

## شناسایی و بررسی اثرهای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار مقاوم به سرب و روی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گونه محلب (*Cerasus mahaleb* L. Mill.)

بهمن زمانی کبرآبادی<sup>۱</sup>، سیدمحمد حجتی<sup>۲</sup>، فرهاد رجالی<sup>۳</sup>، مسعود اسماعیلی شریف<sup>۴\*</sup> و حمیدرضا رحمانی<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکتری، جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.  
(zamanikebrabadi67@gmail.com)

۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (s\_m\_hodjati@yahoo.com)

۳- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات آب‌و‌خاک کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران. (rejali@yahoo.com)

۴- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.  
(m.esmaeilisharif@areeo.ac.ir)

۵- استادیار پژوهش، تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. (hr\_rahmani@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۷

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۰۸

### چکیده

در این آزمایش نهال‌های یک‌ساله محلب با شش تیمار قارچ میکوریز (*Diversispora versiformis*، *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus irregularis*، *Claroideoglossum etunicatum*) یک تیمار ترکیبی) گونه‌های مذکور تلقیح شده و همراه با تیمار شاهد در پنج نوع خاک (شاهد یا بدون آلودگی، آلوده طبیعی، آلوده‌شده با سرب، آلوده‌شده با روی و آلوده‌شده با سرب و روی) کاشته شدند. بیشترین مقدار کلونیزاسیون در تیمار سویه ترکیبی به مقدار ۵۱ درصد و کمترین مقدار در تیمار شاهد ۲۴ درصد بود. رویش قطری، ارتفاع نهال و شاخص سطح برگ در تلقیح با سویه ترکیبی به ترتیب ۱/۴۲ میلی‌متر، ۱۱/۹۱ سانتی‌متر و ۱۹/۰۱ واحد نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار سویه ترکیبی به ترتیب ۴۲/۰۴ و ۲۱/۳۶ گرم و کمترین مقدار آن در شاهد به ترتیب ۲۲/۳۴ و ۱۱/۳۳ گرم بود. تیمار سویه ترکیبی و تیمار خاک غیرآلوده موجب بیشینه رشد در گونه محلب شد. در گیاهانی که با قارچ میکوریز تلقیح شده بودند، میانگین همه متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در مقایسه با گیاهان شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. تیمار سویه ترکیبی در تجمع ماده خشک بیشترین تأثیر را داشته است.

واژه‌های کلیدی: آربوسکولار، آلودگی خاک، زیست پالایی، ویژگی‌های مورفولوژیکی.

## مقدمه

میکوریز آربوسکولار متحمل یا مقاوم، نقش مهمی داشته باشند. از این رو، حضور اکتیپ‌های مختلف قارچ میکوریز آربوسکولار در خاک‌هایی با آلودگی شدید به فلزات سنگین امکان‌پذیر است. روش‌های فیزیکی و شیمیایی متعددی برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین وجود دارد که اغلب آنها علاوه بر هزینه زیاد منجر به تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک می‌شوند (Kramer, 2005). در سال‌های اخیر گیاه‌پالایی به‌عنوان روشی مؤثر، ارزان قیمت و دوستدار محیط‌زیست برای حذف، جابجایی و یا غیرفعال کردن آلاینده‌ها از خاک‌های آلوده توصیه شده است (Rafati et al., 2011, Susarla et al., 2002). در واقع، گیاه‌پالایی فناوری استفاده از گیاهان در پالایش بسترهای آلوده است (Arriagada et al., 2005). Majidi و همکاران (2015) طی پژوهشی به مقایسه شش گونه چوبی اقلیا، زبان‌گنجشک، سپیدار، تبریزی، رُز و بید برای انتخاب بهترین گونه چوبی جاذب عناصر سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب پرداخته و گزارش دادند بهترین گونه برای گیاه‌پالایی روی و کادمیوم گونه سپیدار است. عوامل متعددی در حفظ و پایداری گونه‌های درختی تأثیر می‌گذارند. علاوه بر آب و عناصر غذایی موجود در خاک، حضور ریز موجودات مفید مانند قارچ‌های میکوریزی نیز به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر بقای بوم‌نظام‌ها و همچنین گسترش گونه‌های گیاهی مطرح هستند. یکی از راه‌کارهای پیشنهادی برای موفقیت در برنامه‌های احیایی، استفاده از روش‌های زیستی، مانند تلقیح نهال‌ها با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار است (Caravaca et al., 2003). قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا از شناخته‌شده‌ترین انواع قارچ‌های میکوریز هستند که پراکنش وسیع‌تری داشته و با اغلب

خاک به‌عنوان جزئی از بیوسفر نقش مهمی در تولید غذا و پایداری محیط‌زیست دارد. امروزه آلودگی خاک با فلزات سنگین به دلیل پایداری طولانی‌مدت فلزات سنگین در خاک و دارا بودن پتانسیل تأثیرات مضر بوم‌شناختی تبدیل به یک بحران زیست‌محیطی شده است (Bojarczuk & Kieliszewska-Rokicka, 2010). فلزات سنگین عناصر فلزی با وزن مخصوص بیشتر از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند (Torresday et al., 2005). آلودگی اکوسیستم با فلزات سنگین از طریق فرسایش طبیعی سنگ‌ها و فعالیت‌های بشر از قبیل احتراق سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، تصفیه سنگ‌های حاوی فلز، دفع کنترل‌شده و نشده پساب‌ها، استفاده از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و مواد رنگی انجام می‌شود (Abdullahi et al., 2009). با توجه به نقش فلزات سنگین در گیاه می‌توان آنها را به دو دسته تقسیم کرد: ۱) عناصر ضروری (روی، مس، منگنز، آهن و نیکل) که برای فرآیندهای متابولیکی گیاه ضروری هستند و ۲) عناصر غیرضروری (کادمیم، سرب و جیوه) (Sebastiani, Taiz & Zeiger, 1998, et al., 2004). فلزات بالقوه سمی بر فراوانی، غنای و تنوع گونه‌ای و میکروبی خاک‌ها اثر می‌گذارند. به‌طورکلی همه موجودات خاک‌زی به‌طور یکسان و یکنواخت از آلودگی فلزات سنگین متأثر نمی‌شوند. از اثرهای اصلی فلزات سرب و روی در گیاهان چوبی و علفی می‌توان به کاهش تولید کلروفیل و رشد گیاه، افزایش سوپراکساید دیسموتاز، کاهش سمیت نیکل و جوانه‌زنی بذر، افزایش نامنظم رشد گیاه و کاهش نسبت ATP به کلروفیل اشاره کرد (Jorge et al., 2005, Lone et al., 2008). فلزات سنگین می‌توانند به‌عنوان عامل انتخابی قوی، در ظهور سویه‌های قارچ

به زمستان‌های سرد از سازگاری خوبی برخوردار است. انتشار جغرافیایی محلب در ایران بسیار وسیع و در نواحی معتدله کشور پراکنده است. با وجود آنکه استفاده از قارچ‌های میکوریزی در مدیریت احیای منابع طبیعی تخریب یافته بسیار دارای اهمیت است، تاکنون در کشور ما گام‌های مؤثری در این خصوص برداشته نشده است. امروزه استفاده و کاربرد فنون پیشرفته همچون استفاده از میکروارگانیسم‌های همزیست با گیاه، می‌تواند سبب افزایش کارایی گیاه‌پالایی، کاهش مدت‌زمان لازم برای زدودن آلودگی و توسعه کاربرد آن شود (Khademi & Kord, 2010).

گونه‌های مناسب زیست‌پالایی دارای ویژگی‌هایی مانند سیستم ریشه‌ای گسترده، نرخ تعریق بالا، رشد سریع و تولید زی‌توده بالا هستند. برخی از مزایای زیست‌پالایی با استفاده از درختان شامل: تولید زی‌توده بالا، تنوع ژنتیکی بالا، قابل استفاده در انواع سامانه‌های جنگلداری، توانایی زیبا کردن چشم‌انداز و توانایی پایدار کردن و تثبیت رویشگاه‌ها است. از طرفی ارزیابی گونه محلب به‌عنوان یک گونه در زیست-پالایی برای ما از نظر حفاظت از ذخایر توارثی نیز دارای اهمیت بود. گونه محلب یک گونه در حال انقراض در جنگل‌های زاگرس محسوب می‌شود و عملکرد آن نسبت به پالایش فلزات سنگین اگر مثبت بود می‌توان با کاشت و گسترش آن در اطراف کارخانه‌ها، شهرک‌های صنعتی و مناطق آلوده به فلزات سنگین هم در کاهش آلودگی خاک از آن استفاده کرد و هم با گسترش آن از انقراض یک گونه مهم جنگل‌های زاگرس جلوگیری کرد. گونه محلب گونه‌ای مقاوم در مقابل سرما و یخبندان است پس با توجه به اینکه یک گونه زیست‌پالا اگر بتواند مقاوم به این شرایط نیز باشد دارای ویژگی مهمی است پس هدف این پژوهش رد یا قبول این فرضیه بود که آیا

گونه‌های گیاهی (بیش از ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی) به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همزیستی دارند (Sheng et al., 2008). در مورد اثرهای تغذیه‌ای و فیزیولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر جوامع گیاهی و میکروبی اکوسیستم‌های کشاورزی و منابع طبیعی پژوهش‌های زیادی انجام شده، ولی در مورد اهمیت این قارچ‌ها در خاک‌های آلوده، مکانیسم‌های قارچی و نقش آنها در تحمل‌پذیری این موجودات نسبت به فلزات بالقوه سمی اطلاعات کمتری در دسترس است.

محب با نام علمی ( *Cerasus mahaleb* L. ) از خانواده Rosaceae از درختان بومی منطقه اروپای جنوبی و قفقاز بوده و محل رویش آن جنوب اروپا، آسیای کوچک، ایران و پاکستان است. محلب از نظر قانون ملی شدن جنگل‌ها از درختان و درختچه‌های خودرو ایران محسوب شده است که در عرصه‌های منابع طبیعی کشور همراه با گونه‌هایی چون زربین، ارس، شمشاد، سرخدار و غیره در دسته اول از اهمیت حفاظت قرار گرفته است، از این‌رو کارهای زیادی از نظر تشکیل باغ بذر نسل سوم درختان جنگلی با استفاده از ژنوتیپ‌های منتخب، شناخت توانمندی ژنتیکی جمعیت‌ها و کلن‌های موجود محلب در عرصه‌های فعلی، شناسایی پایه‌های برتر و نخبه از بین پایه‌های موجود محلب، ایجاد باغ بذر پیوندی و بذری محلب که در نهایت منجر به اصلاح نژاد درخت محلب برای جنگلکاری و توانمندسازی جوامع محلی و جنگلداری مشارکتی شده است ( Khatamsaz, 1992, Sabeti, 1976)، همچنین این گونه دارای ویژگی مقاومت به شرایط خشکی و خاک‌های فقیر است که خود نشان‌دهنده اهمیت توسعه و افزایش جنگلکاری با گونه محلب است، این گونه در خاک‌های سبک، آهکی و سنگلاخی، همچنین نسبت

محلّب گونه مناسبی برای زیست‌پالایی است؟ همچنین آیا می‌توان گونه‌های بومی میکوریزی را به‌عنوان یک ابزار بیوتکنولوژیکی موفق برای کمک به کاهش آلودگی خاک به فلزات سنگین استفاده کرد؟ بنابراین هدف این پژوهش، معرفی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار مقاوم به سرب و روی و تأثیر آنها بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گونه محلّب است.

### مواد و روش‌ها

برای اجرای پژوهش، نهال‌های یک‌ساله و با مورفولوژی یکسان حاصل از بذر پایه‌ی مادری یکسان، هدف‌گذاری شد. سپس از گونه درختی محلّب با متوسط ارتفاع ۷۰-۵۰ سانتی‌متر، حداقل قطر ۱/۵-۱ سانتی‌متر و تعداد برگ حداقل تا ۳۰ عدد (سعی شد تمامی نهال‌های مورد استفاده دارای میانگین شرایط ارتفاع، قطر، شادابی، تعداد برگ و ... یکسان باشند)، از نهالستان جبل عاملیان وابسته به اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان انتخاب و تهیه شد. نهال‌های تهیه‌شده به گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان منتقل و به مدت بیست روز برای سازگاری با شرایط جدید، در آنجا نگهداری شدند.

در این پژوهش نیاز به جمع‌آوری خاک آلوده به عناصر سنگین سرب و روی و خاک غیر آلوده به عناصر سنگین در شرایط طبیعی بود. به همین منظور مقدار خاک آلوده موردنیاز از معدن سرب و روی باما به مقدار کافی برای گلدان‌ها از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر برداشت شد (Samani Majd et al., 2007) و پس از خشک‌شدن در هوای آزاد و عبور از الک هشت میلی‌متری، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن به همراه مقدار عناصر سنگین سرب و روی بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد

(Carter, 1993). همچنین جمع‌آوری خاک غیرآلوده به عناصر سنگین سرب و روی به مقدار کافی برای گلدان‌ها از نهالستان جبل عاملیان وابسته به اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان تهیه شد. نحوه آلوده کردن تیمارهای خاک نیز به این صورت بود که ابتدا ۸ کیلوگرم خاک برای هر تیمار توزین و سپس غلظت ۵۳۵ گرم بر کیلوگرم سرب به‌صورت نمک نیترات سرب ۹۹ درصد ( $Pb(NO_3)_2$  (Merck)) و غلظت ۲۲۰ گرم بر کیلوگرم روی به‌صورت کلرید روی ( $ZnCl_2$ (Merck)) به ازای هر کیلوگرم خاک محاسبه و با خاک مخلوط و در گلدان ریخته شد. تفاوت در نیترات تیمارهای آلوده و شاهد از طریق کود اوره محاسبه و اعمال شد. آلودگی خاک غیر آلوده به فلزات سنگین در دو مرحله انجام شد: ۱- نیترات سرب و کلرید روی به شکل محلول و از طریق پاشش روی خاک، به‌نحوی که ایجاد آلودگی تا حد ممکن به‌صورت یکنواخت در لایه‌لایه خاک باشد، انجام شد (Moteszarezhadeh & Savaghebi, 2010) و سپس خاک کاملاً مخلوط شد تا آلودگی در کل خاک یکنواخت شود. ۲- خاک آلوده‌شده به شکل مصنوعی به مدت چند ماه (۳ تا ۵ ماه) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در شرایط گرما‌گذاری قرار گرفت و در طول گرما‌گذاری، با توجه به خشک شدن خاک سطح گلدان‌ها، آبیاری با آب مقطر، در حد ظرفیت مزرعه (با توجه به حجم خاک گلدان‌ها آبیاری به شکلی انجام می‌شد که از قسمت ته گلدان خروج آب وجود نداشته باشد) انجام شد تا به املاح خاک اجازه داده شود با آبیاری به عمق گلدان رفته و با انجام عمل تبخیر به سطح خاک بازگردند و به‌این‌ترتیب در کل خاک به‌طور یکنواخت توزیع شوند (Yizong et al., 2009). لازم به ذکر است که در این پژوهش عملکرد گونه‌های گیاهی مورد بررسی در شرایط نزدیک به

تکرار، با ۹۰ گلدان اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل (۱) قارچ غیربومی میکوریز آربوسکولار در شش سطح (حاوی چهار گونه قارچ میکوریز آربوسکولار *Rhizophagus C. etunicatum D. versiformis*، یک تیمار ترکیبی از گونه‌های مذکور و شاهد تلقیح نشده) (۲) نوع خاک با پنج سطح (خاک آلوده طبیعی، خاک آلوده شده با سرب، خاک آلوده شده با روی، خاک آلوده شده با سرب و روی، خاک شاهد یا بدون آلودگی) بود. غلظت فلزات سرب و روی در تیمارهای مختلف خاک مطابق جدول ۱ است. لازم به ذکر است خاک غیرآلوده هنگام اضافه کردن فلزات سنگین، به غلظت سرب و روی معدن (۲۲۰ گرم بر کیلوگرم روی و ۵۳۵ گرم بر کیلوگرم سرب) رسیده‌اند.

طبیعت (خاک‌های با آلودگی طبیعی در شرایط غیر-استریل) بررسی شده، مقدار ایجاد آلودگی به سرب و روی در خاک مورد استفاده، برابر با مقدار سرب و روی موجود در خاک آلوده (معدن) شده است. در این مرحله نهال‌های محلب در گلدان همراه با شش تیمار از قارچ میکوریز آربوسکولار غیربومی از نوع اندومیکوریزا که معمولاً با گونه‌های پهن‌برگ چوبی همزیستی خوبی برقرار می‌کنند، کشت شدند. گونه‌های قارچی از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور واقع در کرج تهیه شد. به‌منظور اعمال تیمار قارچ میکوریزی آربوسکولار، مقدار ۵۰ تا ۶۰ گرم زادمایه در اطراف ریشه‌های نهال پخش و روی آنها با خاک پوشانده شد (Li et al., 2012). کشت گلخانه‌ای در این مرحله به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل، در سه

جدول ۱- غلظت فلزات سرب و روی در تیمارهای مختلف خاک

Table 1. Concentration of lead and zinc metals in different soil treatments

سرب lead (mg.kg <sup>-1</sup> )	روی zinc (mg.kg <sup>-1</sup> )	متغیر Variable
535	220	خاک آلوده (معدن) Contaminated soil (mine)
64	53	خاک غیرآلوده Unpolluted soil
220	53	خاک غیرآلوده + روی Unpolluted soil + lead
53	535	خاک غیرآلوده + سرب Unpolluted soil + zinc
535	220	خاک غیرآلوده + سرب و روی Unpolluted soil + lead and zinc

با آب مقطر انجام شد. در پایان دوره رویش (۶ ماه) برخی صفات مهم مورفولوژیکی مثل رویش قطری، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام زیرزمینی، افزایش ارتفاع و سطح برگ نهال‌ها اندازه‌گیری شد. به‌منظور مقایسه متغیرهای اندازه‌گیری

بعد از کشت و تلقیح قارچ با ریشه نهال‌ها، در شرایط گلخانه‌ای در مرکز تحقیقات منابع طبیعی استان اصفهان که با نور طبیعی نیاز گیاهان را تأمین می‌کند، نهال‌ها به مدت سه ماه نگهداری شدند. طی این مدت، آبیاری گلدان‌ها تا ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه

## نتایج

در جدول ۲ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (شامل عمق، قابلیت هدایت الکتریکی، اسیدیته، ازت کل، کربن آلی، فسفر، پتاسیم، مس، روی، منگنز، آهن، شن، سیلت، رس و بافت) خاک آلوده (معدن) و خاک غیرآلوده آزمایش ارائه شده است.

شده در تیمارهای مختلف قارچ و تیمارهای مختلف خاک از آزمون واریانس یک طرفه (ANOVA) و برای مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (-Compare Means Test) (Duncan) استفاده شد. برای بررسی مقدار تأثیر توأم تیمارهای قارچ و خاک بر روی متغیرهای اندازه‌گیری شده نیز از آزمون تجزیه واریانس تک‌متغیره (Univariate) استفاده شد.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آلوده (معدن) و خاک غیر آلوده آزمایش

Table 2. Physical and Chemical Properties of Contaminated Soil (Mine) and Non-Contaminated Soil

خاک غیر آلوده Unpolluted soil	خاک آلوده Contaminated soil	متغیر Variable	خاک غیر آلوده Unpolluted soil	خاک آلوده Contaminated soil	متغیر Variable
5.5	7.2	روی قابل جذب Absorbable zinc (mg.kg <sup>-1</sup> )	10-20	10-20	عمق Depth (cm)
3.88	2.52	منگنز قابل جذب Absorbable manganese (mg.kg <sup>-1</sup> )	1.5	1.6	قابلیت هدایت الکتریکی Electrical conductivity
1.1	0.9	آهن قابل جذب Absorbable iron(mg.kg <sup>-1</sup> )	7.72	7.62	اسیدیته pH
50	54	شن (درصد) Sand (%)	0.16	0.03	ازت کل (درصد) N total (%)
30	26	سیلت (درصد) Silt (%)	1.6	0.27	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)
20	20	رس (درصد) Clay (%)	182.5	8.22	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (mg.kg <sup>-1</sup> )
لوم Lumens	لوم رسی شنی Lumens Clay Sandy	بافت Texture	457	350	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (mg.kg <sup>-1</sup> )
			1.8	2.44	مس قابل جذب Available copper (mg.kg <sup>-1</sup> )

نتایج آزمون تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف قارچ میکوریز در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین همه متغیرهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف وجود دارد.

جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف قارچ میکوریز

Table 3. The results of the analysis of variance of variables measured in different treatments of mycorrhiza fungi

میانگین مربعات									
Mean Square									
منابع تغییر	df	کلونیزاسیون	ریش قطری	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	افزایش ارتفاع	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	سطح برگ
Sources Change		Colonization	Diameter growth	Fresh body weight	Dry body weight	Increase altitude	The fresh weight of the root organ	The Dry weight of the root organ	Leaf area
قارچ Fungi	5	1625.6**	5.41**	953.56**	245.65**	441.48**	2144.97**	501.01**	653.93**
خاک Soil	4	185.25 <sup>ns</sup>	1.15*	119.37 <sup>ns</sup>	29.92 <sup>ns</sup>	566.89**	176.54 <sup>ns</sup>	40.83 <sup>ns</sup>	133.54*
قارچ × خاک Soil × Fungi	20	5.5*	0.38*	18.41*	6.1*	7.5*	8.5*	0.36 <sup>ns</sup>	5.2*
خطا error	60	0.17	0.15	1.2	0.38	0.57	0.5	1.01	0.64

مقدار کلونیزاسیون مربوط به تیمار سویه ترکیبی به مقدار ۵۰/۵۵ درصد و کمترین مقدار در تیمار شاهد ۲۴ درصد بود. همچنین سویه ترکیبی، ریش قطری، ارتفاع و شاخص سطح برگ را به ترتیب ۱/۴۲ میلی‌متر، ۱۱/۹۱ سانتی‌متر و ۱۹/۰۱ واحد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده نشان داد که بین میانگین متغیرهای وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه اختلاف معنی‌داری در همه تیمارهای بررسی شده قارچ میکوریز وجود دارد (شکل‌های ۱ و ۲). بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی نیز در تیمار سویه ترکیبی به ترتیب ۱۰۸/۴ و ۵۵ گرم و کمترین مقدار آن در شاهد به ترتیب ۵۹/۴ و ۳۰/۳ گرم بود.

نتایج مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده بین تیمارهای مختلف قارچ میکوریز در جدول ۴ ارائه شده است. از نظر مقدار کلونیزاسیون و سطح برگ، اختلاف معنی‌داری در همه تیمارهای بررسی شده قارچ میکوریز وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که بین میانگین متغیر افزایش قطر در چهار تیمار شاهد (بدون قارچ)، *R. irregularis*، *C. etunicatum*، *D. versiformis* اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی بین این تیمارها با دو تیمار سویه ترکیبی و *F. mosseae* اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج افزایش ارتفاع نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای شاهد (بدون قارچ)، *C. etunicatum* و *D. versiformis* با دیگر تیمارها وجود دارد. بیشترین

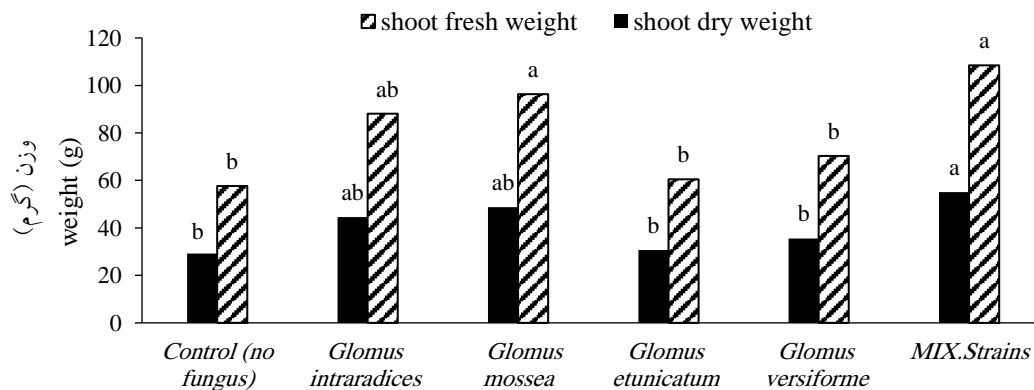
جدول ۴- مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده بین تیمارهای مختلف قارچ میکوریز

Table 4. Mean of the measured variables among different treatments of mycorrhiza fungi

متغیرهای اندازه‌گیری شده Measured variables				تیمارهای مختلف قارچ میکوریز Different treatments of mycorrhizal fungus
سطح برگ Leaf area	افزایش ارتفاع Increase altitude	رویش قطری Diameter growth	کلونیزاسیون Colonization	
8.3±0.43 a	19.3±2.40 b	0.066±0.08 b	24 ±0.85 a	شاهد Control
18.47±1.80 a	22.93±2.14 ab	0.246±0.21 b	37.94±0.92 a	<i>R. irregularis</i>
21.5±0.72 a	27.74±0.2 a	0.973±0.02 a	46.69±1.4 a	<i>F. mosseae</i>
13.26±0.40 a	16.7±1.83 b	0.073±0.25 b	28.16±1.06 a	<i>C. etunicatum</i>
16.29±0.52 a	20.92±2.4 b	0.1±0.22 b	32.88±0.79 a	<i>D.versiformis</i>
27.39±1.01 a	31.21±1.55 ab	1.49±0.20 a	50.55±0.73 a	سویه ترکیبی Combination strain

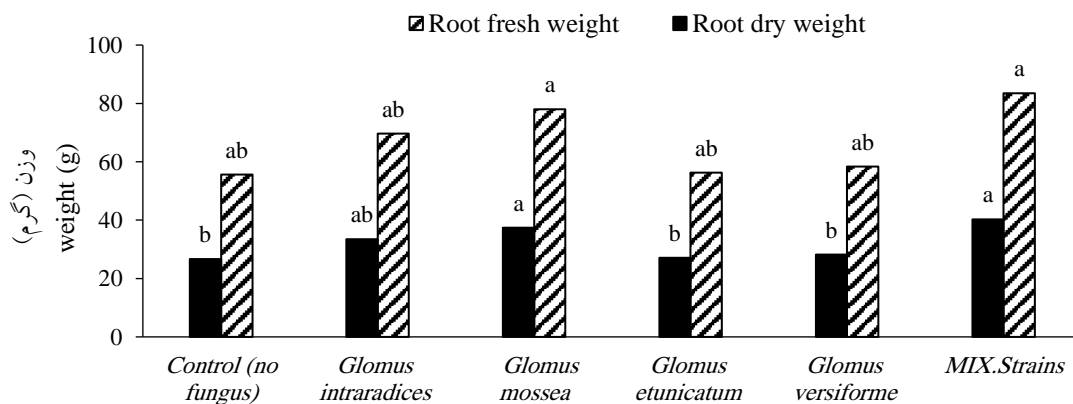
\* مقادیر دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون آماری دانکن هستند.

\* Values in each column followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.



شکل ۱- مقایسه میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی تحت تأثیر تیمارهای مختلف قارچ میکوریز

Figure 1. Mean Comparison of fresh and dry weight of Shoots affected by different treatments of mycorrhiza fungi



شکل ۲- مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه تحت تأثیر تیمارهای مختلف قارچ میکوریز

Figure 2. Mean Comparison of fresh and dry weight of roots affected by different treatments of mycorrhiza fungi



نتایج آزمون تجزیه واریانس متغیرهای اندازه- و ریشه در تیمارهای مختلف خاک اختلاف معنی‌داری گیری‌شده در تیمارهای مختلف خاک نشان داد اختلاف معنی‌داری بین متغیرهای سطح برگ، رویش قطری و ارتفاع وجود دارد. درحالی‌که بین میانگین متغیرهای کلونیزاسیون، وزن تر و خشک اندام هوایی

و ریشه در تیمارهای مختلف خاک اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. نتایج آزمون تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف خاک بررسی شده در جدول ۵ ارائه شده است.

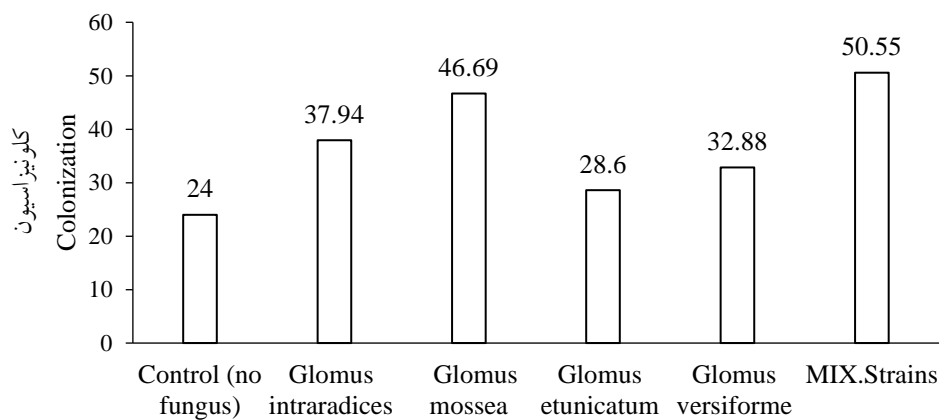
جدول ۵- نتایج آزمون تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف خاک

Table 5. Analysis of variance of variables measured in different soil treatments

F	میانگین مربعات Mean Square	متغیر Variable
1.91	185.25 <sup>ns</sup>	کلونیزاسیون Colonization
2.89	1.15*	رویش قطری Diameter growth
2.06	119.37 <sup>ns</sup>	وزن تر اندام هوایی Fresh body weight
2.008	29.92 <sup>ns</sup>	وزن خشک اندام هوایی Dry body weight
1.37	176.54 <sup>ns</sup>	وزن تر اندام ریشه The fresh weight of the root organ
1.35	40.83 <sup>ns</sup>	وزن خشک ریشه The Dry weight of the root organ
19.93	566.89**	افزایش ارتفاع Increase altitude
3.36	133.54*	سطح برگ Leaf area

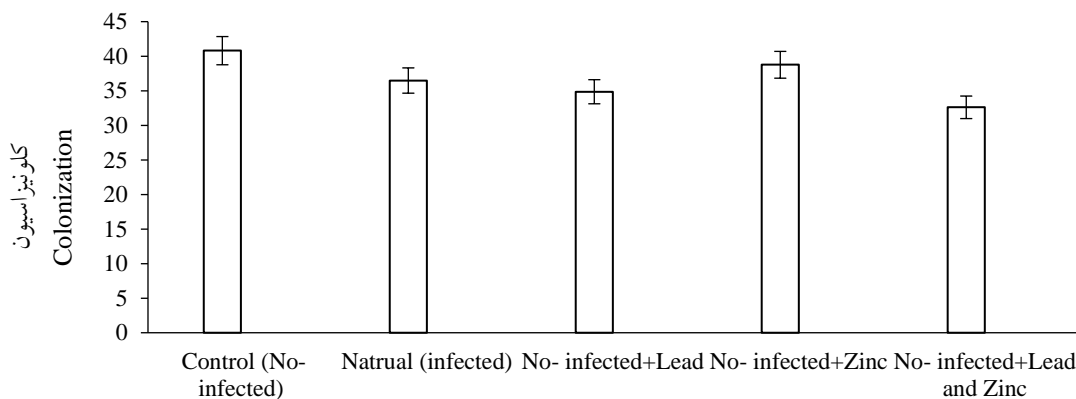
\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

\*\* Significant difference at the level of 0.01, ns there is no significant difference in the level of 0.05.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف قارچ بر درصد کلونیزاسیون

Figure 3. Mean Comparison of the effect of different treatments on colonization

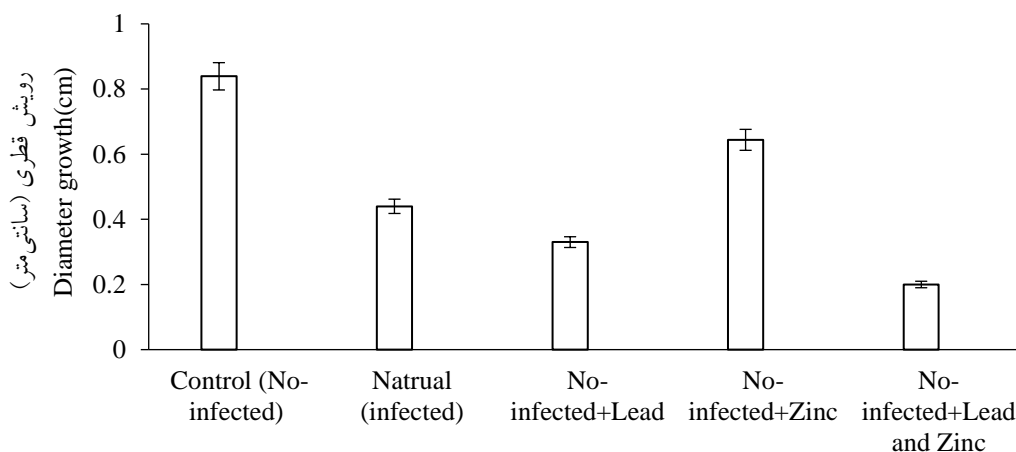


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف خاک بر درصد کلونیزاسیون

Figure 4. Mean Comparison of the effect of different treatments on colonization

ترتیب ۴۰/۸ و ۳۲/۶۱ گرم در تیمار شاهد و خاک آلوده به سرب و روی ملاحظه شد (شکل ۴).

بر اساس نتایج درصد کلونیزاسیون قارچ، اختلاف معنی داری بین تیمارهای خاک ملاحظه نشد (شکل ۴). با این وجود بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون به

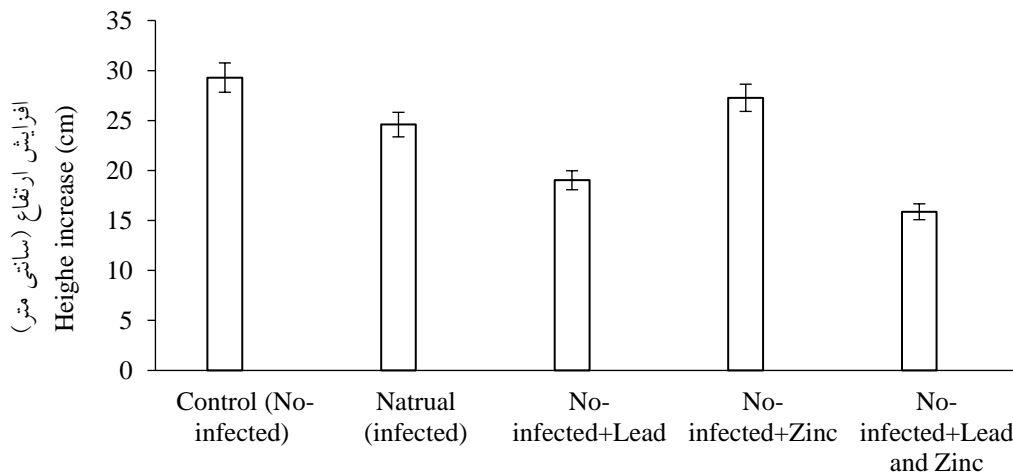


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف خاک بر ریش قطری

Figure 5. Mean Comparison of the effect of different soil treatments on diameter Growth

روی ملاحظه شد (شکل ۵). همچنین از نظر میانگین افزایش ارتفاع بین تیمارهای مختلف خاک، اختلاف معنی داری مشاهده شد به طوری که بین دو تیمار خاک آلوده شده با سرب و خاک آلوده شده با سرب و روی اختلاف معنی داری وجود ندارد و بیشترین و کمترین ریش ارتفاعی به ترتیب ۲۹/۲۹ و ۱۵/۸۷ سانتی متر در تیمار شاهد و خاک آلوده به سرب و روی ملاحظه شد (شکل ۶).

اختلاف معنی داری بین میانگین متغیر ریش قطری در دو تیمار خاک آلوده شده با سرب و خاک آلوده شده با سرب و روی اختلاف معنی داری وجود ندارد. در حالی که بین میانگین ریش قطری در تیمار شاهد با تیمار خاک آلوده شده با سرب و خاک آلوده شده با سرب و روی اختلاف معنی داری وجود دارد. بیشترین و کمترین ریش قطری به ترتیب ۰/۸۳۹ و ۰/۲ میلی متر در تیمار شاهد و خاک آلوده به سرب و



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف خاک بر افزایش ارتفاع

Figure 6. Mean Comparison of the effect of different soil treatments on height growth

با قارچ میکوریز تلقیح شده بودند، میانگین همه متغیرهای اندازه‌گیری شده در مقایسه با گیاهان شاهد (بدون قارچ) به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و افزایش متغیرهای اندازه‌گیری شده در مورد گیاهان تلقیح شده با تیمارهای قارچی سویه ترکیبی و *F. mosseae* در مواردی حتی بیش از یک‌ونیم برابر گیاهان غیرتیمار بود (شکل‌های ۱ و ۲). نتایج بررسی مقدار کلونیزاسیون نشان داد که بیشترین مقدار کلونی‌زایی در اثر تیمار سویه ترکیبی ایجاد شد (شکل ۳). ایجاد کلونی‌زایی علاوه بر نوع گیاه و سیستم ریشه‌ای به غلظت فسفر خاک نیز بستگی دارد. سطوح بسیار بالا و پایین فسفر خاک ممکن است سبب کاهش آلودگی و کلونی‌زایی میکوریزایی شود (Ledig et al., 1976). سطوح بیش از موردنیاز فسفر خاک برای رشد گیاه سبب حذف آربسکول‌های میکوریزایی VAM شد. آربسکول‌ها ساختارهایی هستند که در داخل سلول گیاه میزبان به‌وسیله قارچ‌های میکوریزا VAM تولید می‌شوند. این اندام مسئول انتقال عناصر غذایی جذب‌شده از قارچ به گیاه هستند (Abbott & Robson, 1979). پژوهش‌های زیادی همبستگی بین

نتایج آزمون تجزیه واریانس تک‌متغیره نشان داد که تأثیر توأم تیمارهای مختلف قارچ و خاک بر متغیرهای کلونیزاسیون، رویش قطری، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، افزایش ارتفاع و سطح برگ معنی‌دار بوده است (جدول ۶).

#### بحث

ریشه‌ها به‌عنوان سطوح جذب‌کننده آب و مواد غذایی تأثیر بسیار زیادی در جذب آب و املاح گوناگون دارند و عوامل مختلف محیطی از طریق تأثیر بر ریشه بر رشد گیاه اثر می‌گذارند. تنش فلزات سنگین مانند عوامل محدودکننده رشد ریشه است و کاهش رشد ریشه فعالیت‌های رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عدم توسعه و گسترش مناسب سیستم ریشه‌ای باعث کاهش سطوح جذب‌کننده مواد غذایی، تغییر در ساختار غشاء سلولی و کاهش جذب و محتوی آب می‌شود که این امر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تعرق، تنفس و فتوسنتز اثر گذاشته و در نهایت موجب کاهش رشد در سایر قسمت‌های گیاه مانند کاهش زی‌توده و سطح برگ می‌شود (Sharma & Dubey, 2005). نتایج این پژوهش نشان داد که در گیاهانی که

افزایش نسبت ریشه‌های ریز و میسلیم‌های میکوریزی توسط تیمار قارچی سویه ترکیبی است که سبب تحریک رشد ریشه‌های جانبی و فرعی می‌شود (Glick *et al.*, 1998). همچنین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با تولید آنزیم، تنش در ریشه گیاهان را کاهش می‌دهند و به این ترتیب بر رشد و توسعه ریشه گیاه کمک می‌کنند که توانایی تیمار قارچی سویه ترکیبی در کاهش تنش بیشتر بوده است. برخی از پژوهشگران نیز بیان کردند گیاهانی که همزیستی بیشتری با قارچ‌های میکوریز دارند، در جذب عناصر غذایی از خاک تواناتر بوده و از رشد بهتری برخوردار بودند (Camargo-Ricalde *et al.*, 2010)، زیرا قارچ‌ها می‌توانند از فواصل دور، آب و مواد غذایی را در دسترس گیاه میزبان قرار دهند (Allen *et al.*, 2003). در کل بهبود رشد و تولید زی‌توده و در نتیجه افزایش مقاومت گیاهان همزیست شده با قارچ‌های میکوریزی، تحت تنش‌های زیست‌محیطی از قبیل حضور غلظت‌های بالای فلزات سنگین در خاک مورد انتظار است. همچنین (Mirzaei 2016) نشان داد که میانگین متغیرهای وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و رویش قطری در نهال‌های کنار (*Ziziphus spina-christi* L.) تلقیح‌شده با قارچ‌های میکوریز *F. mosseae* و *G. fasciculatum* بیشتر از نهال‌های غیرمیکوریزی بود که می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد که هرچه تنوع و فراوانی قارچ میکوریز بیشتر باشد تأثیر بیشتری بر صفات مورفولوژیکی گونه گیاهی دارد.

اثر تیمارهای خاک بر متغیرهای اندازه‌گیری شده نشان داد که بین میانگین متغیر رویش ارتفاعی و قطری در تیمار شاهد با تیمارهای خاک آلوده‌شده با سرب و خاک آلوده شده با سرب و روی اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل‌های ۵ و ۶). به‌طور کلی

فسفر قابل‌جذب را با درصد کلونیزاسیون نشان داده‌اند و تا حدودی ثابت شده است که همبستگی مثبت یا منفی بین این دو مؤلفه وجود دارد (Bouamri *et al.*, 2004). Revel و همکاران (1999) با پژوهش‌های خود نشان دادند که کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار همبستگی منفی با فسفر کل و فسفر قابل‌جذب خاک دارند. نتایج دیگر پژوهشگران نیز نشان می‌دهد که همزیستی و آلودگی میکوریزایی ریشه‌ها در سطوح بالاتر از این مقدار کاهش یافته و تلقیح گیاهان در این شرایط کمکی به گیاه نمی‌کند (Swift, 2004). برخی محققین نیز کاهش کلونیزاسیون ریشه را یک مکانیسم برای محدودکردن جذب اضافی برخی از فلزات سنگین از طریق هیف‌های قارچی و یا به دلیل اثرهای متقابل قارچ و گیاه در سطوح بالای فلز سنگین عنوان کرده‌اند (Oudeh *et al.*, 2002). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر متغیر وزن اندام هوایی مربوط به تیمار تلقیح‌شده با تیمار قارچی سویه ترکیبی بوده که این موضوع بیان‌کننده این است که تیمار قارچی سویه ترکیبی در جذب آب و مواد غذایی به‌ویژه فسفر به گیاه کمک بیشتری کرده و سبب تجمع ماده خشک بیشتری شده است و از کارایی بیشتری در تولید زی‌توده اندام هوایی محلب برخوردار است. همچنین بیشترین وزن اندام هوایی مربوط به تیمار قارچی سویه ترکیبی بود که ممکن است ناشی از سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر و جذب مقادیر بالای فسفر و آهن به اندام هوایی و بهبود رشد گیاه و در نتیجه افزایش وزن خشک اندام هوایی باشد. علاوه بر این، بیشترین مقادیر متغیر وزن ریشه مربوط به تیمار تلقیح‌شده با قارچ تیمار قارچی سویه ترکیبی بوده (شکل ۲) که می‌تواند ناشی از تأثیر تیمار قارچی سویه ترکیبی بر رشد بیشتر ریشه‌های فرعی و جانبی باشد که این امر احتمالاً به دلیل

قارچی بومی خاک‌های غیرآلوده، تحمل‌پذیری و مقاومت بیشتری نسبت به آلودگی فلزات سنگین دارند. بر اساس گزارش Tinker and Ney (2000) افزایش غلظت فسفر سبب کاهش فعالیت قارچ و مقدار کلینزاسیون می‌شود. Weissenhorn و همکاران (1995) جذب فلزات سنگین به وسیله گیاه ذرت میکوریزی را در خاک‌های آلوده به کادمیوم، روی، سرب، مس و منگنز بررسی کردند، ولی به دلیل اینکه فلزات با یکدیگر برهمکنش دارند، نتایج آنها به طور دقیق نقش قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را بر جذب هر یک از فلزات، مشخص نکرده است. Karimi و همکاران (2013) نیز نشان دادند مسمومیت با سرب در درجه اول بازدارنده رشد ریشه است و کاهش توسعه سیستم ریشه‌ای به محدود شدن رشد بخش هوایی هم منتهی می‌شود. کاهش رشد ریشه و بخش هوایی تحت تنش عناصر سنگین سرب و روی می‌تواند به دلیل تجمع زیاد این عناصر در ریشه، لیگنینی شدن دیواره تحت تأثیر فلز سنگین (Almeida et al., 2007)، تأثیر مستقیم فلز سنگین بر هسته سلولی (Dauda et al., 2009) و برهم‌کنش فلزات سنگین با گروه‌های سولفیدریل غشا سلول‌ها و غیرفعال کردن آنها (Khudsar et al., 2000) باشد. Zarei و همکاران (2008) در بررسی تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های آلوده به سرب و روی ده گونه قارچ را شناسایی کردند که گونه‌های قارچی، *F. D. versiformis* و *R. irregularis mosseae* نسبت به دیگر گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار فراوانی بیشتری داشته‌اند که خود تنوع بیشتر قارچ‌های میکوریز و تأثیر بیشتر آنها را بیان می‌کند.

هم‌زیستی میکوریزایی بر بسیاری از جنبه‌های بیولوژیکی سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی گونه‌هایی که توانایی بیشتری در افزایش

نتایج نشان داد که میانگین همه متغیرهای اندازه‌گیری - شده در تیمار شاهد (خاک غیرآلوده) بیشتر از تیمارهای خاک آلوده شده با عناصر سنگین سرب و روی بود. با افزایش غلظت فلزات سنگین تنوع مورفولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار کاهش می‌یابد همچنین فلزات سنگین ممکن است رشد و تکثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین کاهش دهند، به تأخیر بیاندازند و یا به طور کامل حذف کنند. کاهش مقدار کلونیزاسیون و عدم توسعه هیف‌های خارج ریشه‌ای می‌تواند منجر به عدم کارایی همزیستی در جذب و انتقال فسفر شود کاهش مقدار فسفر موجود در اندام هوایی احتمالاً به دلیل کمپلکس شدن فسفات با فلزات سنگین در ریشه و عدم انتقال آن به بخش هوایی و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود. (Joner & Leyval, 2001)؛ که به‌طور کلی نتایج بیانگر این مورد بود که فلزات سنگین منجر به کاهش درصد کلونیزاسیون شده که کاهش فراوانی قارچ میکوریز نیز سبب کاهش و ضعف صفات مورفولوژیکی در گیاه می‌شود که با نتایج این پژوهش هم‌سو بود. از دلایل افزایش فراوانی قارچ میکوریز آربوسکولار و شرایط بهتر گیاه در خاک آلوده معدن نسبت به خاک غیرآلوده که سرب و روی به آن اضافه شده است می‌توان به (۱) وجود قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بومی در خاک آلوده که نسبت به شرایط آلوده مقاومت بیشتری دارند، (۲) کمبود عنصر فسفر در خاک آلوده که خود می‌تواند دلیلی بر افزایش درصد کلونیزاسیون قارچ باشد و (۳) همچنین اثر متقابل عناصر و فلزات سنگین نسبت به هم که می‌تواند در خاک آلوده معدن این اثر متقابل شدیدتر باشد، اشاره کرد. Van و همکاران (1998) گزارش کرد که اکوتیپ‌های قارچ‌های میکوریز آربوسکولار منشأ گرفته از خاک‌های آلوده نسبت به سویه‌های

محلّب در خاک‌های آلوده به فلزات سرب و روی با ضعف چشمگیری روبه‌رو نشد، برای دستیابی به بیشینه بهره‌گیری از پتانسیل مفید سامانه‌های میکوریزی ضروری است که مناسب‌ترین گونه قارچ برای هر وارته گیاهی و شرایط محیطی موردنظر انتخاب شود؛ پس می‌توان برای کشت وسیع گونه محلّب در خاک‌های آلوده از تلقیح سویه ترکیبی با این گونه گیاهی استفاده کرد.

سطح جذب ریشه دارند، قادر به ایجاد هم‌زیستی با میزبان و جذب آب، مواد غذایی، افزایش فتوسنتز و رشد گیاهان هستند. تلقیح گیاهان با گونه‌های قارچی مقاوم به فلزات سنگین و شناسایی مناسب‌ترین گونه قارچی می‌تواند راه‌حل بسیار مناسب و ارزان‌قیمتی برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات باشد در این پژوهش سویه ترکیبی که ترکیبی از گونه‌های قارچی بود، شرایط مورفولوژیکی نهال‌های گونه گیاهی

## References

- Abbott, L. K. & A. D. Robson, 1979. A quantitative study on the spores and anatomy of mycorrhizas formed by a species of *Glomus*, with special reference to its taxonomy. *Australian Journal of Botany*, 27: 363-375.
- Abdullahi, M. S., A. Uzairu & O. J. Okuno, 2009. Quantitative determination of heavy metal concentration in onion leaves. *International Journal of Environmental Research*, 3: 271-274
- Allen, M.F., W. Swenson, J. I. Querejeta, L. M. Egerton-Waburton & Treseder, K.K., 2003. Ecology of mycorrhiza: a conceptual framework for complex interactions among plants and fungi. *Annual Reviews in Phytopathology*, 41: 271-303.
- Almeida, A.F., A.A. Valle, M.S. Mielke, F. P. Gomes & J. Braz, 2007. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. *Plant Physiology*, 19: 83-98.
- Arriagada, C.A., M. A. Herrera & J. A. Ocampo, 2005. Contribution of arbuscular mycorrhizal and saprobe fungi to the tolerance of *Eucalyptus globulus* to Pb. *Water, Air, and Soil Pollution*, 166: 31-47.
- Bouamri, R., Y. Dalpe, M.N. Serrhini & A. Bennani, 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi species associated with rhizosphere of *Phoenix dactylifera* L. in Morocco, *African Journal of Biotechnology*, 5(6): 510-516.
- Bojarczuk, K. & B. Kieliszewska-Rokicka, 2010. Effect of ectomycorrhiza on Cu and Pb accumulation in leaves and roots of silver birch (*Betula pendula* Roth.) seedlings grown in metal-contaminated soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 207: 227-240.
- Camargo-Ricalde, S.L., N.M. Montano, I. Reyes-Jaramillo, C. Jimenez-Gonzalez & S. S. Dhillion, 2010. Effect of mycorrhizae on seedlings of six endemic *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) from the semi-arid Tehuacan-Cuicatlan Valley, Mexico. *Trees*, 24: 67-78.
- Caravaca, F., J. M. Barea, J. Palenzuela, D. Figueroa, M.M. Alguacil, & A. Roldan, 2003. Establishment of shrubs species in a degraded semiarid site after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology*, 22: 103-111.
- Carter, M. R. (ED), 1993. Soil sampling and method of analysis, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers. 823 p.
- Daneshvar, H.A. & B. Kiani, 2004. Effect of Salinity on some local cultivars of Russian olive (*Elaeagnus angustifolia*) in Isfahan province. *Pajouhesh and Sazandegi*. 65:76-83. (In Persian)
- Dauda, M. K., M. K. Variatha, A. Shafaqat, U. Najeeba, M. Jamilb, Y. Hayat, M. Dawooda, M. I. Khand, M. Zaffar, S. A. Cheemad, X.H. Tonga & S. Zhua, 2009. Cadmium-induced ultramorphological and physiological changes in leaves of two transgenic cotton cultivars and their wild relative, *J. Hazard Mater*, 168: 614-625.
- Gildon, A. & P. B. Tikner, 1983. Interaction of vesicular arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. The effect of heavy metals on the development of vesicular arbuscular mycorrhizas. *New Phytologist*, 95: 247-261.
- Glick, B.R., D.M. Penrose & J. Li, 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting

- bacteria. *Journal of Theoretical Biology*, 190: 63-68.
- Gaur, A. & A. Adholeya, 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal-contaminated soils, *Current Science*, 86: 528-534.
  - Hosseinzadeh, H., M. Ramezani & N. Namjo, 2003. Muscle relaxant activity of *Elaeagnus angustifolia* L. fruit seeds in mice, *Journal of Ethnopharmacology*, 84: 275. (In Persian)
  - Joner EJ & C. Leyval, 2001. Time course of heavy metal uptake in maize and clover as affected by root density and different mycorrhizal inoculation regimes, *Biol Fert Soils*, 33: 351-357.
  - Jorge, L., B. Gardea-Torresdeya, R. Jose, G. Peralta-Videab, & J.G. De la Rosaa, 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by Xray absorption spectroscopy, *Coordination Chemistry Reviews*, 249: 1797-1810.
  - Karimi, N., M. Khanahmadi, & B. Moradi, 2013. The effects of lead on some physiological parameters of Artichoke. *Journal of Plant Production*, 20(1): 49-62. (In Persian)
  - Khademi, A. & B. Kord, 2010. The role of Broad Leaf tree species (the Plane tree and the ash) in reducing pollution from lead, *Journal of Sciences and Techniques in Natural*, 1:1-12. (In Persian)
  - Khudsar, T., M. Uzzafar, W.Y. Soh, & M. Iqbal, 2000. Morphological and anatomical variations of *Cajanus cajan* (Linn. Huth) raised in cadmium-rich soil, *Journal of Plant Biology*, 43: 149-157. (In Persian)
  - Klich, M.G., 2000. Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity, *Environmental and Experimental Botany*, 44(3): 171-183.
  - Kramer, U., 2005. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils, *Current Opinion in Biotechnology*, 16: 133-141.
  - Ledig, F.T., A.P. Drew, & J.G. Clark, 1976. Maintenance and constructive respiration, photosynthesis, and net assimilation rate in seedlings of pitch pine (*Pinus rigida* Mill.), *Annual Botany*, 4: 289-300.
  - Lone, M.I., H. Li, P.J. Zhen, E. Stoffella & X. Yang, 2008. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives, *Journal of Zhejiang University Science*, 9: 210-220.
  - Majidi, T., M. Taheri, F. Aqajanlou, A. Mousavi, M. Shojaei, M. Tokas, P. Moradi & F. Heidari, 2015. A study on the adsorption of zinc, copper, cadmium and lead elements in leaves of some woody species, *Journal of Forest Research and Development*, 1(4): 271-284. (In Persian)
  - Mirzaei, J., 2016. Effects of *Glomus fasciculatum* and *Funneliformis mosseae* on growth, photosynthesis and some nutrient absorption of *Ziziphus spina-christi* L. seedlings, *Journal of Forest and Wood Product*, 69(2): 259-268. (In Persian)
  - Oudeh, M., Khan, M. & Scullion J. 2002. Plant accumulation of potentially toxic elements in sewage sludge as affected by soil organic matter level and mycorrhizal fungi, *Environmental Pollution*, 116: 293-300.
  - Rafati, M., N. Khorasani, F. Moattar, A. Shirvany, F. Moraghebi & S. Hosseinzadeh, 2011. Phytoremediation potential of *Populus alba* and *Morus alba* for cadmium, chromium and nickel absorption from polluted soil, *International Journal of Environmental Research*, 5: 961-970.
  - Revel, J.C., P. Morard, J. R. Bailly, H. Labbe, C. Berthout & M. Kaemmere, 1999. Utilization by plants of leachate derived from municipal solid waste, *Journal of Environmental Quality*, 28: 1083-1089.
  - Samani Majd, S., Sabeti, A. and Afioni, M. 2007. Soil pollution of urban roadsides to lead and cadmium, *Journal of Environmental studies*, 33(43): 1-10.
  - Sebastiani, L., F. Scebba & R. Tognetti, 2004. Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides x maximowiczii*) and I-214 (*P. X euramericana*) exposed to industrial waste, *Environmental and Experimental Botany*, 52: 79-88
  - Sharma, P. & R. S. H. Dubey, 2005. Lead toxicity in Plants, *Plant Physiology*, 17: 35-52.
  - Sheng, M., M. Tang, H. Chen, B. Yang, F. Zhang, & Y. Huang, 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress, *Mycorrhiza*, 18: 287-296.
  - Susarla, S., V. F. Medina & S. C. McCutcheon, 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination, *Ecological Engineering*, 18: 647-658.

- Swift, C. E., 2004. Mycorrhiza and soil phosphorus levels. Area Extension Agent. <http://www.colostate.edu/Depts/CoopExt/T/RA/PLANTS/mycorrhiza>.
- Taiz, L. & E. Zeiger, 1998. Mineral nutrition. In: Taiz, L., Zeiger, E. (Eds.), *Plant Physiology*. Sinauer Associates Inc., Sunderland, pp. 103-124.
- Tasang, A. & M. A. Maum, 1999. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastal foredunes. *Plant Ecology*, 144:159-166.
- Tinker, P.B., & P. H. Ney, 2000. Solute movement in the rizosphere. Oxford University Press, Oxford, pp. 444.
- Torresday, J.L., J. R. P. Videa, G.D. Rosa & J. Parsons, 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*, 249: 1797-1810.
- Van der Heiden, M. G. A., J. N. Klironomose, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwoif-Engel, T. Boller, A. Wiemken, I. R. Sanders, 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, Ecosystem variability and productivity, *Nature*, 396: 69-72.
- Vivas, A., I. Voros, B. Biro, J. M. Barea, J. M. Ruiz-Lozano, & R. Azco'n, 2003. Beneficial effects of indigenous Cd-tolerant and Cd-sensitive *Glomus mosseae* associated with a Cd-adapted strain of *Brevibacillus brevis* in improving plant tolerance to Cd contamination. *Applied Soil Ecology*, 24: 177-186.
- Weissenhorn, I., C. Leyval, G. Belgy & J. Berthelin, 1995. Arbuscular mycorrhizal contribution to heavy metal uptake by maize (*Zea mays* L.) in pot culture with contaminated soil, *Mycorrhiza*, 5: 245-252.
- Zarei M., N. Saleh-Rastin, Gh. Salehi Jouzani, Gh. Savaghei & F. Buscot, 2008. Arbuscular mycorrhizal abundance in contaminated soils around a zinc and lead deposit, *European Journal of Soil Biology*, 44: 381-390.



## Effects and identification of inoculated Arbuscular Mycorrhizal fungi of resilience to lead and zinc on some morphological treats of *Cerasus mahaleb* L. Mill.

B. Zamani Kebrabadi<sup>1</sup>, S. M. Hojati<sup>2</sup>, F. Rejali<sup>3</sup>, M. Esmaili Sharif<sup>\*4</sup>, and H. R. Rahmani<sup>5</sup>

1- PhD student, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Mazandran, I. R. Iran. (zamanikebrabadi67@gmail.com)

2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, I. R. Iran. (s\_m\_hodjati@yahoo.com)

3- Associate Professor, Research Institute of Water and Soil, Education and Extension Organization, AREEO, Tehran, I. R. Iran. (rejali@yahoo.com)

4- Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Isfahan, I. R. Iran. (m.esmaeilisharif@areeo.ac.ir)

5- Research Division of Water & Soil, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Isfahan, I. R. Iran. (hr\_rahmani@yahoo.com)

Received: 28.01.2019

Accepted: 28.05.2019

### Abstract

In this experiment, one year old *Cerasus mahaleb* seedlings were inoculated with six treatments of mycorrhizal fungus (*Diversispora versiformis*, *Claroideoglossum etunicatum*, *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae*, and a combination of these species) and control, then were planted in five soil treatments (control or No contamination, normal contaminated, contaminated with lead, zinc contaminated and contaminated with lead and zinc) were cultivated. The highest amount of colonization in combination treatment was 51% and lowest in control treatment was 24%. Diagonal growth, Seedling height and leaf area index in inoculation with combination strain were 1.42, 11.9 and 19.01, respectively. The highest fresh and dry weight of shoot in the treatment of strain Recipes were 42.04 and 21.36 grams and the lowest in the control were 22.34 and 11.33 grams, respectively. Combination strains and non-contaminated soil treatment caused maximum growth in Mahleb, in plants grown with mycorrhizal fungi were inoculated, mean of all measured variables was significantly higher than that of control plants. Combined strain treatment had the highest effect on dry matter accumulation.

**Keywords:** Arbuscular, Soil pollution, Bioremediation, Morphological treats.

---

\* Corresponding author

Tel: +989133293583