دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره چهارم، شماره هشتم، بهار و تابستان ۹۵
http://pec.gonbad.ac.ir

اثرات کود ورمی‌کمپوست بر میزان جذب کادمیوم و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی *Medicago rigidula* L.، *Medicago polymorpha* L.، *Onobrychis sativa* L.

داود اخضری[1*]، مجید خدمتی[2]

[1] استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر
[2] دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۵

چکیده

مصرف کودهای زیستی سبب جلوگیری از حرکت فلزات سنگین در خاک می‌گردند. این پژوهش در قالب یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشگاه ملایر انجام شد. گلدان‌ها حاوی مخلوطی از خاک و مقادیر مختلف (۰ و ۶۰ درصد وزنی) از کود ورمی‌کمپوست بودند. گیاهان در معرض سه غلظت نیترات کادمیوم (۰، ۴ و ۸ میلی‌مول بر کیلوگرم) در مخلوط خاک هر گلدان قرار گرفتند. براساس نتایج بدست آمده با افزایش غلظت کادمیوم طول ریشه و ارتفاع ساقه به شکل معنی‌داری ($P<0/05$) کاهش یافت. اثر یون کادمیوم و کود ورمی‌کمپوست بر صفت نسبت ریشه به ساقه در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده‌است. بالاترین مقدار عددی نسبت ریشه به ساقه برابر ۰/۶۹ و در تیمار Cd_1V_1 مشاهده شد. بیشترین مقدار عددی ظرفیت بقا و پروتئین کل در تیمار Cd_1V_2 و کمترین آن‌ها در تیمار Cd_3V_1 دیده شد. عامل انتقال (TF) به‌طور معنی‌داری با به‌کارگیری کود ورمی‌کمپوست کاهش یافت. بالاترین فاکتور تمرکز غلظت یون کادمیوم در ریشه (RCF) در عدم حضور ورمی‌کمپوست و میزان چهار میلی‌مول یون کادمیوم (V_1Cd_2) در مقایسه با شرایط اعمالی دیگر به‌دست آمد. به‌طورکلی، شاخص تحمل (TI) تمام گیاهان مورد مطالعه در درجات پایین غلظت یون کادمیوم به‌طور قابل توجهی بالاتر بود. همچنین مقایسه عملکرد سه گیاه مطالعه شده نشان داد که گونه MR نسبت به دو گونه دیگر ظرفیت بقا، شاخص تحمل، عامل انتقال، محتوای پروتئین و شاخص‌های رشد بالاتری در حضور یون کادمیوم و کود بدست آورد.

***واژه‌های کلیدی*: آلاینده‌ها، فلزات سنگین، گیاه‌پالایی، مرتع.**

[*] نویسنده مسئول: d_akhzari@yahoo.com

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

مقدمه

یکی از ارکان سیستم‌های کشاورزی پایدار استفاده از کودهای بیولوژیک به منظور تأمین عناصر مورد نیاز گیاه با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی است که از میان کودهای بیولوژیک می توان به کود ورمی‌کمپوست اشاره کرد (Shaalan, 2005). کود ورمی‌کمپوست در نتیجه فعالیت کرم‌های خاکی روی مواد آلی تولید شده و حاوی عناصر غذایی است که به راحتی توسط گیاه جذب می شود (Atiyeh *et al.*, 2001). روغنیان (۱۳۸۴) در بررسی تأثیر شیرابه زباله و کود ورمی‌کمپوست بر پاسخ‌های گیاه ذرت نشان داد که استفاده از کمپوست در سه سطح مختلف با میزان کود ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه میگردد. این ماده سبب افزایش تخلخل، افزایش قدرت جذب و نگهداری عناصر غذایی، بهبود تهویه، زهکشی و فعالیت میکروبی در خاک می‌شود (Dominguez and Lazcano, 2010).

فلزات سنگین به‌عنوان خطرناکترین آلاینده‌های منابع طبیعی بیشتر از طریق صنایع ساخت باطری‌ها، افزودنی‌های رنگ و بنزین، حشره‌کش‌ها، کودهای شیمیای و اگزوز اتومبیل‌ها وارد منابع طبیعی میگردند (Eick *et al.*, 1999). این فلزات به دلیل عدم تجزیه و دارا بودن آثار زیان بار فیزیولوژیک بر جانداران در غلظت‌های کم نیز می‌توانند در آلودگی منابع طبیعی نقش داشته باشند (Pilon-Smits, 2005). در تحقیقی در مورد اثر فلزات سنگین روی گونه Salix acmophylla مشخص گردید که این فلزات سبب کاهش ظرفیت کل کلروفیل، وابسته به میزان غلظت فلز شدند (Ali *et al.*, 2003). همچنین سمیت فلزات سنگین باعث مهار رشد، کاهش ارتفاع گیاه و طول ریشه، کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی شده است (Li *et al.*, 2007).

آلودگی خاک‌های ایران به فلزات سنگین سبب بروز مشکلات محیط زیستی برای کشور شده است. یکی از مهمترین دغدغه‌های مدیریت منابع آب و خاک ایران، کنترل آلودگی فلزات سنگین است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کود ورمی‌کمپوست بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی شامل طول ساقه و ریشه، محتوای پروتئین ساقه و ریشه، محتوای عنصر کادمیوم در ساقه و ریشه، عامل انتقال (TF[1])، فاکتور تمرکز ریشه (RCF[2]) و شاخص تحمل (TI[3]) در سه گونه *Medicago rigidula* (MR)، *Medicago polymorpha* (MP) و *Onobrychis sativa* (OS) تحت تأثیر فلز سنگین کادمیوم است.

1. Translocation Factor
2. Root Conventration Factor
3. Tolerance Index

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند به استفاده از کودهای زیستی در فرآیند گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مفید خواهد بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در محیط گلخانه با طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. دو سطح برای کود ورمی‌کمپوست (بدون کود و ۶۰ درصد وزنی کود ورمی‌کمپوست) و سه سطح برای آلودگی به عنصر کادمیوم (۰، ۴ و ۸ میلی‌مول بر کیلوگرم) انتخاب شد. برای تیمار شاهد (بدون کود ورمی‌کمپوست) از کود ورمی‌کمپوست استفاده نگردید و برای سطوح دارای کود، به هر گلدان مقداری کود ورمی‌کمپوست با نسبت مشخص اضافه شد.

بذر گونه‌های گیاهی MR، MP و OS از موسسه پاکان بذر اصفهان خریداری شد و در هر گلدان ۳۰ بذر کاشته شد. پس از سبز شدن بذرها عمل تنک‌سازی گلدان‌ها تا ۵ پایه در هر گلدان انجام شد (Akhzari *et al.*, 2012). برای انجام هر آزمایش ابتدا کود ورمی‌کمپوست از الک ۲ میلی‌متر عبور داده می شد و به گلدان‌های مورد نظر اضافه می‌گردید. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و بعد از آن هر چهار روز درحالت ظرفیت زراعی انجام گردید. پروتئین موجود در نمونه‌های گیاهی با استفاده از روش لاوری (Lowry *et al.*, 1951) اندازه‌گیری شد.

پس از سه ماه و در پایان آزمایش، ارتفاع متوسط اندام هوایی و زیر زمینی گیاهان درهر گلدان بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. خاک موجود در گلدان‌ها با استفاده از آب شستشو داده شده و گیاهان به دو قسمت ریشه و بخش هوایی تقسیم شدند. برای محاسبه وزن خشک از دستگاه آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۴۸ ساعت استفاده شده است. به این ترتیب وزن خشک بخش هوایی و ریشه به تفکیک محاسبه شد. در مدت اجرای آزمایش در گلخانه نمره زنده مانی براساس نمره‌دهی ۴-۰ (نمره صفر برای بوته کاملاً خشک و نمره ۴ برای بوته کاملاً شاداب) به‌صورت هفتگی یادداشت برداری گردید (Campanelli, 2013). غلظت فلز کادمیوم موجود در نمونه‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی (ContrAA 700) اندازه‌گیری شد.

صفات مورد بررسی در این تحقیق شامل طول ساقه و ریشه، محتوای پروتئین ساقه و ریشه، محتوای عنصر کادمیوم در ساقه و ریشه (TF، RCF و TI) تعیین گردید. نمونه‌های گیاهی جهت آزمایش در اوایل گلدهی (سه ماه بعد از کاشت) برداشت شده و در آزمایشگاه از قسمت طوقه به دو قسمت ریشه و بخش هوایی تفکیک شده که طول ساقه و طول ریشه در این مرحله مورد سنجش قرار گرفتند (Akhzari *et al.*, 2012). این نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری میزان پروتئین و میزان یون کادمیوم مورد استفاده قرار گرفتند. در ذیل به توضیح مراحل ذکر شده پرداخته می‌شود. تجزیه و تحلیل آماری

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج

اثر غلظت‌های مختلف یون کادمیوم و سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست بر ارتفاع ساقه، طول ریشه و نسبت ریشه به ساقه در گیاهان (MR، MP و OS): جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و اثرات متقابل بر نسبت ریشه به ساقه، طول ریشه (cm)، ارتفاع ساقه (cm)، پروتئین کل، ظرفیت بقا، TF، RCF و TI را نشان داده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و اثرات متقابل بر نسبت ریشه به ساقه، طول ریشه (cm)، ارتفاع ساقه (cm)، پروتئین کل، ظرفیت بقا، TF، RCF و TI.

منبع تغییرات	نسبت ریشه به ساقه	طول ریشه	ارتفاع ساقه	پروتئین کل	ظرفیت بقا	*TI*	*RCF*	*TF*
	P	P	P	P	P	P	P	P
نوع گونه	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*
سطح آلودگی به فلز سنگین	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*
سطح کود ورمی‌کمپوست	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*
گونه×سطح آلودگی	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*
گونه×سطح کود	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*
گونه×سطح آلودگی×سطح کود	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*	۰/۰۰*

P: سطح معنی‌داری *معنی‌دار در سطح ۵ درصد

درصد نسبی ارتفاع ساقه و طول ریشه گیاهان در معرض یون کادمیوم نسبت به گیاهان تحت تیمار شاهد {(گیاهان در معرض یون کادمیوم/ گیاهان تحت تیمار شاهد) ×۱۰۰} محاسبه شده است (جدول ۲). براساس نتایج این تحقیق ارتفاع ساقه و طول ریشه گیاهان مورد مطالعه با افزایش غلظت یون کادمیوم در تمام سطوح ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. بیشترین و کمترین مقدار ارتفاع ساقه در $Cd_1 \times V_2$ و $Cd_3 \times V_1$ و حداکثر و حداقل طول ریشه در $Cd_1 \times V_2$ و $Cd_3 \times V_1$ نشان داده شده است (جدول ۲). علاوه بر آن کود ورمی‌کمپوست و یون کادمیوم اثرات معنی‌داری بر نسبت ریشه به ساقه در گیاهان مورد مطالعه ($p< ۰/۰۵$) نشان داده‌اند (جدول ۲) با بررسی نتایج حاصل از این تحقیق تفاوت معنی‌داری بین

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

نسبت ریشه به ساقه گیاهان مورد مطالعه در درجات مختلف دیده شده است. به‌طورکلی گیاهـان در معـرض سطوح پایین تر کادمیوم و کود ورمی‌کمپوست نسبت ریشه به ساقه بالاتری دارند.

جدول ۲- اثر تیمارهای مختلف یون کادمیوم و کود ورمی‌کمپوست بر طول ساقه، طول ریشه و نسبت ریشه به ساقه در گیاهان (MR، MP و OS) بر حسب درصد.

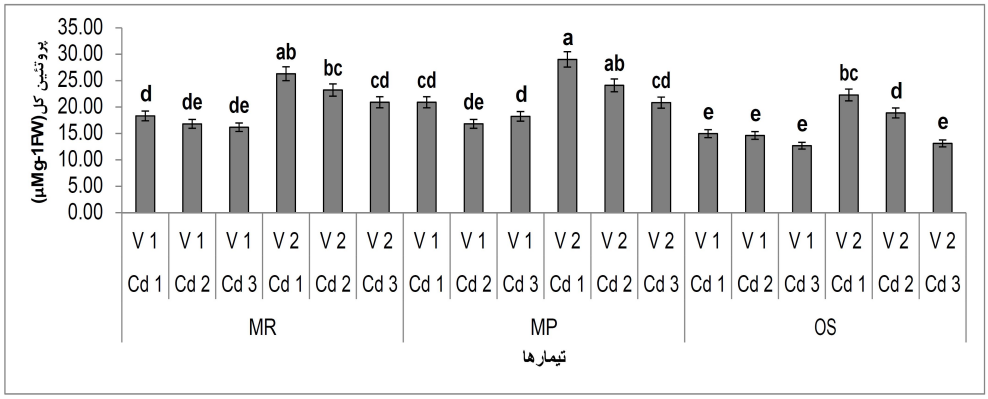
نام گونه	سطح کادمیوم	سطح ورمی‌کمپوست	ارتفاع ساقه (cm)	طول ریشه (cm)	نسبت ریشه به‌ساقه
			میانگین	میانگین	میانگین
MP	Cd_1	V_1	۷۶/۲ d	۸۷/۳۳ c	۰/۶۱ bc
	Cd_2	V_1	۳۸/۸ h	۸۱/۰۴ d	۰/۵۰ de
	Cd_3	V_1	۳۲/۶ i	۱۰۰ a	۰/۳۷ g
	Cd_1	V_2	۱۰۰ a	۷۰/۸۱ ef	۰/۲۱ j
	Cd_2	V_2	۹۵ b	۶۴/۲۰ gh	۰/۲۶ i
	Cd_3	V_2	۸۳/۸ c	۶۷/۲۷ fg	۰/۲۳ ij
MR	Cd_1	V_1	۸۰/۳ c	۶۳/۶۷ gh	۰/۶۹ a
	Cd_2	V_1	۴۵/۸ g	۶۱/۱۲ hi	۰/۶۴ b
	Cd_3	V_1	۳۶/۹ hi	۷۵/۱۴ e	۰/۵۳ d
	Cd_1	V_2	۱۰۰ a	۱۰۰ a	۰/۴۴ f
	Cd_2	V_2	۸۲/۷ c	۹۴/۶۶ b	۰/۳۷ g
	Cd_3	V_2	۸۱/۱ c	۶۴/۰۶ gh	۰/۲۷ i
OS	Cd_1	V_1	۶۹/۵ e	۵۴/۸۷ j	۰/۶۴ b
	Cd_2	V_1	۶۳/۴ f	۵۷/۲۸ ij	۰/۴۷ ef
	Cd_3	V_1	۴۹/۴ g	۶۰/۴۲ hi	۰/۶۴ b
	Cd_1	V_2	۱۰۰ a	۹۹/۰۳ a	۰/۵۸ c
	Cd_2	V_2	۶۷ ef	۱۰۰ a	۰/۳۲ h
	Cd_3	V_2	۶۵/۷ ef	۸۱/۶۶ d	۰/۱۶ k

V_1 و V_2 به‌ترتیب نشان‌دهنده سطوح شاهد و ۶۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست هستند. Cd_1، Cd_2 و Cd_3 به‌ترتیب نشان دهنده سطوح شاهد (صفر میلی‌مولار)، ۴ و ۸ میلی‌مولار فلز کادمیوم است. حروف نامتشابه لاتین در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار صفات در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

اثر غلظت‌های مختلف یون کادمیوم و سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست بر پروتئین کـل در گیاهان MR، MP و OS: تفاوت معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) بین میزان پروتئین کل گونـه‌هـای گیـاهی در سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست و سطوح مختلف غلظت یون کادمیوم وجود دارد. بـا بررسـی نتـایج حاصل از این تحقیق تفاوت معنی‌داری در پروتئین کل بافت گیاهانی کـه تحـت سـطوح مختلـف کـود ورمی‌کمپوست و یون کادمیوم هستند گزارش شـده اسـت (شـکل ۱). براسـاس نتـایج آنـالیز واریـانس، محتوای پروتئین کل با کاهش غلظت یون کادمیوم افزایش یافته است. بـا ایـن حـال پـروتئین کـل بـا

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

کاهش سطوح کود ورمی‌کمپوست کاهش یافته است (شکل ۱). همچنین حداکثر مقدار پروتئین کل در $Cd_1 \times V_2$ و کمترین مقدار پروتئین کل در $Cd_3 \times V_1$ ثبت شده است (شکل ۱).



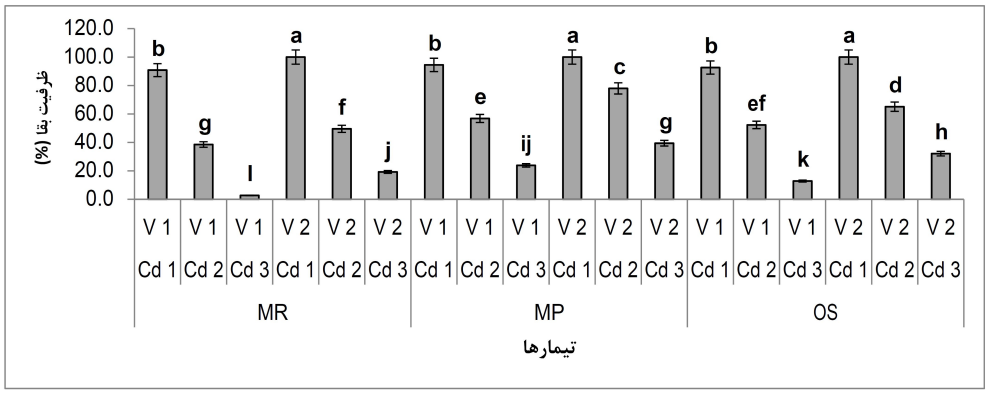
شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف یون کادمیوم و سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست بر پروتئین کل گیاهان مورد مطالعه

V1 و V2 به‌ترتیب نشان‌دهنده سطوح شاهد و ۶۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست هستند. Cd1، Cd2 و Cd3 به‌ترتیب نشان‌دهنده سطوح شاهد (صفر میلی‌مولار)، ۴ و ۸ میلی‌مولار فلز کادمیوم است. حروف MR، MP و OS به‌ترتیب معرف گونه‌های گیاهی *Medicago rigidula*، *Medicago polymorpha* و *Onobrychis sativa* است. حروف نامشابه لاتین بر روی نمودارها نشان دهنده تفاوت معنی‌دار صفات در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

اثر غلظت‌های مختلف یون کادمیوم و سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست در ظرفیت بقای گیاهان (MR، MP و OS): درصد نسبی ظرفیت بقایی گیاهانی که در معرض یون کادمیوم قرار دارند نسبت به گیاهان تحت تیمار شاهد {(گیاهان در معرض یون کادمیوم/ گیاهان تحت تیمار شاهد) ×۱۰۰} محاسبه شده است (شکل ۲). ظرفیت بقا در گیاهان مورد مطالعه بین سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست و سطوح مختلف آلودگی به یون کادمیوم دارای تفاوت معنی‌داری ($p<0/05$) است (شکل ۱). براساس نتایج آنالیز واریانس، ظرفیت بقای گیاهان مورد مطالعه در سطوح مختلف یون کادمیوم و کود ورمی‌کمپوست متفاوت است (شکل ۱). ظرفیت بقای تمام گیاهان مورد مطالعه با افزایش غلظت یون کادمیوم به‌طور معنی‌داری کاهش و بر عکس ظرفیت بقای گیاهان مورد مطالعه با افزایش سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (شکل۲). حداکثر

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

ظرفیت بقای گیاهان مورد مطالعه در $Cd_1 \times V_2$ دیده شده است. با این حال کمترین میزان ظرفیت بقای گیاهان در $Cd_3 \times V_1$ نمایش داده شده است (شکل ۲).



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف یون کادمیوم و سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست بر ظرفیت بقای گیاهان مورد مطالعه

V_1 و V_2 به‌ترتیب نشان‌دهنده سطوح شاهد و ۶۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست هستند. Cd_1، Cd_2 و Cd_3 به‌ترتیب نشان‌دهنده سطوح شاهد (صفر میلی‌مولار)، ۴ و ۸ میلی‌مولار فلز کادمیوم است. حروف MR، MP و OS به‌ترتیب معرف گونه‌های گیاهی *Medicago rigidula*، *Medicago polymorpha* و *Onobrychis sativa* است. حروف نامشابه لاتین بر روی نمودارها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار صفات در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

بررسی مقدار عددی فاکتور انتقال (TF)، فاکتور تمرکز ریشه (RCF) و فاکتور شاخص تحمل (TI) در گیاهان (MR، MP و OS): فاکتور انتقال کادمیوم (TF) در همه گیاهان مورد مطالعه در سطوح مختلف یون کادمیوم و در همه تیمارها کمتر از یک گزارش شده است (جدول ۳). عامل انتقال یون کادمیوم در گیاهان مورد مطالعه تحت سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست و یون کادمیوم در سطح احتمال ۵ درصد ($p<۰/۰۵$) دارای تفاوت معنی‌دار بودند (جدول ۳). به‌طورکلی عامل TF به طور قابل توجهی با افزایش کود ورمی‌کمپوست افزایش یافته است (جدول ۳). کمترین میزان TF در $Cd_1 \times V_1$ و $Cd_1 \times V_2$ دیده شد در حالی که بالاترین عامل TF در $Cd_3 \times V_1$، $Cd_3 \times V_2$ مشاهده شد.

از سویی عامل RCF تحت تاثیر غلظت‌های مختلف یون کادمیوم و سطوح مختلف ورمی‌کمپوست متفاوت است. تفاوت معنی‌داری ($p\leq۰/۰۵$) بین RCF تحت سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست و غلظت یون کادمیوم وجود دارد. بالاترین میزان RCF در $Cd_2 \times V_1$ و کمترین میزان RCF در درجات $Cd_1 \times V_1$ و $Cd_1 \times V_2$ ثبت شده است (جدول ۳). ارزش عددیRCF در تمام گیاهان به جز برای گیاهانی که

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

دارای غلظت صفر میلی‌مولار کادمیوم هستند، بالاتر از یک است. عامل TI در تمامی گیاهان مورد مطالعه تحت تاثیر سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست و یون کادمیوم به‌طور قابل توجهی متفاوت گزارش شده‌اند. به‌طورکلی با کاهش میزان یون کادمیوم مقدار TI در گیاهان مورد مطالعه بالاتر گذاشته شده است.

جدول ۳- اثر تیمارهای مختلف یون کادمیوم و کود ورمی‌کمپوست بر فاکتور TI، TF و RCF در گیاهان (MR، MP و OS) بر حسب میلی‌مول بر کیلوگرم در خاک.

نام گونه	سطح کادمیوم	سطح ورمی‌کمپوست	TF	RCF	TI
			میانگین	میانگین	میانگین
MP	Cd_1	V_1	۰ g	۰ g	۰/۷۶ g
	Cd_2	V_1	۰/۷۵ de	۳/۴۳ bc	۰/۷۸ fg
	Cd_3	V_1	۰/۸۴ a	۱/۵۸ ef	۰/۸۳ de
	Cd_1	V_2	۰ g	۰ g	۰/۹۰ ab
	Cd_2	V_2	۰/۷۴ ef	۳/۲۳ c	۰/۸۸ bc
	Cd_3	V_2	۰/۸۰ bc	۱/۴۵ f	۰/۸۹ab
MR	Cd_1	V_1	۰ g	۰ g	۰/۷۴ h
	Cd_2	V_1	۰/۶۹ f	۴/۰۰ a	۰/۷۵ g
	Cd_3	V_1	۰/۷۶ de	۲/۰۴ d	۰/۷۸ fg
	Cd_1	V_2	۰ g	۰ g	۰/۸۰ ef
	Cd_2	V_2	۰/۷۶ de	۳/۲۹ bc	۰/۸۳ de
	Cd_3	V_2	۰/۷۸ cd	۱/۷۳ ef	۰/۸۷ bc
OS	Cd_1	V_1	۰ g	۰ g	۰/۷۵ g
	Cd_2	V_1	۰/۷۱ f	۴/۲۸ a	۰/۷۹ fg
	Cd_3	V_1	۰/۷۵ de	۲/۱۸ d	۰/۷۵ g
	Cd_1	V_2	۰ g	۰ g	۰/۷۶ g
	Cd_2	V_2	۰/۷۹ cd	۳/۵۴ b	۰/۸۵ cd
	Cd_3	V_2	۰/۸۳ ab	۱/۸۰ e	۰/۹۲ a

V_1 و V_2 به‌ترتیب نشان‌دهنده سطوح شاهد و ۶۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست هستند. Cd_1، Cd_2 و Cd_3 به‌ترتیب نشان دهنده سطوح شاهد (صفر میلی‌مولار)، ۴ و ۸ میلی‌مولار فلز کادمیوم است. حروف نامتشابه لاتین در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار صفات در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

بحث و نتیجه‌گیری

اثر غلظت‌های مختلف یون کادمیوم و سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست بر ارتفاع ساقه، طول ریشه و نسبت ریشه به ساقه در گیاهان (MR، MP و OS): با بررسی نتایج تجزیه واریانس، ارتفاع ساقه و طول ریشه در همه گیاهان مورد مطالعه که در معرض تنش فلزات سنگین بوده‌اند به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (جدول ۲). در این ارتباط نتایج مشابهی توسط دیگر محققان گزارش

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

شده است (Schmidt, 2003; Tandy *et al.*, 2005; Abu Zinada *et al.*, 2011). در مقابل در تحقیقات (Miler *et al.*, 2011) نتایج متناقضی نشان داده شده است که اظهار می‌دارد ارتفاع ساقه و طول ریشه در گونه گیاهی *Sesbani exaltata* به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و یا با افزایش غلظت فلز سنگین بدون تغییر باقی مانده است. همچنین نتایج حاصل از پژوهش حاضر در تضاد با تحقیقات (Larbi *et al.*, 2002) است. نتایج تحقیقات این محقق نشان می‌دهد که ویژگی ساقه چغندر قند در حضور تنش فلزات سنگین تغییر معنی‌داری از خود نشان نداده است. یک گونه گیاهی به‌عنوان یک ساختار مستقل بیولوژیک، نسبت به تنش‌های گوناگون اکولوژکی واکنش‌های نامتشابهی را نسبت به گونه‌های گیاهی دیگر نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد دلیل عدم تشابه در تغییرات ارتفاع ساقه و طول ریشه در گونه‌های گیاهی این پژوهش با پژوهش‌های ذکر شده بخاطر عدم تشابه گونه‌های گیاهی مورد مطالعه است.

اثر غلظت‌های مختلف یون کادمیوم و سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست بر پروتئین کل در گیاهان (MR، MP و OS): میزان پروتئین کل موجود در گیاهان مورد مطالعه با افزایش یون کادمیوم به شکل معنی‌داری کاهش می‌یابد. (شکل ۲). آلودگی فلزات سنگین سبب افزایش یا کاهش پروتئین کل در گونه گیاهی *Lemna polyrrhiza* می‌گردد (John *et al.*, 2008).

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان می‌دهد که پروتئین کل گیاهان با کاهش میزان ورمی‌کمپوست کاهش یافته است (شکل ۲). بنابراین، این نتیجه با تحقیقات جوشی و همکاران (Joshi *et al.*, 2013) مطابقت دارد و بیانگر این است که میزان پروتئین کل در گندم با افزایش میزان ورمی‌کمپوست افزایش یافته است. بدیهی است دلیل این امر وجود مقادیر قابل توجهی از عناصر پیش نیاز تولید پروتئین در ورمی‌کمپوست اضافه شده به خاک است (Mycin *et al.*, 2010).

اثر غلظت‌های مختلف یون کادمیوم و سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست در ظرفیت بقای گیاهان (MR، MP و OS): براساس نتایج این مطالعه ظرفیت بقای گیاهان مورد مطالعه با افزایش غلظت یون کادمیوم به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (شکل ۱). ولی ظرفیت بقای گیاهان مورد مطالعه با افزایش سطوح مختلف ورمی‌کمپوست افزایش یافته است (شکل ۱). نتایج مشابهی توسط محققان دیگر گزارش شده است (Edwards, 1998؛ Atiyeh *et al.*, 2001) که افزایش رشد گیاهان و ظرفیت بقای آنها را با افزایش کود ورمی‌کمپوست نشان داده‌اند. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نیز مشابه با تحقیقات کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2009)، که گزارش کردند ظرفیت بقای گیاهان ممکن است به طور قابل توجهی با افزایش کود ورمی‌کمپوست افزایش یابد. دلیل این امر تاثیر مفید ورمی‌کمپوست بر تامین مواد معدنی مورد نیاز گونه‌های گیاهی و بهبود جذب آب عنوان شده است (Akhzari *et al.*, 2015).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

بررسی مقدار عددی فاکتور انتقال (TF)، فاکتور تمرکز ریشه (RCF) و فاکتور شاخص تحمل (TI) در گیاهان (MR، MP و OS): فاکتور انتقال TF در گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست و یون کادمیوم به‌طور معنی‌داری متفاوت است (جدول ۳). به‌طورکلی فاکتور TF با افزایش ورمی‌کمپوست افزایش یافته است (جدول ۳). براساس نتایج این تحقیق، پایین ترین میزان TF در سطح شاهد مشاهده شد. در این سطح ارزش عددی TF برای همه گیاهان مورد مطالعه در تحقیق کمتر از یک بوده است. نتایج به‌دست آمده از این بخش با نتایج تحقیقات مون و همکاران (Mun *et al.*, 2008) مطابقت دارد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داده است که فاکتور انتقال در گونه‌های گیاهی MR، MP و OS کمتر از یک است. لذا این گونه‌های گیاهی توان انتقال فلز سنگین کادمیوم از ریشه به ساقه را ندارند. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات برونت و همکاران (Brunet *et al.*, 2008) که بیان داشتند گونه گیاهی *Lathyrus sativus* توانایی انتقال فلزات سنگین از ریشه به ساقه را ندارد، مطابقت دارد. گونه‌های گیاهی که فاکتور انتقال آنها کمتر از یک است، برای عملیات تثبیت آلودگی[1] فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج مشابهی توسط Abe و همکاران (۲۰۰۸) گزارش شده است که ارزش TF در گونه گیاهی *Avena fatua* در خاک آلوده به کادمیوم کمتر از ۱ بود.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ارزش عددی RCF در تمام گیاهان به جز برای گیاهانی که دارای غلظت صفر میلی‌مول بر کیلوگرم هستند بالاتر از یک است (جدول ۳). نتایج تحقیقات احمدپور و همکاران (۲۰۱۴)، نشان می‌دهد که پتانسیل گونه‌های گیاهی *Medicago polymorpha*، *Medicago rigidula* و *Onobrychis sativa* در جمع‌آوری کادمیوم در ریشه بالا است. ارزش عددی بیشتر از یک تحت آلودگی فلزات سنگین توسط برخی محققان دیگر در سایر گونه‌های گیاهی گزارش شده است. یون و همکاران (Yoon *et al.*, 2006) این ویژگی را در *Gentiana pennelliana* و احمدپور و همکاران (۲۰۱۴) در *Jatropha curcas* گزارش کردند.

براساس نتایج این مطالعه (جدول ۳)، شاخص تحمل در گونه‌های گیاهی*Medicago polymorpha*، *Medicago rigidula* و *Onobrychis sativa* در غلظت پایین یون کادمیوم به طور قابل توجهی بالاتر بوده است (جدول ۳). این یافته با وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2012)؛ کریمی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. به صورتی که شاخص تحمل در گیاهان با کاهش غلظت یون کادمیوم افزایش یافته است. در تحقیقی که توسط مکنیر و همکاران (Macnair *et al.*, 1999) انجام شده است مشخص شد که شاخص تحمل نسبت به فلزات سنگین، یک ویژگی مستقل در گیاهان است که به قدرت رشد گونه‌های گیاهی در شرایط آلودگی به فلزات سنگین ایجاد می‌شود. بر اساس تحقیقات یورلا

1. Phytostabilization

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

(Yruela, 2005) شاخص تحمل گونه‌های گیاهی ممکن است به بالا بودن غلظت فلزات سنگین به برخی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی نسبت داده در سطح سلولی رخ می دهد. مطابق با تحقیقات یان و همکاران (Yan *et al.*, 2009) شاخص تحمل یک شاخص مهم منعکس کننده تحمل گیاهان نسبت به فلزات سنگین است. به‌طورکلی حداکثر شاخص تحمل (TI) نسبت به فلز کادمیوم در *Medicago rigidula* دیده شد. پس از آن *Medicago polymorpha* و *Onobrychis sativa* در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

نتایج این تحقیق نشان داد که کود ورمی‌کمپوست با توجه به ویژگی‌های ساختاری، دارا بودن عناصر معدنی مغذی و هورمون‌های رشد گیاهی می‌تواند از طریق تاثیر بر خصوصیات فیزیولوژیکی رشد گیاه را در شرایط وجود آلاینده محیطی کادمیوم بهبود بخشد. از سوئی، اثرات نامطلوب یون کادمیوم را بر روی گونه‌های گیاهی (MR، MP و OS) محدود نماید. مقایسه عملکرد سه گیاه مطالعه شده نشان داد که گونه MR نسبت به دو گونه دیگر ظرفیت بقاء، شاخص تحمل، عامل انتقال، محتوای پروتئین و شاخص‌های رشد بالاتری در حضور یون کادمیوم و کود نسبت به گونه‌های گیاهی MP و OS از خود نشان داد. رشد گونه گیاهی OS در سطوح بدون کود ورمی‌کمپوست و دارای عنصر سنگین کادمیوم خیلی پایین بود و حتی بعضی از گونه‌های OS بعد از جوانه زدن خشک شدند و این بیانگر مقاومت کمتر گونه گیاهی OS در برابر عنصر سنگین کادمیوم است. اما گونه‌های گیاهی MR، MP نسبت به گونه گیاهی OS مقاومتشان در برابر آلاینده محیطی یون کادمیوم بیشتر است و با توجه به مقاومت بیشتر گونه‌های گیاهی MR، MP در برابر آلاینده محیطی فلز کادمیوم می‌توان از این دو گونه گیاهی در تثبیت آلودگی فلزات سنگین استفاده کرد. در صورتی که گونه گیاهی OS با وجود اینکه کادمیوم بیشتری نسبت به گونه گیاهی MR، MP در خود جذب می‌کرد به‌دلیل مقاومت کمتری که این گونه در برابر یون کادمیوم دارد نمی‌توان از این گونه در تثبیت آلودگی فلزات سنگین استفاده کرد.

منابع

حسینی، م. ۱۳۷۳. بررسی برخی از عناصر کمیاب و آگاهی به میزان تجمع آنها در تعدادی از خاک‌های اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۵۰ صفحه.

روغنیان، ف. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر شیرابه زباله و کمپوست بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و پاسخ‌های گیاه ذرت . پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

Ahmadpour P., Soleimani M., Ahmadpour F., Abdu A. 2014. Evaluation of copper bioaccumulation and translocation in Jatropha curcas grown in a contaminated soil. International Journal of Phytoremediation 16: 454–468.

Akhzari D., Attaeian, B., Arami, A., Mahmoodi, F., Aslanid F. 2015. Effects of Vermicompost and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Properties and Growth of *Medicago polymorpha* L. Compost Science & Utilization, 23(3):

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]

142-153.
Atiyeh R.M., Edwards C.A., Subler, S., Metzger J.D. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. Bioresource Technology, 78: 11-20
Campanelli A., Ruta C., Morone-Fortunato I., De Mastro, G. 2013. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) clones tolerant to salt stress: in vitro selection. Central European Journal of Biology, 8(8): 765-776.
Edwards C.A. 1998. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: Edwards, C.A. (Ed.), Earth-worm Ecology. CRC Press, Boca Raton, FL. 327-354.
Joshi, R., Vig A.P., Singh J. 2013. Vermicompost as soil supplement to enhance growth, yield and quality of *Triticum aestivum* L., a field study. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 2(16): 1-7.
Kumar A., Sharma S., Mishra S. 2009. Application of farmyard manure and vermi-compost on vegetative and generative characteristics of Jatropha curcas. Journal of Phytology 1(4): 206–212.
Larbi A., Morales F., Abadia A., Gogorcena Y., Lucena J.J., Abadia J. 2002. Effects of Cd and Cd in sugar beet plants grown in nutrient solution: induced Fe deficiency and growth inhibition. Function Plant Biology 29:1453-1464.
Lazcano C., Dominguez J. 2010. Effects of vermicompost as a potting amendment of two commercially-grown ornamental plant species. Spanish Journal of Agricultural Research, 8(4): 1260-1270.
Macnair M.R. 2003. The hyperaccumulation of metals by plants. Advances in Botany Research, 40: 64-105.
Mun H.W., Hoe A.L., Koo L.D. 2008. Assessment of Cd uptake, translocation and immobilization in kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) for phytoremediation of sand tailings. Journal of Environmental Sciences, 20: 1341–1347.
Mycin T.R., Lenin M., Selvakumar, G., Thangadurai R. 2010. Growth and nutrient content variation of groundnut *Arachis hypogaea* L. under vermicompost application. Journal of Experimental Science, 1(8):12–16.
Schmidt U. 2003. Enhancing Phytoextraction: The effects of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation and leaching of heavy metals. Journal of Environmental Quality, 32: 1939-1954.
Tandy S., Schulin R., Nowack B. 2005. The influence of EDDS on the uptake of heavy metals in hydroponically grown sunflowers. Chemosphere, 62:1454-1463.
Yoon J., Cao X., Zhou Q., Ma L.Q. 2006. Accumulation of Cd, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment 368, (2–3): 456–464.
Zinada S.A., Abou Auda M., Hakh Ali S.E.E. 2011. Impact of soil lead pollution and iron foliar application on *Spinacea oleracea* (L.). Advances in Agriculture & Botanics- International Journal of the Bioflux Society, 3(2): 116-126.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-06-06]