

## تأثیر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های ریشی و غلظت کادمیوم، روی و سرب در ذرت در یک خاک آلوده به عناصر سنگین

شفق مولایی، حسین شیرانی، محسن حمیدپور، حسین شکفته و علی اصغر بسالت پور<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۲۶)

### چکیده

به منظور بررسی اثر اصلاح‌کننده‌های آلی (ورمی کمپوست، پوست پسته و پوسته میگو) بر تثبیت کادمیوم، روی و سرب در یک خاک آلوده و قابلیت دسترسی این عناصر توسط گیاه ذرت، آزمایش گلخانه‌ای انجام شد. در این پژوهش اثر اصلاح‌کننده‌های آلی (ورمی کمپوست، پوست پسته و پوسته میگو) در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ درصد وزنی با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. گیاهان در شرایط گلخانه به مدت ۲ ماه رشد نمودند. پس از دو ماه، گیاهان از محل طوقه قطع و اندام هوایی گیاه جدا گردید. صفات اندازه‌گیری شده شامل فلورسانس متغیر به حداکثر (Fv/Fm)، شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI)، شاخص سبزیگی، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاه و غلظت عناصر روی، کادمیوم و سرب در ریشه و اندام هوایی گیاه بود. نتایج نشان داد افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی به خاک موجب کاهش مقدار pH و افزایش EC خاک شد. ویژگی‌های ریشی گیاه مانند شاخص سبزیگی برگ، سطح برگ، شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی، کلروفیل فلورسانس و وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاه در تیمارهای ورمی کمپوست و پوست پسته به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. درحالی‌که در تیمار پوست میگو گیاهان پس از دو هفته خشک شدند. نتایج نشان داد که با افزایش ورمی کمپوست و پوست پسته غلظت کادمیوم، سرب و روی در ریشه و اندام هوایی گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

کلمات کلیدی: آلودگی، عناصر سنگین، محیط زیست، پالایش

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان

\*مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.hamidpour@vru.ac.ir

## مقدمه

یکی از مهم‌ترین سیاست‌های زیست محیطی در کشورهای صنعتی و در حال توسعه، پالایش خاک‌ها و آب‌های آلوده به عناصر سنگین است (۲۱). امروزه مناطق وسیعی از دنیا تحت تأثیر آلودگی عناصر سنگین قرار گرفته‌اند که توسعه صنعتی در کشورها را می‌توان یکی از عوامل مهم این فرآیند برشمرد (۳). بیشترین آلودگی به عناصر سنگین در مناطق صنعتی، اطراف شهرهای بزرگ و معادن وجود دارد. یکی از مشکلات اصلی این مناطق، کشاورزی است، زیرا فلزات سنگین ابتدا به گیاهان منتقل و سپس وارد زنجیره غذایی انسان می‌گردند (۱۸). آزادسازی کاتیون‌های عناصر سنگین در محیط زیست، یک خطر بزرگ برای سلامتی انسان محسوب می‌شود (۲۰).

کادمیم و سرب از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی محسوب می‌شوند و در فهرست سازمان محیط زیست آمریکا به عنوان خطرناک‌ترین فلزات سنگین معرفی شده‌اند (۲۱). نقش بیولوژیکی خاصی برای این عناصر در گیاهان شناخته نشده است. در سالیان اخیر، توجه ویژه‌ای به آلودگی زیست محیطی فلزات سنگین به ویژه کادمیم و سرب شده است. متوسط جهانی غلظت کادمیم و سرب در خاک به ترتیب ۰/۰۶ تا ۱/۱ و ۱۰ تا ۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱۳). متوسط مقادیر گزارش شده این عناصر در خاک‌های ایران قابل مقایسه با متوسط جهانی است (۴). متوسط غلظت کل کادمیم و سرب در خاک‌های مناطق مرکزی ایران را به ترتیب ۱/۶۷ و ۲۵/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش و مهم‌ترین مسیر ورود کادمیم و سرب به خاک‌های زراعی این مناطق را به ترتیب استفاده از کودهای فسفاته و کودهای دامی گزارش نموده‌اند (۴).

بررسی‌ها نشان داده است که فلزات سنگین از جمله کادمیم در غلظت بالا، باعث کاهش حجم ریشه و کاهش وزن بافت‌های گیاه می‌شوند (۱۶). این فلزات بر روی انسان و حیوانات نیز اثر مخرب دارند (۲۳). بنابراین حذف فلزات

سنگین، یک عامل اساسی برای حفاظت محیط زیست و سلامت انسان است (۱۰).

علائم سمیت سرب در گیاهان به صورت تیره شدن رنگ برگ‌ها، توقف رشد قسمت هوایی، کاهش زیست توده، کاهش سنتز کلروفیل و حتی ناهنجاری‌های کروموزومی دیده شده است (۱۳). علائم سمیت کادمیم در گیاهان به صورت تعویق رشد گیاه، آسیب ریشه، کلروز برگ‌ها، قرمز-قهوه‌ای شدن حاشیه بزرگ یا رگبرگ‌ها گزارش شده است (۱۳).

پالایش خاک‌های آلوده به عناصر سنگین که خطر شدیدی برای سلامتی و محیط زیست محسوب می‌شود، به‌سختی امکان‌پذیر است. در سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی در جهت رفع آلودگی از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین با به‌کارگیری مجموعه‌ای از تکنیک‌های درجا و غیردرجا انجام شده است.

هیچ‌یک از این روش‌ها راه حل دائمی برای پالایش محیط‌های آلوده نبوده و اغلب ممکن است بیش از یک روش برای بهینه‌سازی پالایش لازم باشد. یکی از تکنیک‌های متداول برای اصلاح خاک‌های آلوده، تثبیت فلزات سنگین در خاک می‌باشد (۲۱). به‌علت اهمیت قیمت تمام‌شده در روش مورد استفاده برای پالایش، امروزه توجه جهانی بر گسترش استفاده از مواد طبیعی روش مبتنی بر تثبیت شیمیایی معطوف شده است. این تکنیک با استفاده از مواد طبیعی با سطح ویژه زیاد و تمایل شدید جذب برای فلزات سنگین انجام می‌گیرد. بسیاری از انواع زائادات حاصل از محصولات کشاورزی و صنایع غذایی، ظرفیت جذبی خوبی برای فلزات سنگین نشان داده‌اند. ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان و صادرکنندگان پسته در جهان است. تولید پسته در ایران در حدود ۲۰۰ هزار تن در سال برآورد می‌شود. ضایعاتی مانند تفاله پسته، بسیار ارزان‌قیمت و حتی رایگان بوده و می‌توانند به‌راحتی مورد استفاده قرار گیرند. در خصوص تأثیر مواد آلی مانند پوسته پسته، پوسته میگو و ورمی‌کمپوست بر تثبیت عناصر سنگین در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین نیز پژوهش‌های چندانی صورت نگرفته است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر پوسته پسته،

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از انجام آزمایش

ویژگی	مقدار
رس (درصد)	۳۱
سیلت (درصد)	۸
شن (درصد)	۶۱
روی کل (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۱۱۰۰
سرب کل (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۱۶۶
کادمیوم کل (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۲۶
ماده‌ی آلی (درصد)	۱/۷۲
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۱۴
پی-اچ	۸
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۳۵
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار مثبت در کیلوگرم)	۱۲/۳۶

پوسته میگو و ورمی‌کمپوست در یک خاک آلوده به کادمیم و سرب و روی بر برخی پارامترهای رویشی گیاه ذرت و غلظت این عناصر در گیاه بود

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در محل گلخانه دانشگاه ولی عصر رفسنجان در تاریخ مرداد ماه ۱۳۹۲ انجام شد. ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این پژوهش، از شرکت کیان کمپوست شیراز تهیه گردید. پوسته میگو مورد استفاده از مراکز فروش ماهی و میگو و پوسته پسته از باغ‌های اطراف رفسنجان تهیه شد. یک نمونه خاک، با بافت لوم، آلوده به عناصر سنگین روی، سرب و کادمیوم از اطراف کارخانه روی زنجان تهیه شد. نمونه خاک پس از هواخشک شدن در گلخانه، از الک دو میلی‌متری عبور داده و به منظور تعیین برخی خواص فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شد (جدول ۱). ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری عبارت بودند از: بافت خاک، تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، ظرفیت زراعی، میزان آهک خاک، ماده آلی، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک و پی-اچ خاک با استفاده از پی-اچ

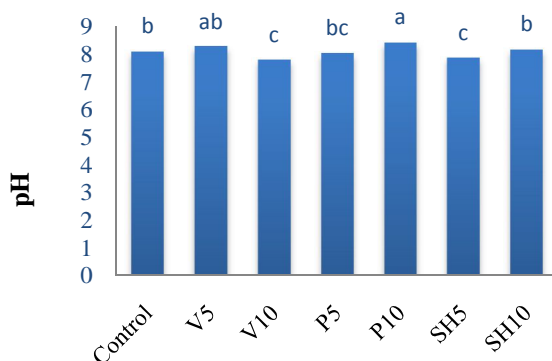
متر در گل اشباع.

برای تعیین غلظت کل سرب و کادمیوم در خاک، نمونه‌های خاک با استفاده از تیزاب سلطانی (مخلوط اسید کلریدریک ۳۷ درصد و اسید نیتریک ۶۵ درصد با نسبت سه به یک) به مدت دو ساعت در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس هضم گردید و غلظت سرب و کادمیم عصاره‌ها با دستگاه جذب اتمی (GBC- Avanta-PM Australia) اندازه‌گیری شد.

قبل از ریختن خاک در گلدان‌ها، ابتدا مقادیر معین اصلاح‌کننده‌های آلی و اصلاح‌کننده‌های معدنی ذکر شده مطابق با طرح آماری موردنظر به خاک‌ها در کیسه‌های نایلونی افزوده شد. خاک موجود در هر کیسه به‌خوبی مخلوط و به داخل گلدان‌های یک کیلوگرمی منتقل و به مدت یک ماه تحت شرایط تر و خشک شدن متوالی قرار گرفتند تا سیستم به حالت شبه تعادل برسد.

این آزمایش با ۳ تیمار ورمی‌کمپوست، پوست پسته و پوسته میگو در سه سطح صفر، ۵، و ۱۰ درصد وزنی با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گردید.

بذر ذرت هیبرید سینگل گراس ۷۰۴ تهیه گردید. بذر



شکل ۱. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V)، پوست پسته (P) و پوست میگو (SH) در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد بر پی-اچ خاک (دانکن ۵ درصد)

سبزی‌نگی برگ اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری دو ویژگی فلورسانس کلروفیل و شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی، توسط دستگاه Chlorophyll Fluorimeter (ساخت کشور انگلیس، مدل LTDPocket PEA Hansatech) انجام شد. برای اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی برگ (SPAD) که نشان‌دهنده میزان کلروفیل است، از دستگاه SPAD-502 استفاده شد.

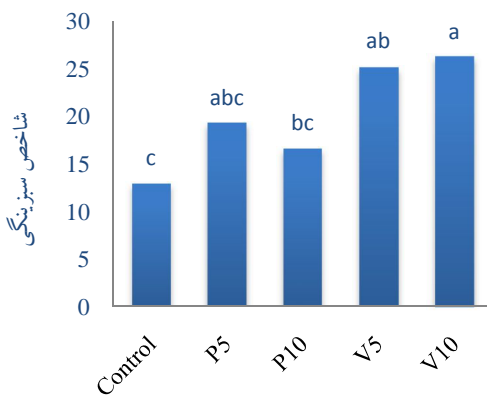
در پایان داده‌های به دست آمده از این پژوهش، توسط نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و نمودارها و جدول‌های مربوطه با استفاده از برنامه‌های Word و Excel رسم و نتایج تفسیر گردیدند.

## نتایج و بحث

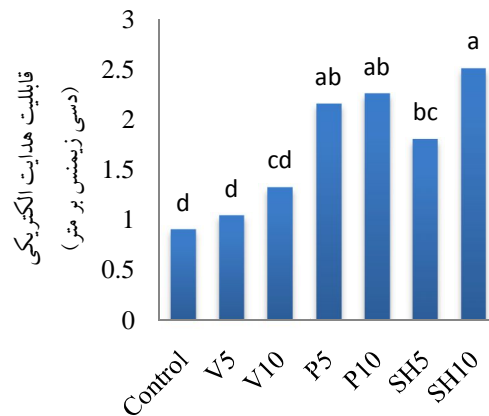
### اثر اصلاح‌کننده‌ها بر pH و EC خاک

براساس شکل ۱، ورمی کمپوست در سطح ۱۰٪، پوسته میگو در سطح ۵٪ و پوست پسته در سطح ۵٪ به‌طور معنی‌داری پی-اچ خاک را کاهش دادند. کاهش پی-اچ خاک ممکن است به دلیل تولید آمونیم و فرایند نیتریفیکاسیون، تولید دی‌اکسید کربن و اسیدهای آلی در نتیجه تشدید فعالیت میکروبی با افزودن این تیمارها به خاک باشد. نتایج مطالعه اکبری (۱) نیز نشان داد که مواد آلی باعث کاهش پی-اچ خاک می‌شود. کمترین میزان پی-اچ مربوط به تیمار پوست پسته در سطح ۵ درصد است که

با سم راکسل (تبوکوراول) ضد عفونی شدند. در هر گلدان تعداد ۶ عدد بذر ذرت کشت گردید و رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد. پس از گذشت ده روز از استقرار گیاهان در گلدان‌ها، بوته‌های اضافی حذف و در هر گلدان ۳ بوته نگهداری شد. آبیاری گلدان‌ها، با آب مقطر براساس مکش خاک انجام گرفت. بدین صورت یک تانسیمتر در یکی از گلدان‌های شاهد نصب گردید و هرگاه مکش خاک به حدود ۸۰ سانتی بار می‌رسید، آبیاری به مقدار یک پوروالیوم انجام می‌شد. گیاهان پس از ۶۰ روز برداشت شدند. ریشه‌ها و اندام هوایی به‌طور جداگانه در پاکت قرار گرفتند. ویژگی‌های رویشی اندازه گرفته شده در این آزمایش، شامل سطح برگ و وزن خشک ریشه و اندام هوایی است. برای اندازه‌گیری سطح برگ، از دستگاه سنجش سطح برگ A3LIGHTBOX در آزمایشگاه استفاده شد. گیاهان پس از جدا شدن از ناحیه طوقه به دو قسمت ریشه و اندام هوایی تفکیک شدند. ریشه‌ها و اندام هوایی پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون قرار داده شدند تا وزن آنها به حد ثابتی رسید. سپس نمونه‌ها توزین و به وسیله آسیاب پودر گردیدند. لازم به ذکر است، قبل از برداشت گیاهان صفات فتوسنتزی شامل فلورسانس متغیر به حداکثر (Fv/Fm) و شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) و هم‌چنین شاخص



شکل ۳. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V) و پوست پسته (P) در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد بر شاخص سبزی‌نگی (دانکن ۵ درصد)



شکل ۲. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V)، پوست پسته (P) و پوست میگو (SH) در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک (دانکن ۵ درصد)

نتایج نشان داد، تیمارهای آلی اثر معنی‌داری بر شاخص سبزی‌نگی برگ داشتند. تیمار ورمی کمپوست در هر دو سطح ۵ و ۱۰ درصد شاخص سبزی‌نگی برگ گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۳). بیشترین مقدار شاخص سبزی‌نگی برگ مربوط به تیمار ورمی کمپوست در سطح ۱۰٪ است که ۵۰٪ نسبت به شاهد افزایش نشان داد. شاخص سبزی‌نگی ارتباط مستقیم با میزان کلروفیل برگ دارد. کلروفیل نیز با فراهمی عناصر کم‌مصرف مثل آهن و منگنز ارتباط تنگاتنگی دارد. میزان آهن و منگنز، قابل دسترس برای گیاه موجب افزایش ساخت کلروفیل می‌شود. با توجه به خصوصیت مواد آلی در ایجاد کمپلکس با عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف و در دسترس قرار دادن این عناصر برای گیاهان، نتایج حاصل برای تیمارهای حاوی ورمی کمپوست، مؤید این خصوصیت مواد آلی است (۱۱).

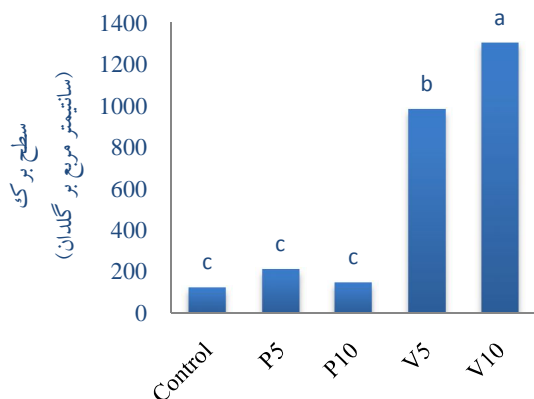
نتایج نشان داد، تمامی تیمارها (به‌جز ورمی کمپوست ۵٪) شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۴). بین دو سطح ۵ و ۱۰ درصد ورمی کمپوست و پوست پسته نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین مقدار شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی مربوط به تیمار پوست پسته در سطح ۱۰٪ است که ۳۸٪ نسبت به شاهد افزایش نشان داد. این شاخص از جمله شاخص‌های مهم فتوسنتز بوده که عملکرد

پی-اچ را حدود ۴ درصد کاهش داد.

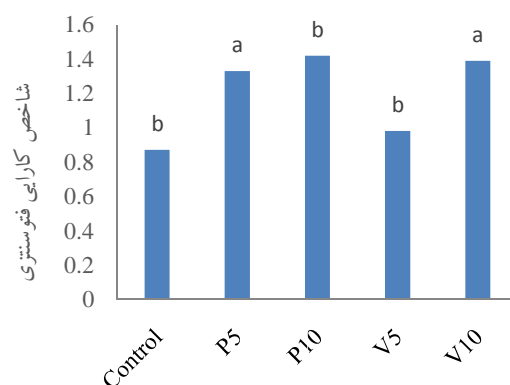
براساس شکل ۲، تمامی تیمارها قابلیت هدایت الکتریکی خاک را نسبت به شاهد افزایش دادند. در بین تیمارهای آلی اثر پوست پسته و پوست میگو در هر دو سطح ۵٪ و ۱۰٪ در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است. بیشترین افزایش EC مربوط به تیمار پوست میگو در سطح ۱۰ درصد و کمترین مربوط به تیمار ورمی کمپوست در سطح ۵٪ بود که به ترتیب ۶۶ و ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داشته است. افزایش شوری خاک با افزودن تیمارهای آلی ممکن است به دلیل وجود املاح محلول نسبتاً فراوان در آنها باشد. کاپولا و همکاران (۸) نیز افزایش شوری خاک با کاربرد مواد آلی را گزارش نمودند.

#### ویژگی‌های فتوسنتزی گیاه

به دلیل این‌که پوسته میگو در هر دو سطح موجب مرگ گیاهان بعد از دو هفته پس از رشد آنها گردید، تجزیه‌های آماری در بخش پارامترهای رویشی و غلظت عناصر در گیاه بر روی تیمارهای ورمی کمپوست و پوست پسته انجام گردید. نتایج کامری (۱۲) نیز نشان داد که کاربرد کیتوزان (ماده استخراج شده از پوسته میگو) در سطح ۵ درصد وزنی در یک خاک آلوده به عناصر سنگین باعث مرگ گیاه رای گراس پس از دو هفته از جوانه زدن گیاه گردید.



شکل ۵. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V) و پوست پسته (P) در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد بر تغییرات سطح برگ (دانکن ۵ درصد)



شکل ۴. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V) و پوست پسته (P) در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد بر شاخص کارایی فتوسنتزی (دانکن ۵ درصد)

اسفناج توسط پیوست و همکاران (۱۷) گزارش شده است. علت افزایش سطح برگ در تیمارهای ورمی کمپوست احتمالاً ناشی از افزایش غلظت عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و ریزمغذی‌ها در خاک می‌باشد. البته کاهش جذب عناصر سنگین توسط گیاه ذرت در تیمارهای ورمی کمپوست از دلایل دیگر این موضوع می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که عناصر سنگین سطح برگ را کاهش می‌دهند (۱۹).

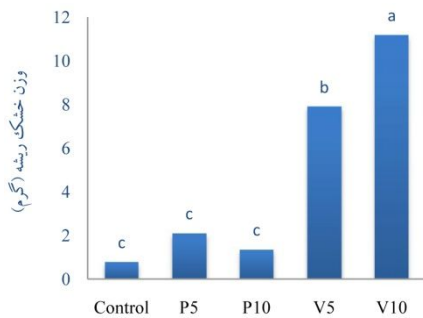
شکل ۶ نشان می‌دهد که تیمار ورمی کمپوست در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد، به‌طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی گیاه را افزایش داد. درحالی‌که اثر پوست پسته بر این صفت معنی‌دار نبود. وزن خشک اندام هوایی گیاه با کاربرد سطوح ۵ و ۱۰ درصد ورمی کمپوست به ترتیب ۸۸ و ۹۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. احتمالاً کاربرد ورمی کمپوست، باعث کاهش جذب عناصر سنگین گردیده و در نتیجه اثر سمیت آنها را کاهش داده است. همچنین افزایش وزن خشک اندام هوایی، ممکن است به دلیل افزایش فراهمی عناصر غذایی در تیمارهای ورمی کمپوست باشد. برخی از ویژگی‌های مثبت ورمی کمپوست که موجب افزایش رشد گیاه می‌شود، مربوط به بهبود خواص فیزیکی و زیستی خاک است. ورمی کمپوست سرشار از جمعیت میکروبی، به‌ویژه قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها است که

هر دو فتوسیستم I و II را بازتاب نموده و اطلاعات کمی راجع به عملکرد گیاه تحت شرایط تنش ارائه می‌دهد. از طرفی این شاخص از مهم‌ترین پارامترهای منعکس‌کننده واکنش‌های اکسایش و کاهش و جذب نور است (۲۲). همچنین از جمله ویژگی‌های حساس به تنش‌های محیطی است (۱). افزایش این شاخص با کاربرد ورمی کمپوست و پوست پسته، ممکن است به این دلیل باشد که مواد هیومیکی موجود در آن، موجب ایجاد کمپلکس با عناصر غذایی خصوصاً عناصر کم مصرف شده و در نتیجه عناصر مؤثر در دستگاه کلروفیلی و فتوسنتزی، بیشتر در دسترس گیاه قرار گرفته‌اند (۱).

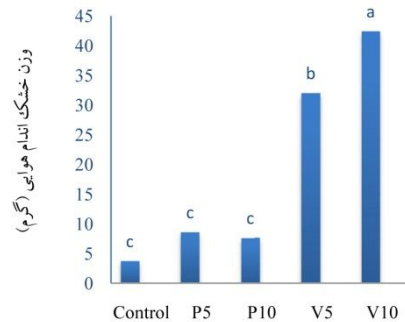
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که هیچ‌کدام از تیمارها اثر معنی‌داری بر کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm) نداشتند.

### ویژگی‌های رویشی گیاه

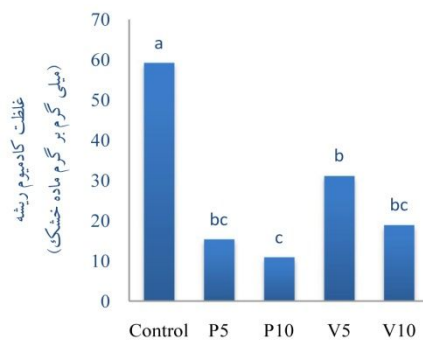
تیمار ورمی کمپوست در هر دو سطح بر افزایش سطح برگ اثر معنی‌داری داشت، در صورتی‌که تأثیر پوست پسته بر آن معنی‌دار نبود (شکل ۵). با کاربرد ورمی کمپوست در سطوح ۵ و ۱۰ درصد، سطح برگ گیاه به ترتیب ۸۷ و ۹۰ درصد نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری در سطح ۱ درصد افزایش یافت. چنین نتیجه‌ای در مورد اثر ورمی کمپوست، بر افزایش سطح برگ



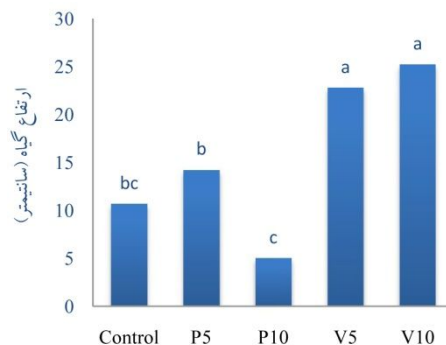
شکل ۷. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V) و پوست پسته (P) بر تغییرات وزن خشک ریشه (دانکن ۵ درصد)



شکل ۶. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V) و پوست پسته (P) بر تغییرات وزن خشک اندام هوایی (دانکن ۵ درصد)



شکل ۹. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V) و پوست پسته (P) بر تغییرات غلظت کادمیوم ریشه ( دانکن ۵ درصد)



شکل ۸. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V) و پوست پسته (P) بر تغییرات ارتفاع گیاه (دانکن ۵ درصد)

وزن خشک ریشه افزایش یافت. وزن خشک ریشه گیاه با کاربرد سطوح ۵ و ۱۰ درصد وزنی ورمی کمپوست به ترتیب ۱۰/۵ و ۳۲ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج حمیدپور و همکاران (۲) بر روی گل اطلسی و باخمن و مترگر (۶) بر روی گیاهان گوجه‌فرنگی، گل همیشه‌بهار و فلفل، مطابقت داشت.

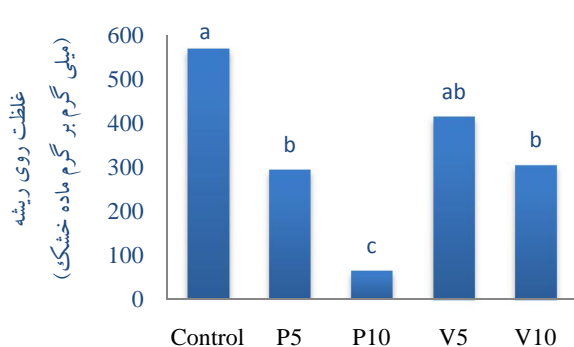
شکل ۸، نشان می‌دهد که ارتفاع گیاه در هر دو سطح ورمی کمپوست، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، درحالی‌که افزایش ارتفاع گیاه با کاربرد تیمار پوست پسته، معنی‌دار نبود. بیشترین افزایش ارتفاع، مربوط به ورمی کمپوست در سطح ۱۰٪ است که نسبت به شاهد بیش از ۲/۵ برابر افزایش داشته است.

#### اثر اصلاح‌کننده‌ها بر غلظت فلزات سنگین در گیاه

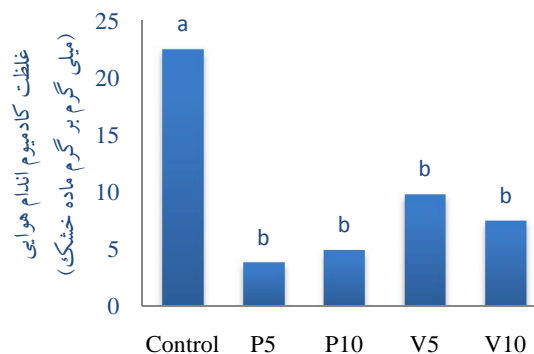
تمامی تیمارها به‌طور معنی‌داری غلظت کادمیوم را در ریشه نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۹). کمترین میزان کادمیوم

نقش مهمی در ساخت مواد مغذی داشته و همچنین در اثر عبور مواد آلی از دستگاه گوارش کرم‌ها، مقادیر زیادی از مواد مغذی در دسترس گیاه قرار می‌گیرد (۲). ادواردز و باروز (۹) افزایش رشد ریشه و رشد گیاه در تیمارهای حاوی ورمی کمپوست را به افزایش فعالیت مواد شبه هورمونی از جمله اکسین، سیتوکینین و جبریلین و همچنین ویتامین B<sub>۱۲</sub> مربوط دانسته‌اند. نتایج این بخش از تحقیق با پژوهش حمیدپور و همکاران (۲)، بر روی گل اطلسی و اکبری (۱) بر رشد گیاه ذرت در یک خاک آلوده به عناصر سنگین مطابقت داشت.

شکل ۷، نشان می‌دهد که با افزایش ورمی کمپوست، وزن خشک ریشه گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری در سطح ۱٪ آزمون دامنه‌ای دانکن افزایش یافت. تأثیر پوست پسته بر این ویژگی معنی‌دار نبود. بین دو سطح ۵ و ۱۰٪ ورمی کمپوست از نظر میزان وزن خشک ریشه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. با افزایش ورمی کمپوست از سطح ۵ درصد به ۱۰ درصد، میزان



شکل ۱۱. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V) و پوست پسته (P) بر تغییرات غلظت روی ریشه (دانکن ۵ درصد)



شکل ۱۰. اثر تیمارهای ورمی کمپوست (V) و پوست پسته (P) بر تغییرات غلظت کادمیوم اندام هوایی (دانکن ۵ درصد)

ورمی کمپوست، منجر به کاهش غلظت کادمیوم در اندام هوایی سیب زمینی در یک خاک آلوده به عناصر سنگین گردید.

کمتر بودن مقادیر کادمیوم اندام هوایی نسبت به ریشه، نشان دهنده‌ی این است که کادمیوم بیشتر در ریشه‌ی گیاه ذرت تجمع می‌یابد و انتقال آن از ریشه به اندام هوایی محدود است. وانگ و همکاران (۲۴) نیز گزارش کردند که کادمیوم موجود در محلول خاک، می‌تواند به دیواره‌های سلولی ریشه گیاه پیوند یابد. در حقیقت تجمع کادمیوم در ریشه ذرت، نوعی مکانیسم تحمل غلظت زیاد کادمیوم در ریزوسفر است.

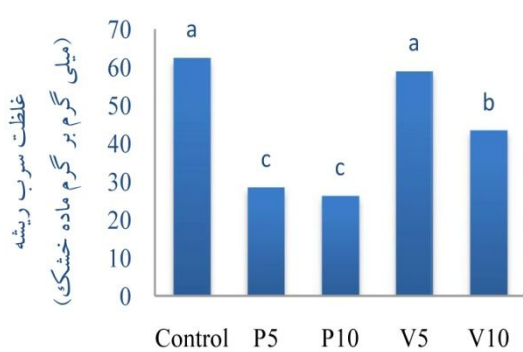
شکل ۱۱، نشان می‌دهد که غلظت روی ریشه، با افزودن ورمی کمپوست در سطح ۱۰٪ وزنی، نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافته است. پوسته پسته در هر دو سطح، غلظت روی ریشه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد. میزان کاهش غلظت روی ریشه با افزودن پوسته پسته در سطح ۱۰ درصد وزنی، حدود ۸/۹ برابر نسبت به سطح شاهد بود.

روند تغییرات غلظت روی اندام هوایی با کاربرد پوسته پسته و ورمی کمپوست (شکل ۱۲)، نشان داد که در تمامی تیمارها، غلظت روی اندام هوایی نسبت به شاهد کاهش یافت. ورمی کمپوست در سطح ۱۰٪، حدود ۲/۵۵ برابر میزان این صفت را نسبت به شاهد کاهش داد. سینک و همکاران (۱۹)

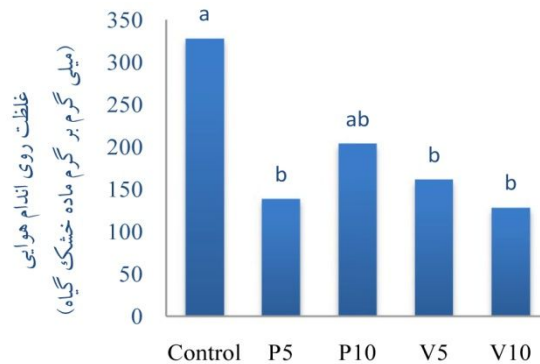
مربوط به پوست پسته در سطح ۵٪ است که ۸۳ درصد نسبت به شاهد کمتر بود. مواد هومیک حاصل از مواد آلی، ظرفیت جذب سطحی زیادی برای عناصر سنگین دارند. مواد آلی به دلیل داشتن گروه‌های عامل دارای بار منفی (کربوکسیلیک، فنلیک، هیدروکسیل)، می‌توانند کادمیوم را از محلول خاک جذب سطحی کرده و از دسترس گیاه خارج سازند (۱۵). با توجه به این‌که وزن خشک ریشه و اندام هوایی در تیمارهای پوست پسته، تحت تأثیر این تیمار قرار نگرفت، کاهش غلظت کادمیوم مربوط به اثر رقت نیست، بلکه مربوط به جذب سطحی کادمیوم توسط گروه‌های عامل پوست پسته است. در مورد ورمی کمپوست ممکن است بخشی از کاهش غلظت کادمیوم مربوط به اثر رقت و بخشی از آن مربوط به جذب سطحی کادمیوم توسط گروه‌های کربوکسیلیک، فنلیک، هیدروکسیل ورمی کمپوست باشد. لیو و همکاران (۱۴) نیز گزارش کردند، کاربرد کمپوست کود مرغی غلظت کادمیوم ریشه، اندام هوایی و دانه گندم را در خاک‌های آلوده به کادمیوم کاهش داد.

تمامی تیمارها به‌طور معنی‌داری غلظت کادمیوم در اندام هوایی گیاه را نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۱۰). کمترین غلظت کادمیوم در اندام هوایی گیاه مربوط به تیمار پوست پسته در سطح ۵٪ است که ۵/۴ برابر نسبت به شاهد کمتر بود (شکل ۱۲). نتایج این بخش از تحقیق با نتایج آنجلوا و همکاران (۵) مطابقت دارد. آنها گزارش کردند که کاربرد ۵٪

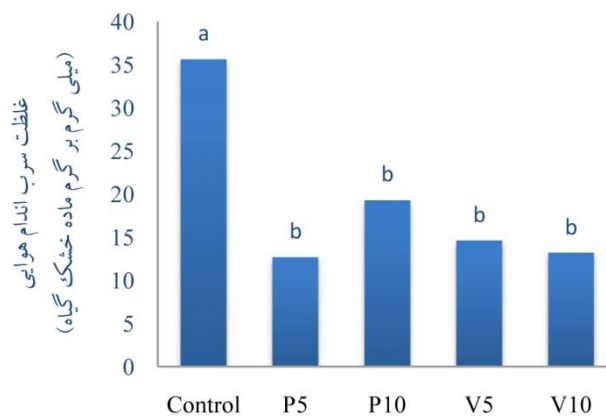




شکل ۱۳. اثر تیمارهای ورمی‌کمپوست (V) و پوست پسته (P) بر تغییرات غلظت سرب ریشه (دانگن ۵ درصد)



شکل ۱۲. اثر تیمارهای ورمی‌کمپوست (V) و پوست پسته (P) بر تغییرات غلظت روی اندام هوایی (دانگن ۵ درصد)



شکل ۱۴. اثر تیمارهای ورمی‌کمپوست (V)، پوست پسته (P) بر تغییرات غلظت سرب اندام هوایی (دانگن ۵ درصد)

پوسته پسته، حدود ۲/۵ برابر نسبت به شاهد بود. کاربرد ورمی‌کمپوست، فقط در سطح ۱۰ درصد وزنی، غلظت سرب ریشه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد.

پوسته پسته و ورمی‌کمپوست در هر دو سطح، غلظت سرب اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری در سطح ۱ درصد کاهش دادند (شکل ۱۴). بین دو سطح ۵ و ۱۰٪ تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین میزان کاهش غلظت سرب اندام هوایی در پوست پسته در سطح ۵ درصد و سطح ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست بود که به‌ترتیب ۲/۸۰ و ۲/۷۰ برابر نسبت به شاهد بود. نتایج مطالعه ماتوس و آرودا (۱۴) نشان داد که ورمی‌کمپوست، بیشترین تمایل جذب سطحی را در بین فلزات سنگین نسبت به سرب دارد. علاوه‌بر کمپلکس شدن عناصر

گزارش کردند، افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی مانند کود دامی به یک خاک آلوده به عناصر سنگین، غلظت روی اندام هوایی گیاه چغندر علوفه‌ای را کاهش داد. تشکیل کمپلکس‌های سطحی درون-کره‌ای و برون-کره‌ای، مهم‌ترین مکانیزم‌های جذب سطحی روی به‌وسیلهٔ مواد آلی است. تشکیل کمپلکس بین عناصر سنگین و اصلاح‌کننده‌های خاک (مواد آلی خاک)، اهمیت فوق‌العاده‌ای در نگهداری و قابلیت تحرک آلاینده‌های خاک و آب دارد (۲۱).

شکل ۱۳، نشان می‌دهد که پوسته پسته در هر دو سطح، غلظت سرب ریشه را نسبت به شاهد کاهش داد. بین دو سطح ۵ و ۱۰٪ پوسته پسته اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. میزان کاهش غلظت سرب در هر دو سطح ۵ و ۱۰ درصد وزنی

### نتیجه گیری

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد پارامترهای رویشی گیاه مانند شاخص سبزی‌نگی برگ، سطح برگ، شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی، و وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه در اصلاح‌کننده‌های آلی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. با کاربرد ورمی‌کمپوست و پوست پسته غلظت کادمیوم، سرب و روی در ریشه و اندام هوایی گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

سنگین توسط گروه‌های عامل مواد آلی، رسوب سرب با ترکیبات فسفره موجود در ورمی‌کمپوست، در کاهش جذب آن توسط گیاه مؤثر است (۱۴). کاراسکورا- دوران و فلورس (۷)، با بررسی اسپکتروسکوپی (طیف مادون قرمز) جذب سرب توسط ورمی‌کمپوست، گزارش کردند که گروه‌های عامل کربوکسیل و فنلی، نقش مهمی در جذب سطحی سرب توسط ورمی‌کمپوست دارند.

### منابع مورد استفاده

۱. اکبری باصری، ل. ۱۳۹۲. تأثیر ژئولیت و ورمی‌کمپوست بر جذب روی، کادمیوم و سرب توسط گیاه ذرت در یک خاک آلوده. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان.
۲. حمیدپور، م.، س. فتحی و ح. روستا. ۱۳۹۱. اثر ژئولیت و ورمی‌کمپوست بر ویژگی‌های رشدی و غلظت برخی عناصر گل اطلسی. مجله‌ی علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۳ (۱۳): ۹۵-۱۰۲.
3. Adriano, D. C. 2001. Trace elements in the terrestrial environment. Springer, New York.
4. Amini, M., M. Afyuni, H. Khademi, K. C. Abbaspour and R. Schulin. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. J. Sci. Total Environ. 347: 64-77.
5. Angelova, V., R. Ivanova, G. Pevicharova and K. Ivanov. 2010. Effect of organic amendments on heavy metals uptake by potato plants. 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1-16 August, Australia.
6. Bachman, C. R. and J. D. Metzger. 2008. Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. Bioresour Technol. 99: 3155-3161.
7. Carrasquero-Duran, A. and L. Flores. 2009. Evaluation of lead(II) immobilization by a vermicompost using adsorption isotherms and IR spectroscopy. Bioresource Technol. 100: 1691-1694.
8. Coppola, E., G. Battaglia, M. Bucci, D. Ceglie, A. Colella, A. Langella, A. Buondonno and C. Colella. 2003. Remediation of Cd- and Pb-polluted soil by treatment with organo-zeolite conditioner. Clay Clay Miner. 51: 609-615.
9. Edwards, C. A. and I. Burrows. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. PP. 211-219. In: Edwards, C. A. and E. F. Neuhauser (Eds.). Earthworms in waste and environmental management. SPB Academic Publ. Co., The Hague, The Netherlands.
10. Gupta, S. S. and K. G. Bhattacharyya. 2008. Immobilization of Pb(II), Cd(II) and Ni(II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium. J. Environ. Manag. 87: 46-58.
11. Hashemimajd, K. and A. Golchin. 2009. The Effect of Iron-Enriched Vermicompost on Growth and Nutrition of Tomato. J. Agri. Sci. Technol. 11: 613-621.
12. Kamari, A. 2011. Chitosans as soil amendments for the remediation of metal contaminated soil. PhD Thesis, School of Chemistry, College of Science and Engineering, University of Glasgow.
13. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2000. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida.
14. Liu, L., H. Chen, P. Cai, W. Wei Liang and Q. Huang. 2009. Immobilization and phytotoxicity of Cd in contaminated soil amended with chicken manure compost. J. Hazard. Mater. 163: 563-567.
15. Matos, G. D. and M. A. Z. Arruda. 2003. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents. Process Biochem. 39: 81-88.
16. Menon, M., S. Hermle, M. Gunthardt-Goerg and R. Schulin. 2007. Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem. Plant Soil 297: 171-183.
17. Peyvast, G. H., J. A. Olfati, S. Madeni and A. Forghani. 2008. Effect of vermicompost on the growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.) J. Food Agric. Environ. 6: 110-113.

18. Puschenreiter, M., O. Horak, W. Friesl and W. Hartl. 2005. Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into the food chain: a review. *J. Plant Soil Environ.* 51: 1-11.
19. Singh, A., M. Agrawal and F. M. Marshall. 2010. The role of organic vs. inorganic fertilizers in reducing phytoavailability of heavy metals in a wastewater-irrigated area. *Ecol. Eng.* 36: 1733-1740.
20. Skorzynska-Polit, E. and T. Baszynski. 1997. Differences in sensitivity of the photosynthetic apparatus in Cd stressed runner bean plants in relation to their age. *J. Plant Sci.* 128: 11-21.
21. Sparks, D. L. 2003. *Environmental soil chemistry.* Academic Press. San Diego.
22. Strasser, R. J., A. Srivastava and M. Tsimilli-Michael. 2000. The fluorescence transient as tool to characterize and screen photosynthetic samples, PP. 445-483. *In: Yunus, M., U. Pather, , P. Mohanty, (Eds.). Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation.* Taylor and Francis, London.
23. Vig, K., M. Megharaj, N. Sethunathan and R. Naidu. 2003. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review. *J. Environ. Res.* 8: 121-135.
24. Wang, G., M. Y. Su, Y. H. Chen, F. F. Lin, D. Luo and S. F. Gao. 2006. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in south eastern China. *Environ. Pollut.* 144: 127-135.