



Effect of charcoal on morphological and physiological characteristics of sage (*Salvia officinalis* L.) under cadmium stress

Masomeh Mahdavi¹, Mohammad Moghaddam^{2*}

1. M.Sc Student, Department of Horticultural Sciences and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, I.R.

2. Associate Professor: Department of Horticultural Sciences and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, I.R.

ARTICLE INFO

Article history

Submitted: 2025-3-3

Revised: 2025-9-7

Accepted: 2025-9-22

KEYWORD S

Charcoal, Essential oil content, Medicinal plants, Nutrient absorption, Cadmium stress

ABSTRACT

Charcoal preserves soil carbon and increases soil fertility by having high levels of nutrients. One of the most important pollutants of the environment is heavy metals. This study investigated the effect of different levels of charcoal obtained from acacia wood on some growth characteristics, essential oil content, and nutrient absorption of sage plants under cadmium stress. The experimental treatments included different levels of charcoal (0, 1, and 2% by weight) and cadmium stress at three levels of 0, 30, and 60 mg/kg of soil, which was factorial in the form of a completely randomized design with 4 replications in the research greenhouse of the Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. The results showed that increasing the concentration of cadmium caused a significant decrease in the growth of sage plants in terms of height, stem diameter, number of sub-branches, leaf area, number of leaves, biomass, and root growth. Cadmium stress also caused a decrease in essential oil content and the amount of nitrogen, phosphorus, and potassium elements, and increased iron, manganese, and cadmium in the aerial parts of the sage plant. The use of charcoal reduced the harmful effects of cadmium on growth by reducing the transfer of cadmium from roots to aerial organs and improving the absorption of nutrients. In plants treated with increasing charcoal concentration, the amount of essential oil in the flowering branches of sage significantly increased. The greatest effect of charcoal on morphological traits, percentage of essential oil, and concentration of nutrients was observed in the highest concentration used (2% by weight) and in plants under severe cadmium stress.

* Corresponding author: *Mohammad Moghaddam*

✉ E-mail: *m.moghadam@um.ac.ir*





مقاله پژوهشی

اثر کاربرد زغال بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه مریم کلی (*Salvia officinalis* L.) تحت تنش کادمیوم

معصومه مهدوی^۱، محمد مقدم^{*۲}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
۲- نویسنده مسئول مکاتبات، دانشیار، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳-۱۲-۱۴۰۳
بازنگری: ۱۶-۶-۱۴۰۴
پذیرش: ۳۱-۶-۱۴۰۴

واژگان کلیدی:

تنش کادمیوم، جذب عناصر، زغال، گیاهان دارویی، محتوای اسانس

چکیده: این مطالعه با هدف بررسی اثر سطوح مختلف زغال حاصل از چوب اقلایا بر برخی خصوصیات رشدی، محتوای اسانس و جذب عناصر غذایی گیاه مریم کلی تحت تنش کادمیوم انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف زغال (۰، ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی خاک هر گلدان) و تنش کادمیوم در سه سطح ۰، ۳۰ و ۶۰ میلی-گرم بر کیلوگرم خاک بود که به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد انجام گردید. نتایج حاصل نشان داد افزایش غلظت کادمیوم موجب کاهش معنی-دار رشد گیاه مریم کلی از نظر ارتفاع، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، سطح برگ، تعداد برگ، زیست توده و رشد ریشه گردید. تنش کادمیوم هم-چنین سبب کاهش محتوای اسانس و مقدار عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و افزایش میزان آهن، منگنز و کادمیوم در اندام-های هوایی گیاه مریم کلی شد. استفاده از زغال با کاهش انتقال کادمیوم از ریشه به اندام-های هوایی و بهبود جذب عناصر غذایی، اثرات مضر کادمیوم بر رشد گیاه را کاهش داد. در گیاهان تیمار شده با افزایش غلظت زغال، میزان اسانس سرشاخه-های گل-دار مریم کلی به-طور معنی-داری افزایش یافت. بیشترین اثر ذغال روی خصوصیات رشدی، میزان اسانس و غلظت عناصر غذایی در بالاترین غلظت استفاده شده (۲ درصد وزنی خاک هر گلدان) و در گیاهان تحت تنش شدید کادمیوم مشاهده گردید.

*نویسنده مسئول: محمد مقدم

✉ E-mail: : m.moghadam@um.ac.ir
Journal homepage: jmpb.znu.ac.ir



مقدمه

که قرار گرفتن مریم‌گلی در معرض کادمیوم می‌تواند بر رشد و عملکرد آن تأثیر بگذارد (امیر مرادی و همکاران، ۱۳۹۴). کادمیوم یک فلز آلوده‌کننده محیط زیست است و منابع گوناگونی شامل صنایع، فاضلاب شهری و مواد سوختی باعث افزایش این آلاینده می‌شوند. غلظت بحرانی کادمیوم در خاک ۳ تا ۸ پی‌پی‌ام است (Ullah et al., 2020). از جمله مشکلاتی که جذب کادمیوم در گیاهان ایجاد می‌کند می‌توان به کاهش رشد ریشه و ساقه، سوختگی و زردی برگ‌ها، کاهش فعالیت بعضی آنزیم‌ها، جلوگیری از باز شدن روزنه‌ها و کاهش جذب آب و عناصر غذایی نام برد که موجب مرگ گیاه می‌شود (Xin et al, 2019). علاوه بر این فلز کادمیوم به آسانی توسط دستگاه گوارش انسان جذب شده و در کلیه و کبد تجمع می‌یابد. از این رو پاکسازی محیط زیست از فلز کادمیوم اهمیت بسزایی دارد (Saini and Dhania, 2020). علاوه بر این، کادمیوم میزان دسترسی گیاه به مواد معدنی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و جذب عناصر غذایی توسط گیاه را به تأخیر می‌اندازد (مقیم‌نژاد و همکاران،

مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) گیاهی دارویی و معطر متعلق به خانواده نعناعیان می‌باشد که بومی مناطق با اقلیم مدیترانه‌ای است (Lopresti, 2017; Zeidabadi et al., 2022). این گیاه دارویی به دلیل خواص دارویی فراوان، قرن‌ها برای اهداف درمانی در طب سنتی مورد استفاده قرار گرفته است (Jažo et al., 2023). مریم‌گلی حاوی انواع ترکیبات فعال زیستی مانند فلاونوئیدها، اسیدهای فنولیک، ترپن‌ها و غیره می‌باشد (Jažo et al., 2023). مریم‌گلی سرشار از اسانس بوده که منجر به خاصیت میکروب‌کشی، ویروس‌کشی و ضد قارچی این گیاه شده است (Chen et al., 2011). فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست هستند. در سال‌های اخیر اثر آلاینده‌گی فلزات سنگین بر خاک مورد توجه قرار گرفته است. در این میان کادمیوم با سمیت زیاد برای گیاهان نگرانی‌هایی را ایجاد کرده است. کادمیوم در مقایسه با سایر فلزات سنگین محلول تر بوده و از تحرک بالاتری برخوردار است (Al-Khayri et al., 2023). مطالعات نشان داده‌اند

به بهبود رشد گیاهان کمک می کنند (Liu et al., 2016). زغال یک ترکیب آلی غنی از کربن است که در شرایط اکسیژن محدود، از گرماکافت ضایعات آلی گیاهی یا حیوانی تولید و به عنوان کود مورد استفاده قرار می گیرد (Deenik et al., 2011). زغال باعث حفظ کربن خاک شده و با داشتن سطوح بالای مواد مغذی سبب افزایش حاصل خیزی خاک می شود. این ترکیب ماده ای متخلخل و ریزدانه است که در مقایسه با مواد آلی اولیه تشکیل دهنده آن، دارای حجم کمتر و مقدار کربن بیشتری است (Gundale et al., 2007). زغال در مقایسه با مواد اولیه آن نسبت به تجزیه بسیار مقاومتر و برای مدت زمان طولانی می تواند در خاک باقی بماند. این ترکیب به طور مستقیم و غیرمستقیم در نگهداری آب و مواد غذایی نقش دارد. اثرات مستقیم آن مربوط به سطح داخلی زغال است و تأثیر غیرمستقیم آن نیز به بهبود خاک دانه سازی و ساختمان خاک مربوط می شود (Deenik et al., 2010). زغال به علت ویژگی های منحصر به فردی که دارد، به عنوان یک اصلاح کننده خاک مورد استفاده قرار

۱۴۰۱؛ کرمی و قاسمی فسایی، ۱۳۹۹). انباشته شدن کادمیوم در محیط ریشه از طریق کاهش جذب آب و مواد غذایی، و برهم خوردن تعادل آب و عناصر غذایی، منجر به کمبود نیتروژن و فسفر و در نتیجه تسریع پیری و کاهش رشد می شود (Shanying et al., 2017). کادمیوم با منیزیوم در هنگام جذب از ریشه رقابت می کند. این امر به کاهش سایر عناصر ضروری دوظرفیتی دیگر مانند کلسیم هم منجر می شود که اثرات سمیت ناشی از کادمیوم را تشدید می کند (Ullah et al., 2020). هم چنین، تحت تنش کادمیوم، حلالیت عناصر کم مصرف به ویژه آهن، روی، مس، بور و منگنز کاهش می یابد و کادمیوم با محدود کردن جذب یا انتقال روی، مس و بور به داخل گیاه، مقدار این عناصر را کاهش دهد (Sonali et al., 2018; Hu et al., 2021).

اکثر خاک های جهان دچار کمبود مواد آلی می باشند. اضافه کردن مواد آلی باعث تشکیل خاک دانه پایدار و افزایش گردش هوا مورد نیاز برای رشد گیاه و میکروارگانیسم ها می شود. مواد آلی با بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک

اثرات تنش عنصر کادمیوم در این گیاه گردد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۴ تکرار در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۴۰۰ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل زغال تهیه شده از چوب اقاچیا در سه سطح (۰، ۱ و ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان) (Mehdizadeh et al., 2020) و کادمیوم در سه سطح (۰، ۳۰ و ۶۰ میلی-گرم بر کیلوگرم خاک) بود (Mehdizadeh et al., 2021). مقدار هر یک از تیمارهای مورد مطالعه بر اساس بررسی منابع مختلف و نتایج آزمایش اولیه واکنش گیاه مریم گلی به زغال و تنش کادمیوم تعیین گردید. برای تهیه زغال مورد نیاز، چوب‌های هم‌اندازه از درختان اقاچیا انتخاب شده و در یک مخزن به صورت غیر مستقیم دمای ۱۲۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ تا ۸ ساعت اعمال شد تا مقدار کربن آن‌ها به حد مناسب برسد. در نهایت برای جلوگیری از سوختن و

می‌گیرد و به‌وسیله راه‌های متعددی مانند بهبود خصوصیات کیفی خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، نگهداری آب و مواد غذایی، بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی و تحریک فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، سبب رشد و عملکرد بهتر گیاهان می‌شود (Gundale et al., 2007; Deenik et al., 2010 ; Lehmann et al., 2011). کاربرد زغال سبب افزایش رشد گیاه و بهبود حاصلخیزی خاک با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و pH و دسترسی به برخی عناصر غذایی اصلی می‌شود (Steiner et al., 2007; Gundale et al., 2007; Deenik et al., 2011 , 2010). تحقیق حاضر به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف ذغال بر خصوصیات رشدی، میزان اسانس و جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف گیاه مریم‌گلی تحت تنش کادمیوم صورت گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند منجر به کاربرد صحیح ماده آلی زغال به‌عنوان یک راهکار مناسب زیستی برای کاهش

خاک مورد استفاده شامل خاک زراعی، خاک برگ و ماسه به نسبت ۲:۱:۲ تهیه شد. مخلوط خاکی مورد استفاده در گلدان پیش از شروع آزمایش در آزمایشگاه خاک مورد آنالیز قرار گرفت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱).

خاک ستر شدن زغال‌های کربنی، آن‌ها در مخزن کاملاً پلمپ شدند تا خنک شوند. سپس زغال حاصله خرد شده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد (Mehdizadeh et al., 2020) جهت اعمال تیمارهای آزمایشی، ابتدا نمونه‌های خاک با مقادیر تعیین شده از نیترات کادمیوم مخلوط شد. مخلوط

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

پتاسیم	فسفر	نیترژن کل	ظرفیت تبادل	اسیدیته	هدایت	کربن آلی	بافت
(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(%)	کاتیونی	(میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم خاک)	الکتریکی	(%)	
					(میکروزیمنس بر سانتی‌متر)		
۱۹۴	۵۱	۰/۲	۷/۹	۷/۷	۳۲۱	۰/۸۳	لومی شنی

برای انجام این آزمایش، ابتدا مقادیر مورد نظر کادمیوم به صورت نیترات کادمیوم در حجم مشخصی از آب مقطر حل گردیده و در نهایت به صورت یکنواخت به نمونه‌های خاک اسپری شد و سپس خاک به خوبی به هم زده شد تا یکنواختی کامل در خاک حاصل شود. در مرحله بعد خاک را درون کیسه‌های پلاستیکی قرار داده و رطوبت آن در حد ۷۰ درصد ظرفیت زراعی به مدت یک

ماه در دمای ۲۳-۲۵ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد تا فلز کادمیوم در خاک به حالت شبه تعادل برسد. پس از گذشت یک‌ماه به نمونه‌های خاک مقادیر مختلف زغال مطابق طرح آزمایشی اضافه گردید و به مدت ۲ هفته در شرایط قبلی قرار داده شد. پس از مخلوط کردن خاک با زغال و گذشت زمان ذکر شده، خاک روی پلاستیک در

صفات در مرحله گل‌دهی گیاه صورت گرفت.

خصوصیات مورفولوژیک ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول و حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه به‌عنوان ویژگی‌های رشدی گیاهان اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته و طول ریشه از خط‌کش و قطر ساقه از کولیس دیجیتال استفاده گردید. اندازه‌گیری سطح برگ در هر بوته با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل LI-3100c) انجام شد. حجم ریشه از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن ریشه در حجم مشخصی از آب با دقت ۰/۱ میلی‌لیتر محاسبه شد (اخوان و همکاران، ۱۳۹۱). در پایان مرحله گل‌دهی، بوته‌ها به‌طور کامل از بستر کشت خارج کرده و وزن تر اندام‌های هوایی و ریشه‌ها (پس از شستشو) با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک، اندام‌های برداشت شده به مدت یک هفته در سایه و دمای محیط خشک و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید.

گلخانه به مدت دو هفته پخش شد تا خاک خشک گردد.

از سوی دیگر، بذره‌های گیاه مریم‌گلی تهیه شده از شرکت پاکان بذر لابه‌لای پارچه نخی و مرطوب خیس‌انده شدند و سپس در ژرمیناتور با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت دو هفته قرار داده شدند. جهت تهیه بستر کشت، پرلیت و کوکوپیت خیس‌انده شده و سپس خانه‌های سینی نشاء با بستر تهیه شده پر گردید. در هر یک از این خانه‌ها دو عدد بذر سرمادهی شده قرار داده شد. نشاءها بعد از مرحله چهاربرگی به گلدان‌های پر شده با خاک آلوده به کادمیوم و تیمار زغال انتقال داده شد. گلدان‌های مورد استفاده در این آزمایش، گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۵ و قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و حاوی ۳ کیلوگرم مخلوط خاکی تهیه شده بودند. در نهایت خاک مجدداً از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و در گلدان‌های کشت ریخته شد (Diaconu et al., 2012; Meh dizadeh et al., 2020). کلیه اعمال زراعی گلدان‌ها از قبیل آبیاری، وجین و... در طول دوره رشد گیاهان به صورت یکنواخت انجام شد. اندازه‌گیری

صورت گیرد. بعد از این مدت و سرد شدن ماده هضم شده، آن را با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده و با استفاده از کجدال مقدار نیتروژن در ۲۰ میلی لیتر از محلول اندازه گیری شد (امامی، ۱۳۷۵).

به منظور اندازه گیری فسفر گیاه، ۰/۳ گرم از بافت برگی را داخل کروزه چینی قرار داده و به مدت ۴ ساعت در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد گذاشته تا خاکستر گردد. سپس خاکستر گیاه را با ۱۰ میلی لیتر اسید هیدروکلریک یک نرمال داخل بشر ۵۰ میلی لیتری ریخته و ۱۰ دقیقه روی هیتر با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس محتویات بشر را با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانیده و جهت اندازه گیری فسفر، ۰/۵ میلی لیتر از عصاره فوق را با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده و میزان جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۰ نانومتر قرائت شد (امامی، ۱۳۷۵). تعیین غلظت سایر عناصر شامل پتاسیم، منیزیم، کلسیم، آهن، منگنز، مس، بور، روی و کادمیوم با دستگاه ICP-OES (آلمان) در آزمایشگاه

محتوای اسانس اندازه گیری محتوای اسانس گیاه مریم گلی در مرحله گل دهی انجام شد. برای این منظور، سرشاخه های گل دار برداشت شده در سایه خشک گردید و عمل اسانس گیری به روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر طبق فارماکوپه بریتانیا انجام شد (Great Britain, 1993). در ۲۵ گرم نمونه گیاهی خشک شده همراه با ۶۰۰ میلی لیتر آب مقطر به دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت انجام گرفت. بعد از اتمام زمان اسانس گیری، حجم اسانس به دست آمده قرائت شد و در نهایت محتوای اسانس هر نمونه بر اساس درصد حجمی-وزنی محاسبه گردید. در نهایت اسانس های به دست آمده توسط سولفات سدیم خشک آب گیری شدند.

اندازه گیری غلظت عناصر غذایی جهت اندازه گیری نیتروژن، ۰/۳ گرم از بافت برگ را با ۱/۱ گرم از کاتالیزور (۱۰ گرم سولفات مس + ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم + ۱ گرم پودر سلنیوم) و ۵ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ مخلوط کرده و ۱/۵ تا ۲ ساعت آن را در کوره الکتریکی با دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده تا عمل هضم

مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام شد. قبل از انجام آنالیز نرمال سازی داده ها انجام شد. مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژیک

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر متقابل زغال و کادمیوم بر ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول، حجم، وزن تر و خشک ریشه مریم گلی معنی دار نبود؛ ولی اثر ساده تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر این صفات معنی دار شد (جدول ۲). هم چنین اثر متقابل تنش کادمیوم و زغال بر سطح برگ مریم گلی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار گردید (جدول ۲). در این آزمایش تنش

کادمیوم موجب کاهش معنی دار ارتفاع گیاه و تعداد شاخه فرعی مریم گلی گردید و تیمار زغال موجب افزایش ارتفاع گیاه و تعداد شاخه فرعی در شرایط بدون تنش گردید و اثر معنی داری بر ارتفاع بوته در گیاهان رشد یافته تحت تنش نداشت (جدول ۳). در گیاهان تیمار شده با ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان زغال، تعداد شاخه فرعی از ۵/۷۵ به ۷/۵ شاخه افزایش یافت (جدول ۳). در بالاترین سطح کاربرد زغال (۲ درصد وزنی خاک هر گلدان) متوسط تعداد شاخه در هر گیاه تیمار شده مریم گلی ۷/۲۵ عدد ثبت گردید. علاوه بر این، بررسی اثر متقابل تنش کادمیوم و زغال بر سطح برگ بیانگر کاهش معنی دار سطح برگ در واکنش به تیمار فلز سنگین کادمیوم می باشد و در مقابل زغال به ویژه در بالاترین سطح کاربرد موجب افزایش سطح برگ در گیاهان رشد یافته در شرایط بدون تنش و سطوح مختلف تنش کادمیوم گردید (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر زغال بر خصوصیات رشدی گیاه مریم گلی تحت سطوح مختلف تنش کادمیوم

منابع تغییرات	درج آزادی	ارتفاع گیاه	شاخه فرعی	تعداد برگ	سطح برگ	وزن تازه اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	طول ریشه	حجم ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
زغال	۲	۶۰/۷۸۸ **	۴۵/۲۵ **	۱۰۳/۸۶۱ **	۶۴۱۲۲/۰۵ **	۱۴۳/۶۳۸ **	۳۰۶/۷۶۹ **	۶۱۹/۹۳۸ **	۲۱۳۶/۱۱۱ **	۴۱/۵۹۳ **	۱۰/۳۹۸ **
تنش کادمیوم	۲	۱۳/۱۷۴ **	۶/۷۵ **	۹۲/۳۶۱ **	۴۵۲۵/۲۶۸ **	۳۱/۲۱۴ **	۲۰/۷۷ **	۱۲/۲۵ **	۳۱۷/۳۶۱ **	۲۸/۸۴۸ **	۵/۸۲۵ **
زغال × تنش کادمیوم	۲	۰/۷۱۵ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۹۷۱*	۰/۰۱۹ ^{ns}	۰/۵۴۵ ^{ns}	۱/۹۱۶ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۱۳/۱۹۴ ^{ns}	۰/۴۷۹ ^{ns}
خطا	۲۷	۰/۸۲۹	۰/۰۷۶	۰/۰۳۹	۰/۳۵	۰/۰۶۶	۰/۳۷۵	۱/۰۶۴	۱/۰۶۷	۴/۷۵	۰/۲۶۶

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

کاهش یافت. در مقابل تیمار زغال موجب بهبود وزن تر و خشک اندام هوایی مریم‌گلی به ترتیب به میزان ۸/۶۵ و ۲۵/۸۶ درصد گردید (جدول ۳). علاوه‌براین در گیاهان رشد یافته در محیط کشت دارای زغال طول، حجم، وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب ۸/۲۲، ۲۷/۲۷، ۱۸/۳۲ و ۱۸/۲۷ درصد بیشتر از گیاهان تیمار نشده بود (جدول ۳). وجود تنش‌های زیستی و غیر زیستی در محیط رشد گیاهان، سبب ایجاد تغییرات مختلفی در رشد و نمو گیاهان می‌شود. فلزات سمی موجود در خاک از

بیش‌ترین افزایش سطح برگ در شرایط بدون کادمیوم مشاهده شد. تاثیر کاربرد زغال در افزایش سطح برگ با افزایش شدت تنش یک روند صعودی داشت، این افزایش در شرایط بدون تنش، تنش ملایم (۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و تنش شدید (۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) کادمیوم به‌ترتیب ۳/۷۰، ۷/۹۳ و ۹/۴۰ درصد بود (شکل ۱). هم‌چنین مقایسه میانگین اثرات ساده کادمیوم نشان داد با افزایش غلظت کادمیوم، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول، حجم، وزن تر و خشک ریشه مریم‌گلی

جمله تنش‌های غیر زیستی هستند که سبب ایجاد اختلال در چرخه حیات گیاه و فعال شدن برخی از واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌گردند. کادمیوم یکی از مضرترین عناصر برای همه موجودات است. اثر سمی کادمیوم ناشی از توانایی ایجاد پیوندهای

کووالانسی و یونی با عناصر ماکرو و ریزبیوژنیک است که بر عملکرد بیولوژیکی آن‌ها تأثیر می‌گذارد. (Chmur and Bajguz, 2023). سمیت کادمیوم باعث آسیب‌های زیادی به گیاهان از جوانه‌زدن تا عملکرد آن‌ها می‌شود.

جدول ۳- اثر ساده زغال و کادمیوم بر برخی صفات رشدی مریم گلی

تیمار	سطح مورد استفاده	ارتفاع گیاه (سانتی متر)	تعداد شاخه فرعی در هر بوته	طول ریشه (سانتی متر)	حجم ریشه (سانتی متر مکعب)	وزن تر اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن تر ریشه (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)
زغال (درصد وزنی خاک هر گلدان)	۰	۱۸/۳۳ ± ۰/۴۸ ^{b*}	۵/۷۵ ± ۰/۹۶ ^c	۲۱/۲۹ ± ۰/۹۶ ^b	۳۶/۶۷ ± ۵/۷۷ ^b	۲۷/۰۷ ± ۰/۳۱ ^b	۱۲/۰۹ ± ۰/۷۷ ^c	۱۶/۶۴ ± ۰/۷۳ ^c	۷/۲۴ ± ۰/۳۷ ^b
	۱	۱۷/۸۷ ± ۰/۸۵ ^b	۶/۵ ± ۰/۸۲ ^b	۲۲/۰۴ ± ۰/۸۲ ^a	۳۹/۵۹ ± ۷/۵۰ ^b	۲۷/۲۰ ± ۰/۲۶ ^b	۱۲/۹۷ ± ۰/۵۵ ^b	۱۷/۶۳ ± ۰/۳۵ ^b	۷/۵۴ ± ۰/۳۵ ^b
	۲	۱۹/۸۷ ± ۰/۵۸ ^a	۷/۲۵ ± ۰/۶۳ ^a	۲۲/۰۴ ± ۰/۴۱ ^a	۴۶/۶۷ ± ۹/۵۷ ^c	۲۹/۴۱ ± ۰/۸۳ ^a	۱۵/۲۱ ± ۰/۵۸ ^a	۱۹/۶۸ ± ۰/۶۹ ^a	۸/۵۷ ± ۰/۳۵ ^a
کادمیوم (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)	۰	۲۰/۹۱ ± ۰/۹۶ ^a	۸/۰۸ ± ۰/۴۱ ^a	۲۹/۶۷ ± ۰/۵۸ ^a	۵۴/۵۹ ± ۶/۴۵ ^a	۳۲/۶۹ ± ۰/۴۱ ^a	۱۷/۲۲ ± ۰/۳۹ ^a	۱۹/۸۵ ± ۱/۳۰ ^a	۸/۷۲ ± ۰/۶۵ ^a
	۳۰	۱۸/۷۵ ± ۰/۵۰ ^b	۷/۰۸ ± ۰/۹۶ ^b	۲۲/۴۱ ± ۰/۸۲ ^b	۴۰/۴۲ ± ۷/۷۰ ^b	۲۸/۳۸ ± ۰/۸۳ ^b	۱۲/۵۸ ± ۰/۳۳ ^b	۱۷/۹۶ ± ۱/۲۰ ^b	۷/۷۷ ± ۰/۶۰ ^b
	۶۰	۱۶/۴۱ ± ۰/۵۸ ^c	۴/۳۳ ± ۰/۴۱ ^c	۱۵/۲۹ ± ۱/۱۸ ^c	۲۷/۹۱ ± ۴/۷۹ ^c	۲۲/۶۱ ± ۰/۲۶ ^c	۱۰/۴۶ ± ۰/۸۲ ^c	۱۶/۱۳ ± ۰/۷۳ ^c	۶/۸۵ ± ۰/۶۰ ^c

* میانگین داده ها ± انحراف معیار. حروف متفاوت در هر ستون برای هر عامل نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن است.

اثر کاربرد زغال بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه مریم گلی.../ مهدوی، مقدم

با این حال، میزان آسیب به تمرکز و زمان بستگی دارد. کاهش در جوانه زنی بذر و رشد گیاه در درجه اول به دلیل تداخل کادمیوم با فعالیت های آنزیمی و فتوسنتزی و آسیب غشاء است (Saini and Dhania, 2020). رشد یکی از حساس ترین فرآیندهای گیاهی است، بنابراین کاهش رشد اولین واکنش گیاهان نسبت به شرایط نامطلوب محیطی در بسیاری از گونه های گیاهی می باشد.



شکل ۱- اثر زغال بر سطح برگ گیاه مریم گلی تحت سطوح مختلف تنش کادمیوم

و درمنه (شیرخانی و همکاران، ۱۴۰۰) باعث کاهش رشد و زیست توده آنها گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در پژوهش حاضر نیز تنش

تنش کادمیوم به عنوان یک عامل نامساعد محیطی در گیاهانی نظیر همیشه بهار (Eskandari et al., 2016)، خرفه (Rafiei et al., 2017)

کادمیوم موجب کاهش ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی به‌ویژه در غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گردید. رشد گیاهان به‌شدت به محیط وابسته است و کاهش صفات رشدی گیاه در واکنش به تنش کادمیوم ناشی از کاهش تقسیم و گسترش سلولی می‌باشد که به دلیل تأثیر منفی کادمیوم بر فعالیت هورمون سیتوکینین است (Ekinci et al., 2023). این هورمون مهم‌ترین هورمون تنظیم‌کننده تقسیم سلولی است (Yasin et al., 2022). از طرف دیگر گزارش شده است که فلز کادمیوم، پمپ‌های پروتون در غشاءهای سلولی را به‌طور برگشت‌ناپذیری مهار می‌کند. این پمپ‌ها نقش کلیدی در طول شدن سلول‌ها دارد (Farooq et al., 2020). هم‌چنین کادمیوم در سلول‌های گیاهی می‌تواند دیواره سلولی و به‌خصوص دیواره میانی را که در طول شدن سلول نقش دارد، تحت تأثیر قرار دهد (Fang et al., 2017). گیاهانی که در غلظت‌های بالای کادمیوم رشد کردند، تغییرات پیچیده‌ای در سطح بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مولکولی آن‌ها رخ می‌دهد که این تغییرات به‌صورت زرد شدن برگ‌ها، کوتاه شدن ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ، کاهش رشد ریشه، تغییرات روزنه‌ها، و در نهایت کاهش رشد عمومی گیاه بروز پیدا می‌کند (Mehdizadeh et al., 2021). کاهش در سطح برگ به‌دلیل اثر کادمیوم بر ممانعت از گسترش سطح برگ و اثر

محرکی آن بر پیری برگ می‌باشد. بنابراین کاهش زیست توده گیاه، پیامد مستقیم مسمومیت ناشی از کادمیوم است که به واسطه اختلال در جذب عناصر غذایی، سنتز کلروفیل (Shirkhani et al., 2020) و کاهش میزان فتوسنتز (Shahid et al., 2017) رخ می‌دهد.

مهم‌ترین علامت سمیت کادمیوم، کاهش رشد طولی ریشه است که اصلی‌ترین اثر بازدارندگی کادمیوم بر رشد گیاهان محسوب می‌شود. از آنجایی که ریشه‌ها اولین قسمتی از گیاه هستند که در معرض آلودگی فلز سنگین کادمیوم قرار می‌گیرند، بنابراین رشد ریشه شدیداً تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد (Soleimani et al., 2020).

در پژوهش حاضر نیز کاهش رشد ریشه گیاه مریم‌گلی از نظر طول، حجم، وزن تر و خشک ریشه با افزایش شدت تنش کادمیوم به‌طور معنی‌داری افزایش داشت که با نتایج حاصل از پژوهش قبلی روی گیاهان دارویی که نشان دهنده کاهش معنی‌دار رشد ریشه در واکنش به تنش ناشی از کادمیوم بود (Khan et al., 2017; Al-Khayri et al., 2023) همسو می‌باشد. کاهش رشد ریشه به دلیل تجمع مقادیر بالای کادمیوم در ریشه‌ها می‌باشد که از تقسیم سلولی در منطقه مریستمی ریشه و رشد سلول‌ها جلوگیری می‌کند (Tian et al., 2017). از طرف دیگر کادمیوم منجر به تمایز زودرس و چوبی شدن دیواره سلولی شده و مانع از رشد طولی سلول‌ها می‌گردد (Soleimani et al., 2020). بررسی نتایج پژوهش

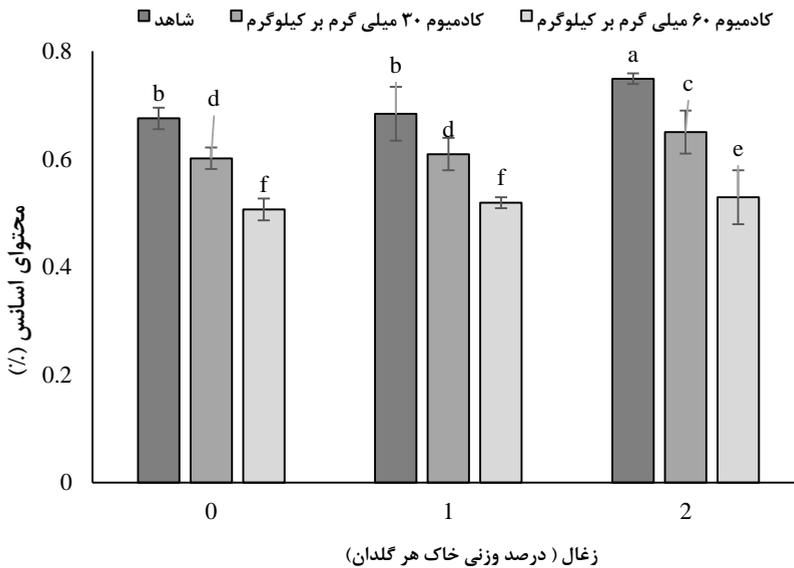
حاضر نشان داد که استفاده از زغال به میزان ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان می‌تواند به‌طور معنی‌داری رشد گیاه مریم گلی را تحت تنش کادمیوم بهبود بخشد. مطابق با یافته‌های حاصل از این آزمایش، اثر اصلاح‌کنندگی زغال در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین پیشتر توسط پژوهشگران مختلف (Liu et al., 2016; Tian et al., 2017) نیز گزارش شده است. بهبود رشد گیاهان با استفاده از زغال در نتیجه کاهش انتقال کادمیوم به اندام‌های هوایی و افزایش جذب کاتیون‌های ضروری و میزان فتوسنتز می‌باشد (پرتوی و همکاران، ۱۳۹۹).

محتوای اسانس

محتوای اسانس گیاه مریم گلی معنی‌دار بود (جدول ۲). محتوای اسانس با افزایش غلظت کادمیوم در محیط رشد کاهش معنی‌داری نشان داد، به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید کادمیوم (۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) ۲۴/۸۷ درصد کمتر از شرایط بدون تنش بود. محتوای اسانس مریم گلی در هر دو شرایط بدون تنش و سطوح مختلف تنش کادمیوم در واکنش به تیمار زغال افزایش معنی‌داری نشان داد و بیش‌ترین افزایش در گیاهان رشد یافته در شرایط بدون تنش مشاهده گردید. تنها کاربرد بالاترین غلظت زغال (۲ درصد وزنی خاک هر گلدان) موجب افزایش محتوای اسانس گردید که ۱۰/۹۲ درصد بیشتر از گیاهان تیمار نشده بود (شکل ۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل زغال و کادمیوم بر

اثر کاربرد زغال بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه مریم گلی.../ مهدوی، مقدم



شکل ۲. اثر زغال بر محتوای اسانس گیاه مریم گلی تحت سطوح مختلف تنش کادمیوم

Golezani & Rahimzadeh, 2022). در پژوهش قبلی روی نعنای فلفلی (*Mentha piperita*)، تنش کادمیوم موجب کاهش میزان اسانس این گیاه گردید (Azimychetabi et al., 2021) که همسو با یافته‌های حاصل از این آزمایش می‌باشد. در پژوهش حاضر اعمال تنش کادمیوم، میزان اسانس را کاهش داد که احتمالاً به دلیل آسیب‌های ناشی از تنش بر برگ‌های جوان است که دارای ظرفیت بیوژنتیکی بالایی برای بیوسنتز اسانس

ترپنوئیدها به‌عنوان ترکیبات اصلی اسانس دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و مهار رادیکال‌های آزاد هستند، بنابراین افزایش تجمع اسانس یک مکانیسم دفاعی برای اطمینان از بقای گیاه در شرایط تنش زا برای گیاه می‌باشد. در شرایط نامساعد محیطی، تخصیص منابع کربن برای متابولیسم ثانویه بیشتر از متابولیسم اولیه گیاه است که در این تغییرات به‌صورت کاهش زیست توده گیاهی و افزایش میزان اسانس تظاهر پیدا می‌کند (Ghassemi-

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل زغال و کادمیوم تنها بر مقدار عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم معنی‌دار شد (جدول ۴). میزان عناصر پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم) در برگ گیاه مریم گلی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار زغال و کادمیوم قرار گرفت (جدول ۴).

هستند (Al-Khayri et al., 2023). براساس نتایج حاصل در این پژوهش، کاربرد خاکی زغال تولید اسانس گیاه مریم گلی را از طریق افزایش رشد و بیوماس اندام‌های هوایی بهبود بخشد که با نتایج حاصل از پژوهش‌های قبلی روی نعنای فلفلی (*Mentha piperita*) (Mumivand et al., 2023) تأثیر مثبت زغال بر تولید اسانس نیز ممکن است در ارتباط با بهبود سطح هورمون‌های درگیر در مسیرهای بیوسنتز ترپنوئیدها مانند اکسین‌ها و جیبرلین‌ها باشد (Rogowska et al., 2022).

عناصر غذایی
عناصر پرمصرف

جدول ۴- تجزیه واریانس اثرزغال بر غلظت عناصر غذایی گیاه مریم گلی تحت سطوح مختلف تنش کادمیوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	آهن	منگنز	مس	روی	بر	کادمیوم
زغال	۲	۰/۲۳۷ **	۶۲/۱۷۸ **	۷/۵۲۹	۲۲/۵۴۷	۱/۷۲۸	۳/۷۲۵ **	۰/۰۰۵ **	۰/۱۱۵ **	۰/۰۳۱ **	۰/۰۲۴ **	۰/۰۰۰۰۸ **
تنش کادمیوم	۲	۰/۰۲۵ **	۲۵/۷۴۵ **	۲۱/۷۴	۶۸/۳۰۷	۸/۴۳۱	۰/۲۲۱ **	۰/۰۰۳ **	۰/۰۰۳۱ **	۰/۰۰۸ **	۰/۰۰۲ **	۰/۰۰۰۰۱ **
زغال×تنش کادمیوم	۴	۰/۰۰۱ *	۰/۲۸۲ **	۱/۰۱۲	۰/۲۱۵	۱/۷۲۹	۰/۰۸۵ **	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۵ **	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۰۰۲ **
خطا	۲۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۴	۰/۵۶۵	۰/۳۶۹	۰/۸۸۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۳

عناصر با افزایش شدت کادمیوم کاهش معنی‌داری داشت که این کاهش در تیمار (۶۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) در منیزیم و کلسیم به ترتیب ۲۴/۷۸ و ۱۸/۹۷ درصد می‌باشد. تیمار زغال به‌ویژه در غلظت ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان مقدار منیزیم و کلسیم را به ترتیب به میزان ۱۶/۷۱ و ۵/۹۹ درصد افزایش داد (جدول ۵).

عناصر کم مصرف

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل زغال و کادمیوم بر مقدار عناصر کم‌مصرف اندازه‌گیری شده در برگ گیاه مریم‌گلی شامل آهن، منگنز، مس، بور به‌جز عنصر روی و هم‌چنین جذب عنصر سنگین کادمیوم معنی‌دار بود (جدول ۴). تحت تنش کادمیوم، مقدار عناصر آهن، منگنز و کادمیوم افزایش معنی‌داری داشتند و بیش‌ترین مقدار آهن، منگنز و کادمیوم در گیاهان رشد یافته در غلظت ۶۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک حاصل شد (جدول ۵). در مقابل، تنش کادمیوم اثر منفی بر مقدار عناصر مس و بور داشت و تحت تنش شدید کادمیوم کم‌ترین مقدار این عناصر ثبت گردید

اعمال تنش کادمیوم موجب کاهش معنی‌دار مقدار عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم شد و تنش شدید کادمیوم (۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) به ترتیب موجب کاهش ۳۲/۲۷، ۲۴/۹۶، ۱۷/۳۶، ۲۴/۸۷ و ۲۰/۰۷ درصدی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم مریم‌گلی در مقایسه با شرایط بدون تنش گردید (جدول ۵). افزودن زغال به محیط رشد مریم‌گلی همراه با افزایش مقدار عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در هر دو شرایط بدون تنش و تنش کادمیوم گردید. با افزایش غلظت زغال میزان اثرگذاری آن بر بهبود مقدار عناصر غذایی در گیاهان تحت تنش افزایش معنی‌داری نشان داد. بیش‌ترین مقدار عناصر غذایی مورد مطالعه (نیتروژن ۱۸/۲۹۳) فسفر (۰/۹۴۹ درصد)، پتاسیم (۹۶/۷۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و منیزیم (۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) در شرایط بدون تنش و تیمار ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان زغال حاصل گردید. با وجود اینکه اثر متقابل زغال و کادمیوم بر مقدار عناصر منیزیم و کلسیم معنی‌دار نبود؛ ولی مقدار این

(جدول ۵). تیمار زغال موجب افزایش مقدار آهن و منگنز در شرایط بدون تنش گردید، درحالی که در گیاهان تحت تنش، زغال موجب کاهش مقدار عناصر آهن و منگنز شد. اگر چه مقدار عنصر کادمیوم تحت تنش افزایش یافت؛ ولی استفاده از زغال موجب کاهش معنی دار کادمیوم در شرایط بدون تنش و سطوح مختلف تنش گردید. تحت شرایط تنش شدید (۶۰ میلی گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) میزان کاهش عنصر کادمیوم در تیمار

زغال ۴۰ درصد بود (جدول ۵). مقدار عناصر مس و بور در واکنش به تیمار زغال در هر دو شرایط بدون تنش و تنش کادمیوم به طور معنی داری افزایش یافتند. افزودن زغال به محیط رشد گیاه مریم گلی مقدار عنصر مس و بور را در شرایط بدون تنش به ترتیب به میزان ۶/۷۷ و ۲/۸۸ درصد افزایش داد و در شرایط تنش مقدار افزایش این دو عنصر در واکنش به کاربرد ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان زغال به ترتیب ۹/۰۲ و ۱۶/۱۲ بود (جدول ۵).

جدول ۵- اثر زغال بر غلظت عناصر غذایی گیاه مریم گلی تحت سطوح مختلف تنش کادمیوم

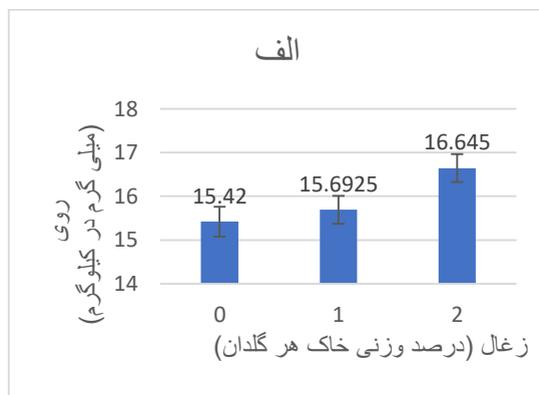
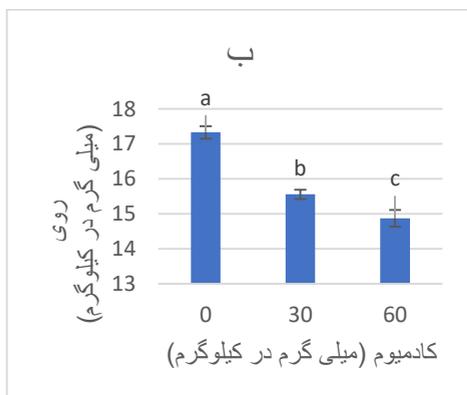
زغال (درصد) وزنی خاک هر گلدان)	کادمیوم (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)	نیترژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم برگ خشک)	منگنز (میلی گرم بر کیلوگرم برگ خشک)	مس (میلی گرم بر کیلوگرم برگ خشک)	بر (میلی گرم بر کیلوگرم برگ خشک)	کادمیوم (میلی گرم بر کیلوگرم برگ خشک)
	۰	۰/۸۴۶±	۰/۴۱۲	۲/۱۳۲ ±	۴۳/۷۲۵ ±	۱۰/۰۷۵±	۲۱/۶ ± ۰/۰۸۴c	۱۰/۴ ±	۰/۰۳ ±
		۰/۰۱۰۰c*	۰±/۰۰۹c	۰/۰۱۵c	۰/۲۱۷d	۰/۱۵۱e		۰/۱۲۵ab	۰/۰۰۵e
۰	۳۰	۰/۷۵۲	۰±/۰۰۸	۲/۰۱۲±	۶۷/۳۷۵	۱۰/۶۵۰ ±	۲۰/۴۷۵ ±	۹/۲۷۵ ±	۰/۱۴۲ ±
		۰±/۰۱۱e	۰/۳۶۲d	۰/۰۱۹d	± ۱/۷۹b	۰/۳۹۴c	۰/۱۱۶de	۰/۱۲۷d	۰/۰۱۲ b
	۶۰	۰/۵۷۳ ±	۳۰	۱/۷۶۲ ±	۷۸/۹۲۵ ±	۱۱/۶۵۰ ±	۱۸/۹۸۷ ±	۷/۶ ± ۰/۱۶۸g	۰/۱۸۷ ±
		۰/۰۱۷h	۰/۰۹ ±	۰/۰۱۹g	۲/۴۱a	۰/۲۲۰a	۰/۱۷۵h		۰/۰۳۲a
	۰	۰/۸۸۹ ±	۰/۴۳۳ ±	۲/۲۱۹	۴۴/۶۲۵ ±	۱۰/۳۷۵ ±	۲۲/۰۷۵ ±	۱۰/۳۷۵ ±	۰/۰۲ ±
		۰/۰۰۸b	۰/۰۰۲b	±/۰۰۱۹b	۰/۳۹۳d	۰/۰۵۵cd	۰/۲۴۵b	۰/۰۳۲b	۰/۰۰۲e

۰/۱۱ ±	۹/۶۲۵	۲۰/۴ ± ۰/۱۶۹f	۱۰/۳۵۰ ±	۵۸/۸۵۰ ±	۲/۰۲۳ ±	۰/۳۶۸	۰/۷۶۳ ±	۳۰	۱
۰/۰۱۱c	±۰/۳۷۲d		۰/۱۶۷cde	۱/۶۲۲c	۰/۰۲۴d	±۰/۰۰۳d	۰/۰۱۰e		
۰/۱۵ /۰۱۱	۸/۳۷۵ -۰/۱۶۲	۱۹/۷۱۲ ±	۱۱/۰۷۵ ±	۶۹/۳۵۰±	۱/۸۴۵±	۰/۳۱۶ ±	۰/۶۰۶	۶۰	
±.b	±f	۰/۱۶g	۰/۱۱۴b	۱/۳۱۵ b	۰/۰۰۱۱f	۰/۰۰۳f	±۰/۰۰۸g		
۰/۱۲۵ ±	۱۰/۷ ±	۲۳/۰۶۲ ±	۱۰/۴۵۰ ±	۴۵/۴۷۵	۲/۴۱۷	۰/۴۵۷ ±	۰/۹۴۹±	۰	
۰/۰۱۱e	۰/۰۳۲a	۰/۲۴۵a	۰/۰۳۲cd	± ۰/۹۳d	±۰/۰۱۹a	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸a		
۰/۰۷۲	۹/۹۷۵	۲۱/۳۸۷ ±	۱۰/۲۰ ±	۵۸/۰۲۵	۲/۱۰۶±	۰/۳۹۱	۰/۸۲۳±	۳۰	۲
±۰/۰۰۳d	±۰/۳۷۲c	۰/۱۶۹cd	۰/۱۶۷de	±	۰/۰۲۴c	±۰/۰۰۲d	۰/۰۱۰d		
				۱/۶۲۲c					
۰/۱۱ ±	۸/۸۲۵ ±	۲۰/۷ ± ۰/۱۱۶ef	۱۰/۹۲۵ ±	۶۸/۴۵۰	۱/۹۲۸ ±	۰/۳۵۵	۰/۶۶۶±	۶۰	
۰/۰۱۲c	۰/۲۸۶e		۰/۱۱۴b	±	۰/۰۱۱e	±۰/۰۰۲e	۰/۰۰۸f		
				۱/۳۱۵b					

* میانگین داده ها ± انحراف معیار. حروف متفاوت در هر ستون برای هر عامل نمایانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن است.

و این افزایش در گیاهان تیمار شده با
غلظت ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان زغال
۷/۹۴ درصد بود(شکل ۳- الف و ب).

مقدار عنصر روی تحت تنش کادمیوم
کاهش معنی دار داشت ولی در واکنش به
تیمار زغال مقدار عنصر روی افزایش یافت



شکل ۳ - اثر ساده کادمیوم (الف) و زغال (ب) بر مقدار روی برگ گیاه مریم گلی

کادمیوم میزان دسترسی گیاه به مواد معدنی خاک را تحت تأثیر گذاشته و جذب عناصر مغذی توسط گیاه را به تاخیر می‌اندازد (Moghiminjad *et al.*, 2021). نتایج این مطالعه نشان داده است که افزایش شدت تنش کادمیوم موجب کاهش قابل توجه در مقدار عناصر ضروری شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در برگ‌های گیاه مریم گلی شد. مطابق با نتایج حاصل از این آزمایش، کاهش مقدار عناصر غذایی تحت تنش کادمیوم در گونه‌های مختلف مریم گلی (Bakhtiari *et al.*, 2023) گزارش شده است؛ به نظر می‌رسد فلزات سنگین مانند کادمیوم با جذب عناصر غذایی توسط ناقلین غشاء رقابت می‌کند، بنابراین موجب کمبود این عناصر ضروری در گیاه شده و سبب کاهش رشد گیاه می‌گردد (Soleimani *et al.*, 2020). تحقیقات متعدد نشان داده است که کادمیوم نقش مهمی در جابه‌جایی مواد غذایی از ریشه به اندام‌های گیاهی دارد و مانع انتقال شعاعی عناصر و بازگیری آن‌ها در آوندهای چوبی می‌گردد (Rogowska *et al.*, 2022). کاهش نیتروژن در سطوح بالای کادمیوم می‌تواند به علت کاهش تراوایی ریشه گیاه، کاهش فعالیت میکروبی خاک، کاهش جذب نیترات و کاهش فعالیت نیتراتی شدن در خاک باشد. کاهش نیتروژن در برگ گیاهان تحت تنش کادمیومی، ممکن است ناشی از کاهش متابولیسم نیتروژن در اثر کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز برگ و کاهش مصرف آب به

و جذب انتخابی یون‌ها را نیز کاهش می‌دهد، بنابراین جذب کلسیم و انتقال آن به اندام‌های هوایی کاهش می‌یابد (Ghori *et al.*, 2019).

تحت غلظت‌های بالای کادمیوم، علی‌رغم وجود مواد معدنی در خاک، گیاه ممکن است دچار کمبود برخی مواد ضروری شود. قابلیت استفاده اغلب عناصر کم مصرف به pH و هدایت الکتریکی محلول خاک و ماهیت محل‌های پیوند روی سطوح ذرات آلی و معدنی خاک بستگی دارد (Monteiro *et al.*, 2009).

به‌همین دلیل رابطه بین کادمیوم و عناصر کم مصرف بسیار پیچیده است. تحت تنش کادمیوم، حلالیت عناصر کم مصرف به ویژه آهن، روی، مس، بور و منگنز کم است و گیاهان در این

دلیل کاهش جذب توسط گیاه باشد (Pandey *et al.*, 2019). از طرف دیگر انباشته شدن فلزات سنگین از جمله کادمیوم در محیط ریشه از طریق کاهش جذب آب و مواد غذایی و برهم خوردن تعادل آب و عناصر غذایی، منجر به کمبود نیتروژن و فسفر و در نتیجه تسریع پیری و کاهش رشد می‌شود (Shanying *et al.*, 2017). عنصری دو ظرفیتی است که با منیزیم در هنگام جذب از ریشه رقابت می‌کند. این امر به کاهش سایر عناصر ضروری دو ظرفیتی دیگر مانند کلسیم هم منجر می‌شود که اثرات سمیت ناشی از کادمیوم را تشدید می‌کند (Marschner, 2011). کادمیوم با ورود به فضای آپوپلاستی و جایگزینی با کلسیم، غشای سلول را غیرقطبی کرده

خاک‌ها غالباً با کمبود این عناصر مواجه خواهند بود. با این وجود ممکن است، بسته به نوع گیاه و میزان تحمل آن به کادمیوم، بافت خاک، میزان کادمیوم، و شرایط محیطی، غلظت عناصر کم مصرف در اندام‌های هوایی گیاه افزایش یا کاهش یابد (Hu et al., 2021). در پژوهش حاضر با افزایش شدت تنش کادمیوم، غلظت عناصر کم مصرف شامل آهن، منگنز و کادمیوم افزایش قابل توجهی داشته‌اند در حالی که غلظت مس، بور کاهش معنی‌داری داشتند. از طرف دیگر کادمیوم موجب تغییرات ساختمانی در ساقه، ریشه و برگ گیاهان شده به نحوی که تحت تنش کادمیوم دستجات آوندی کمتر و با قطر کوچکتری تولید می‌شوند که این شرایط میزان جذب و تجمع عناصر کم مصرف را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد (Monteiro et al., 2009).

آهن و منگنز از دیگر عناصر مهم درگیر در واکنش‌های اکسایش-احیا می‌باشند، به نظر می‌رسد افزایش مقدار این عناصر در رابطه با افزایش فعالیت سیستم دفاعی گیاه جهت مقابله با تنش اکسیداتیو و حفظ رشد و عملکرد گیاه در این شرایط باشد (Marschner, 2011). اثر کادمیوم بر غلظت آهن و منگنز بخش هوایی بسته به نوع رقم متفاوت می‌باشد، به طوری که غلظت آهن بخش هوایی در برخی رقم‌ها کاهش و در برخی رقم‌ها افزایش یافته و در برخی رقم‌ها تغییر معنی‌داری نداشته است (Monteiro et al., 2009). افزایش جذب آهن و منگنز

توسط ریشه و انتقال آن به بخش هوایی می‌تواند از مکانسیم‌های دفاعی گیاه جهت مقابله با آثار منفی تجمع کادمیوم باشد. غلظت کادمیوم در گیاه وابسته به غلظت کادمیوم و مدت زمان تیمار می‌باشد که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. در پژوهش حاضر مقدار کادمیوم اندازه‌گیری شده در برگ گیاه مریم‌گلی با افزایش غلظت کادمیوم خاک روند صعودی داشت. کادمیوم اگرچه برای گیاهان ضروری نمی‌باشد، اما به راحتی از طریق پوست ریشه جذب شده و از مسیر سیمپلاستی و آیوپلاستی وارد بافت‌های گیاهی می‌گردد (Xin et al., 2019). عناصر روی، مس و بور از عناصر ضروری کم مصرف برای گیاهان است که روی و مس به‌صورت کاتیون دو ظرفیتی و بور

به‌صورت کاتیون سه ظرفیتی جذب می‌شود. این عناصر عامل اساسی در سنتز پروتئین‌ها، DNA و RNA است. اگرچه نیاز گیاهان به این عناصر اندک است، اما اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی ناشی از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و مکانسیم‌های متابولیکی مرتبط آسیب خواهند دید (Marschner, 2011). در مطالعه قبلی، کادمیوم با محدود کردن جذب یا انتقال روی، مس و بور به داخل گیاه، مقدار این عناصر را کاهش داد (Dubey et al., 2018) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در پژوهش حاضر با افزایش شدت تنش کادمیوم، غلظت مس، بور کاهش معنی‌داری نشان دادند. علاوه‌براین کاربرد زغال

سبب افزایش میزان عناصر کم مصرف و پرمصرف مریم‌گلی گردید که با نتایج حاصل از پژوهش قبلی روی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*) همسو می‌باشد. در مطالعه قبلی اثر بیوچار روی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف مرزه تابستانه بررسی گردید (Mehdizadeh et al., 2020). به نظر می‌رسد زغال سبب جذب بهتر عناصر غذایی به‌ویژه در بخش‌های داخلی ذرات خود می‌شود و عناصر غذایی را به سهولت در قسمت‌های مختلف گیاه منتقل می‌کند (Yao et al., 2013).

نتیجه‌گیری

کادمیوم به‌عنوان یک فلز سنگین اثرات منفی بر روی رشد و جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف گیاه دارویی مریم‌گلی نشان داد. از این پژوهش می‌توان استنباط کرد که، اثر زغال باعث بهبود خصوصیات رشد و افزایش مقدار عناصر غذایی مورد مطالعه شد و بیش‌ترین افزایش در گیاهان تیمار شده

می‌توان نتیجه گرفت که هر چه سطح کادمیوم بیشتر باشد، اثرات خسارت بر رشد و جذب عناصر غذایی شدیدتر است. به‌طوری‌که بیش‌ترین خسارت کادمیوم در غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد. تنش عنصر کادمیوم، سبب کاهش ارتفاع، قطر ساقه، سطح برگ و تعداد شاخه در گیاه مریم‌گلی شد که منجر به کاهش رشد گیاه و زیست توده آن گردید. هم‌چنین موجب کاهش جذب عناصر نظیر نیتروژن و فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف گردید. هم‌چنین براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان استنباط کرد که، اثر زغال باعث بهبود خصوصیات رشد و افزایش مقدار عناصر غذایی مورد مطالعه شد و بیش‌ترین افزایش در گیاهان تیمار شده

با غلظت ۲ درصد وزنی خاک هر گلدان
زغال به دست آمد. نتایج به دست آمده
کلش گندم بر غلظت آبشویی نیتروژن.
مجله آبیاری و زهکشی ایران،
۱۴(۲)، ۳۶۵-۳۵۵.

کارایی زغال در تعدیل اثر تنش کادمیوم
و بهبود رشد گیاه مریم گلی تاثیرگذار
بود.
شیرخانی، ز.، چهرگانی راد، ع.، محسن زاده، ف.،
و غلامی، م. (۱۴۰۰). اثر تیمار برگ
کادمیوم بر ویژگی های ریخت شناختی،
فیزیولوژیکی و تکوین گامتوفیت نر و
ماده در درمنه خزری. سلول و بافت،
۱۲، ۵۳-۷۱.

منابع

- اخوان، س.، شعبانپور، م. و اصفهانی، م. (۱۳۹۱).
اثر تراکم و بافت خاک بر رشد ریشه و
اندام هوایی گندم. مجله آب و خاک،
۲۷ (۳)، ۷۲۷-۷۳۵.
- امامی، ع. (1375). روش های تجزیه گیاه.
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج
کشاورزی. مؤسسه خاک و آب، ۱۳۰
صفحه
- امیر مرادی، ش.، رضوانی مقدم، پ.، کوچکی،
ع.ر.، دانش، ش. و فتوت، ا. (۱۳۹۴).
مطالعه کشت مریم گلی در شرایط
استفاده از آب های آلوده به کادمیوم و
سرب. نشریه آب و خاک دانشگاه
فردوسی مشهد، ۲۹ (۵)، ۱۳۷۵-
۱۳۶۰.
- پرتوی، ز.، رضوانی اعتدالی، ه.، و کاویانی، ع.
(۱۳۹۹). تأثیر کاربرد بیوجار و کاه و
- کرمی، ش.، و قاسمی فسایی، ر. (۱۳۹۹). بررسی
سینتیک جذب فسفات توسط بیوجار
باگاس نیشکر. دانش آب و خاک (دانش
کشاورزی)، ۳۰: ۴۷-۵۸.
- مقیمینژاد، ف.، طویلی، ع.، جعفری، م.،
شیروان، ا.، زارع چاهوکی، م. (۱۴۰۱).
بررسی اثر فلزات سنگین سرب و
کادمیم بر جذب عناصر غذایی
پرمصرف در گیاه شیرین بیان (
Glycyrrhiza glabra L.) مرتع،
۱۶ (۱) ۳۲-۱۷.
- Al-Khayri, J.M., Banadka,
A., Rashmi, R., Nagella, P.,
Alessa, F.M. and Almaghasla,
M.I. (2023). Cadmium toxicity
in medicinal plants: An
overview of the tolerance
strategies, biotechnological and
omics approaches to alleviate

Deenik, J., McCellan, T., Uehara, G., Antal Jr, M. J. and Campbell, S. (2010). Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitro- gen transformations. *Soil Science Society of America Journal*,74, 1259Y1270-1259Y1280.

Deenik, J. L., Diarra, A., Uehara, G., Campbell, S., Sumiyoshi, Y. and Antal Jr, M. J. (2011). Charcoal ash and volatile matter effects on soil properties and plant growth in an acid Ultisol. *Soil Science*, 176(7), 336-345.

Diaconu, D., Diaconu, R. and Navrotescu, T. (2012). Estimation of heavy metals in medicinal plants and their infusions. *Ovidius University Annals of Chemistry* 23(1), 115-120.

Dubey, S., Shri, M., Gupta, A., Rani, V. and Chakrabarty, D. (2018). Toxicity and detoxification of heavy metals during plant growth and metabolism. *Environmental Chemistry Letters*, 16, 1169-1192.

Ekinci, M., Yildirim, E., Agar, G. , Yuksel, E.A. , Aydin, M. , Örs, S. and Kul, R. (2023). Determination of cadmium and drought stress effects on some plant phytohormone contents

metal stress. *Frontiers in Plant Science*,13,301-5311.

Azimyhetabi, Z., Nodehi, M.S., Moghadam, T.K. and Motesharezadeh, B. (2021). Cadmium stress alters the essential oil composition and the expression of genes involved in their synthesis in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Industrial Crops and Products*, 168, 113602-113622.

Bakhtiari, M., Raeisi Sadati, F. and Raeisi Sadati, S.Y. (2023). Foliar application of silicon, selenium, and zinc nanoparticles can modulate lead and cadmium toxicity in sage (*Salvia officinalis* L.) plants by optimizing growth and biochemical status. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(18), 54223-54233.

Chen, X., Wang, J., Shi, Y., Zhao, M.Q. and Chi, G.Y. (2011). Effects of cadmium on growth and photosynthetic activities in pakchoi and mustard. *Botanical studies*, 52(1), 41-46.

Chmur, M. and Bajguz, A. (2023). Melatonin Involved in Protective Effects against Cadmium Stress in *Wolffia arrhiza*. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2), 1178-1190.

(*Calendula calypso*) grown on contaminated soil: Implications for phytoremediation. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105, 270-276.

Ghassemi-Golezani, K. and Rahimzadeh, S. (2022). The biochar-based nanocomposites influence the quantity, quality and antioxidant activity of essential oil in dill seeds under salt stress. *Scientific Reports*, 12(1), 21903-21915.

Ghori, N.H., Ghori, T., Hayat, M.Q., Imadi, S.R., Gul, A., Altay, V. and Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 1807-1828.

Great Britain. Medicines Commission, and General Medical Council (Great Britain) (1993). *The British Pharmacopoeia*. General Medical Council.

Gundale, M. J. and DeLuca, T. H. (2007). Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/ Douglas-fir ecosystem. *Biology and*

and hormone gene expressions in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 47(3), 402-411.

Eskandari, S., Yadgari, M. and Iranipour, R. (2016). Investigating the amount of cadmium and lead accumulation in marigold medicinal plant (*Calendula officinalis*). *Plant Environmental Physiology (Iranian Plant Ecophysiology Studies)*, 12, 76-92.

Fakhri, K., Sayfzadeh, S., Sarajooghi, M., Valad Abadi, S.A. and Hadidi Masouleh, E. (2024). The effect of biochar application and planting pattern on the physiological and biochemical traits of garden Thyme (*Thymus vulgaris* L.) at different levels of irrigation. *Journal of Medicinal plants and By-products*, 13(4), 999-1015.

Fang, Z., Lou, L., Tai, Z., Wang, Y., Yang, L., Hu, Z. and Cai, Q. (2017). *PeerJ Material Science*, 5, 3621.-3650.

Farooq, A., Nadeem, M., Abbas, G., Shabbir, A., Khalid, M.S., Javeed, H.M.R., Saeed, M.F., Akram, A., Younis, A. and Akhtar, G. (2020). Cadmium partitioning, physiological and oxidative stress responses in marigold

improved growth of an important medicinal plant (*Salvia miltiorrhiza* Bunge) and inhibited its cadmium uptake. *Journal of Plant Biology and Soil Health*, 3(2), 1-6.

Lopresti, A. L. (2017). *Salvia* (Sage): A review of its potential cognitive-enhancing and protective effects. *Drugs in R&D*, 17(1), 53-64.

Marschner, H. (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.

Mehdizadeh, L., Moghaddam, M. and Lakzian, A. (2020). Amelioration of soil properties, growth and leaf mineral elements of summer savory under salt stress and biochar application in alkaline soil. *Scientia Horticulturae*, 267, 109319-109330.

Mehdizadeh, L., Farsaraei, S. and Moghaddam, M. (2021). Biochar application modified growth and physiological parameters of *Ocimum ciliatum* L. and reduced human risk assessment under cadmium stress. *Journal of Hazardous Materials*, 409, 124954-124960.

Moghiminjad, F., Tavali, A., Jafari, M., Shirvan, A. and Zare Chahoki, M. (2021). Investigating the effect

Fertility of soils, 43(3), 303-311.

Hu, X., Li, T., Xu, W. and Chai, Y. (2021). Distribution of cadmium in subcellular fraction and expression difference of its transport genes among three cultivars of pepper. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 216, 112182-112195.

Jažo, Z., Glumac, M., Paštar, V., Bektić, S., Radan, M. and Carev, I. (2023). Chemical composition and biological activity of *Salvia officinalis* L. essential oil. *Plants*, 12(9), 1794-1815.

Khan, M.A., Khan, S., Khan, A., and Alam, M. 2017. Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments. *Science of the Total Environment*, 601–602, 1591-1605.

Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C. and Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 43, 1812-1836.

Liu, A., Tian, D., Xiang, Y. and Mo., H. (2016). Biochar

chloride and cadmium on some physiological traits and sodium and cadmium content of purslane (*Portulaca oleracea*) roots and shoots. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8, 43-60.

Rogowska, A., Pączkowski, C. and Szakiel, A. (2022). Modulation of steroid and triterpenoid metabolism in *Calendula officinalis* plants and hairy root cultures exposed to cadmium stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(10), 5640-5650.

Saini, S. and Dhanial, G. (2020). Cadmium as an Environmental Pollutant: Ecotoxicological Effects, Health Hazards, and Bioremediation Approaches for Its Detoxification from Contaminated Sites. In: Bharagava, R., and Saxena, G. (eds) *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety*. Springer, Singapore.

Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T. and Niazi, N.K. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal*

of lead and cadmium heavy metals on the absorption of essential nutrients in licorice plant (*Glycyrrhiza glabra* L.). *Marta*, 16 (1), 17-32.

Monteiro, M.S., Santos, C., Soares, A.M.V.M. and Mann, R.M. (2009). Assessment of biomarkers of cadmium stress in lettuce. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(3), 811-818.

Mumivand, H., Izadi, Z., Amirizadeh, F., Maggi, F. and Morshedloo, M.R. (2023). Biochar amendment improves growth and the essential oil quality and quantity of peppermint (*Mentha× piperita* L.) grown under waste water and reduces environmental contamination from waste water disposal. *Journal of Hazardous Materials*, 446, 130674-130690.

Pandey, J., Verma, R.K. and Singh, S. (2019). Suitability of aromatic plants for phytoremediation of heavy metal contaminated areas: A review. *International Journal of Phytoremediation*, 21(5), 405-418.

Rafiei, M., Madah Hosseini, S., Hamidpour, M. and Mohammadi Mirik, A. (2017). Interaction of sodium

effects of manure, charcoal and mineral fertili- zation on crop production and fertility on a highly weathered central Amazonian upland soil. *Plant and Soil* , 291,275-290.

Tian, D., Liu, A. and Xiang, Y. (2017). Effects of biochar on plant growth and cadmium uptake: Case Studies on Asian lotus (*Nelumbo nucifera*) and Chinese sage (*Salvia miltiorrhiza*). *Engineering Applications of Biochar*, 2017, 49-69.

Ullah, S., Khan, J., Hayat, K. and Abdelfattah Elateeq, A. (2020). Comparative study of growth, cadmium accumulation and tolerance of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Plants*, 9(3), 310-318.

Xin, J., Zhao, X.H., Tan, Q.L., Sun, X.C., Zhao, Y.Y. and Hu, C.X. (2019). Effects of cadmium exposure on the growth, photosynthesis, and antioxidant defense system in two radish *Raphanus sativus*, L. cultivars. *Photosynthetica*, 57, 967-973.

Yao, Y., Gao, B., Chen, J.J. and Yang, L.Y. (2013). Engineered biochar reclaiming phosphate from aqueous solutions: mechanisms and potential application as a slow- release fertilizer.

of *Hazardous Materials*, 325, 36-58.

Shanying, H.E., Xiaoe, Y.A.N.G., Zhenli, H.E. and Baligar, V.C. (2017). Morphological and physiological responses of plants to cadmium toxicity: a review. *Pedosphere*, 27(3), 421-438.

Shirkhani, Z., Chehregani Rad, A. and Gholami, M. (2020). Effects of cadmium on perianth and anther formation in *Datura stramonium* L. *Brazilian Journal of Botany*, 43, 239-246.

Soleimani, S.H., Bernard, F., Amini, M. and Khavari-Nezhad, R.A.(2020). Cadmium accumulation and alkaloid production of *Narcissus tazetta* plants grown under in vitro condition with cadmium stress. *Plant Physiology Reports*, 25, 51-57.

Sonali, D., Manju, S., Anubhuti, G., Vibha, R. and Debasis, C. 2018. Toxicity and detoxification of heavy metals during plant growth and metabolism. *Environmental Chemistry Letters*, 16(4),1169-1192.

Steiner, C., Teixeira, W., Lehmann, J., Nehls, T., de Maceˆdo, J., Blum, W. and Zech, W. (2007). Long term

Environmental Science and Technology. 47, 8700–8708.

Yasin, N.A., Shah, A.A., Ahmad, A. and Shahzadi, I. (2022). Cross talk between brassinosteroids and cytokinins in relation to plant growth and developments. In Brassinosteroids Signaling: Intervention with Phytohormones and Their Relationship in Plant Adaptation to Abiotic Stresses. Singapore, Springer Singapore, pp. 171-178.

Zeidabadi, A., Emamghoreishi, M., Tayebi, N. and Akbarzadeh, M. (2022). Comparison of the effect of *Salvia officinalis* extract and *Vitex Agnus-castus* extract on anxiety in postmenopausal women: A randomized, triple-blind, placebo-controlled trial. Bulletin of Pharmaceutical Sciences. Assiut, 45(1), 119-128.