دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۰

واکنش رشد گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) به آلودگی کادمیوم و سرب در شرایط گلخانه و مزرعه

محمدباقری[۱]، حمیدرضا جوانمرد[۲*]، محمدرضا نادری[۳]

۱- دانش‌آموخته دکترا، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی:**hamidjavanmard@yahoo.com**

(تاریخ دریافت:۱۰ شهریورماه ۱۴۰۰، تاریخ پذیرش: ۱۶ شهریورماه ۱۴۰۰)

چکیده

استفاده از گیاهان دارویی در شرایط آلودگی خاک با فلزات سنگین، ازنظر گیاه‌پالایی، و همچنین اثر بر ویژگی‌های مرفولوژیکی گیاه حائز اهمیت است. اثر فلزات کادمیوم و سرب بر رشد ریشه و اندام هوایی و همچنین تعداد گل گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) در شرایط گلخانه و مزرعه، در مراحل مختلف رشد با گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی حاوی خاک‌آلوده شده با کادمیوم (صفر، ۱۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سرب (صفر، ۶۰ و ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان) مورد آزمایش قرار گرفت. اثر شاخص‌های آزمایش شامل غلظت فلز در سطح احتمال پنج درصد، مرحله و محل رشد و اندام گیاه، و همچنین اثر برهمکنش آنها بر ماده خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. با افزایش غلظت کادمیوم و سرب از تعداد گل در شرایط مزرعه کاسته و بر تعداد گل در شرایط گلخانه افزوده شد. با افزایش غلظت عناصر سنگین، رشد گیاه به‌صورت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد کاهش یافت، به‌طوری‌که میانگین سطح اول ۴۸۰/۳۹ گرم، سطح دوم ۴۱۶/۰۰ گرم، و سطح سوم برابر ۳۹۹/۳۳ گرم بود. بیشترین رشد گیاه در مرحله گلدهی (۵۰۰/۷۸ گرم) و پنجه‌زنی (۵۱۱/۶۷ گرم) به دست آمد که به‌صورت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد از مرحله ساقه دهی (۲۸۳/۲۸ گرم) بیشتر بودند. افزایش غلظت کادمیوم در مقایسه با سرب، به‌صورت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد سبب کاهش بیشتر رشد گیاه (۳۳۳/۱۱ گرم در برابر ۴۰۷/۴۴ گرم) شد. از گیاه بابونه آلمانی باقابلیت رشد در شرایط آلودگی خاک با فلزات سنگین می‌توان برای پاک‌سازی محیط‌های آلوده استفاده نمود.

کلیدواژه‌ها: آلودگی خاک، اندام گیاه، گیاه‌پالایی، مراحل رشد گیاه

مقدمه

افزایش آلاینده‌ها به علت فعالیت‌های صنعتی سبب اثر نامطلوب زیست‌محیطی و تجمع فلزات سنگین گردیده است (۷). فعالیت‌های بشر در ذوب و پالایش فلزات، حفر و استخراج معادن، استفاده از کودهای شیمیایی، و پساب‌های صنعتی موجب تولید بیش‌ازاندازه فلزات سنگین همچون سرب و کادمیوم شده (۸ و ۵)، که برای سلامت بشر و همچنین ازنظر اقتصادی نامطلوب هستند (۹). فلزات سنگین فلزاتی هستند، که دارای جرم حجمی بیش از چهارتا پنج برابر آب بوده و یا دارای چگالی بیش از پنج گرم بر سانتی‌متر مکعب و وزن اتمی بین ۱۳ تا ۲۰۰ هستند (۱۸). از روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای پاک‌سازی محیط‌زیست از فلزات سنگین استفاده‌شده، که معمولاً روش‌های پرهزینه بوده و همچنین دارای اثر نامطلوب بر محیط‌زیست هستند. به همین دلیل محققان به دنبال روش‌های مناسب‌تر بوده‌اند، که در بین این روش‌ها استفاده از روش‌های بیولوژیکی که شامل استفاده از میکروب‌های خاک و همچنین گیاه‌پالایی شود جزو مناسب‌ترین روش‌ها محسوب می‌گردد (۶). درروش گیاه‌پالایی غلظت فلزات سنگین با استفاده از جذب، تغییر شکل، تصعید و یا تجمع آلاینده‌ها در محیط با استفاده از گیاهان مقاوم به آلودگی کنترل می‌شود (۱ و ۲۱). استفاده از گیاهان دارویی، به علت تولید ترکیبات بیوشیمیایی بسیار مفید، که برای سلامت بشر لازم هستند، امروزه به‌عنوان جزء جدایی‌ناپذیر زندگی بشر محسوب می‌شود، ولی نکته مهم دیگر استفاده از گیاهان دارویی در مناطق آلوده به فلزات سنگین می‌باشد، که لازم است در این زمینه تحقیق بیشتری انجام گردد (۴). اینکه آیا می‌توان از گیاهان دارویی برای پاک‌سازی محیط‌زیست استفاده نمود و همچنین اینکه آیا گیاهان دارویی پس از جذب آلاینده‌های زیست‌محیطی همچون فلزات سنگین، هنوز برای بشر جهت مصارف دارویی و خوراکی قابل‌استفاده هستند، سؤال بسیار مهمی در تحقیق محسوب می‌گردد، که هنوز پاسخ آن مشخص نیست. نتایج بررسی منابع نشان داد به‌منظور گیاه‌پالایی، از گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) برای پاک‌سازی فلزات سرب و کادمیوم از محیط استفاده‌شده است (۱۶). گیاه بابونه آلمانی، از خانواده کاسنی، گیاهی علفی و یک‌ساله با ارتفاعی بین ۵۰-۸۰ سانتی‌متر است. این گیاه دارای ریشه‌های مخروطی شکل و مسطح است، که بر میزان انشعابات ریشه در اواخر دوره رویش بشدت افزوده می‌گردد. برگ‌های گیاه به‌صورت منقسم، کشیده، باریک و متناوب و ساقه‌های گیاه به‌صورت استوانه‌ای و دارای انشعاباتی است، که هریک از آنها دارای گل‌آذین دیهیم در انتها می‌باشند. تولید و تکثیر گیاه از طریق بذر انجام‌گرفته، که دارای مراحل رشد جوانه‌زنی، رزت، تولید ساقه، غنچه دهی، گل‌دهی، و رسیدگی بذر است. ازجمله ویژگی‌های بسیار مهم گیاه بابونه آلمانی، مقاومت زیاد در برابر آلودگی فلزات سنگین است. گیاه بابونی دارای مصارف فراوان دارویی و پزشکی بوده و برای کنترل قارچ‌ها و میکروب‌های بیماری‌زا، به‌ویژه باکتری‌های گرم مثبت استفاده می‌شود. گیاه بابونه برای درمان بیماری‌هایی همچون بی‌خوابی، نقرس و سوءهاضمه مفید است (۱۰). آلبوغیش و زرین کمر (۳) اثر فلز سرب بر مورفولوژی و آناتومی گیاه بابونه آلمانی در مرحله زایشی و بر ساختار اندام‌زایشی نر و ماده را بررسی نمودند. گیاهان در شرایط هیدروپونیک در واکنش به غلظت‌های صفر، ۶۰، ۱۲۰ ۱۸۰ و ۲۴۰ میکرومولار سرب قرار گرفتند، و نمونه‌های گیاهی در مرحله پایان گلدهی تهیه شد. دانه‌های گرده و کلاله با SEM (میکروسکوپ الکترونی روبشی) در پایان مرحله گلدهی بررسی شد، و مشخص گردید که فلز سرب سبب کاهش قطر دانه گرده گیاه شده است. مطابق با بررسی آناتومیک برش عرضی گل مشخص گردید، که اثر سرب بر آناتومی گیاه درمراحل مختلف رشد

متفاوت بوده، بصورتی‌که، افزایش غلظت سرب سبب کاهش قطر کیسه گرده، دانه گرده و تعداد دانه گرده و قطر تخمک گیاه گردید. افزایش جذب سرب گیاه، سبب افزایش طول گلچه‌ها در گلچه‌های زبانه‌ای و لوله‌ای شد. ساکاوا و همکاران (۲۳) در تحقیقات خود، جذب عناصر سنگین توسط بابونه در حال رشد را در چهار خاک مختلف آلوده به سطوح مختلف آرسنیک، کادمیوم، سرب و روی از طریق تغییرات میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک که یک پارامتر مهم و مؤثر بر تحرک عناصر در خاک است، بررسی نمودند. اگرچه سرب و روی در ریشه گیاه تجمع نمودند، اما کادمیوم دارای توانایی خوبی ازنظر انتقال به شاخه‌ها (دارای بیشترین ضریب تجمع در مقایسه با سایر عناصر آزمون گردیده) بود، بدون اینکه هیچ علائم سمی در سلول‌های گیاه مشاهده گردد. با توجه به نتایج تحقیقات فوق، و با توجه به اینکه هنوز لازم است در مورداستفاده از گیاهان دارویی، همچون گیاه بابونه آلمانی، برای مصارف گیاه‌پالایی در شرایط آلودگی فلزات سنگین، تحقیقات بیشتری انجام گردد، تحقیق حاضر، از طریق بررسی رشد گیاه بابونه آلمانی با مشاهده و اندازه‌گیری میزان رشد ریشه و اندام هوایی و همچنین تعداد گل‌های گیاه بابونه آلمانی با اهداف ذیل در شرایط آلودگی خاک به عناصر سرب و کادمیوم در شرایط گلخانه و مزرعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در شرایط گلخانه و مزرعه در سال زراعی ۹۷-۹۸ در دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان) در شرق اصفهان، با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی، و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۱۵۹۰ متر از سطح دریا و اقلیم (مطابق با روش کوپن) نیمه‌خشک و خشک با تابستان‌های گرم انجام گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام و تیمارهای فلزات سنگین شامل سرب در سه سطح صفر، ۶۰، و ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌صورت نیترات سرب و تیمار کادمیوم در سه سطح صفر، ۱۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌صورت نیترات کادمیوم در گلدان‌های آزمایش اعمال گردید. سایر تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: مراحل مختلف رشد گیاه، محل رشد گیاه و همچنین اندام‌های مختلف گیاه. برای مشخص نمودن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، نمونه‌های خاک مرکب به‌صورت تصادفی از عمق صفرتا ۳۰ سانتی‌متری برداشت و به مرکز تحقیقات آب‌وخاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان ارسال و مطابق با روش‌های استاندارد آنالیز گردیدند (جداول ۱ و ۲) (۱۹). نتایج آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، در جدول شماره ۱ و مشخصات خاک آزمایشی تیمار شده با سرب و کادمیوم، در جدول شماره ۲ قابل‌مشاهده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت	شن درصد	سیلت درصد	رس درصد	اشباع خاک درصد	رطوبت ظرفیت مزرعه درصد	رطوبت پژمردگی دائم درصد	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	شوری (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته (pH)	کربن آلی درصد	آهک درصد	گچ درصد	نیتروژن کل درصد	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب
لومی رسی سیلتی	۱۸	۵۱	۳۱	۵۲	۳۸	۹	۱/۳	۴/۵	۷/۹	۰/۶۸	۳۱/۵	۰/۰۵	۰/۰۰۷	۳۴	۲۹۵

جدول ۲- مشخصات خاک آزمایشی تیمار شده با سرب و کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) قبل و بعد از آزمایش

ردیف	مشخصات خاک	سرب	کادمیوم
۱	کنترل قبل از آزمایش	۴۵/۷۵	۲/۵
۲	کنترل بعد از آزمایش	۳۵/۲۵	۲/۲۵
۳	نمونه خاک برای آنالیز	۳۴/۵۰	۲
۴	Cd2 قبل از آزمایش	-	۸
۵	Cd2 بعد از آزمایش	-	۲/۵
۶	Cd3 قبل از آزمایش	-	۲۴/۵
۷	Cd3 بعد از آزمایش	-	۱۸
۸	Pb2 قبل از آزمایش	۷۳/۷۵	-
۹	Pb2 بعد از آزمایش	۴۵/۲۵	-
۱۰	Pb3 قبل از آزمایش	۱۸۳	-
۱۱	Pb3 بعد از آزمایش	۱۱۰	-

Cd2 و Cd3: کادمیوم ۱۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، **Pb2 و Pb3**: سرب ۶۰ و ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم

با استفاده از نمک نیترات کادمیوم ($Cd(NO_3)_2, 4H_2O$)، کلیه قسمت‌های خاک با تیمار کادمیوم اسپری گردیدند. با توجه به اینکه نمک نیترات کادمیوم حاوی نیترات نیز می‌باشد، برای تیمار نمودن خاک با ۲۰ میلی‌گرم کادمیوم، از جرم مولی نمک نیترات کادمیوم (۳۰۳/۴۷ گرم بر مول) استفاده گردید. پس از آلوده نمودن، خاک‌ها به

کیسه‌های پلاستیکی بدون زهکش منتقل و برای رسیدن به تعادل یونی به مدت دو هفته درون این کیسه‌ها و در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۳ درصد، نگاه داشته شدند تا برهمکنش آلاینده‌ها و خاک، تکوین یافته و شرایط آلودگی طبیعی‌تر شود. برای آلوده‌سازی خاک با سرب در سطوح مختلف، از نیترات سرب، که نسبت به سایر خاک‌ها دارای حلالیت بیشتری می‌باشد، همچون روش آلوده‌سازی کادمیوم استفاده گردید (۱۷). پس از آلوده‌سازی، میزان فلزات سنگین خاک در آزمایشگاه آنالیز گردید (جدول ۲).

درنهایت خاک‌ها با وزن ۱۰ کیلوگرم به گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر جهت کاشت انتقال یافتند. در این تحقیق از بوته‌های گیاه بابونه آلمانی (Matricaria Chamomilla L.)، از موسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر استان اصفهان تهیه شد. گیاهان در طول رشد به میزان ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به روش توزین آبیاری گردیدند. کلیه مراقبت‌های بهزراعی در طول مراحل رشد و نمو گیاه بابونه انجام گردید. نمونه‌ها درمراحل مختلف رشد گیاه شامل پنجه دهی، ساقه دهی و گلدهی تهیه و درنهایت در موقع برداشت گیاه به‌صورت کامل برداشت و ریشه‌ها با آب مقطر شستشو شدند. متغیرهای موردبررسی عبارت بودند از: وزن خشک اندام هوایی و ریشه، و همچنین تعداد گل، که در مراحل مختلف رشد، و در شرایط گلخانه و مزرعه، برداشت گردید.

نتایج و بحث

مطابق با نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر رشد گیاه (ماده خشک) (جدول ۳) اثر فاکتورهای آزمایش شامل غلظت فلز در سطح احتمال پنج درصد، مرحله و محل رشد در سطح احتمال یک درصد، و اندام گیاه در سطح احتمال یک درصد، و همچنین اثر برهمکنش نوع و غلظت فلز در سطح احتمال یک درصد، غلظت فلز و مرحله رشد در سطح احتمال پنج درصد، و غلظت فلز و اندام گیاه، و مرحله رشد و اندام در سطح احتمال یک درصد بر ماده خشک معنی‌دار شد. همچنین نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر رشد ریشه و اندام هوایی گیاه در شرایط گلخانه و در شرایط مزرعه (جدول ۴) مشخص نمود، که در شرایط گلخانه، اثر مرحله رشد بر رشد ریشه گیاه در سطح احتمال یک درصد، و اثر نوع و غلظت فلز در سطح احتمال پنج درصد، مرحله رشد در سطح احتمال یک درصد، اثر برهمکنش فلز و غلظت، و فلز و غلظت و مرحله رشد در سطح احتمال یک درصد بر رشد اندام هوایی به‌صورت معنی‌دار مؤثر بودند. در شرایط مزرعه، اثر مرحله رشد، و اثر برهمکنش فلز و مرحله رشد بر رشد ریشه گیاه، و اثر غلطت فلز، و مرحله رشد، و اثر برهمکنش نوع فلز و غلظت، نوع فلز و مرحله رشد، و نوع فلز، غلظت و مرحله رشد در سطح احتمال یک درصد به‌صورت معنی‌دار بر رشد اندام هوایی مؤثر بودند. در مورد تعداد گل‌ها، نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد گل در گیاه‌نشان داد که فقط اثر برهمکنش نوع فلز، غلظت و محل رشد در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵).

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر زیست‌توده

منبع	درجه آزادی	مجموع مجذورات	میانگین مربعات	میزان F	احتمال> F
فلز	۱	۲۳۴۷۹/۱۹	۲۳۴۷۹/۱۹	۰/۶۵	۰/۴۲۱۸
غلظت	۲	۲۶۳۸۴۹/۰۴	۱۳۱۹۲۴/۵۲	۳/۶۴	۰/۰۲۸۱*
مرحله رشد	۲	۲۳۹۰۰۷۱/۲۶	۱۱۹۵۰۳۵/۶۳	۳۲/۹۹	۰<۰/۰۰۰۱**
محل	۱	۸۹۱۴۰۴/۵۲	۸۹۱۴۰۴/۵۲	۲۴/۶۱	۰<۰/۰۰۰۱**
اندام	۱	۱۹۱۴۵۹۲۰/۶۷	۱۹۱۴۵۹۲۰/۶۷	۵۲۸/۵۶	۰<۰/۰۰۰۱**
فلز * غلظت	۲	۳۸۸۹۸۱/۴۸	۱۹۴۴۹۰/۷۴	۵/۳۷	۰/۰۰۵۴**
فلز * مرحله رشد	۲	۱۸۵۸۴۲/۸۱	۹۲۹۲۱/۴۱	۲/۵۷	۰/۰۷۹۶
فلز * محل	۱	۹۷۱۱۲/۹۶	۹۷۱۱۲/۹۶	۲/۶۸	۰/۱۰۳۲
فلز * اندام	۱	۵۳۶۰/۰۷	۵۳۶۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۷۰۰۹
غلظت * مرحله رشد	۴	۴۱۸۴۵۷/۱۹	۱۰۴۶۱۴/۳۰	۲/۸۹	۰/۰۲۳۷*
غلظت * محل	۲	۳۵۷۰۳/۲۶	۱۷۸۵۱/۶۳	۰/۴۹	۰/۶۱۱۷
غلظت * اندام	۲	۳۵۷۶۹۹/۱۱	۱۷۸۸۴۹/۵۶	۴/۹۴	۰/۰۰۸۱**
مرحله رشد * محل	۲	۷۵۰۰۵/۴۸	۳۷۵۰۲/۷۴	۱/۰۴	۰/۳۵۷۱
مرحله رشد * اندام	۲	۸۲۶۳۹۲/۴۴	۴۱۳۱۹۶/۲۲	۱۱/۴۱	۰<۰/۰۰۰۱**
محل * اندام	۱	۵۳۴۸۱۲/۵۲	۵۳۴۸۱۲/۵۲	۱۴/۷۶	۰/۰۰۰۲

*** و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد**

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر زیست‌توده ریشه و اندام هوایی در شرایط گلخانه و در شرایط مزرعه

منبع	درجه آزادی	گلخانه، ریشه: مجموع مجذورات	میانگین مربعات	میزان F	احتمال> F	گلخانه، اندام هوایی: مجموع مجذورات	میانگین مربعات	میزان F	احتمال> F
فلز	۱	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۰۰	۰/۹۹	۲۱۵۵۸۷/۸۵	۲۱۵۵۸۷/۸۵	۴/۳۵	۰/۰۴*
غلظت	۲	۳۵۷/۳۳	۱۷۸/۶۷	۰/۰۳	۰/۹۷	۳۹۹۱۴۹/۰۴	۱۹۹۵۷۴/۵۲	۴/۰۳	۰/۰۳*
مرحله رشد	۲	۱۶۴۴۲۸/۴۴	۸۲۲۱۴/۲۲	۱۳/۲۰	۰<۰/۰۰۰۱**	۱۸۹۵۶۷۳/۴۸	۹۴۷۸۳۶/۷۴	۱۹/۱۲	۰<۰/۰۰۰۱**
فلز * غلظت	۲	۸۰۱۸/۳۷	۴۰۰۹/۱۹	۰/۶۴	۰/۵۳	۷۴۴۱۱۶/۱۵	۳۷۲۰۵۸/۰۷	۷/۵۰	۰/۰۰**
فلز * مرحله رشد	۲	۱۱۰۰۵/۰۴	۵۵۰۲/۵۲	۰/۸۸	۰/۴۲	۴۷۰۲۲/۸۲	۲۳۵۱۱/۴۱	۰/۴۷	۰/۶۳
فلز*غلظت*مرحله رشد	۸	۳۳۷۲۹/۱۹	۴۲۱۶/۱۵	۰/۶۸	۰/۷۱	۱۹۴۸۲۶۱/۹۳	۲۴۳۵۳۲/۷۴	۴/۹۱	۰/۰۰**

منبع	درجه آزادی	مزرعه، ریشه: مجموع مجذورات	میانگین مربعات	میزان F	احتمال> F	مزرعه، اندام هوایی: مجموع مجذورات	میانگین مربعات	میزان F	احتمال> F
فلز	۱	۶۳۱۵/۸۵	۶۳۱۵/۸۵	۱/۸۴	۰/۱۸	۵۶۵۸۳/۴۱	۵۶۵۸۳/۴۱	۲/۳۰	۰/۱۴
غلظت	۲	۵۶۰۰/۵۹	۲۸۰۰/۳۰	۰/۸۲	۰/۴۵	۲۹۹۲۸۹/۴۸	۱۴۹۶۴۴/۷۴	۶/۰۷	۰/۰۱**
مرحله رشد	۲	۱۹۸۷۱۵/۲۶	۹۹۳۵۷/۶۳	۲۹/۰۰	۰<۰/۰۰۰۱**	۱۱۹۵۳۶۷/۷۰	۵۹۷۶۸۳/۸۵	۲۴/۲۵	۰<۰/۰۰۰۱**
فلز * غلظت	۲	۳۰۰۸/۵۹	۱۵۰۴/۳۰	۰/۴۴	۰/۶۵	۱۸۳۳۳۵/۷۰	۹۱۶۶۷/۸۵	۳/۷۲	۰/۰۳**
فلز * مرحله رشد	۲	۲۶۸۵۳/۹۳	۱۳۴۲۶/۹۶	۳/۹۲	۰/۰۳**	۴۰۵۴۴۴/۱۵	۲۰۲۷۲۲/۰۷	۸/۲۳	۰/۰۰**
فلز*غلظت*مرحله رشد	۸	۳۶۶۴۲/۳۷	۴۵۸۰/۳۰	۱/۳۴	۰/۲۶	۱۰۰۹۷۸۰/۱۵	۱۲۶۲۲۲/۵۲	۵/۱۲	۰/۰۰**

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد گل گیاه

منبع	درجه آزادی	مجموع مجذورات	میانگین مربعات	میزان F	احتمال> F
فلز	۱	۳۲/۱۱	۳۲/۱۱	۰/۲۳	۰/۶۴
غلظت	۲	۳۰۴/۳۹	۱۵۲/۱۹	۱/۰۹	۰/۳۵
محل	۱	۳۴۸/۴۴	۳۴۸/۴۴	۲/۵۰	۰/۱۳
فلز*غلظت	۲	۳۷۲/۰۶	۱۸۶/۰۳	۱/۳۴	۰/۲۸
فلز*محل	۱	۵۶۰/۱۱	۵۶۰/۱۱	۴/۰۲	۰/۰۶
فلز*غلظت*محل	۴	۱۶۹۱/۱۱	۴۲۲/۷۸	۳/۰۴	۰/۰۴*

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

تعداد گل

با افزایش غلظت کادمیوم و سرب از تعداد گل در شرایط مزرعه کاسته، و بر تعداد گل در شرایط گلخانه افزوده گردید. در شرایط مزرعه بیشترین تعداد گل (۳۵) توسط تیمار کنترل و سپس سطح دوم (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کادمیوم (۱۹)، حاصل گردید. در شرایط گلخانه بیشترین تعداد گل توسط سطح سوم (۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کادمیوم (۳۱) و سپس سطح دوم (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کادمیوم (۲۰) حاصل گردید. در شرایط مزرعه بیشترین تعداد گل (۲۰) توسط سطح دوم (۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) سرب و سپس سطح کنترل (۱۱) و سطح سوم (۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تیمار سرب حاصل گردید. در شرایط گلخانه بیشترین تعداد گل توسط سطح سوم (۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) سرب (۴۵) و سپس سطح دوم (۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) سرب (۲۱) حاصل گردید (جدول ۶).

جدول ۶- تعداد گل‌های گیاه بابونه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

فلز	غلظت	محل	تعداد گل	انحراف معیار
کادمیوم	۱	مزرعه	۳۵	۸/۶۶
کادمیوم	۱	گلخانه	۱۶	۸/۹۶
کادمیوم	۲	مزرعه	۱۹	۱۳/۰۱
کادمیوم	۲	گلخانه	۲۰	۹/۸۱
کادمیوم	۳	مزرعه	۱۷	۱۳/۶۱
کادمیوم	۳	گلخانه	۳۱	۳/۴۶
سرب	۱	مزرعه	۱۱	۳/۵۱
سرب	۱	گلخانه	۱۸	۱۲/۸۶
سرب	۲	مزرعه	۲۰	۱۵/۳۹
سرب	۲	گلخانه	۲۱	۱۸/۲۳
سرب	۳	مزرعه	۱۱	۵/۶۹
سرب	۳	گلخانه	۴۵	۱۶/۵۰

ماده خشک گیاه

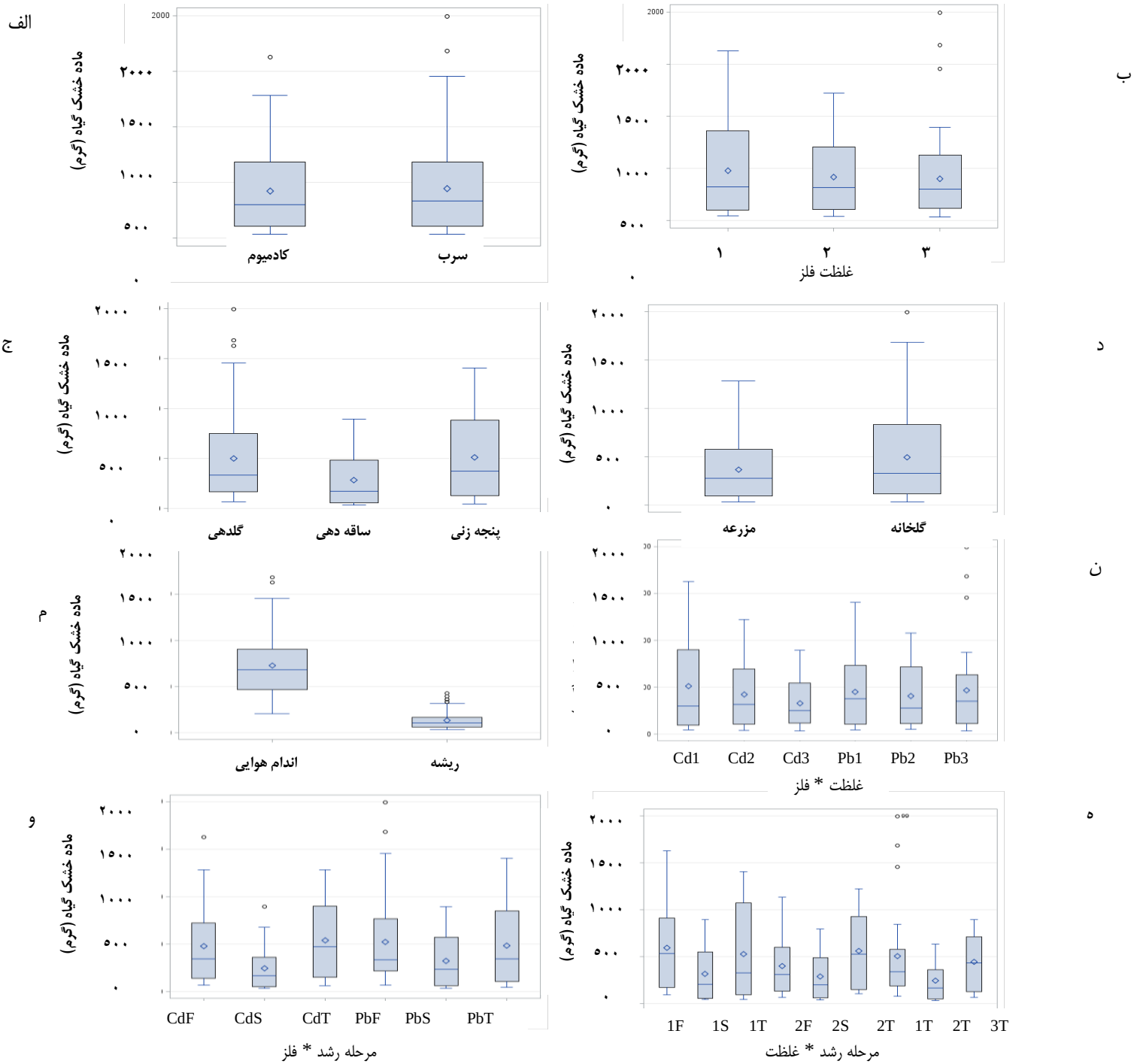
تفاوتی ازنظر میزان ماده خشک در واکنش به سرب (۴۴۲/۳۳ گرم) و کادمیوم (۴۲۱/۴۸ گرم) ملاحظه نگردید (شکل ۱الف، جدول ۷). با افزایش غلظت عناصر سنگین، رشد گیاه (ماده خشک گیاه) به‌صورت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد کاهش یافت، به‌طوری‌که میانگین سطح اول (تیمار کنترل) ۴۸۰/۳۹ گرم، سطح دوم (کادمیوم ۱۰ و سرب ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ۴۱۶/۰۰ گرم، و سطح سوم (کادمیوم ۴۰ و سرب ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برابر ۳۹۹/۳۳ گرم بود (شکل ۱ب، جدول ۷). بیشترین رشد گیاه در مرحله گلدهی (۵۰۰/۷۸ گرم) و پنجه‌زنی (۵۱۱/۶۷ گرم) مشاهده شد، که به‌طور معنی‌دار از مرحله ساقه دهی (۲۸۳/۲۸ گرم) بیشتر بود (شکل ۱ج، جدول ۷). شرایط گلخانه (۴۹۶/۱۵ گرم) موجب افزایش معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد رشد گیاه (ماده خشک) در مقایسه با شرایط مزرعه (۳۶۷/۶۷ گرم) گردید (شکل ۱د، جدول ۷).

ماده خشک گیاه اندام‌های هوایی (۷۲۹/۶۳ گرم) به‌صورت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بیشتر از رشد ریشه گیاه (۱۳۴/۱۹ گرم) بود (شکل ۱م، جدول ۷). مطابق با اثر برهمکنش نوع و غلظت فلز، افزایش غلظت کادمیوم در مقایسه با سرب، به‌طور معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد سبب کاهش بیشتر رشد گیاه (۳۳۳/۱۱ گرم در برابر ۴۰۷/۴۴ گرم) شد. (شکل ۱ن، جدول ۷). اثر برهمکنش نوع فلز و مرحله رشد مشخص نمود، که بیشترین رشد گیاه در واکنش به کادمیوم در مرحله پنجه‌زنی (۵۴۱/۱۱ گرم) و توسط سرب (۵۲۱/۲۲ گرم) در مرحله گلدهی حاصل گردید (شکل ۱و، جدول ۷). به همین صورت، مطابق با اثر برهمکنش غلظت فلز و مرحله رشد، بیشترین رشد گیاه در سطح اول (تیمار کنترل) غلظت فلز و در مرحله گلدهی (۵۹۵/۱۷ گرم) و در سطح دوم (کادمیوم ۱۰ و سرب ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) غلظت فلز، بیشترین رشد در مرحله پنجه‌زنی (۵۵۹/۱۷ گرم) و در سطح سوم (کادمیوم ۴۰ و سرب ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مجدداً توسط مرحله گلدهی (۵۰۶/۶۷ گرم) مشاهده شد (شکل ۱ه، جدول ۷).

جدول ۷- رشد زیست‌توده تحت تأثیر تیمارهای آزمایش شامل نوع و غلظت فلز، مرحله رشد، محل، و اندام گیاه

فلز	غلظت	مرحله	محل	اندام	ماده خشک	فلز	غلظت	مرحله	محل	اندام	ماده خشک
کادمیوم	۱	F	F	A	۱۱۴۵/۳۳±۲۰۶/۵۱	سرب	۱	F	F	A	۷۶۶/۶۷±۶۶/۰۱
کادمیوم	۱	F	F	R	۱۸۶/۶۷±۷۰/۴۷	سرب	۱	F	F	R	۲۲۰/۰۰±۴۸/۵۰
کادمیوم	۱	G	F	A	۱۰۶۴/۰۰±۵۰۱/۵۷	سرب	۱	G	F	A	۹۶۰/۰۰±۳۹/۴۰
کادمیوم	۱	G	F	R	۲۱۲/۰۰±۱۶۱/۱۵	سرب	۱	G	F	R	۲۰۶/۶۷±۱۱۸/۲۸
کادمیوم	۱	F	S	A	۳۶۱/۳۳±۱۱۰/۵۹	سرب	۱	F	S	A	۵۰۰/۰۰±۹۳/۵۵
کادمیوم	۱	F	S	R	۶۲/۶۷±۱۵/۱۴	سرب	۱	F	S	R	۴۵/۳۳±۲/۳۱
کادمیوم	۱	G	S	A	۶۶۸/۰۰±۲۰۹/۸۴	سرب	۱	G	S	A	۷۳۳/۳۳±۱۴۲/۲۹
کادمیوم	۱	G	S	R	۵۴/۶۷±۱۵/۱۴	سرب	۱	G	S	R	۱۰۹/۳۳±۱۴/۰۵
کادمیوم	۱	F	T	A	۹۴۴/۰۰±۳۲۳/۵۱	سرب	۱	F	T	A	۵۰۲/۶۷±۸۴/۰۳
کادمیوم	۱	F	T	R	۷۳/۳۳±۱۶/۱۷	سرب	۱	F	T	R	۶۲/۶۷±۲۸/۹۴
کادمیوم	۱	G	T	A	۱۱۷۳/۳۳±۲۲/۰۳	سرب	۱	G	T	A	۱۱۸۹/۳۳±۲۰۸/۳۲
کادمیوم	۱	G	T	R	۱۷۲/۰۰±۵۸/۹۲	سرب	۱	G	T	R	۱۱۶/۰۰±۲۴/۹۸
کادمیوم	۲	F	F	A	۴۹۴/۶۷±۲۰۹/۲۸	سرب	۲	F	F	A	۵۰۲/۶۷±۲۸۱/۸۶
کادمیوم	۲	F	F	R	۸۹/۳۳±۱۸/۹۰	سرب	۲	F	F	R	۲۲۵/۳۳±۱۰۲/۷۹
کادمیوم	۲	G	F	A	۹۴۰/۰۰±۲۵۱/۸۱	سرب	۲	G	F	A	۵۵۷/۳۳±۴۵۰/۲۹
کادمیوم	۲	G	F	R	۲۱۶/۰۰±۱۳۲/۶۰	سرب	۲	G	F	R	۱۷۸/۶۷±۱۲۸/۷۷
کادمیوم	۲	F	S	A	۳۶۹/۳۳±۶۷/۶۹	سرب	۲	F	S	A	۴۶۴/۰۰±۴۱/۷۶
کادمیوم	۲	F	S	R	۵۲/۰۰±۱۲/۰۰	سرب	۲	F	S	R	۶۸/۰۰±۲۱/۱۷
کادمیوم	۲	G	S	A	۵۴۹/۳۳±۱۳۴/۶۰	سرب	۲	G	S	A	۶۷۷/۳۳±۱۲۶/۶۴
کادمیوم	۲	G	S	R	۶۶/۶۷±۱۴/۰۵	سرب	۲	G	S	R	۶۰/۰۰±۴/۰۰
کادمیوم	۲	F	T	A	۱۰۱۴/۶۷±۱۸۱/۸۳	سرب	۲	F	T	A	۸۸۸/۰۰±۱۵۰/۰۴
کادمیوم	۲	F	T	R	۱۵۴/۶۷±۱۱/۵۵	سرب	۲	F	T	R	۱۱۶/۰۰±۱۷/۴۴
کادمیوم	۲	G	T	A	۹۳۴/۶۷±۱۶۸/۰۲	سرب	۲	G	T	A	۹۸۰/۰۰±۹۶/۰۰
کادمیوم	۲	G	T	R	۲۱۳/۳۳±۱۰۴/۱۰	سرب	۲	G	T	R	۱۷۲/۰۰±۳۴/۸۷
کادمیوم	۳	F	F	A	۴۵۶/۰۰±۲۳۸/۲۳	سرب	۳	F	F	A	۳۹۰/۶۷±۴۴/۹۶
کادمیوم	۳	F	F	R	۲۰۲/۶۷±۱۴۴/۴۶	سرب	۳	F	F	R	۲۷۸/۶۷±۱۳۴/۲۴
کادمیوم	۳	G	F	A	۶۳۴/۶۷±۲۷۱/۴۲	سرب	۳	G	F	A	۱۷۱۲/۰۰±۲۷۱/۰۹
کادمیوم	۳	G	F	R	۱۲۲/۶۷±۱۶/۱۷	سرب	۳	G	F	R	۲۵۶/۰۰±۶۶/۵۷
کادمیوم	۳	F	S	A	۲۹۰/۶۷±۶۱/۲۳	سرب	۳	F	S	A	۵۸۵/۳۳±۴۰/۸۶
کادمیوم	۳	F	S	R	۳۶/۰۰±۴/۰۰	سرب	۳	F	S	R	۶۱/۳۳±۴/۶۲
کادمیوم	۳	G	S	A	۳۲۴/۰۰±۴۵/۰۸	سرب	۳	G	S	A	۵۲۰/۰۰±۱۵۱/۹۵
کادمیوم	۳	G	S	R	۸۱/۳۳±۴۱/۰۵	سرب	۳	G	S	R	۵۸/۶۷±۳۶/۳۰
کادمیوم	۳	F	T	A	۷۵۶/۰۰±۱۰۵/۸۳	سرب	۳	F	T	A	۶۴۹/۳۳±۵۸/۲۹
کادمیوم	۳	F	T	R	۱۲۲/۶۷±۳۸/۴۴	سرب	۳	F	T	R	۹۷/۳۳±۲۵/۷۲
کادمیوم	۳	G	T	A	۷۳۶/۰۰±۱۴۰/۳۴	سرب	۳	G	T	A	۸۳۲/۰۰±۳۸/۱۶
کادمیوم	۳	G	T	R	۱۹۸/۶۷±۷۵/۶۱	سرب	۳	G	T	R	۱۸۱/۳۳±۸۸/۱۲

T: پنجه‌زنی، S: ساقه دهی، F: گلدهی، G: گلخانه، F: مزرعه، R: ریشه، A: اندام هوایی گیاه



شکل ۱- رشد گیاه بابونه المانی تحت تأثیر تیمارهای آزمایش شامل: الف) نوع فلز (کادمیوم و سرب)، ب) غلظت فلز (۱و۲و۳) ، ج) مرحله رشد گیاه (ساقه دهی (S)، پنجه‌زنی (T)، و گلدهی (F))، د) محل رشد (گلخانه و مزرعه)، م) اندام گیاه (ریشه و اندام هوایی)، ن) اثر متقابل نوع و غلظت فلز، و) اثر متقابل نوع فلز و مرحله رشد، و ه) اثر متقابل غلظت فلز و مرحله رشد

این تحقیق، با توجه به اهمیت کاشت گیاهان دارویی در مناطق آلوده با فلزات سنگین، اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم و سرب، بر رشد اندام‌های مختلف گیاه بابونه آلمانی، در شرایط گلخانه و مزرعه موردبررسی قرار گرفت. مطابق با نتایج مشخص شد، که تیمارهای آزمایش به‌صورت معنی‌داری سبب کاهش رشد گیاه در شرایط آلودگی شد (۲ و ۱۲)، گرچه رشد گیاه کاملاً متوقف نشده، و گیاه رشد خود را تکمیل نمود. چنین نتایجی مشخص می‌نماید، که کاشت گیاه بابونه آلمانی، در شرایط آلودگی خاک با فلزات سنگین امکان‌پذیر بوده، که این موضوع (bioremediation) ازنظر سلامتی، اقتصادی و زیست‌محیطی حائز اهمیت است.

مطابق با نتایج این آزمایش، کادمیوم در مقایسه با سرب بیشتر سبب کاهش رشد گیاه شد، که مشخص می‌نماید گیاه بابونه آلمانی در مقابل سمیت کادمیوم حساس‌تر است. در تحقیقات فتاحی و همکاران (۱۳)، اثر کادمیوم (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سرب (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بر ویژگی‌های مرفولوژیکی گیاه ریحان بررسی و مشخص شد که افزایش سطوح فلزات سنگین سبب کاهش سطح برگ گیاه، گلدهی و ماده خشک گیاه گردید. تحقیقات مشخص نموده‌اند، که کادمیوم از طریق اثر برساخت RNA، پیچیدگی برگ، کلروز، کاهش میران فتوسنتز، توقف باز شدن روزنه‌ها، و کاهش فعالیت آنزیم‌های مختلف سبب کاهش رشد گیاه می‌گردد (۱۱). گیاهان برای کاهش اثر نامطلوب کادمیوم بر رشد گیاه از سازوکارهای مختلفی همچون اتصال کادمیوم به دیواره سلولی، کلاته نمودن فلز با پروتئین‌ها و قراردادن کادمیوم در واکوئل استفاده می‌نمایند. در گیاهان غیر مقاوم راندمان چنین سازوکارهایی زیاد نیست، و درنتیجه اثر سمی فلز درگیاه ظاهر می‌گردد. در شرایط تنش فلزات سنگین، گونه‌های فعال اکسیژن به میزان زیاد تولیدشده، و درنتیجه موجب ایجاد اثر سمی در گیاه خواهد شد (۱۴و ۲۰).

نتایج مشابهی با نتایج این آزمایش در تحقیقی که توسط کوتروسکا و همکاران (۱۶) درگیاه Brassica juncea انجام گردید، مشاهده شد. گیاهان ۱۴ روزه با ترکیبات شیمیایی مختلف حاوی فلزات سنگین با غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرومول از غلظت هر فلز تیمار گردیدند. اثر نامطلوب فلزات بر تولید ماده خشک گیاه مطابق با روال ذیل ملاحظه گردید: Cu + Cd > Cu + Zn, Cd + Pb > Cu + Pb > Zn + Pb, Cu > Cd > Zn > Zn + Cd > Pb. نتایج آزمایش ما نیز مشخص نمود، که اثر نامطلوب کادمیوم بر رشد گیاه بابونه آلمانی بیشتر از سرب می باشد.

ریشه‌های گیاه دارای نقش مهمی در کنترل اثر نامطلوب فلزات سنگین بررشد گیاه هستند. برای مثال میزان بالای سرب جذب شده توسط ریشه گیاه، توسط دیواره سلولی کورتکس و آندودرم نگاه داشته می‌شوند (۱۵)، که درنتیجه مانع کاهش انتقال فلز به آوندهای گیاه، و حفظ گیاه در برابر صدمات حاصل از فلزات سنگین می‌گردد. کادمیوم نیز به‌آسانی در اندام‌های گیاهی تجمع نموده و درنتیجه اثر نامطلوب فلز بر فرِآیندهای فیزیولوژیکی گیاه ظاهر می‌گردد (۲۲ و ۲۴). اگرچه اثر نامطلوب فلزات سنگین همچون کادمیوم و سرب بر رشد گیاه در آزمایش‌های مختلف ظاهر گردیده، اما اثر مثبت این فلزات، نیز به‌عنوان اثر هرمتیک (Hormetic Effect) بر رشد گیاه در برخی آزمایش‌ها مشاهده‌شده که شبیه به اثر مثبت این فلزات بر تعداد گل در این آزمایش است (۲۰). مشابه با نتایج این آزمایش، این نویسندگان همچنین دریافتند، که اثر کادمیوم بر رشد گیاه، منفی نبود.

نتیجه‌گیری

در این آزمایش، اثر سطوح مختلف کادمیوم و سرب بر رشد گیاه بابونه آلمانی در شرایط گلخانه و مزرعه بررسی گردید. نتایج مشخص نمود، که اگرچه کادمیوم وسرب به‌صورت معنی‌دار سبب کاهش رشد بابونه آلمانی گردیدند، اما گیاه توانست رشد خود را تکمیل نماید. بنابراین می‌توان از گیاه بابونه آلمانی برای پاک‌سازی (bioremediation) محیط آلوده با فلزات سنگین همچون کادمیوم و سرب استفاده نمود. اثر کادمیوم و سرب بر رشد ریشه گیاه در مقایسه باااندام هوایی گیاه معنی‌دار نبود، که مشخص می‌نماید، ریشه گیاه با استفاده از سازوکارهای فیزیولوژیکی می‌تواند از اثر نامطلوب فلزات سنگین بر رشد ریشه بکاهد. سایر پارامترهای مؤثر بر رشد گیاه در شرایط آلودگی با کادمیوم و سرب عبارت بودند از: مرحله رشد گیاه، محل رشد، و غلظت فلز، که به‌صورت معنی‌دار بر رشد گیاه مؤثر بودند. در مقایسه با مرحله ساقه دهی، اثر فلزات سنگین درمراحل رشد پنجه‌زنی و گلدهی کمتر ظاهر گردید. نکته جالب دیگر اینکه در شرایط گلخانه، گل‌های گیاه این‌گونه بابونه، بسیار کمتر از شرایط مزرعه تحت اثر نامطلوب فلزات سنگین بودند. بنابراین می‌توان از گیاه بابونه آلمانی برای پاک‌سازی محیط‌های آلوده به برخی فلزات سنگین استفاده نمود.

منابع

۱- آزادبخت، ز.، بهشتی آل آقا، ع.، کهریزی، د.، و کرمی، م. ۱۳۹۹. تأثیر آلودگی کادمیم و سرب بر کیفیت زیستی خاک و رشد گیاه کلزا (*Brassica napus*). نشریه تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱(۱): ۲۱۷-۲۳۰.

۲- اسدی، س.، مقدم، م، قاسمی، ع.، فتوت، ا. ۱۴۰۰. تاثیر محلول پاشی متیل جاسمونات بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و میزان جذب سرب در گیاه دارویی ریحان تحت تنش سرب. مجله تنشهای محیطی در علوم زراعی ۱۳: ۱۳۴۴-۱۳۲۹.

۳- آلبوغیش، ن، زرین کمر، ف. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات ساختاری در اندام های زایشی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) ناشی از تنش سرب. پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران) ۲۷: ۳۴۵-۳۳۶.

۴- بقائی, ا. ب.، مهان پور، ک. ۱۳۹۷. گیاه پالایی سرب توسط ذرت (رقم ماکسیما) و شبدر سفید در کشت منفرد و مخلوط در خاک آلوده به سرب. فصلنامه سلامت و محیط زیست. ۱۱(۱): ۸۴-۷۵.

۵- جمالی، ج.، انتشاری ش.، حسینی س.م. ۱۳۹۱. تاثیر عناصر پتاسیم و روی بر تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مقاومت به خشکی در ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴). مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴ (۱۴) :۳۷-۴۴.

۶- جوانمرد ح. ر.، مختاری کرچگانی، ح.، غلامی، ع. ۱۳۹۷. اثر پلیمر سوپر جاذب، اسید هیومیک و باکتری بر صفات فیزیولوژیک یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) در خاک‌های آلوده به سرب . مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰ (۳۷) :۱۳۸-۱۱۹.

۷- حسن‌پور درویشی، ح. ۱۳۹۳. بررسی اثر سرب و روی و نقش قارچ میکوریزا بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و بیومارکرهای تخریب در یونجه، خلر و ماشک گل خوشه‌ای. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶ (۲۴) :۸۸-۷۳.

۸- دادنیا، م.ر. ۱۳۹۱. بررسی اثر تنش کمبود آب و محلول پاشی سلنیوم بر فعالیت برخی از آنزیم های آنتی اکسیدانت در ارقام آفتابگردان روغنی. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴ (۱۴) :۸۱-۷۱.

۹- صادقی پور، ا. ۱۳۹۶. اثر کاربرد کلسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد دانه سویا در شرایط آلودگی خاک به سرب. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹ (۳۵) :۱۰۴-۸۹.

۱۰- مشایخی، ش.، ابدالی مشهدی، ع.ر.، بخشنده، ع.، لطفی جلال آبادی، ا.، سید نژاد، س.م. ۱۳۹۸. بررسی برخی از خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla L*) تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک. مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران, ۳۵(۳): ۴۳۶-۴۲۴.

11- Bagheri, M., Javanmard, H.R. and Naderi, M.R. 2021. Soil cadmium and lead affecting biochemical properties of *Matricaria chamomilla* L. at different growth stages in the greenhouse and field. https://doi.org/10.1007/s10534-021-00314-z

12- Doostikhah, N., Panahpour, E., Nadian, H. and Gholami, A., 2020. Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) nutrient and lead uptake affected by zeolite and DTPA in a lead- polluted soil. Plant Biology. 22: 317-322.

13- Fattahi, B., Arzani, K., Souri, M.K. and Barzegar, M., 2019. Effects of cadmium and lead on seed germination, morphological traits, and essential oil composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Industrial Crops and Products. 138: 111584.

14- Huang, D., Gong, X., Liu, Y., Zeng, G., Lai, C., Bashir, H., Zhou, L., Wang, D., Xu, P., Cheng, M. and Wan, J., 2017. Effects of calcium at toxic concentrations of cadmium in plants. Planta. 245: 863-873.

15- Kumar, A., MMS, C.P., Chaturvedi, A.K., Shabnam, A.A., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Gupta, D.K., Malyan, S.K., S Kumar, S., A Khan, S. and Yadav, K.K., 2020. Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. International Journal of Environmental Research and Public Health. 17: 2179.

16- Kutrowska, A., Małecka, A., Piechalak, A., Masiakowski, W., Hanć, A., Barałkiewicz, D., Andrzejewska, B., Zbierska, J. and Tomaszewska, B., 2017. Effects of binary metal combinations on zinc, copper, cadmium and lead uptake and distribution in *Brassica juncea*. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 44: 32-39.

17- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 421-428.

18- Miransari, M., 2011. Hyperaccumulators, arbuscular mycorrhizal fungi and stress of heavy metals. Biotechnology Advances. 29: 645-653.

19- Miransari, M., Bahrami, H.A., Rejali, F. and Malakouti, M.J., 2008. Using arbuscular mycorrhiza to alleviate the stress of soil compaction on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth. Soil Biology and Biochemistry. 40: 1197-1206.

20- Muszyńska, E., Hanus- Fajerska, E. and Ciarkowska, K., 2018. Studies on lead and cadmium toxicity in *Dianthus carthusianorum* calamine ecotype cultivated in vitro. Plant Biology. 20: 474-482.

21- Saini, S. and Dhania, G., 2020. Cadmium as an Environmental Pollutant: Ecotoxicological Effects, Health Hazards, and Bioremediation Approaches for Its Detoxification from Contaminated Sites. In: Bharagava R., Saxena G. (eds) Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3426-9_15

22- Shi, Q., Wang J., Zou, J., Jiang, Z., Wang, J., Wu, H., Jiang, W. and Liu, D., 2015. Cadmium uptake and accumulation and its toxic effects on leaves in *Hordeum vulgare*. Fresenius Environmental Bulletin. 24: 4504–4511.

23- Száková, J., Dziaková, M., Kozáková, A. and Tlustoš, P., 2018. The risk element uptake by chamomile (*Matricaria recutita* (L.) Rauschert) growing in four different soils. Archives of Environmental Protection. 44(4): 12-21.

24- Wiszniewska, A., Hanus-Fajerska, E., Muszynska, E. and Smolen, S., 2017. Comparative assessment of response to cadmium in heavy metal-tolerant shrubs cultured in vitro. Water, Air and Soil Pollution. 228 (8): 1-13.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 11, Issue 1, Spring and Summer 2021

The growth of (*Matricaria chamomilla* L.) affected by cadmium and lead in greenhouse and field conditions

Mohammad Bagheri[1], Hamid Reza Javanmanrd[2*], Mohammad Reza Naderi[2]

1: Ph.D. graduate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan (Khorasgan) Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2: Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan (Khorasgan) Islamic Azad University, Isfahan, Iran

*: **Corresponding Author, Email: hamidjavanmard@yahoo.com**

(Received: 1 September2021; Accepted: 7 September 2021)

Abstract

The use of medicinal plants in contaminated soils with heavy metals is of significance for the bioremediation of the environment and for plant growth. The effects of cadmium (Cd) and lead (Pb) on the growth of roots and aerial parts, and the number of flowers in *Matricaria chamomilla* L. were investigated in greenhouse and field conditions using 10-kg pots containing polluted soil with Cd (0, 10, and 40 $mgkg^{-1}$) and Pb (0, 60 and 180 $mgkg^{-1}$) in 2018-2019 in Isfahan (Khorasgan) Islamic Azad University. The effects of the experimental treatments including metal concentration was significant at 5% level, growth stage and location, plant tissue and their interactions significantly affected plant growth (dry weight) was significant at 1% level. Increasing Cd and Pb concentrations decreased number of flowers in the field and increased it in the greenhouse. Plant growth significantly decreased by increasing heavy metal concertation was significant at 5% level as at the first, second and third contamination levels, it was equal to 480.39, 416.00, and 399.33 g, respectively. The highest plant growth was resulted at flowering (500.78) and tillering (511.67 g), significantly at 5% level higher than that of stemming (283.28 g). Compared with Pb (407.44 g), increasing Cd concentration, resulted in significantly at 5% level higher reduction (333.11 g) of plant growth. It is possible to grow *Matricaria chamomilla* L. in heavy metal polluted soils for the bioremediation of the environment.

Keywords: soil pollution, plant tissue, environmental bioremediation, plant growth stages