فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۳، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۲۳۳-۲۴۸
https://doi.org/10.22034/13.63.233

مقاله پژوهشی

تأثیر قارچ میکوریز آربوسکولار *Funneliformis mosseae* بر پاسخ گیاه پریوش (*Catharanthus roseus* L.) به تنش فلز سنگین کادمیوم

محمد آبیاری

گروه علوم پایه، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۵/۰۶)

چکیده

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (AMF)، اثرات مضر فلزات سنگین را بر رشد و عملکرد گیاهان کاهش می‌دهند. در همین راستا، مطالعه‌ای در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار با هدف بررسی تأثیر قارچ *Funneliformis mosseae* بر پاسخ گیاه پریوش به تنش کادمیوم انجام شد. جهت اعمال تنش، گیاهان پریوش با ۳ میلی‌لیتر محلول نیترات کادمیوم با غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ mg/l در سه نوبت به فاصله سه روز یکبار آغشته شدند. جهت اعمال تیمار قارچی، حدود ۵۰ گرم از مایع تلقیح *F. mosseae* زیر ریشه گیاه در گلدان در زمان کشت افزوده شد. بعد از سه ماه از زمان کاشت، مطالعه صفات مورفولوژیکی و فیزیکوبیوشیمیایی حاکی از تأثیر وابسته به غلظت کادمیوم بر پروانش بود. تیمار *F. mosseae* منجر بهبود صفات مختلف شد بطوریکه با افزایش سطح تنش، اثرگذاری قارچ بر صفات گیاه نیز بیشتر شد. در مقایسه با سطح خفیف، متوسط و شدید تنش (۱۰، ۲۰ و ۳۰ mg/l)، تیمار *F. mosseae* به ترتیب منجر به افزایش ۵۱، ۳۳ و ۴۱٪ ارتفاع، ۵۰، ۵۷ و ۳۵٪ وزن خشک اندام‌هوایی، ۱۹، ۳۲ و ۴۵٪ پرولین، ۱۸، ۵۲ و ۵۶٪ کلروفیل، ۱۰، ۱۱۰ و ۲۵٪ کارتنوئید، ۱۷، ۴۷ و ۳۷٪ پایداری غشاء، ۴۳، ۶۴ و ۴۷٪ فنل، ۹۵، ۱۶ و ۳۵٪ پروتئین، ۳۹، ۱۵ و ۶۳٪ قند، ۳۰، ۶۴ و ۲۱۰٪ کاتالاز، ۱۵، ۳۱ و ۱۴۸٪ دیسموتاز، ۱۹، ۱ و ۱٪ پراکسیداز و ۱۲، ۷۸ و ۳۶ ٪ عملکرد اسانس شد. در نتیجه *F. mosseae* به عنوان یک محرک سودمند برای کاهش خسارات ناشی از تنش کادمیوم شناسایی شد.

کلمات کلیدی: فلز سنگین، قارچ میکوریز آربوسکولار، کادمیوم، گیاه دارویی پریوش

مقدمه

پریوش (*Catharanthus osseous*) یکی از مهمترین گیاهان دارویی خانواده آپوسیناسه به شمار می‌آید. تاکنون، تقریب به ۱۲۰ نوع آلکالوئید مختلف از این گیاه استخراج شده است. دو آلکالوئید وین‌کریستین و وین‌بلاستین دارای اثر ضدتوموری هستند و به همین خاطر در صنایع داروسازی مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند (مرادی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). آزمایشات بالینی تأثیر گیاه پریوش بر بهبود ورم لثه‌ها، ورم لوزتین، قوای ذهنی، بواسیر، خونریزی بینی، آنژین، لوسمی، برونشیت، بازکردن مجاری عروقی و درمان سرطان را نشان داده‌اند. همچنین، پریوش گیاهی ارزشمند برای شیمی درمانی سرطان‌ها با آلکالوئیدهای وینکا است (Mishra and Verma, 2017). علیرغم اهمیت درمانی، عملکرد تولیدی این گیاه به شدت تحت تأثیر تنش‌های محیطی نظیر فلزات سنگین قرار

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m.abyari@cfu.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]

می‌گیرد.

فلزات سنگین، فلزهایی با چگالی بیش از ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند. در این میان ۱۹ فلز سنگین، آرسنیک جیوه، سرب و کادمیم، برای گیاهان و میکروارگانیسم‌ها سمی‌اند. از آنجایکه کادمیم دارای الکترون‌های آزاد در مدار خود هستند، دهنده و گیرندهٔ خوب الکترون‌های منفرد به شمار می‌آیند و لذا باعث افزایش احتمال انتقال تک‌الکترون به اکسیژن و تولید اکسیژن‌های واکنشگر و بروز اکسیداسیون می‌شوند (تبریزی و همکاران، ۱۳۹۴). در حالت پایدار، رادیکال‌های اکسیژن به وسیله سازوکارهای دفاعی آنتی‌اکسیدانت حذف می‌شوند. با این‌حال، تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های اکسیژن توسط تنش‌های محیطی مثل فلزات سنگین به هم می‌خورد (فیروزه و زاهدی، ۱۳۹۹). در مطالعه‌ای، مرادی‌پور و همکاران (۱۳۹۵) اثر کادمیم بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را در پریوش مورد ارزیابی قرار دادند. فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز در پاسخ به تنش اکسیداتیو ناشی از نیترات کادمیم افزایش یافتند. سطح مالون دی‌آلدئید به‌عنوان محصول حاصل از پراکسیداسیون لیپیدی نیز با افزایش قابل‌توجهی همراه بود. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که کادمیم سبب آسیب به غشاء و افت توانایی زیستی سلول‌های گیاهی می‌شود بطوریکه افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت قادر به جبران این آسیب نخواهد بود. با توجه به این موضوع، توجه محققان معطوف به استفاده از روش‌های مختلفی نظیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار برای تخفیف علائم ناشی از سمیت کادمیوم شد (Hildebrandt *et al.*, 2007).

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (AMF) فراوان‌ترین عوامل ایجادکنندهٔ همزیستی با گیاه در خاک هستند و از این رو، اهمیت اکولوژیکی بسزایی دارند. قارچ‌های AMF سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان توسط تشکیل شبکه هیفی و تولید مواد بیوشیمیایی مهمی همانند گلومالین می‌شوند. چنین قابلیتی منجر به افزایش جذب آب و عناصر غذایی می‌شود (رستمی و همکاران، ۱۴۰۱). این نوع از قارچ‌ها، اثرات مضر تنش‌های محیطی مثل فلزات سنگین را بر رشد و عملکرد گیاهان کاهش می‌دهند (محمدی‌فرد و مقدم، ۱۴۰۱). در واقع، قارچ‌های AMF تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در راستای حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش می‌دهند و این مهم در کنار تنظیم متابولیکی گیاه باعث تخفیف علائم تنش می‌شود (Karagiannidis *et al.*, 2011). مقدار تأثیر تعدیل‌کنندگی قارچ‌های AMF تحت تنش فلزات سنگین به عوامل مختلفی نظیر گونه گیاهی، شرایط رشد گیاه و نوع و غلظت فلز سنگین وابسته است (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۴۰۱).

تاکنون، مطالعات متنوعی بر روی تأثیر قارچ‌های AMF بر تخفیف علائم تنش فلزات سنگین نظیر کادمیوم انجام شده است. در پژوهشی، سخایی و همکاران (۱۴۰۰) تأثیر قارچ شبه *Piriformospora indica* را بر گیاه شنبلیله تحت تنش کادمیوم بررسی کردند. بر اساس نتایج، افزایش غلظت کادمیم باعث اختلال در شاخص‌های جوانه‌زنی بذر شد. همچنین، تنش کادمیوم سبب کاهش میانگین صفات مورفولوژیکی شد. در مقایسه با گیاهان شاهد، گیاهان تلقیح‌شده با قارچ از رشد و عملکرد بهتری تحت تنش برخودار بودند که این موضوع بر نقش قارچ‌های شبه AMF در بهبود تولید گیاه تحت تنش فلزات سنگین دلالت دارد. در مطالعه‌ای دیگر، فیروزه و زاهدی (۱۳۹۹) اثر تلقیح قارچ AMF را بر رشد گندم تحت تنش کادمیم بررسی کردند. بر مبنای یافته‌ها، در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا *F. mosseae*، گونه *Rhizophagus intraradices* و *باکتری* *Azotobacter* Sp. پراکسیداسیون لیپیدی (۱۴، ۱۰ و ۵ درصد) کمتر درحالیکه غلظت کادمیم اندام هوایی (۲۴، ۱۱ و ۵ درصد)، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی آسکوربات پراکسیداز (۶۴، ۵۶ و ۴۷ درصد)، پراکسیداز (۳۹، ۳۲ و ۲۰ درصد)، کاتالاز (۲۲، ۱۸ و ۱۲ درصد)، و وزن خشک اندام هوایی (۲۰، ۱۲ و ۷ درصد) بالاتر بود. در نتیجه، تلقیح گیاهان با قارچ AMF سبب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و فعال‌سازی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی شد. در پژوهشی دیگر، رستمی و همکاران (۱۴۰۱) اثر قارچ‌های AMF را بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد اسانس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]

آویشن تحت تنش فلز سنگین سرب را بررسی کردند. مشاهدات نشان داد که تلقیح با قارچ‌های AMF در بهبود صفات رویشی در حضور فلز سنگین مؤثر است به‌طوریکه هر دو گونه قارچ *F. mosseae* و *Claroideoglomus etunicatum* تعداد برگ را حدود ۵۰ درصد افزایش دادند. علاوه بر این، تلقیح با قارچ *F. mosseae* تحت تنش فلز سنگین، درصد اسانس (۵۵٪)، کاروتنوئید (۱۹/۶٪)، کلروفیل کل (۷۰/۴۳٪)، فعالیت آنزیم پراکسیداز (۸/۸٪) و سطح پرولین برگ (۱۱/۴۹٪) را به‌طور قابل توجهی افزایش داد. در تحقیقی دیگر، تبریزی و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر قارچ‌های AMF بر رشد و عملکرد رزماری را تحت تنش کادمیوم ارزیابی کردند. مشاهدات محققان گویای این مطلب بود که رشد و عملکرد با افزایش غلظت کادمیوم در خاک کاهش می‌یابد. تلقیح با قارچ‌های AMF سبب افزایش رشد و عملکرد در چنین شرایطی شد. به‌علاوه، بالاترین عملکرد اسانس به ترتیب در گیاهان میکوریزی غیرآلوده به کادمیوم به دست آمد. در پژوهشی، محمدی‌فرد و مقدم (۱۴۰۱) نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم، وزن اندام هوایی، سطح برگ، تعداد بذر، وزن هزار دانه، درصد همزیستی، پروتئین محلول، فعالیت کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایکول پراکسیداز، پلی‌فنول اکسیداز در گشنیز کاهش یافتند. درحالی‌که قارچ‌های *Glomus mosseae* و *G. intraradices* توانستند اثرات مضر کادمیوم را در گیاه کاهش دهند به‌نحویکه سبب افت ۱۷/۲ درصدی مالون دی‌آلدئید و ۴۷/۱ درصدی شاخص خطر و سلامت در گیاه شدند.

با توجه به تأثیر منفی تنش فلزات سنگین نظیر کادمیوم بر گیاه پریوش و همچنین پتانسیل قارچ‌های AMF در بهبود علائم ناشی از تنش، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر قارچ میکوریز آربوسکولار *F. mosseae* بر پاسخ گیاه پریوش به تنش فلز سنگین کادمیوم انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و طرح آزمایش: این مطالعه در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. بذور پریوش مربوط به رقم Rose Pink از شرکت پاکان اصفهان تهیه شد. نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری یک خاک مزرعه واقع در اطراف تهران، پس از هواخشک‌شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، به مدت ۴ ساعت در داخل اتوکلاو (با فشار ۱/۵ بار و دمای ۱۲۱ درجه) قرار گرفت و سپس به داخل گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر ریخته شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک (جدول ۱) شامل pH با روش عصاره گل اشباع و با دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی با روش عصاره گل اشباع و با دستگاه EC متر، میزان ماده آلی به روش الکی بالک، بافت خاک به روش هیدرومتری، و میزان عناصر خاک سنجش شدند (تبریزی و همکاران، ۱۳۹۴).

جهت اعمال تنش، بعد از گذشت ۱/۵ ماه از کشت، گیاهان پریوش با ۳ میلی‌لیتر محلول نیترات کادمیوم با غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر (Hu *et al.*, 2014) در سه نوبت به فاصله سه روز یکبار آغشته شدند. جهت آماده‌سازی اینوکلوم، ریشه گیاه پریوش در معرض اسپورهای قارچ *F. mosseae* در گلدان قرار گرفت. جهت تلقیح قارچ، حدود ۲۵ گرم اینوکلوم قارچ *F. mosseae* زیر ریشه گیاه پریوش در گلدان‌های دیگر قرار گرفت (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۴۰۱). گیاهان به مدت سه ماه در گلخانه با دمای حداقل ۱۸ و حداکثر ۲۸ درجه سانتی‌گراد و با ۱۶ ساعت روشنایی نگهداری شدند (Kapoor *et al.*, 2004).

سنجش صفات: داده‌برداری از حدود سه ماه بعد از کاشت صورت گرفت و صفات مورفولوژی گیاه نظیر ارتفاع بوته و وزن اندام هوایی اندازه‌گیری شدند (Ayoob *et al.*, 2011). پس از شستشو و خشک‌شدن در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، وزن خشک اندام هوایی به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد.

شاخص پایداری غشاء (MSI): شاخص پایداری غشاء توسط روش Farooq و Azam (۲۰۰۶) تعیین شد. به طور خلاصه، نخست ۰/۱ گرم برگ در ظرف حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر قرار گرفت. سپس هدایت الکتریکی (EC) اولیه و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

بافت خاک	(%) P	(%) K	(%) N	(%) O	pH	EC (dS .m^{-1})
لوم شنی	۳/۵	۰/۰۸	۰/۱	۰/۵	۷/۶	۳/۳

ثانویه یاداشت و در نهایت شاخص پایداری غشاء بدست آمد.

ترکیبات فنلی: غلظت ترکیبات فنلی طبق روش Ainsworth و Gillespie (۲۰۰۷) تعیین شد. به طور خلاصه، ۰/۱ گرم نمونه برگی با ۱ میلی‌لیتر اتانول خالص مخلوط شد. بعد از سانتریفیوژ به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه، ۵۰ میکرولیتر معرف فولین شیکالتو با ۲۵ از میکرولیتر عصاره مخلوط شد. بعد از ۵ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر کربنات‌سدیم ۲۰ درصد به محلول افزوده شد. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه، جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر خانده شد.

قندهای محلول: برای تعیین مقدار قندهای محلول، نخست ۰/۵ گرم نمونه برگی با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد مخلوط شد. عصاره روی شیکر با ۳۶۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت و سپس در ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. بعد از افزودن ۳ میلی‌لیتر معرف آنترون به فاز رویی نمونه‌ها، میزان جذب نور در طول‌موج ۶۳۰ نانومتر خوانده شد. برای تهیه محلول استاندارد از گلوکز خالص استفاده شد (Yang *et al.*, 2015).

پرولین: برای برآورد مقدار تجمع پرولین در برگ، ۰/۵ گرم برگ با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳/۳ درصد سائیده و در ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص و ۲ میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین به ۲ میلی‌لیتر از فاز بالایی محلول افزوده و به مدت ۶۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت. بعد از خنک شدن و افزودن ۴ میلی‌لیتر تولوئن، مقدار جذب نور در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد (Abraham *et al.*, 2010).

پروتئین‌های محلول: نمونه‌های برگی به کمک ازت مایع در هاون چینی پودر شدند. سپس، ۰/۲۵ گرم از پودر حاصله با ۲/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج فسفات (۱۰۰ میلی‌مولار) ترکیب شد. نمونه‌های حاصل با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. جهت سنجش مقدار پروتئین‌های محلول برگی، نخست ۵ میلی‌لیتر معرف بیوره و سپس ۱۰۰ میکرولیتر عصاره رویی به لوله‌های آزمایش افزوده و به سرعت هم‌زده شد. در نهایت، جذب عصاره در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. غلظت پروتئین برگی از طریق منحنی استاندارد آلبومین تعیین شد (Bradford, 1976).

سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت: برای سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز نخست عصاره‌گیری برگی در یک میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۵) صورت گرفت. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز توسط روش Yang و همکاران (۲۰۱۵) استفاده شد. یک واحد فعالیت آنزیمی SOD معادل مقدار آنزیمی است که سبب ۵۰ درصد بازدارندگی احیای نیتروبلو می‌شود. فعالیت این آنزیم بر مبنای اکسیداسیون آسکوربیک اسید و کاهش جذب در ۲۹۰ نانومتر به مدت یک دقیقه سنجش شد.

رنگدانه‌های فتوسنتزی: از روش Lichtenthaler و Buschmann (۲۰۰۱) برای تعیین غلظت کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها استفاده شد. نخست، ۰/۲ گرم برگ با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۹ درصد سائیده و محلول حاصل در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. در طول‌موج‌های ۶۵۳، ۶۶۶ و ۴۷۰ نانومتر، جذب محلول رویی توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد. میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی توسط معادله‌های زیر محاسبه شد:

$$Chl\ a = 15.65\ A_{666} - 7.340\ A_{653}$$
$$Chl\ b = 27.05\ A_{653} - 11.21\ A_{666}$$
$$Carotenoid = 1000\ A_{470} - 1.8\ Chl\ a - 85.02\ Chl\ b$$

کلونیزاسیون ریشه: رنگ‌آمیزی نمونه‌های ریشه با محلول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]

اسید استیک- الکل- فرمالین انجام شد. در ادامه قطعات ریشه رنگ‌آمیزی‌شده روی ظرف پتری شبکه‌بندی با ابعاد 1cm × 1cm قرار گرفتند و تعداد خطوط متقاطع کلنیزه توسط بینی‌کوالر شمارش شده و درصد کلونیزاسیون برآورد شد.

عملکرد اسانس: برای اسانس‌گیری، اندام هوایی در مرحله گلدهی برداشت شد و در دمای اتاق و در سایه خشک شد. استخراج اسانس توسط تقطیر با آب و دستگاه کلونجر انجام شد و متعاقباً عملکرد اسانس (وزن خشک / وزن اسانس × ۱۰۰) محاسبه شد (Karagiannidis *et al*., 2011).

این مطالعه در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه انجام شد. در نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴)، از تجزیه واریانس (ANOVA) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و از روش LSD (حداقل تفاوت معنی‌دار) برای مقایسه میانگین استفاده شد. نمودارها نیز با استفاده از Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی، ارتفاع گیاه: نتایج جدول تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی در جدول ۲ و ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، ارتفاع بوته در گیاه پریوش به طورمعنی‌داری تحت تأثیر فلز سنگین کادمیوم، قارچ میکوریزی و اثر متقابل بین آنها قرار گرفت (جدول ۱ و ۲). کمترین ارتفاع بوته در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم (۳۰ میلی‌گرم در لیتر) و بیشترین ارتفاع بوته در گیاهان میکوریزی *F. mosseae* غیرآلوده به کادمیوم مشاهده شد (شکل ۱). غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم به ترتیب منجر به کاهش ۳۰، ۲۵ و ۴۳٪ ارتفاع شد درحالیکه تیمار قارچی *F. mosseae* به ترتیب منجر به افزایش ۵۱، ۳۳ و ۴۱٪ ارتفاع شد. در پژوهشی مشابه، رستمی و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی اثر قارچ‌های AMF بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد اسانس آویشن تحت تنش فلز سنگین دریافتند که با افزایش غلظت فلز سنگین در خاک ارتفاع گیاه حدود ۴۰ درصد کاهش یافت درحالیکه با تیمار قارچ‌های AMF بهبود پیدا کرد. به‌نظر می‌رسد که علت کاهش ارتفاع گیاه تحت تنش کادمیوم ناشی از این موضوع باشد که غلظت بالای فلزات سنگین سبب خسارت ریشه‌ای، کاهش غلظت کلروفیل، افت مقدار جذب CO_2 و اختلال در فتوسیستم II می‌شود و افت فتوسنتز در نهایت سبب کاهش رشد و ارتفاع گیاه می‌شوند (Paunov *et al*., 2018). همچنین، این کاهش ارتفاع می‌تواند به خاطر اختلال در فعالیت متابولیسمی گیاه باشد چرا که کادمیوم به وسیله مسیر آپوپلاست و سیمپلاست در گیاه جذب و منتقل می‌شود که به نوبه خود سبب کمبود مواد مغذی و تنش اکسیداتیو خواهد شد (Yadav *et al*., 2016). در مقابل، علت تأثیر مثبت قارچ AMF بر گیاه متأثر از تنش فلز سنگین می‌تواند ریشه در این امر داشته باشد که قارچ‌های AMF از طریق سازوکارهایی مثل ممانعت از جذب فلز سنگین توسط ریشه، کلاته‌کردن در درون خود و یا جذب کادمیوم به کیتین دیواره سلولی قارچی سبب تجمع کادمیم در ریشه و کاهش انتقال آن به اندام هوایی می‌شوند. در پژوهشی، Siani و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که قارچ‌های AMF به‌واسطه گلومالین‌ها با اتصال به فلزات سنگین در ریشه به دام می‌افتند و در واقع از انتقال عناصر سنگین به سمت بخش‌های بالایی گیاه جلوگیری می‌کنند.

وزن خشک اندام هوایی: نتایج این مطالعه نشان داد که تأثیر فلز سنگین کادمیوم، قارچ میکوریزا و اثر متقابل بین آنها بر وزن گیاه معنی‌دار است (جدول ۱ و ۲). با افزایش غلظت کادمیوم، وزن گیاه تا ۵۵ درصد کاهش یافت و به عبارتی یک پاسخ وابسته به غلظت فلز سنگین نمایان شد (شکل ۲). در مقابل، کاربرد قارچ *F. mosseae* به طور چشمگیری بر وزن گیاه مؤثر بود بطوریکه وزن گیاهان تیمارشده با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب تا ۵۱، ۳۳ و ۴۱٪ در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در پژوهشی مشابه، رستمی و همکاران (۱۴۰۱) دریافتند که قارچ‌های AMF می‌توانند وزن خشک ساقه را تا ۴۵ درصد افزایش دهند. در مطالعه‌ای دیگر، فیروزه و زاهدی (۱۳۹۹) مشاهده کردند که در اثر تلقیح با قارچ *F. mosseae* و *Azotobacter* Sp.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و فیزیکوبیوشیمیایی

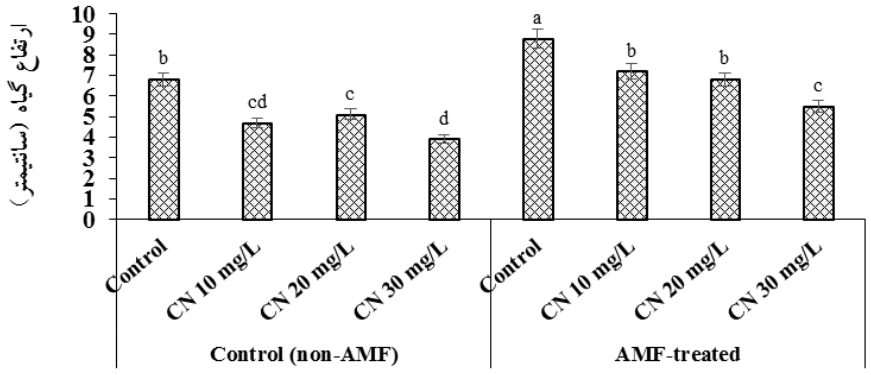
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع	وزن خشک	کلروفیل	کارتنوئید	پرولین	پایداری غشا	فنل کل
تنش کادمیوم	۳	۸/۵۲**	۲/۴۶*	۱۲/۷*	۳/۷۶*	۰/۰۳۳**	۳۸۰/۶**	۹/۷*
تیمار قارچ	۱	۰/۷۴*	۰/۳۸**	۳/۵۳*	۰/۰۲*	۰/۰۱۱*	۲۸/۵*	۶/۳*
تنش × قارچ	۳	۰/۳۸*	۰/۲۴*	۲/۳۸*	۰/۰۰۸*	۰/۰۰۵**	۱/۹۵*	۲/۲**
خطا	-	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۱	۰/۸۶	۰/۰۳

*** و ** به ترتیب گویای معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد است.**

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و فیزیکوبیوشیمیایی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		قند	پروتئین	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربات پراکسیداز	کلونیزاسیون ریشه	عملکرد اسانس
تنش کادمیوم	۳	۱۲/۷**	۳/۷*	۰/۰۰۰۴*	۰/۳۴**	۰/۰۸*	۸۵۵/۵*	۰/۰۶*
تیمار قارچ	۱	۳/۵*	۰/۰۲**	۰/۰۰۰۵*	۰/۱۲*	۰/۰۶ns	۴۵/۲۳**	۰/۰۲*
تنش × قارچ	۳	۲/۳*	۰/۰۰۸*	۰/۰۰۰۰۷*	۰/۰۵*	۰/۰۰۴*	۲۵/۲۵ns	۰/۰۰۴**
خطا	-	۰/۰۲۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۷	۱۱/۸۵	۰/۰۰۰۸

ns، * و ** به ترتیب گویای عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد است.

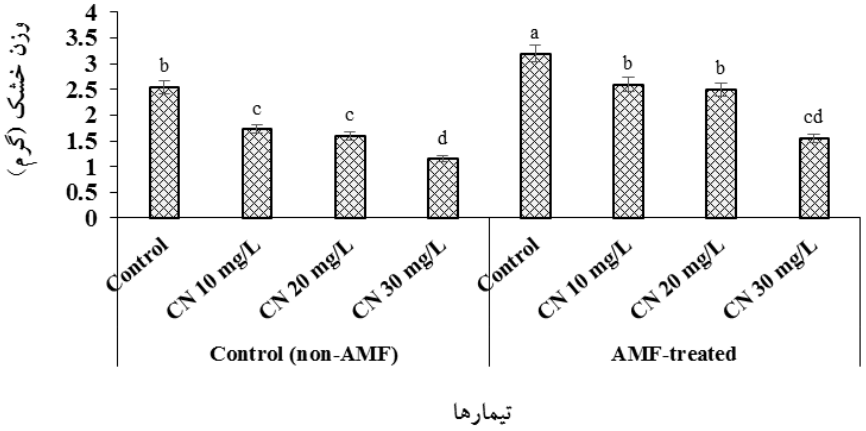


شکل ۱- ارتفاع گیاه پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*

Rh. Intraradices، وزن خشک اندام هوایی به ترتیب ۱۲، ۲۰ و ۷ درصد افزایش یافت. محققان پیشنهاد کردند که افزایش صفات رشدی مثل وزن اندام هوایی با جذب بالای فسفر در گیاه و کلونیزاسیون مناسب ریشه و به تبع آن رشد میسلیوم‌های قارچی و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه مربوط است. بیشتر پژوهشگران بر این عقیده‌اند که قارچ‌های AMF با اعمال تغییرات هورمونی و فعال‌سازی مریستم ریشه سبب تحریک ریشه‌زایی و متعاقباً افزایش جذب آب و مواد غذایی برای تولید اندام هوایی بیشتر می‌شوند (تبریزی و همکاران، ۱۳۹۴).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]



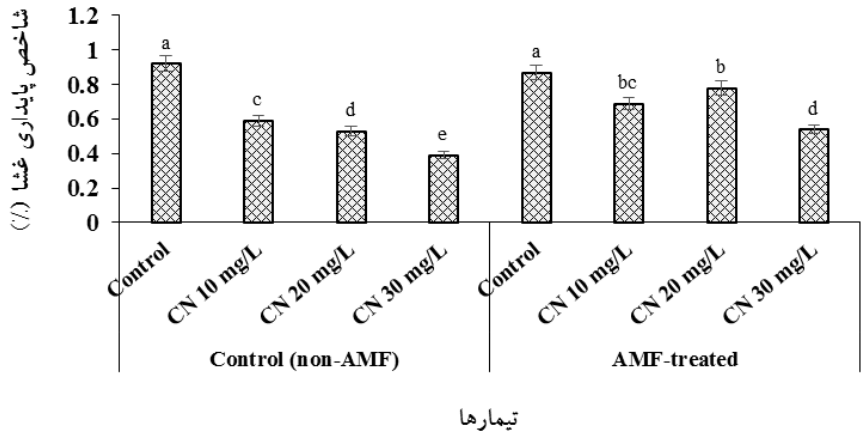
شکل ۲- وزن خشک اندام هوایی پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*

صفات فیزیکوبیوشیمیایی، پایداری غشاء: یافته‌های این پژوهش نشان داد که پایداری غشاء متأثر از فلز سنگین کادمیوم، قارچ میکوریزی و اثر متقابل بین آنها است (جدول ۱ و ۲). آنچنان که مشاهده شد، پایداری غشاء یک پاسخ وابسته به غلظت به افزایش غلظت کادمیوم نشان داد و با افزایش غلظت این فلز سنگین، کاهش چشمگیری (تا ۵۷ درصد) پیدا کرد. درحالیکه، استفاده از تیمار قارچی *F. mosseae* به معنی‌داری بر پایداری غشاء مؤثر واقع شد و پایداری غشاء را در گیاهان تیمارشده با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم را تا ۱۷، ۴۷ و ۳۷٪ در مقایسه با شاهد افزایش داد (شکل ۳). در آزمایشی مشابه، فیروزه و زاهدی (۱۳۹۹) نشان دادند که در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا *F. mosseae*، گونه *Rhizophagus intraradices* و باکتری *Azotobacter* Sp.، پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از تنش کادمیوم کاهش محسوسی یافت. چنین یافته‌هایی گویای این مطلب است که کادمیوم سبب پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشا، تولید مالون دی‌آلدئید، نشت الکترولیت و متعاقباً کاهش پایداری غشاء می‌شود درحالیکه تیمار قارچی *F. mosseae* از سازوکارهای حفاظتی برای حفظ یکپارچگی غشاء پلاسمایی استفاده می‌کند.

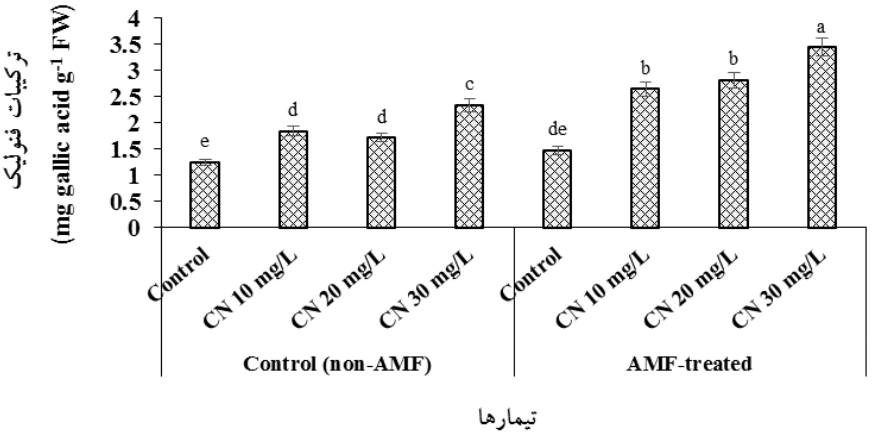
ترکیبات فنلی: مشتقات فنلی متابولیت‌های ثانویه‌ای‌اند که به سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد کمک می‌کنند و گونه‌های فعال اکسیژن را قبل از آسیب رساندن به سلول خنثی می‌نمایند. بر مبنای نتایج گزارشات متعددی که در زمینه پاسخ گیاهان به تنش فلز سنگین وجود دارد، پتانسیل آنتی‌اکسیدانی گیاه به غلظت ترکیبات فنلی وابسته است (Zubek *et al.*, 2015). نتایج این آزمایش گویای این موضوع بود که مقدار ترکیبات فنلی در شرایط تنش فلز سنگین کادمیوم و در گیاهان میکوریزی افزایش می‌یابد (جدول ۱ و ۲) (شکل ۴). غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم به ترتیب منجر به ۴۸، ۳۸ و ۸۷٪ میزان فنل شدند درحالیکه در سطح خفیف، متوسط و شدید تنش (۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر)، تیمار قارچی *F. mosseae* به ترتیب منجر به افزایش ۴۳، ۶۴ و ۴۷٪ میزان فنل شد. افزایش غلظت ترکیبات فنلی در کاسنی (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۴۰۱) و گل بنفشه (Zubek *et al.*, 2015) تلقیح‌شده با میکوریز تحت شرایط تنش کادمیوم گزارش شده است. در واقع، تحت تنش فلز سنگین، قارچ‌های میکوریز سعی بر آن خواهند داشت تا پاسخ گیاه به تنش اکسیداتیو (ناشی از حضور فلزات سنگین) را توسط افزایش تولید ترکیبات فنلی بهبود بخشند.

قندهای محلول: بر مبنای نتایج تجزیه واریانس، محتوی قندهای محلول در گیاه پریوش به طورمعنی‌داری تحت تأثیر فلز سنگین کادمیوم، قارچ میکوریزی و اثر متقابل بین آنها قرار گرفت (جدول ۱ و ۲). تنش کادمیوم و تیمار *F. mosseae* هر دو منجر به افزایش غلظت قندهای محلول شدند. با این‌حال، کمترین محتوی قندهای محلول در گیاهان

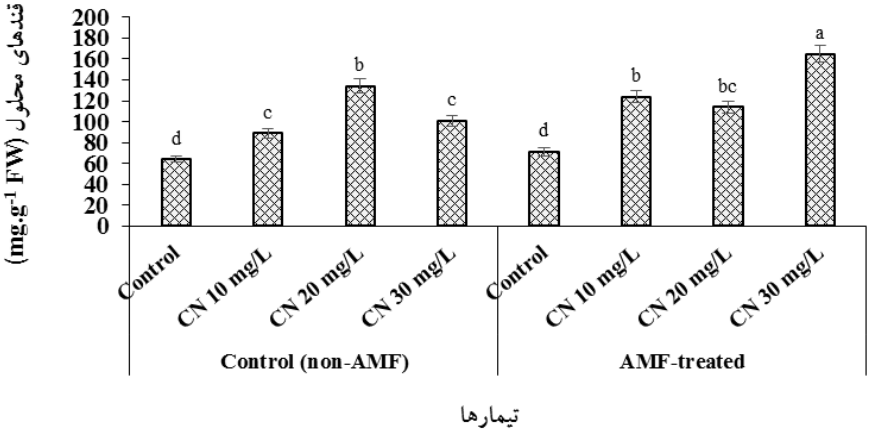
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]



شکل ۳- پایداری غشاء پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*



شکل ۴- ترکیبات فنلی پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*



شکل ۵- محتوی قندهای محلول پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*

غیرمیکوریزی غیرآلوده به کادمیوم (شاهد) و بیشترین محتوی قندهای محلول در گیاهان میکوریزی *F. mosseae* تحت تنش شدید مشاهده شد (شکل ۵). غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم به ترتیب منجر به افزایش ۳۹، ۱۱۰ و ۵۸٪ میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]

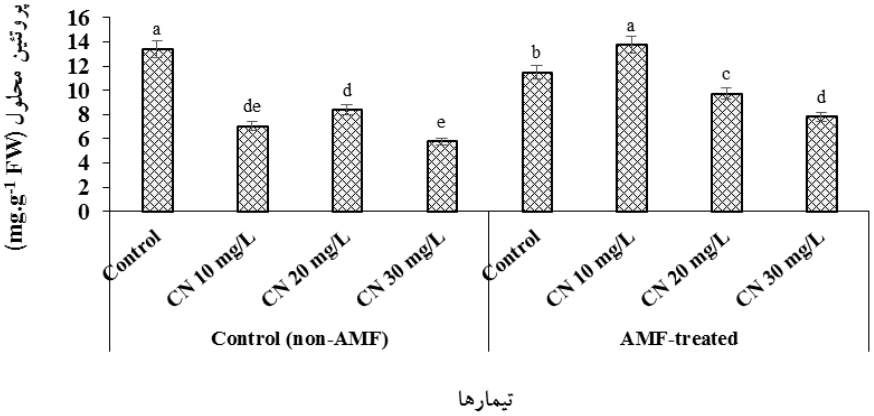
قند شدند درحالیکه در سطح خفیف، متوسط و شدید تنش (۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر)، تیمار قارچی *F. mosseae* به ترتیب منجر به افزایش ۳۹، ۱۵ و ۶۳٪ قند شد. هم‌راستا با نتایج این مطالعه، رستمی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که تلقیح با قارچ‌های AMF مثل *F. mosseae* و *C. etunicatum* سبب افزایش قندهای محلول در گیاهان متأثر از تنش فلز سنگین می‌شود. علت تأثیر مثبت قارچ‌های AMF بر افزایش محتوی قندهای محلول را می‌توان در افزایش سطح هورمون‌های گیاهی همانند جیبرلین و سیتوکنین دانست. افزایش هورمون‌های گیاهی مثل سیتوکنین به نوبه خود با انتقال یون‌های مؤثر در بازشدن روزنه‌ها و تنظیم سطح کلروفیل، سبب ارتقاء سرعت فتوسنتز و متعاقباً افزایش محتوی کربوهیدرات می‌شود (Molina *et al.*, 2020).

پروتئین‌های محلول: تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تأثیر *F. mosseae* بر گیاهان پریوش متأثر از تنش کادمیوم نشان داد که فلز سنگین کادمیوم، قارچ میکوریزی و اثر متقابل بین آنها دارای تأثیر معنی‌داری بر غلظت پروتئین‌های محلول هستند (جدول ۱ و ۲) (شکل ۶). غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم به ترتیب منجر به کاهش ۴۷، ۳۷ و ۵۷٪ محتوی پروتئین شدند درحالیکه در سطح خفیف، متوسط و شدید تنش (۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر)، تیمار قارچی *F. mosseae* به ترتیب منجر به افزایش ۹۵، ۱۶ و ۳۵٪ پروتئین شد. در پژوهشی مشابه، محمدی‌فرد و مقدم (۱۴۰۱) متوجه شدند که با افزایش غلظت کادمیوم، محتوی پروتئین محلول کاهش یافت درحالیکه قارچ‌های *G. mosseae* و *G. intraradices* توانستند این افت غلظت پروتئین را بازیافت کنند. علت کاهش محتوی پروتئین‌های محلول طی تنش فلزات سنگین را می‌توان به میل ترکیبی بالای رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولیدشده طی تنش با پروتئین‌ها دانست که متعاقباً سبب تخریب پروتئین‌ها می‌شود (Molina *et al.*, 2020). در نقطه مقابل، به‌نظر می‌رسد که قارچ‌های AMF با کلاته‌کردن کادمیوم سبب کاهش تنش اکسیداتیو و متعاقباً کاهش تولید رادیکال‌های مضر اکسیژن می‌شوند و بدین‌ترتیب از مجموع پروتئین‌های محلول سلولی محافظت به عمل می‌آورند (Ef *et al.*, 2015).

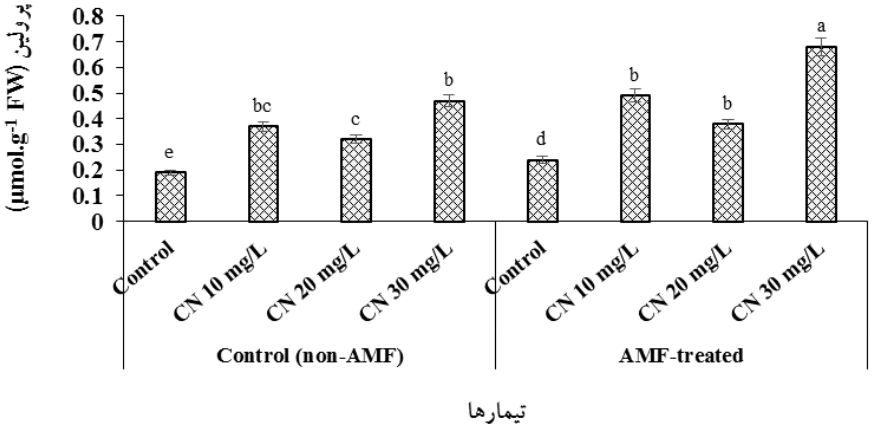
پرولین: تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تأثیر *F. mosseae* بر گیاهان پریوش متأثر از تنش کادمیوم نشان داد که فلز سنگین کادمیوم، قارچ میکوریزی و اثر متقابل بین آنها دارای تأثیر معنی‌داری بر غلظت پرولین هستند (جدول ۱ و ۲) (شکل ۷). غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم به ترتیب منجر به افزایش ۹۴، ۶۸ و ۱۴۸٪ میزان پرولین شدند درحالیکه در سطح خفیف، متوسط و شدید تنش (۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر)، تیمار قارچی *F. mosseae* به ترتیب منجر به افزایش ۱۹، ۳۲ و ۴۵٪ میزان پرولین شد. هم‌راستا با مشاهدات ما، رستمی و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که تلقیح با *F. mosseae* و *C. etunicatum* سطح پرولین برگ را تا ۵۰ درصد افزایش می‌دهد. در تنش ناشی از حضور غلظت بالای فلزات سنگین مثل کادمیوم، تجمع پرولین در گیاه القاء می‌شود و به نوبه خود سبب تحمل گیاه در مقابل تنش خواهد شد. القاء تحمل تنش ناشی از تجمع پرولین بدان دلیل است که اسیدآمینه پرولین به عنوان یک ماده اسمزی، حذف‌کننده رادیکال‌های واکنشگر اکسیژن و یک محافظ مولکولی برای حفظ ساختار پروتئین‌ها عمل می‌کند (Molina *et al.*, 2020). همچنان که نتایج این مطالعه نشان داد، قارچ *F. mosseae* با القا بیشتر تولید پرولین سعی بر این خواهد داشت تا به سازگاری گیاه به تنش فلز سنگین کمک کند.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه پریوش به طور معنی‌داری تحت تأثیر فلز سنگین کادمیوم، قارچ میکوریزی و اثر متقابل بین آنها قرار گرفت (جدول ۱ و ۲). تنش کادمیوم و تیمار *F. mosseae* به ترتیب منجر به کاهش و افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شدند. کمترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان غیرمیکوریزی آلوده به کادمیوم (۳۰ میلی‌گرم در لیتر) و بیشترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان میکوریزی *F. mosseae* غیرآلوده به کادمیوم مشاهده شد (شکل ۸). این نتایج با گزارش رستمی و همکاران (۱۴۰۱) همخوانی دارد که نشان دادند که

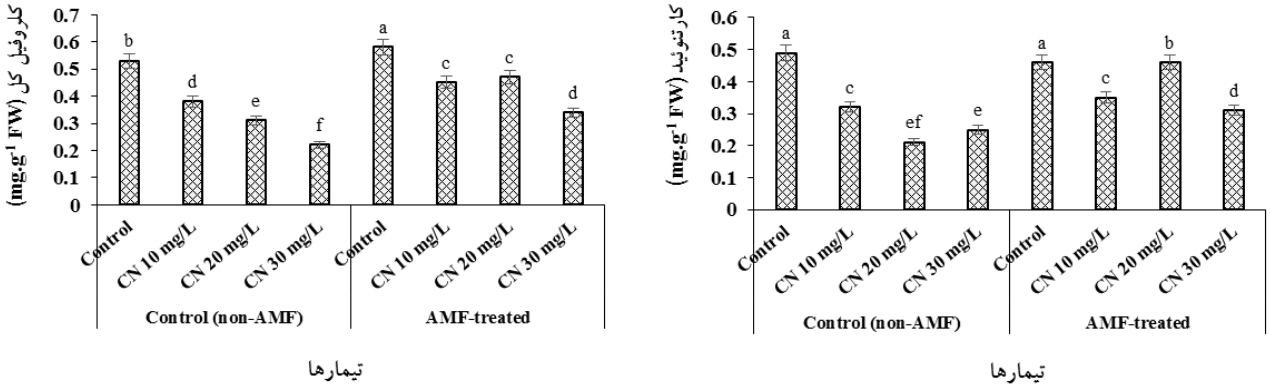
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]



شکل ۶- محتوی پروتئین‌های محلول پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*



شکل ۷- محتوی پرولین پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*



شکل ۸- محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*

تلقیح با قارچ *F. mosseae* تحت تنش فلز سنگین، کلروفیل و کاروتنوئید را به ترتیب تا ۷۰ و ۲۰ درصد افزایش می‌دهد. کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان تحت تیمار فلز سنگین نمایانگر افزایش فعالیت کلروفیلاز، مهار بیوسنتز رنگیزه‌ها و خسارات اکسیداتیو ناشی از پراکسیداسیون غشای کلروپلاست است (Molina *et al.*, 2020). تلقیح با قارچ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]

F. mosseae سبب بازیافت سطح کلروفیل و کاروتنوئید در گیاهان تحت تنش فلز سنگین شد که این را می‌توان به بهبود جذب عناصر غذایی دخیل در بیوسنتز کلروفیل از قبیل نیتروژن و منیزیم نسبت داد (Rohani *et al.*, 2019).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت: تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تأثیر *F. mosseae* بر گیاهان پریوش متأثر از تنش کادمیوم نشان داد که فلز سنگین کادمیوم، قارچ میکوریزی و اثر متقابل بین آنها دارای تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت هستند (جدول ۱ و ۲) (شکل ۹). غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم به ترتیب منجر به افزایش ۵۳، ۸۶ و ۲۳٪ فعالیت کاتالاز، ۳۰، ۴۲ و ۶۱٪ دیسموتاز، و ۳۰، ۱۰۰ و ۱۲۸٪ فعالیت پراکسیداز شدند درحالیکه در سطح خفیف، متوسط و شدید تنش (۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر)، تیمار قارچی *F. mosseae* به ترتیب منجر به افزایش ۳۰، ۶۴ و ۲۱۰٪ فعالیت کاتالاز، ۱۵، ۳۱ و ۱۴۸٪ دیسموتاز، ۱۹، ۳ و ۱٪ فعالیت پراکسیداز شد. به طور مشابهی، محمدی‌فرد و مقدم (۱۴۰۱) نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم، فعالیت کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایکول پراکسیداز، پلی‌فنول اکسیداز در گشنیز کاهش می‌یابد. درحالی‌که قارچ‌های *G. mosseae* و *G. intraradices* توانست اثرات مضر کادمیوم را در گیاه کاهش دهد به نحویکه سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شدند. در توجیح افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحت تیمار کادمیوم می‌توان اینگونه اظهار داشت که تنش کادمیوم سبب کاهش سرعت فتوسنتز و متعاقباً افزایش تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود و از این طریق فعالیت آنزیم‌های مسئول سمیت‌زدایی گونه‌های اکسیژن فعال را افزایش می‌دهد (Bahadori *et al.*, 2014). علاوه‌براین، قارچ *F. mosseae* با سازوکارهای حفاظتی ضمن حفظ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، به افزایش بیان آنها کمک می‌کند.

کلونیزاسیون: همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد همزیستی قارچ‌ها با افزایش سطح کادمیوم کاهش یافت به‌طوریکه کمترین درصد همزیستی (حدود ۳۰ درصد) در بالاترین سطح تنش مشاهده شد (جدول ۱ و ۲) (شکل ۱۰). در توافق با یافته‌های ما، Molina و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند که کلونیزاسیون ریشه در *Glycine max* به شدت تحت تأثیر آلودگی با کادمیوم قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد که قارچ‌های AMF می‌توانند مهاجرت، انتقال و وضعیت شیمیایی کادمیوم را تنظیم کنند تا در ادامه سمیت زیستی آن را کاهش دهند. در مطالعه ما، تیمار قارچ *F. mosseae* سبب افزایش کلونیزاسیون ریشه شد. در این راستا، Baba و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که تیمار میکوریزی سبب افزایش کلونیزاسیون ریشه می‌شود. آنها پیشنهاد کردند که افزایش کلونیزاسیون ریشه بعد از تیمار قارچ میکوریزی امری بدیهی است. نکته مهم آنجاست که چنین افزایشی در میزان کلونیزاسیون ریشه سبب افزایش جذب عناصر مغذی از خاک و تقویت رشد اندام‌های گیاهی می‌شود.

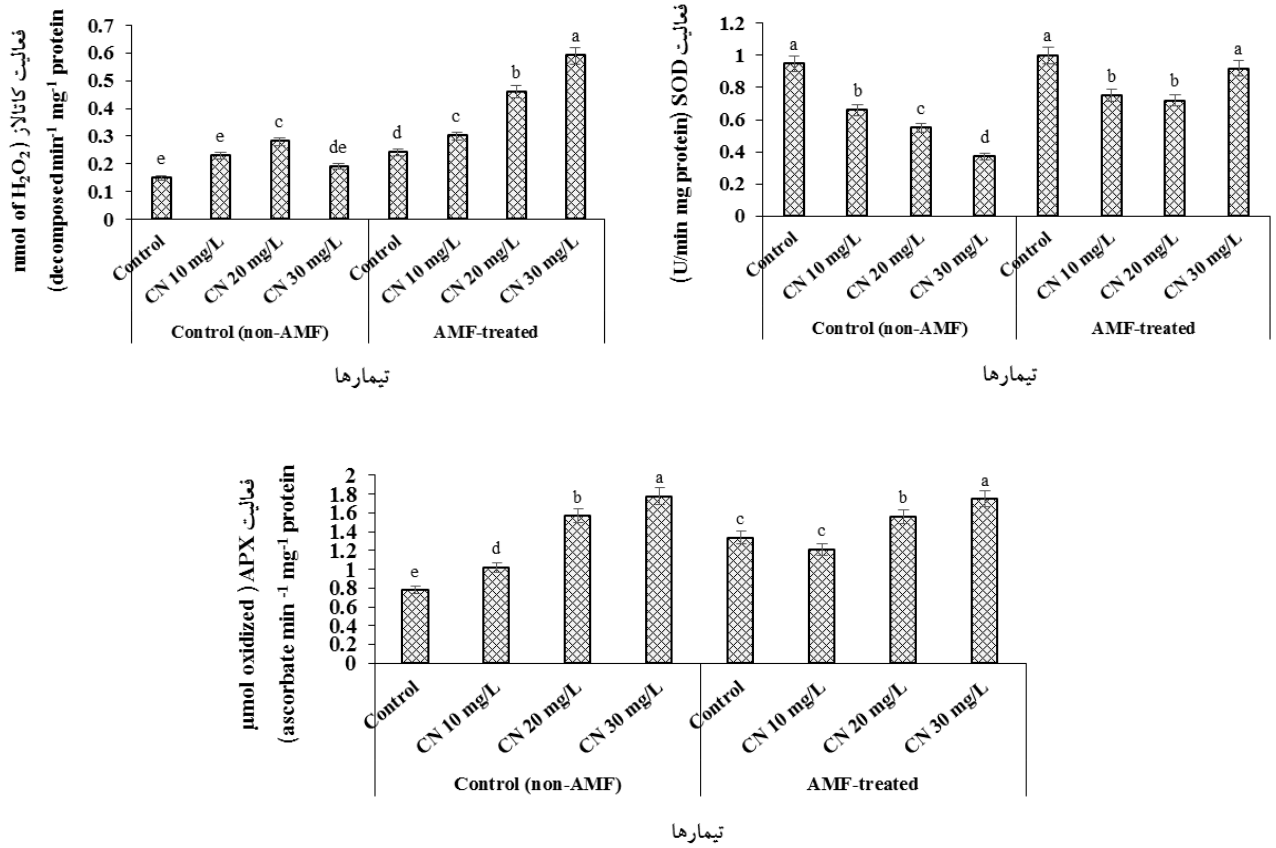
عملکرد اسانس: عملکرد اسانس در گیاهان میکوریزی به میزان قابل توجهی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی بود (جدول ۱ و ۲) (شکل ۱۱). غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم به ترتیب منجر به افزایش ۲۱، ۴۸ و ۵۶٪ عملکرد اسانس شدند درحالیکه در سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، تیمار قارچی *F. mosseae* به ترتیب منجر به افزایش ۱۲، ۷۸ و ۳۶ ٪ عملکرد اسانس شد. این امر ممکن است بدان دلیل باشد که قارچ *F. mosseae* سبب افزایش خصوصیات مورفولوژیکی مثل پیکر رویشی می‌شود که این امر به نوبه خود سبب عملکرد بیشتر اسانس در گیاهان میکوریزی می‌شود.

از نظر سازوکارهای اثر قارچ *F. mosseae* بر گیاهان پریوش متأثر از تنش کادمیوم، تأثیر قارچ‌های میکوریزی در کاهش اثرات تنش کادمیوم می‌توان در افزایش جذب عناصر معدنی (Bolandnazar *et al.*, 2007)، کاهش تنش اکسیداتیو، ترشح یک گلیکوپروتئین نامحلول بنام گلومالین (Yang *et al.*, 2015)، کاهش جذب فلزات سنگین (Hu *et al.*, 2014) و اتصال فلزات سنگین به کینتین دیواره سلولی (Hildebrandt *et al.*, 2007) مرتبط دانست.

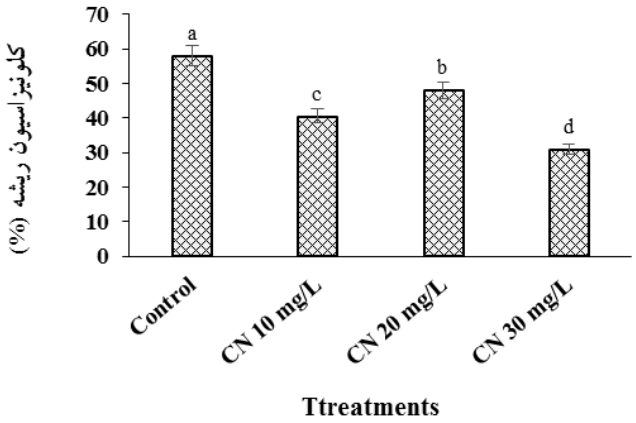
هم‌راستا با یافته‌های ما، کاربرد دو گونه قارچ میکوریز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]



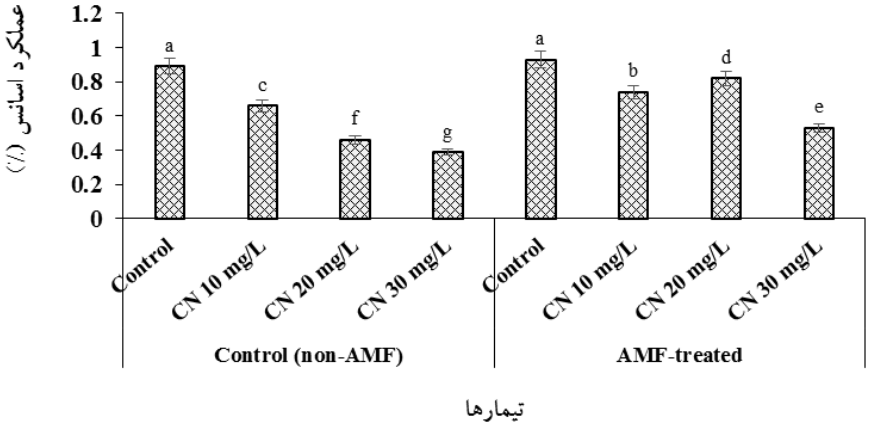
شکل ۹- فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*



شکل ۱۰- درصد کلونیزاسیون پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*

G. macrocarpum و *G. fasciculatum* در گیاه رازیانه (Kapoor *et al.*, 2004) و *G. mossea* در آویشن (Bahadori *et al.*, 2014) سبب افزایش عملکرد اسانس شدند. اثرات مثبت قارچ‌های AMF بر اسانس ریحان نیز توسط Gupta و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شده است. مشاهدات آنها نشان داد که قارچ میکوریزی اثرات متفاوتی را در گیاهان یکسان القا می‌کنند و عملکرد اسانس بر اساس گونه‌های میکوریزی متفاوت است. همچنین، Karagiannidis و همکاران (۲۰۱۱)، اثر قارچ میکوریزی را بر تولید اسانس مرزنجوش و نعناع نشان دادند. محققان اظهار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]



شکل ۱۱- عملکـرد اسـانس پریوش در گیاهان تیمارشده با کادمیوم و قارچ *F. mosseae*

داشتند که میکـوریزی از طریق زیست‌فراهمی فسفر، برقراری تعادل مواد غذایی و بهبود تغذیه گیاه، تأثیر مثبتی بر مسیرهای بیوسـنتزی متابولیـت‌هـای دارد (Kapoor *et al*., 2004).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، یافته‌های این مطالعه بر اثر مثبت تلقیح قارچ میکوریزی *F. mosseae* بر کاهش جذب کادمیم و افزایش تحمل پریوش به تنش فلز سنگین کادمیم دلالت داشت. تلقیح پریوش با این قارچ سودمند سبب افزایش پایداری غشا، پرولین، قندهای محلول، پروتئین‌های محلول، ترکیبات فنلی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز شد. به ترتیب، پتانسیل سودمند قارچ *F. mosseae* در کاهش خسارات ناشی از تنش فلز سنگین هویدا شد.

منابع

تبریزی، لیلا، محمدی، سیاوش، دلشاد، مجتبی و متشرع‌زاده، بابک (۱۳۹۴). تأثیر قارچ میکوریزا بر رشد و عملکرد گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) در شرایط تنش سرب و کادمیوم. *فصلنامه علوم محیطی، ۱۳*، ۳۷-۴۸.

رستمی، رویا، اسماعیل‌پور، بهروز، حسینی، سید احمد، سلیمی، قباد و اطمینان، علیرضا (۱۴۰۱). تأثیر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر رشد و شاخص‌های بیوشیمیایی و عملکرد اسانس *Thymus vulgaris* L. در شرایط تنش عنصر سنگین سرب. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*. doi: 10.22092/ijmapr.2022.352729.2904

سخایی، فاطمه السادات، موحدی، زهرا، قبولی، مهدی و محسنی‌فرد، احسان (۱۴۰۰). اثر قارچ *Piriformospora indica* بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه شنبلیله تحت تنش کادمیوم. *علوم و فناوری بذر ایران*. ۱۰، ۱۲۳-۱۴۰. doi: 10.22092/ijsst.2020.128428.1307

فیروزه، فیاض و زاهدی، مرتضی (۱۳۹۹). اثرات تلقیح با قارچ میکوریزا و ازتوباکتر بر رشد و پاسخ‌های اکسیداتیو گندم به تنش شوری و آلودگی کادمیم. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۹(۳۹)، ۲۵۷-۲۷۲.

محمدی‌فرد، فریبا و مقدم، محمد (۱۴۰۱). تأثیر دو گونه قارچ مایکوریزا بر خصوصیات بیوشیمیایی و زیست‌توده خشک اندام هوایی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) تحت تنش کادمیوم. *تولیدات گیاهی*، ۴۵، ۸۱-۹۴. doi: 10.22055/ppd.2020.30809.1817 .

مرادیپور، هاجر، آبنوسی، محمد حسین، امیرجانی، محمدرضا و مهدیه، مجید (۱۳۹۵). تأثیر فلز کادمیم بر توانایی زیستی و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]

فعالیت برخی آنزیم‌های پاداکسندگی در پینه گیاه پریوش (*Catharanthus roseus*) *علوم باغبانی ایران*، ۴۷، ۲۱-۳۱. doi: 10.22059/ijhs.2016.58223

یزدان‌پناه، علی، قنبری جهرمی، مرضیه و زرین‌نیا، وحید (۱۴۰۱). تأثیر همزیستی با گونه‌های قارچ میکوریزا بر صفات کمی و کیفی توده‌های بذری گیاه دارویی کاسنی در شرایط گلخانه. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۴(۲)، ۵۲۷-۵۴۴. doi: 10.22059/jci.2021.314730.2484

Ayoob, M., Irfan, A. Z. I. Z., & JITE, P. K. (2011). Interaction effects of arbuscular mycorrhizal fungi and different phosphate levels on growth performance of *Catharanthus roseus* Linn. *Notulae Scientia Biologicae*, *3*(3), 75-79.

Abraham, E., Hourton-Cabassa, C., Erdei, L., & Szabados, L. (2010). Methods for determination of proline in plants. *Plant Stress Tolerance: Methods and Protocols*, 317-331. doi: 10.1007/978-1-60761-702-0_20

Ainsworth, E. A. & Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using folin–ciocalteu reagent. *Nature Protocols*, *2*(4), 875-877. doi: 10.1038/nprot.2007.102

Baba, W., Blonska, A., Kompala-Baba, A., Malkowski, L., Ziemer, B., Sierka, E., ... & Besenyei, L. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) root colonization dynamics of *Molinia caerulea* (L.) Moench. in grasslands and post-industrial sites. *Ecological Engineering*, *95*, 817-827.

Bahadori, F., Sharifi Ashorabadi, E., Mirza, M., Matinizadeh, M., & Abdosi, V. (2014). Interactive effect of rhizosphere micro-organisms on nutrient uptake and essential oil yield of *Thymus daenensis*. *Plant Production Journal*, *5*(2), 23-34.

Bolandnazar, S., Aliasgarzad, N., Neishabury, M. R., & Chaparzadeh, N. (2007). Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition. *Scientia Horticulturae*, *114*(1), 11-15. doi: 10.1016/j.scienta.2007.05.012

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254. doi: 10.1006/abio.1976.9999

Ef, A. A., Abeer, H., Alqarawi, A. A., & Hend, A. A. (2015). Alleviation of adverse impact of cadmium stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by arbuscular mycorrhizal fungi'. *Pakistan Journal of Botany*, *47*(2), 785-795.

Farooq, S. & Azam, F. (2006). The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. *Journal of Plant Physiology*, *163*(6), 629-637.

Gupta, S., Pandotra, P., Gupta, A. P., Dhar, J. K., Sharma, G., Ram, G., ... & Bedi, Y. S. (2010). Volatile (As and Hg) and non-volatile (Pb and Cd) toxic heavy metals analysis in rhizome of *Zingiber officinale* collected from different locations of North Western Himalayas by Atomic Absorption Spectroscopy. *Food and Chemical Toxicology*, *48*(10), 2966-2971. doi: 10.1016/j.fct.2010.07.034

Hildebrandt, U., Regvar, M., & Bothe, H. (2007). Arbuscular mycorrhiza and heavy metal tolerance. *Phytochemistry*, *68*, 139-146. doi: 10.1016/j.phytochem.2006.09.023

Hu, J., Wang, H., Wu, F., Wu, S., Cao, Z., Lin, X., & Wong, M. H. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungi influence the accumulation and partitioning of Cd and P in bashfulgrass (*Mimosa pudica* L.) grown on a moderately Cd-contaminated soil. *Applied Soil Ecology*, *73*, 51-57. doi: 10.1016/j.apsoil.2013.08.010

Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K. G. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*, *93*(3), 307-311. doi: 10.1016/j.biortech.2003.10.028

Karagiannidis, N., Thomidis, T., Lazari, D., Panou-Filotheou, E., & Karagiannidou, C. (2011). Effect of three Greek arbuscular mycorrhizal fungi in improving the growth, nutrient concentration, and production of essential oils of oregano and mint plants. *Scientia Horticulturae*, *129*(2), 329-334. doi: 10.1016/j.scienta.2011.03.043

Lichtenthaler, H. K. & Buschmann, C. (2001). Extraction of phtosynthetic tissues: Chlorophylls and carotenoids. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, *1*(1), F4-2.

Mishra, J. N. & Verma, N. K. (2017). A brief study on *Catharanthus roseus*: A review. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, *2*(2), 20-23.

Molina, A. S., Lugo, M. A., Perez Chaca, M. V., Vargas-Gil, S., Zirulnik, F., Leporati, J., ... & Azcon-Aguilar, C. (2020). Effect of arbuscular mycorrhizal colonization on cadmium-mediated oxidative stress in *Glycine max* (L.) Merr. *Plants*, *9*(1), 108.

Paunov, M., Koleva, L., Vassilev, A., Vangronsveld, J., & Goltsev, V. (2018). Effects of different metals on photosynthesis: Cadmium and zinc affect chlorophyll fluorescence in durum wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, *19*(3), 787. doi: 10.3390/ijms19030787

Rohani, N., Daneshmand, F., Vaziri, A., Mahmoudi, M., & Saber-Mahani, F. (2019). Growth and some physiological characteristics of *Pistacia vera* L. cv Ahmad Aghaei in response to cadmium stress and *Glomus mosseae* symbiosis. *South African Journal of Botany*, *124*, 499-507. doi: 10.1016/j.sajb.2019.06.001

Siani, N. G., Fallah, S., Pokhrel, L. R., & Rostamnejadi, A. (2017). Natural amelioration of Zinc oxide nanoparticle

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]

toxicity in fenugreek (*Trigonella foenum-gracum*) by arbuscular mycorrhizal (*Glomus intraradices*) secretion of glomalin. *Plant Physiology and Biochemistry*, *112*, 227-238. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.01.001

Yadav, V., Arif, N., Singh, S., Srivastava, P. K., Sharma, S., Tripathi, D. K., ... & Chauhan, D. K. (2016). Exogenous mineral regulation under heavy metal stress: Advances and prospects. *Biochemical Pharmacology*, *5*(220), 2167-0501.

Yang, Y., Han, X., Liang, Y., Ghosh, A., Chen, J., & Tang, M. (2015). The combined effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and lead (Pb) stress on Pb accumulation, plant growth parameters, photosynthesis, and antioxidant enzymes in *Robinia pseudoacacia* L. *PloS One*, *10*(12), e0145726. doi: 10.1371/journal.pone.0145726

Zubek, S., Rola, K., Szewczyk, A., Majewska, M. L., & Turnau, K. (2015). Enhanced concentrations of elements and secondary metabolites in *Viola tricolor* L. induced by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, *390*, 129-142. doi: 10.1007/s11104-015-2388-6

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]

The effect of arbuscular mycorrhizal fungus *Funneliformis mosseae* on the response of Periwinkle plant (*Catharanthus roseus* L.) to heavy metal cadmium stress

Mohammad Abyari

Department of Science, Farhanghiyan University, Tehran, Iran
(Received: 2024/05/14, Accepted: 2024/07/27)

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) reduce the harmful effects of heavy metals on plant growth and performance. Therefore, this study was conducted in the form of a factorial experiment with a completely randomized basic design at three replications with the aim of investigating the effect of *Funneliformis mosseae* fungus on the response of Periwinkle to cadmium stress. To apply stress, Periwinkle plants were treated with 3 ml of cadmium nitrate solution with a concentration of 10, 20, and 30 mg/l on three occasions with an interval of three days. To apply the fungal treatment, about 50 g of *F. mosseae* inoculation liquid was added under the roots of the plant in the pot at the time of cultivation. After 3 months from planting, morphological and physicobiochemical traits indicated a concentration-dependent effect of cadmium on Periwinkle traits. *F. mosseae* fungal treatment led to the improvement of various traits, so that the effect of the fungus on the plant was greater with the increase in stress level. Compared to the mild, moderate, and severe levels of stress (10, 20, and 30 mg/L), *F. mosseae* led to an increase of 51, 33, and 41% in height, 50, 57, and 35% shoot dry weight, 19, 32, and 45% proline, 18, 52, and 56% chlorophyll, 10, 110, and 25% carotenoids, 17, 47, and 37% membrane stability, 43, 64, and 47 % phenol, 95, 16, and 35% protein, 39, 15, and 63% sugar, 30, 64, and 210% catalase, 15, 31, and 148% dismutase, 19, 1, and 1% peroxidase, and 12, 78, and 36% essential oil performance, respectively. As a result, the *F. mosseae* was identified as a beneficial stimulator to reduce the damage caused by heavy metal stress.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungus, Cadmium, Heavy metals, Periwinkle medicinal plant

Corresponding author, Email: m.abyari@cfu.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.233]