (۱۳۹۹). اثر پیش‌تیمار لیزر بر شاخص‌های جوانه‌زنی دانه، فعالیت آلفا آمیلاز و رشد دانه‌رست خار مریم (*Silybum marianum* L.) در شرایط نرمال و تحت تنش سرب. مجله پژوهش‌های گیاهی، جلد ۳۳، شماره ۲. صفحات ۳۵۲-۳۳۹. DOI. 20.1001.1.23832592.1399.33.2.6.8

۴. پاست و. مصداقی‌نیا ع ر. نادری م. (۱۳۹۵). تعیین آلودگی فلزات سمی به روش استخراج در ۶ مارک ورمی‌کمپوست حاصل از پسماندهای آلی شهر تهران. مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران. دوره نهم، شماره دوم، صفحات ۲۹۸ تا ۲۸۹.

۵. شایسته‌فر م ر. شفیعی ن. شیرانی ح. ، رضایی ع. کارگر م ر. (۱۳۹۱) توزیع عناصر آرسنیک و سلنیوم در خاک‌های اطراف معدن مس سرچشمه کرمان. نشریه آب و خاک. جلد ۲۶ شماره ۳. صفحات ۵۴۴-۵۳۳. DOI 10.22067/JSW.V0I0.14862.

۶. عبدوسی س. (۱۳۹۷). اثرات کادمیوم و ورمی‌کمپوست بر برخی پارامترهای رشدی گیاه . *Spinacea oleracea* L. تغذیه گیاهان باغی. دوره اول، شماره ۲ ، صفحات ۳۶-۲۵.

۷. عموآقایی ر. بقایی م. ۱۳۹۳. اثر وابسته به غلظت ورمی‌کمپوست و عصاره آن بر جوانه‌زنی بذر و رشد رویشی سیاهدانه. مجله پژوهش‌های گیاهی. جلد ۲۷. شماره ۴. صفحات ۷۰۲-۶۹۱. DOR. 20.1001.1.23832592.1393.27.4.16.0.

۸. مردانی ف. عموآقایی ر. (۱۳۹۵). اثر عصاره ورمی‌کمپوست و ورمی‌کمپوست جامد بر ظهور و پارامترهای رشد گیاه اسفرزه *(psyllium Plantago)*. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال ۷، شماره ۲۵، صفحات ۱۲- ۱ .

۹. مژدهی ف. تقی‌زاده م. بقائی ا. ح. ، چنگیزی م. خاقانی ش. (۱۴۰۱). اثر سرب و کادمیوم در مرحله جوانه‌زنی و کاربرد ورمی‌کمپوست در پالایش آلودگی همزمان توسط آفتابگردان زینتی *Helianthus annuus* cv. Sungold ، فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۱ ، شماره ۷۴ ، صفحه ۱۲۸-۱۰۹. DOR: 20.1001.1.23222727 .1401.11.47.22.1

۱۰. موسوی م. بهمنیار م ع. پیردشتی ه. (۱۳۹۰). وضعیت نیکل و کروم در خاک و گیاه برنج تحت تیمار با ورمی‌کمپوست. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد اول، شماره اول، صفحات ۶۳-۴۳.

11. Amooaghaie R. Golmohammadi S. (2017). Effect of vermicompost on growth, essential oil, and health of *Thymus Vulgaris*. Compost Sci Util. 25(3): 166-177. https://doi.org/10.1080/1065657X.2016.1249314

12. Angelova V. Ivanona R. Pevicharova G. Ivanov K. (2010). Effect of organic amendments on heavy metals uptake by potato plants. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1– 6 August 2010, Brisbane, Australia, 84-87.

13. Beesley L. Inneh OS. Norton GJ. Moreno-Jimenez E. Pardo T. Clemente R. Dawson JJC. (2014). Assessing the influence of compost and biochar amendments on the mobility and toxicity of metals and arsenic in a naturally contaminated mine soil. Environ. Pollut. 186: 195–202. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.11.026

14. Chandrakar V. Naithani SC. Keshavkant S. (2016). Arsenic-induced metabolic disturbances and their mitigation mechanisms in crop plants: A review. Biologia. 71: 367–377. https://doi.org/10.1515/biolog-2016-0052

15. Das SA. Biswas K. (2022). Comparative study of silicon and selenium to modulate chloroplast pigments levels, Hill activity, photosynthetic parameters and carbohydrate metabolism under arsenic stress in rice seedlings. Environ Sci Pollut Res. 29: (13): 19508-19529. https://doi.org/10.1007/s11356-021-16836-5

16. Delshad E. Yousefi M. Sasannezhad P. Rakhshandeh H. Ayati, Z. (2018). Medical uses of *Carthamus tinctorius* L. (Safflower): a comprehensive review from traditional medicine to modern medicine. Electron. Physician. 10(4): 6672. https://doi.org/10.19082/6672

17. Dionisio-Sese ML. Tobita S. (1998). Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. Plant Sci. 135: 1–9. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00025-9

18. Gee GW. Bauder JW. (1986). Partical size analysis. In: A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. ASA and SSSA, Madison, WI. p. 383-411.

19. Hu W. Huang B. Tian K. Holm PE. Zhang Y. (2017). Heavy metals in intensive greenhouse vegetable

production systems along Yellow Sea of China: Levels, transfer and health risk. Chemosphere. 167: 82- 90. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.122

20. Imran MA. Sajid ZA. Chaudhry, MN. (2015). Arsenic (As) toxicity to germination and vegetative growth of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pol J Environ Stud. 24(5): 1993–2002. https://doi.org/10.15244/pjoes/39553

21. Karak T. Abollino O. Bhattacharyya P. Das KK. Paul RK. (2011). Fractionation and speciation of arsenic in three tea gardens soil profiles and distribution of As in different parts of tea plant (*Camellia sinensis* L.). Chemosphere. 85(6): 948-960. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.06.061

22. Karmakar S. Prakash P. (2019). Ameliorative effect of zinc and vermicompost on physiological and yield attributes in wheat (*Triticum aestivum* L.) under arsenic toxicity. J Pharmacogn Phytochem. 8(4): 180-183

23. Landorfa-Svalbe Z. Vikmane M. Ievinsh G. (2022). Vermicompost amendment in soil affects growth and physiology of *Zea mays* plants and decreases pb accumulation in tissues. Agriculture. 12(12): 2098. https://doi.org/ 10.3390/agriculture12122098

24. Lichtenthaler HK. Wellburn AR. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591–592. https://doi.org/10.1042/bst0110591.

25. Makkar C. Singh J. Parkash C. Singh S. Vig, AP. Dhaliwal SS. (2023). Vermicompost acts as bio-modulator for plants under stress and non-stress conditions. Environ Dev Sustain. *25*(3): pp.2006-2057.

26. Maňáková B. Kuta J. Svobodová M. Hofman J. (2014). Effects of combined composting and vermicomposting of waste sludge on arsenic fate and bioavailability. J Hazard Mater. 280: 544-551. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.08.024

27. Martínez Madrid DE. Marrugo-Negrete J. (2021). Effects of adding amendments on the immobilization of heavy metals in mining soils of southern Bolívar, Colombia. Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 22(2): e2272.

https://doi.org/ 10.21930/rcta.vol22_num2_art:2272

28. Max-Ikechebelu JO. Falusi OA. Bolaji OM. (2022). Physiochemical parameters of composited cow and goat waste as mitigation to municipal waste. Science. 10(4): 165-181.

29. Mehmood T. Bibi I. Shahid, M. Niazi NK. Murtaza B. Wang H. Ok YS. Sarkar B. Javed MT. Murtaza G. (2017). Effect of compost addition on arsenic uptake, morphological and physiological attributes of maize plants grown in contrasting soils. J Geochem Explor. 178: 83–91. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.03.018

30. Mulvaney R.L. 1996. Nitrogen–inorganic forms. In: D.L. Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI. p. 1123–1184. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c38

31. Nelson DW. Sommers LE. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: D.L. Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI. p. 961–1010. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34.

32. Pan P. Beibei L. Lin W. Bigui L. Qinfen L. (2022). Optimal remediation strategies for simultaneously immobilizing arsenic and cadmium using combination of vermicompost and zero-valent iron in two soil types. Environ Technol Innov. 28: 102807. https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102807

33. Rani N. Singh M. (2022). Remediation of soil impacted by heavy metal using farm yard manure, vermicompost, biochar and poultry manure. Soil Science-Emerging Technologies, Global Perspectives and Applications. https://doi.org/10.5772/intechopen.105536

34. Ravindran B. Contreras-Ramos SM. Sekaran G. (2015). Changes in earthworm gut associated enzymes and microbial diversity on the treatment of fermented tannery waste using epigeic earthworm *Eudrilus eugeniae*. Ecol Eng. 74: 394-401. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.10.014

35. Ross DS. Ketterings Q. (1995). Recommended methods for determining soil cation exchange capacity. Recommended soil testing procedures for the northeastern United States. 493(101): p.62.

36. Sengupta S. Bhattacharyya K. Mandal J. Chattopadhyay AP. (2022). Complexation, retention and release pattern of arsenic from humic/fulvic acid extracted from zinc and iron enriched vermicompost J Environ Manage. 318: 115531. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115531

37. Singh R. Singh S. Parihar P. Singh VP. Asad SM. (2015). Arsenic contamination, consequences and remediation techniques: A review. Ecotoxicol Environ Saf. 112: 247–270. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.10.009

38. Wang F. Zhang W. Miao L. Ji T. Wang Y. Zhang H. Ding Y. Zhu W. (2021). The effects of vermicompost and shell powder addition on Cd bioavailability, enzyme activity and bacterial community in Cd-contaminated soil: A field study. Ecotoxicol Environ Saf. 215: 112163. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112163

39. Zuo W. Xu K. Zhang W. Wang Y. Gu C. Bai Y. Shan Y. Dai Q. (2019). Heavy metal distribution and uptake by maize in a mudflat soil amended by vermicompost derived from sewage sludge. Environ Sci Pollut Res Int. 26(29): 30154-30166. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06184-w

40. Zvobgo G. Lwalaba JLW. Sehar S. Mapodzeke JM. Shamsi IH. Zhang G. (2018). The tolerance index and translocation factor were used to identify the barley genotypes with high arsenic stress tolerance. Commun Soil Sci Plant Anal. 49(1): 50-62. https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1421645.

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۵۴-۱۳۹

Comparison of the effect of two types of vermicompost on available arsenic in soil, growth and arsenic accumulation in *Carthamus tinctorius* L.

Salari H.[1,3], Amooaghaie R.[1,2] and Mozafari H.[3]

[1] Department of Plant Science, Faculty of Science, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. of Iran

[2] Biotechnology Research Institute, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. of Iran

[3] Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, I.R. of Iran

Abstract

Arsenic (As), is a very toxic metalloid that has detrimental effects on plant growth and causes health risks to humans. It has been suggested that the addition of organic amendments can reduce mobility of metal(loid)s in soil, and improve plant growth in contaminated soil. Therefore, in this study, the effect of applying two types of vermicompost (0, 2, 4 and 8% w/w) on growth of *Carthamus tinctorius* in As-spiked soils (0, 40 and 80 mg/kg) was investigated in two separate experiments. The results showed that increasing As level in soil, decreased emergence percentage, the content of chlorophyll *a, b* in the leaves and the dry weight of the plant and increased the mean time of emergence and electrolyte leakage levels in leaves. With increasing dose of vermicompost, emergence percentage, the content of chlorophyll *a, b*, plant dry weight increased with the use of vermicompost type 1 but decreased with applying vermicompost type 2 under both non-stress and As stress conditions. Vermicompost type 1 decreased available As in soil and As concentration in roots and aerial parts of safflower, but vermicompost type 2 increased these attributes. The comparison of the quality of these two types of vermicompost showed that the difference in the content of heavy metals especially As, pH, EC and CEC in these two types of fertilizers has affected the content of available As in the soil is reason that these two types of vermicompost have different effects on growth and arsenic accumulation in safflower.

Keywords: Arsenic, Chlorophyll, Electrolyte leakage, Emergence percentage