نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۲(۶۲)، تابستان ۱۴۰۱، صفحه ۲۴۰-۲۱۷

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1918977.1752

تاثیر کاربرد زئولیت و میکوریزا بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، عملکرد، اجزای عملکرد سویا و تجمع سرب در خاک آلوده به سرب

زیور حیدرپور صارمی [۱]، ماشااله دانشور [۲*]، امیدعلی اکبرپور [۲] و افسانه عالی‌نژادیان بیدآبادی [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۶

چکیده

از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست می‌توان به عنصر سرب اشاره کرد که بر جذب عناصر غذایی در گیاه تاثیرگذار است. تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثر زئولیت و میکوریزا بر خصوصیات کمّی و کیفی گیاه سویا در خاک آلوده به سرب در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان به انجام رسید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. عامل‌ها شامل میکوریزا در دو سطح (شاهد و تلقیح با میکوریزا (گونه گلوموس)) و زئولیت در سه سطح (صفر، پنج و ده درصد وزنی) بودند. خاک تمام گلدان‌ها با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیترات سرب آلوده شد. نتایج تحقیق نشان داد به‌جز ارتفاع بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و تعداد شاخه فرعی که تحت تأثیر اثرات اصلی میکوریزا و زئولیت قرار گرفتند، در بقیه صفات اثرات متقابل آنها معنی دار بود. کاربرد زئولیت۱۰٪ به همراه تلقیح با میکوریزا موجب بهبود شاخص سطح برگ (۸۴٪)، فعالیت کاتالاز (۱۵۰٪)، سوپراکسید دیسموتاز (۲۲۰٪)، وزن هزار دانه (۵۱٪)، عملکرد دانه (۹۴٪)، عملکرد بیولوژیک (۵۱٪) و شاخص برداشت (۳۴٪) و کاهش تجمع سرب در ریشه (۴۳٪) و اندام هوایی (۴۴٪)، فاکتور انتقال (۷۵٪) و تجمع زیستی در ریشه (۴۳٪) و اندام هوایی (۴۳٪) شد. بالاترین عملکرد دانه (۳۶۰۹ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۹۰۲۶ کیلوگرم در هکتار) از استفاده هم‌زمان از میکوریزا و زئولیت ۱۰٪ به‌دست آمد. به‌طورکلی، کاربرد میکوریزا و زئولیت علاوه بر کاهش تأثیرات فلزات سنگین موجود در خاک و بهبود عملکرد کمّی و کیفی تولیدی می‌تواند در گیاه‌پالایی فلزات سنگین مؤثر باشد.

واژگان کلیدی: دانه روغنی، رشد، فاکتور انتقال، کاتالاز، گیاه‌پالایی.

۱- دانشجوی دکتری، گروه زارعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲- استادیار گروه زارعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۳- استادیار گروه آموزشی مهندسی کشاورزی خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

* نگارنده‌ی مسئول daneshvar.m@lu.ac.ir

مقدمه

امروزه یکی از مشکلات اساسی گریبان‌گیر بشر آلودگی زیست‌بوم می‌باشد. این امر نه‌تنها برای بشر زیان‌بار است بلکه با کاهش توان زیستی، عدم توازن در تعادلات شیمیایی و نفوذ آلاینده‌ها به منابع آب‌های زیرزمینی موجب تخریب کلی زیست‌بوم می‌گردد (Jafari *et al.*, 2017).

راه‌های مختلف برای ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان و حیوانات وجود دارد. فاضلاب‌ها، کودهای حاوی فلزات سنگین، مواد دفعی حاصل از فعالیت کارخانه‌ها و زباله‌ها راه‌های معمول ورود فلزات سنگین به زنجیره‌های غذایی هستند (Wieshammer *et al.*, 2007). فلزات سنگین به‌طور طبیعی نیز در محیط به‌ویژه خاک وجود دارند و باعث آلودگی در محصولات کشاورزی و آب زیرزمینی می‌شود (Shi *et al.*, 2009). فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی توسط محصولات جذب می‌شوند، درنتیجه بر رشد آنها تأثیر می‌گذارد و محتوای آنها را در داخل بخش‌های خوراکی محصولات افزایش می‌دهند و تهدیدی برای ایمنی مواد غذایی و سلامت انسان می‌باشد (Zhan *et al.*, 2016). در این زمینه، گزارش شده است خاک‌های آلوده به سرب موجب افزایش تجمع سرب در دانه‌های سویا شد (Blanco *et al.*, 2017). سید و همکاران (Cid *et al.*, 2020) نیز در مطالعه خود به خطرهای سمیت بالا در گیاه سویا در تنش تجمع سرب اشاره کرده است. طبق تحقیقات صورت گرفته روش‌های فیزیکی و فیزیکوشیمیایی بهبود آلودگی خاک موجب تخریب ساختمان فیزیکی خاک و اثر بر فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و آلودگی ثانویه در خاک می‌شوند (Sadat and Barani-motlagh, 2013). یک راهکار مناسب به‌منظور کاهش خسارت فلزات سنگین تثبیت آنها است که به‌دلیل سرعت بالا و هزینه کم مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Aguilar-Garrido *et al.*, 2020). از روش‌های تثبیت می‌توان به استفاده از مکانیسم‌های جذب سطحی، واکنش‌های قلیایی، رسوب‌دهی، اکسایش، کمپلکس شدن، تبادل کاتیونی و هوموسی شدن اشاره کرد که باعث غیرپویا شدن و تثبیت فلزات سنگین در خاک می‌شوند (Mohammadi Sani *et al.*, 2011). تثبیت شیمیایی عناصر سنگین خاک با استفاده جاذب‌های معدنی از قبیل: زئولیت، اسمکتیت، پالیگورسکیت، هیدروکسیدهای آهن، آلومینیوم، منگنز و مواد آلی صورت می‌گیرد (Nadziakiewicza *et al.*, 2019). زئولیت یک آلومینوسیلیکات متخلخل با بار منفی است که ظرفیت تبادل کاتیونی و اندازه منافذ بر کارایی آن مؤثر است (Mahabadi *et al.*, 2007). کراگوویچ و همکاران (Kragović *et al.*, 2012) و گارائو و همکاران (Garau *et al.*, 2007) در مطالعات خود به توانایی زئولیت در جذب عناصر کادمیوم و سرب اشاره کرده‌اند. نتایج محمدی‌ثانی و همکاران (Mohammadi Sani *et al.*, 2011) نیز نشان داد، زئولیت تأثیر معنی‌داری بر کاهش سرب در گندم دارد.

امروزه روش گیاه‌پالایی به‌عنوان یک فناوری نوظهور و مقرون به‌صرفه جهت پالایش آلاینده‌های خاک مورد توجه قرار گرفته است. این روش ارزان قیمت بوده و امکان پالایش، حفظ خاک و جلوگیری از فرسایش و هدر رفت خاک را دارد (Mashayekh *et al.*, 2017). کمبود یا عدم قابلیت دسترسی و تحرک بسیاری از فلزات سنگین در خاک از مشکلات و محدودیت‌های گیاه‌پالایی می‌باشد. بسیاری از گیاهان جهت افزایش میزان جذب مواد مغذی کم محلول و

غیرقابل دسترس، از ریشه خود مواد آلی ویژه‌ای همچون ترکیبات چیلات کننده ترشح می‌نمایند. این نوع ترکیبات نیز سبب افزایش قابلیت دسترسی و انحلال ترکیبات کم محلول یا نامحلول فلزات سنگین در خاک می‌شوند (Amouei *et al.*, 2012). به‌همین خاطر یکی راهکارهای جدید پیشنهادی برای افزایش کارایی گیاه‌پالایی، استفاده از روابط همزیستی میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی با گیاهان است. میکوریزا و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین و محرک رشد گیاه، بر تقویت سیستم ریشه‌ای و تولید زیست‌توده مؤثر می‌باشند (Ansari and Malik, 2007). میکوریزا می‌تواند نقش مهمی را در گیاه‌پالایی بازی کند و با افزایش تولید هیف و اسپورزایی سمیت فلزات سنگین را کاهش می‌دهند (Dietterich *et al.*, 2017). ادول و همکاران (Adewole *et al.*, 2010) با بررسی اثرات میکوریزا بر توانایی گیاه‌پالایی آفتابگردان در خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم نشان دادند که میکوریزا جذب عناصر کادمیوم و سرب را در ریشه‌های این گیاه کاهش داد و باعث مقاومت و افزایش عملکرد آن شد. لذا به علت افزایش روز افزون سطوح آلودگی خاک و استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی، در این تحقیق سعی شده است تا با به‌کارگیری تیمارهای مختلف، توزیع و تجمع فلز سنگین سرب در حضور تیمارهای زئولیت و میکوریزا، پاسخ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سویا مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با دو فاکتور در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، واقع در شهرستان خرم‌آباد، کیلومتر ۱۲ جاده خرم‌آباد- اندیمشک با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۱۱۲۵ متر به اجرا درآمد. عامل‌ها شامل میکوریزا در دو سطح عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح با میکوریزا (گونه گلوموس) و استفاده از زئولیت در سه سطح (صفر، ۵٪ و ۱۰٪ وزنی نسبت به خاک گلدان‌ها) در شرایط خاک آلوده به سرب بود. این پژوهش در گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۲۵ و قطر ۲۰ سانتی‌متر حاوی ۵ کیلوگرم خاک خشک (خاک مزرعه) و الک شده (الک دو میلی‌متری) به انجام رسید. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

بذرهای سویا استفاده شده در این مطالعه رقم M7 بود که یک رقم زودرس، مقاوم بـه خوابیدگی و ریزش، رشد نامحدود، چند شاخه و پر محصول می‌باشد. قبل از کشت بذر به‌منظور آماده‌سازی بستر بذر، خاک مزرعه با کود حیوانی (گوسفندی) پوسیده و شن به نسبت (۱:۱:۴) ترکیب شده و به‌صورت یکنواخت مخلوط شدند (Balouchi *et al.*, 2016). برای ایجاد آلودگی فلز سنگین در خاک، عنصر سرب به مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (یک گرم در هر گلدان) به‌صورت نمک نیترات سرب یا $Pb(NO_3)_2$ در مقدار مشخصی آب مقطر حل شده و به‌طور یکنواخت و لایه‌لایه به سطح خاک درون گلدان‌ها اسپری گردید تا مخلوط یکنواخت و یک دستی حاصل شود (Keshtegar *et al.*, 2014). محتوای گلدان‌ها به مدت یک هفته جهت تثبیت سرب در خاک دست نخورده نگهداری شدند. سپس به گلدان‌های مورد نظر زئولیت در مقادیر متناسب با هر تیمار اضافه شد. بعد از آماده‌سازی خاک با سرب، میکوریزا (گونه گلوموس) مخلوط گردید. به

این صورت که برای انجام تیمار میکوریزا آربوسکولار حدود ۷-۵ سانتی‌متر از قسمت بالایی خاک هر گلدان برداشته و مقدار ۵۰ گرم زادمایه به‌صورت یک لایه نازک یکنواخت در سطح خاک پخش شد.

تعداد چهار بذر از هر گیاه در گلدان کشت شد و آبیاری در طول دوره رشد گیاه بر اساس ۸۵٪ ظرفیت زراعی انجام گرفت. در پایان دوره رشد، ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، تعداد شاخه فرعی، عملکرد دانه و اجزای عملکرد (وزن هزار دانه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف)، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تعیین شدند. ارتفاع و تعداد شاخه فرعی ۴ بوته از هر گلدان اندازه‌گیری و میانگین آن برای هر بوته اعلام گردید. شاخص سطح برگ در مرحله ۵۰٪ گلدهی با کمک استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ محاسبه گردید.

مخلوط واکنش جهت سنجش سوپراکسید دیسموتاز شامل بافر سدیم فسفات ۲۵ میلی‌مولار با pH=۶/۸، کربنات سدیم ۵۰ میلی‌مولار، متیونین ۱۲ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازلیوم ۷۵ میکرومولار، ریبوفلاوین ۱ میکرومولار و ۲۰۰ ماکرولیتر عصاره آنزیمی بود. در این روش، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در معرض نور قرار داده شدند و پس از این مدت جذب آنها در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. همچنین، از یک لوله آزمایش حاوی مخلوط واکنش به‌جز عصاره آنزیمی به‌عنوان شاهد استفاده شد (Giannopolitis and Ries, 1977). در سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز مخلوط واکنش شامل بافر سدیم فسفات ۲۵ میلی‌مولار با pH=۶/۸، آب اکسیژنه ۱۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ ماکرو لیتر عصاره آنزیمی بود. تجزیه آب اکسیژنه با کاهش در جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در یک دقیقه پیگیری شد (Cakmak and Marschner, 1992).

مقدار عنصر سرب نمونه خشک ریشه و بخش هوایی بعد از طی ۹۰ روز با استفاده از روش سوزاندن و هضم در اسیدکلریدریک و توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. برای اندازه‌گیری فلز سنگین از روش عصاره‌گیری خاکستر خشک استفاده شد. بدین ترتیب که ۲ گرم از هر نمونه گیاه به درون بوته‌های چینی انتقال داده شد. نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت قرار داده شدند. پس از آن ۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال به نمونه‌ها اضافه شده و سپس جوشانده شده و با استفاده از کاغذ صافی به درون بالن ژوژه صاف شد. سپس عصاره توسط جذب اتمی قرائت گردید (Pirzad *et al.*, 2015).

در انتها دو عامل ضریب تجمع زیستی (BCF) و فاکتور انتقال (TF) محاسبه شد. محاسبه این دو عامل، مکانیسم مقابله گیاهان را با سرب نشان می‌دهد (Zacchini *et al.*, 2009).

$$BCF = \frac{\text{غلظت عنصر مورد نظر در ریشه یا اندام هوایی}}{\text{غلظت عنصر مورد نظر در محیط رشد}} /$$

$$TF = \frac{\text{غلظت عنصر مورد نظر در اندام هوایی}}{\text{غلظت عنصر مورد نظر در ریشه}} /$$

برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد، ۴ بوته از هر گلدان بعد از رسیدگی کامل برداشت شده و تعداد غلاف موجود در هر بوته شمارش شد. سپس تعداد ۵ عدد غلاف از هر بوته انتخاب و متوسط تعداد دانه در غلاف برای هر بوته محاسبه شد. برای تعیین وزن هزار دانه نیز ۳ گروه ۱۰۰ تایی بذر شمارش و توزین و سپس در ۱۰ ضرب

شده و به‌عنوان میانگین وزن هزار دانه در هر گلدان اعلام شد. شاخص برداشت با استفاده از نسبت عملکرد اقتصادی (وزن دانه) به عملکرد بیولوژیک (وزن خشک گیاه) ضرب‌در ۱۰۰ محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن و ترسیم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel 2019 انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج مربوط به ارتفاع بوته نشان داد که این صفت تحت تأثیر اثر اصلی میکوریزا و زئولیت در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین این صفت نشان داد کاربرد میکوریزا و زئولیت به‌صورت مجزا در شرایط خاک آلوده به سرب موجب بهبود ارتفاع بوته شد. تلقیح گیاهان با میکوریزا موجب افزایش ۴۴٪ ارتفاع بوته در این گیاه شد و همچنین، بالاترین ارتفاع بوته از کاربرد ۱۰٪ وزنی زئولیت مشاهده شد که در مقایسه با شاهد ۲۱٪ افزایش داشت (شکل ۱).

کاهش ارتفاع بوته در اثر فلزات سنگین به ویژه سرب در لوبیا گزارش شده است (Balouchi *et al.*, 2016). مطالعه‌ای نشان داد که میکوریز آربسکولار به‌صورت معنی‌داری سبب افزایش ارتفاع سویا شده است (Ghanai, 2016). نتایج دپونویس و همکاران (Duponnois *et al.*, 2005) نیز نشان داد گیاه آکاسیا (*Holosericeal Acacia*) تلقیح شده با میکوریزا، ارتفاع بیشتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشت. فرهادی و همکاران (Farhadi *et al.*, 2016) افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه ذرت در نتیجه کاربرد زئولیت را گزارش کردند. گیاهان تلقیح شده با میکوریزا دارای جذب عناصر غذایی بالاتری بودند، میکوریزا در واقع حکم تارهای کشنده برای گیاه را دارند و با افزایش سطح تماس ریشه با خاک جذب آب و مواد غذایی را افزایش می‌دهند و از این طریق موجب کاهش تأثیرات فلزات سنگین می‌شوند. همچنین، قارچ با ترشح اسیدهای آلی و تولید دی‌اکسیدکربن باعث اسیدی شدن منطقه ریشه شده که جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف را افزایش می‌دهد. میکوریزا همچنین با نگهداری فلزات سنگین در هیف‌های خود اثر سوء آنها را بر گیاه کاهش می‌دهند (Nemati and Golchin, 2015; Gupta *et al.*, 2002). کاربرد زئولیت‌ها به ماندگاری عناصر در خاک از طریق جلوگیری از شستشوی آنها از محیط ریشه کمک کرده و حاصلخیزی خاک را در طول دوره رشد بهبود می‌بخشند (Rostami *et al.*, 2012). همچنین، زئولیت‌ها به‌عنوان سوپرجاذب‌های قوی با حفظ و جلوگیری از هدر رفت آب و یون‌های مغذی و بهبود جذب ریشه موجب افزایش و بهبود رشد گیاه می‌گردد (Khodarahmi *et al.*, 2019).

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ سویا در خاک آلوده به سرب، علاوه بر اثرات اصلی تحت تأثیر برهمکنش میکوریزا در زئولیت قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، کاربرد زئولیت موجب بهبود شاخص سطح برگ شده و استفاده هم‌زمان از میکوریزا نیز موجب افزایش اثرات زئولیت شد. کاربرد تنهایی زئولیت ۱۰٪ موجب افزایش ۴۶٪ شاخص سطح برگ شده و تلقیح گیاهان با میکوریزا نیز موجب افزایش این تغییرات به ۸۴٪ شد. همچنین، در شرایط عدم کاربرد میکوریزا بین مصرف ۵٪ و ۱۰٪ زئولیت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی با کاربرد میکوریزا

اختلاف این دو سطح معنی‌دار شد. به‌طورکلی، بالاترین شاخص سطح برگ از تلقیح گیاهان با میکوریزا و استفاده از زئولیت ۱۰٪ به دست آمد (جدول ۳).

فلزات سنگین به‌ویژه کادمیوم و سرب بر تقسیم و رشد سلول‌ها، تقسیم سلولی در منطقه مریستمی و تنظیم و رشد و نمو گیاه اثر گذاشته و از این طریق می‌تواند موجب کاهش گسترش برگ و اندام هوایی در گیاه شود (Das *et al.*, 2002). به نظر می‌رسد کودهای آلی با قابلیت افزایش دسترسی به‌عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن باعث افزایش رشد رویشی گیاه شده و در نتیجه با افزایش سطح برگ گیاه و تراکم بیشتر کانوپی، موجب افزایش کارایی محصول در استفاده از انرژی نورانی و سنتز بیشتر مواد فتوسنتزی می‌شوند. گزارش‌های متعددی نشان دهنده نقش کودهای بیولوژیک بر تقویت جذب عناصر غذایی در گیاه، سنتز تنظیم کننده‌های رشد، کنترل پاتوژن‌های گیاهی و همچنین برخی مکانیسم‌های دیگر در بهبود رشد گیاه می‌باشند (Khalid *et al.*, 2004; Mehana and Vahid, 2002). دهلاری و همکاران (Dhalaria *et al.*, 2020) نیز معتقدند که همزیستی میکوریزا با ریشه از طریق افزایش جذب آب و عناصر در بهبود شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی مؤثر بود و از این طریق تأثیرات منفی فلزات سنگین را خنثی می‌نماید. گوپتا و همکاران (Gupta *et al.*, 2002) نیز اعتقاد دارند میکوریزا با نگهداری فلزات سنگین در هیف‌های خود اثر سوء آنها را بر گیاه کاهش می‌دهد. بهبود رشد گیاهان توسط کاربرد زئولیت در مطالعه‌ی محمدی و همکاران (Mohamadi *et al.*, 2013) گزارش شد. تخلخل بالا در زئولیت موجب افزایش جذب آب و بهبود وضعیت آبی گیاه و سرانجام بهبود رشد می‌شود.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

اثرات اصلی و برهمکنش میکوریزا در زئولیت بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز برگ‌های گیاهان سویا رشد یافته در خاک آلوده به سرب معنی‌دار بودند (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد، کاربرد زئولیت موجب کاهش فعالیت این آنزیم‌ها در مقایسه با شاهد شد. به‌عنوان مثال کاربرد ۵٪ زئولیت موجب کاهش ۳۹٪ و ۱۵٪ فعالیت سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز شد که این تغییرات با مصرف ۱۰٪ زئولیت به ۴۱٪ و ۲۰٪ رسید (جدول ۲). کاربرد میکوریزا نیز دارای نقش مثبت بر روند تغییرات این آنزیم در اثر زئولیت بوده و اثرات زئولیت را افزایش داد. تغییرات سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز با استفاده همزمان میکوریزا و زئولیت ۱۰٪ در مقایسه با شاهد ۲/۲ و ۱/۵ برابر شده است که در مقایسه با کاربرد زئولیت ۲۲٪ و ۱۹٪ بیشتر بود (جدول ۲).

گیاهان دارای سیستم دفاعی آنتی اکسیدانتی هستند تا از خود در برابر فشارهای فلزات سنگین محافظت کنند. این سیستم‌های دفاعی گیاهان شامل پاک کننده‌های رادیکال‌های فعال اکسیژن آنزیمی مختلف مانند گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسیدازدیسموتاز، گلوتاتیون ردوکتاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز است که در برابر اختلال در عملکرد سلول‌های گیاهی نقش ایفا می‌کنند و در هنگام تنش بسیار فعال هستند (Abdelhameed and Metwally, 2019; Zhang *et al.*, 2019). فعالیت سوپراکسیددیسموتاز باعث تولید H_2O_2 می‌شود که توسط آسکوربات پراکسیداز یا کاتالاز به آب تبدیل می‌شود (Bi *et al.*, 2019). در مطالعات متعددی افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانت در طی

تنش فلزات سنگین سرب گزارش شده است (Ghaisari *et al.*, 2015).

میکوریزا با برقراری همزیستی با گستره وسیعی از گیاهان به سه شکل اکتومیکوریزی، آندومیکوریزی و اکتاندومیکوریزی سبب بهبود جذب آب و عناصرغذایی شده، از این‌رو به‌طور غیرمستقیم سبب کاهش اثرات تنش‌های محیطی بر گیاه میزبان خود می‌شوند (Aghababai and Reisy, 2012). مطالعات انجام شده توسط محققان مختلف نشان داد، AMF[1] توانایی تقویت سنتز آنتی‌اکسیدانت‌ها و افزایش فعالیت آنها در تنش فلزی را دارند. مشخص شد که AMF، تحت تنش اکسیداتیو، فعالیت آنتی‌اکسیدانتی را تنظیم کرده و تولید گونه‌های فعال اکسیژن را در گیاه میزبان *Cajanus cajan* کاهش داده و به کاهش تنش فلزی کمک می‌کند (Cornejo *et al.*, 2013). همچنین، همزیستی AMF با *Robinia pseudoacacia* قابلیت‌های پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن را بهبود می‌بخشد و فعالیت‌های آنزیمی را تحت تنش سرب افزایش می‌دهد (Yang *et al.*, 2015).

اجزای عملکرد و تعداد شاخه فرعی

نتایج مربوط به اجزای عملکرد دانه از قبیل وزن هزار دانه، تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته و تعداد شاخه فرعی نشان داد، اثر اصلی میکوریزا و زئولیت بر تمام این صفات به‌جز تعداد شاخه فرعی (تنها تحت تأثیر میکوریزا قرار گرفت) معنی‌دار بودند. برهمکنش میکوریزا در زئولیت نیز تنها بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد میکوریزا موجب بهبود ۳۳٪ تعداد شاخه فرعی، ۷۳٪ تعداد دانه در غلاف و ۴۵٪ تعداد غلاف در بوته شد (شکل ۲، a). کاربرد زئولیت نیز موجب بهبود این صفات شد. استفاده از ۱۰٪ زئولیت بالاترین تأثیر را بر این صفات داشته و موجب بهبود ۲۳، ۸۳، ۸۰٪ آنها شد (شکل ۲، b). برهمکنش میکوریزا در زئولیت در مورد وزن هزار دانه نیز نشان داد، کاربرد همزمان این دو موجب افزایش قابل توجه در وزن هزار دانه در شرایط آلوده به فلز سرب شد. کاربرد به‌تنهایی ۱۰٪ زئولیت موجب بهبود ۳۵٪ وزن هزار دانه و ۵۱٪ در مواقع استفاده آن به همراه میکوریزا شد. بالاترین وزن هزار دانه از استفاده از میکوریزا و زئولیت ۱۰٪ مشاهده شد (جدول ۵).

در شرایط تنش‌های محیطی و فلزات سنگین مانند سرب، مواد کمتری در گیاهان تولید و از رشد رویشی گیاهان کاسته می‌شود. کاهش پتانسیل آب خاک قبل یا پس از گلدهی، سبب کاهش معنی‌دار پتانسیل آب و نقل و انتقال مواد در اندام‌های زایشی می‌شود که ممکن است فعالیت تخمدان را مختل کند و درنتیجه مانع نمو آن شود و این عمل باعث کاهش تعداد دانه در بوته می‌شود (Samsami *et al.*, 2019). تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته از اجزای مهم عملکرد دانه محسوب می‌شوند که تنش‌های محیطی سبب کاهش این دو صفت مهم می‌شود (Daneshian *et al.*, 2009). معصومی زواریان و همکاران (Masomi Zavarian *et al.*, 2015) در بررسی اثرات میکوریزا بر روی خصوصیات کمّی و کیفی گیاه انیسون نشان دادند، تلقیح میکوریزا باعث افزایش شاخص‌های رشدی و عملکردی گیاه شد. پاکزی و همکاران (Pakzi, 2010) در کلزا نشان دادند، با مصرف ۱۲تن در هکتار زئولیت تعداد غلاف در بوته ۱۴٪ افزایش پیدا کرد. به نظر می‌رسد، همزیستی میکوریزا از طریق تأثیر بر

۱ - Arbuscular Mycorrhizal Fungi

جذب مناسب عناصرغذایی و بهره‌گیری مطلوب فاکتورهای رشدی توسط گیاه، موجب افزایش میزان این شاخص‌ها در گیاهان شده است (Kapoor *et al.*, 2004).

وزن هزار دانه نیز بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد دانه دارد و سویا در مراحل زایشی به تنش‌های محیطی حساس می‌باشد؛ بنابراین، تنش باعث کاهش وزن هزار دانه می‌شود. اثر مثبت میکوریزا بر افزایش وزن هزار دانه را می‌توان به افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌واسطه توسعه بیشتر ریشه‌ها و بهبود شرایط تغذیه‌ای و رشدی گیاه و همچنین تثبیت بیولوژیک نیتروژن نسبت داد که هماهنگ با نتیجه گزارش شده می‌باشد (Mehraban *et al.*, 2012). افزایش وزن صد دانه در نتیجه تأثیر مثبت میکوریزا در افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ میسیلیوم در خاک و دسترسی گیاه میزبان به حجم بیشتری از خاک و انتقال آب و مواد غذایی به اندام‌های هوایی و بهبود رشد و نمو گیاه می‌باشد. افزایش تعداد دانه در گیاه تحت تأثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به ترشح تنظیم‌کننده‌های رشد (اکسین و سیتوکنین)، افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، تولید بیشتر جوانه‌های گل و همچنین به تأخیر انداختن پیری و جلوگیری از ریزش گل‌ها در اثر آنها نسبت داده شد که منجر به افزایش تعداد دانه در بوته و در نهایت عملکرد دانه می‌شود؛ همچنین با بهبود شرایط رشد و افزایش تعداد گل‌ها انتظار افزایش فعالیت حشرات گرده‌افشان و درنتیجه افزایش تلقیح گل‌ها وجود دارد (Zahir *et al.*, 2003). شیرانی‌راد و همکاران (Shiranirad *et a1.*, 2011) بیان نمودند کاربرد زئولیت در خاک اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه کلزا داشت و کاربرد ۱۵ تن در هکتار زئولیت وزن هزار دانه را ۲۳٪ افزایش داد. زئولیت با بهبود کارآیی مصرف عناصر غذایی از طریق قابلیت جذب فسفر، آمونیوم و نیترات و همچنین با کاهش آبشویی و اتلاف کاتیون‌های تبادلی، به خصوص پتاسیم سبب افزایش عملکرد دانه گردید (De Campos Bernardi *et al.*, 2013).

عملکرد دانه و بیولوژیک

میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نیز تحت تأثیر برهمکنش میکوریزا در زئولیت قرار گرفتند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد، کاربرد زئولیت و میکوریزا به‌طور هم‌زمان دارای اثرات مضاعف بر عملکرد دانه و بیولوژیک در خاک آلوده به سرب بودند. مصرف تنهایی غلظت‌های ۵٪ و ۱۰٪ زئولیت موجب افزایش ۲۴٪ و ۳۱٪ عملکرد دانه و ۱۶٪ و ۱۹٪ عملکرد بیولوژیک شد. تلقیح گیاهان با میکوریزا موجب افزایش تأثیرات زئولیت شده به‌طوری‌که تأثیرات غلظت‌های ۵٪ و ۱۰٪ زئولیت در این گیاهان به ۷۱٪ و ۹۴٪ در مورد عملکرد دانه و ۴۴٪ و ۵۱٪ عملکرد بیولوژیک شد. به‌طورکلی، بالاترین عملکرد دانه با میانگین ۳۶۰۹ کیلوگرم در هکتار و عملکرد بیولوژیک با میانگین ۹۰۲۶ کیلوگرم در هکتار با استفاده از زئولیت ۱۰٪ و تلقیح با میکوریزا مشاهده شد (جدول ۵).

کودهای زیستی از طریق تثبیت نیتروژن و عناصر غذایی خاک و همچنین تولید تنظیم کننده‌های رشد موجب بهبود عملکرد در گیاهان می‌شوند. همچنین، کودهای زیستی از طریق افزایش کارایی جذب ریشه و اثرات آنتاگونیستی بر میکروارگانیسم‌های بیماری اثرگذار هستند (Basu *et al.*, 2008). افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید می‌تواند تحمل گیاه به تنش‌های مختلف محیطی مانند کمبود آب، عناصر غذایی و سمیت

عناصر سنگین را کاهش دهد (Wu *et al.*, 2005). حمزه‌ئی و سلیمی (Hamzei and Salimy, 2014) بیان کردند که میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. در پژوهشی دیگر افزایش عملکرد دانه در اثر میکوریزا را به بالاتر بودن زیست‌توده در شرایط تلقیح با میکوریزا نسبت دادند (Amouzegar *et al.*, 2016). کمبود نیتروژن نیز می‌تواند اثرات کاهشی بر رشد و عملکرد گیاه وارد آورد، لذا ریزجانداران محرک رشد با تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر و پتاسیم و تولید مواد تنظیم کننده رشد در جهت افزایش رشد و عملکرد دانه نقش بسزایی داشته باشند. به نظر می‌رسد زئولیت نیز با افزایش قابلیت دسترسی برخی از عناصر و میکوریزا با افزایش جذب از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای با تأثیر مثبت بر همدیگر سبب افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش رشد گیاه شده‌اند (Farhadi *et al.*, 2016). گزارش شد که کاربرد زئولیت در خاک سبب افزایش در عملکرد و اجزای عملکرد سویا شد (Khan *et al.*, 2011). زئولیت با بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی از طریق قابلیت جذب فسفر، آمونیوم و نیترات و همچنین با کاهش آبشویی و اتلاف کاتیون‌های تبادلی، به خصوص پتاسیم سبب افزایش رشد و عملکرد دانه گردید (De Campos Bernardi *et al.*, 2013).

شاخص برداشت

شاخص برداشت سویا نیز تحت تأثیر برهمکنش میکوریزا در زئولیت قرار گرفت (جدول ۴). شاخص برداشت سویا در خاک‌های آلوده به سرب در حدود ۳۰ ٪ بود که با کاربرد زئولیت ۵٪ و ۱۰٪ به ۳۳٪ و ۳۴٪ افزایش یافت. تلقیح بذر با میکوریزا موجب افزایش تأثیرات مثبت زئولیت بر این صفت شده به‌طوری‌که مصرف زئولیت ۵٪ موجب رسیدن این شاخص به ۳۶٪ و مصرف زئولیت ۱۰٪ موجب رسیدن آن به ۴۰٪ شد (جدول ۵). کاهش شاخص برداشت در برنج تحت تنش سرب توسط اشرف و همکاران (Ashraf *et al.*, 2017) نیز گزارش شده است. در شرایط تنش مواد کمتری در گیاهان تولید و از رشد رویشی گیاهان کاسته می‌شود همچنین نقل و انتقال مواد در اندام‌های زایشی کاسته که این امر موجب کاهش عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با وزن زیست‌توده در گیاه و کاهش شاخص برداشت می‌شود (Samsami *et al.*, 2019). همزیستی میکوریزا از طریق تأثیر برجذب مناسب عناصر غذایی و بهره‌گیری مطلوب فاکتورهای رشدی توسط گیاه، موجب افزایش میزان این شاخص برداشت در گیاهان می‌شود (Kapoor *et al.*, 2004). باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن با ترشح هورمون‌های محرک رشد و افزایش رشد، افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، تولید بیشتر جوانه‌های گل و همچنین به تأخیر انداختن پیری و جلوگیری از ریزش گل‌ها در اثر آنها می‌توانند عملکرد دانه را در مقایسه با عملکرد بیولوژیک بیشتر تحت تأثیر قرار داده و موجب افزایش شاخص برداشت شوند (Zahir *et al.*, 2003). زئولیت نیز با افزایش قابلیت دسترسی برخی از عناصر و میکوریزا با افزایش جذب از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای با تأثیر مثبت بر همدیگر سبب افزایش جذب عناصر غذایی و در نهایت افزایش رشد گیاه شده‌اند که افزایش رشد معمولاً با افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت همراه است (Farhadi *et al.*, 2016).

میزان تجمع سرب

نتایج میزان تجمع سرب در ریشه و اندام هوایی نشان داد که این دو مورد نیز تحت تأثیر

برهمکنش مصرف هم‌زمان میکوریزا و زئولیت قرار گرفتند (جدول ۶). میزان سرب تجمع یافته در کل بوته در خاک‌های آلوده به سرب و شاهد (عدم مصرف زئولیت و میکوریزا) در حدود ۲/۲ میلی گرم در کیلوگرم بوده که ۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به ریشه و ۰/۶ میلی‌گرم مربوط به اندام هوایی گیاه بود (شکل ۳). کاربرد هم‌زمان زئولیت و میکوریزا موجب کاهش تجمع این فلز سنگین در هر دو اندام شد. مصرف تنهایی زئولیت تأثیر معنی‌داری بر تجمع سرب در اندام هوایی نداشت، ولی با مصرف میکوریزا اختلافات معنی‌دار شد. کاربرد غلظت‌های ۵٪ و ۱۰٪ زئولیت به‌تنهایی موجب کاهش به‌ترتیب ۲۹٪ و ۳۱٪ تجمع سرب در ریشه و ۱۱٪ آن در اندام هوایی شد که با مصرف میکوریزا در این شرایط این تغییرات به ۴۱٪ و ۴۳٪ در ریشه و ۲۷٪ و ۴۴٪ در اندام هوایی افزایش یافت (شکل ۴).

نتایج این تحقیق با مطالعات ساینز و همکاران (Sainz *et al.*, 2015) همخوانی دارد. در بین کودهای بیولوژیکی، قارچ‌های شاخه گلومرومایکوتا که از قابلیت همزیستی بالایی با ریشه اکثر گیاهان زراعی برخوردارند، می‌توانند با تشکیل هورمون رشد و بالا بردن مقاومت به بیماری‌های خاکزی در گیاهان در بهبود رشد و جذب بهتر عناصر غذایی به گیاهان کمک شایان نمایند (Heidari, 2009). در بررسی اثرات میکوریزا بر توانایی گیاه‌پالایی محصول آفتابگردان در خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم مشخص شد که میکوریزا میزان جذب کادمیوم و سرب را در ریشه‌های آفتابگردان کاهش داد و باعث مقاومت این گیاه به آلودگی گردید (Adewole *et al.*, 2010). میکوریزا با تغییرات هورمونی و ترشح فاکتورهای محرک رشد موجب افزایش جذب عناصر غذایی شده و این افزایش می‌تواند به‌دلیل گسترش ریسه‌های نازک قارچی در خاک و تخلیه بیشتر خاک از عنصر معین باشد (Cabuk *et al.*, 2005). گزارش شد که ازتوباکتر می‌تواند نقش مؤثری در خارج کردن عناصر سنگین از فاضلاب‌های کشاورزی و صنعتی داشته باشد و این باکتری با تولید انواع پلی‌ساکاریدهای کپسول مانند و اگزوپلی‌ساکاریدها سبب خارج شدن میزان قابل‌توجهی از عناصر سنگین گردد (Chauhan *et al.*, 2020).

ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال

ضریب تجمع زیستی سرب در اندام هوایی، ریشه و کل بوته نیز تحت تأثیر استفاده هم‌زمان میکوریزا و زئولیت در شرایط خاک‌های آلوده به سرب قرار گرفت (جدول ۶). ضریب تجمع زیستی در سویا در خاک‌های آلوده به سرب در حدودِ ۰/۰۱۳ بوده که ۰/۰۰۸ این ضریب مربوط به ریشه و ۰/۰۰۳ آن مربوط به اندام هوایی است (شکل ۴). استفاده از میکوریزا و زئولیت موجب کاهش این ضریب در بخش‌های مختلف شد. بالاترین تأثیر کاربرد زئولیت از غلظت ۱۰٪ این تیمار حاصل شد که در شرایط عدم استفاده از میکوریزا موجب کاهش ۳۱٪، ۱۰٪ و ۱۸٪ ضریب تجمع زیستی سرب در ریشه، اندام هوایی و کل بوته شد و با مصرف میکوریزا این تغییرات به ۴۳٪، ۴۳٪ و ۲۲٪ افزایش یافت (شکل ۴).

فاکتور انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی در سویا نیز تحت تأثیر برهمکنش میکوریزا و زئولیت قرار گرفت (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد تنهایی میکوریزا تأثیر معنی‌داریِ بر این فاکتور نداشته و در تیمار عدم استفاده از زئولیت اختلاف معنی داری نداشتند. همچنین، بین سطوح ۵٪ و ۱۰٪ زئولیت در دو شرایط عدم

استفاده از میکوریزا و استفاده از آن اختلاف وجود نداشت و در یک کلاس آماری قرار گرفتند، ولی بین مصرف ۱۰٪ زئولیت و عدم مصرف آن اختلاف معنی‌دار بود. بالاترین فاکتور انتقال از عدم مصرف زئولیت و عدم استفاده (۲/۶۶) و استفاده از میکوریزا (۲/۷۵) و کمترین فاکتور انتقال نیز از مصرف زئولیت ۱۰٪ و استفاده از میکوریزا (۲/۰۵) مشاهده شد که کاهش ۷۵٪ را نشان داد (شکل ۵).

فاکتور انتقال شاخصی از تجمع فلزات سنگین در گیاهان است که از طریق آن می‌توان فراهمی زیستی فلزات را در گیاهان کمی‌سازی کرد (Boularbaha *et al.*, 2006). همچنین، فاکتور انتقال به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی قرارگیری انسان در معرض فلزات سنگین از طریق زنجیره غذایی در نظر گرفته می‌شود (Singh *et al.*, 2011) و عواملی که به افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک کمک می‌کنند، می‌توانند بر روی آن تأثیر بگذارند (Kalavrouziotis *et al.*, 2012). فاکتور تجمع زیستی پارامتر مهمی است که طبق آن غلظت شیمیایی فلز سنگین موجود در آب به حدی می‌رسد که در نتیجه جذب فلزسنگین در تمام مسیرها، از سایر عناصر موجود در آب بیشتر است (Akun, 2020).

طبق تحقیقات صورت گرفته بر گیاهان ذرت، گندم و کلزا مشخص شد، فاکتور انتقال آرسنیک در کلزا و گندم از ذرت بیشتر بود. فاکتور تجمع زیستی نیز در بخش هوایی کمتر از ریشه بود و بیانگر این مطلب است که جذب در ریشه‌ها بیشتر بود و متأثر از غلظت آرسنیک محلول و فراهم برای گیاه می‌باشد و مانند سایر عناصر صرفاً غلظت کل نمی‌تواند باعث افزایش جذب و تجمع در گیاهان زراعی گردد (Babaakbari sari *et al.*, 2013). در مطالعه حاضر نیز میزان تجمع زیستی در ریشه بالاتر از اندام هوایی بود. در آزمایشی که بر گیاه آکاسیا ویکتوریا (*Acacia victoriae*) صورت گرفت مشخص شد فاکتور تجمع زیستی، فاکتور انتقال، ضریب غنی‌سازی و شاخص جذب در ریشه بالاتر از ساقه، بود. در واقع این گیاه با تجمع کادمیوم در ریشه‌ها این توانایی را دارد که از انتقال این فلز به بخش‌های هوایی و بروز سمیت در گیاه ممانعت نماید (Kharmandar and Mahdavi, 2016). برآورد فاکتور تجمع زیستی نشان داد که اکثر تجمع فلزات سنگین (مس، کادمیوم و سرب) در اندام‌های گیاهی متوسط تلقی می‌شود (El-Mahrouk *et al.*, 2019). در مقابل، محتوای کادمیوم در برگ و ساقه در تیمار ضعیف و محتوای مس در ریشه شدید برآورد شد. همچنین مشخص شد، تلقیح با میکوریزا از طریق افزایش تماس ریشه با خاک موجب کاهش جذب فلزات سنگین به درون گیاه می‌شود. همچنین، قارچ با ترشح اسیدهای آلی و تولید دی‌اکسیدکربن باعث اسیدی شدن منطقه ریشه شده که جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف را افزایش و با نگهداری فلزات سنگین در هیف‌های خود اثر سوء آنها را بر گیاه کاهش می‌دهند (Nemati and Golchin, 2015; Gupta *et al.*, 2002). زئولیت‌ها به علت تخلخل بالا به‌عنوان سوپرجاذب‌های قوی با حفظ و جلوگیری از هدر رفت آب و یون‌های مغذی و بهبود جذب ریشه می‌تواند در تعادل یونی کمک کند و از جذب فلزات سنگین به درون گیاه جلوگیری نماید (Khodarahmi *et al.*, 2019). مقادیر فاکتور تجمع زیستی برای اندام‌های گیاهی به نوع یون فلزی و غلظت آن در خاک و همچنین اندام گیاهی بستگی دارد. تحرک فلزات سنگین با

افزایش pH خاک، به دلیل رسوب هیدروکسیدها و کربنات‌ها یا تشکیل مجموعه مواد آلی نامحلول کاهش می‌یابد (El-Mahrouk *et al.*, 2019).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که کاربرد میکوریزا و زئولیت در خاک‌های آلوده به سرب موجب تقویت سیستم دفاعی گیاه از قبیل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و همچنین کاهش فاکتور انتقال و تجمع زیستی این فلز در ریشه و اندام هوایی شده و از این طریق موجب کاهش تأثیرات مخرب تنش و بهبود عملکرد و اجزای عملکرد سویا شد. مشخص شده است که گیاه سویا از نظر تجمع زیستی سرب گیاه متوسط به شمار می‌آید و میزان تجمع فلز سرب در ریشه آن بیشتر از اندام هوایی می‌باشد. کاربرد هم‌زمان زئولیت در غلظت ۱۰٪ به همراه میکوریزا از طریق بهبود شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه موجب بهبود عملکرد دانه و شاخص برداشت در سویا شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در تحقیق

Table 1- Physical and chemical properties of soil used in research

هدایت الکتریکی $dS.m^{-1}$	pH	کربن آلی OC	نیتروژن کل N	فسفر P	پتاسیم K	منگنز Mg	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	سرب Pb	بافت خاک Texture
		(%)					($mg.kg^{-1}$)				
0.72	7.7	0.33	0.033	6	190	12.53	7.45	0.92	1.81	3.9	Loam- clay

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت سویا تحت تأثیر عامل‌ها میکوریزا و زئولیت در خاک آلوده به سرب

Table 2- Result analyses variance of plant height, LAI, antioxidant activity enzyme of soybean influenced by mycorrhiza and zeolite under Pb contaminated soils

S.O.V. منابع تغییر		درجه آزادی df	Means squares میانگین مربعات			
			ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ LAI	سوپراکسیددیسموتاز SOD	کاتالاز CAT
میکوریزا	Mycorrhiza (M)	1	1027.56**	84.93**	0.0098**	510.5**
زئولیت	Zeolite (Z)	2	100.72**	18.34**	0.0049**	82.8**
اثرمتقابل	M×Z	2	2.06ns	3.49*	0.0021**	24.6**
خطا	Error	12	9.11	0.75	0.0002	1.3
ضریب تغییرات	C.V. (%)	-	7.3	8.3	11.4	2.7

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

Ns, ** and ** are non-significant, and significant and 5 and 1% respectively.

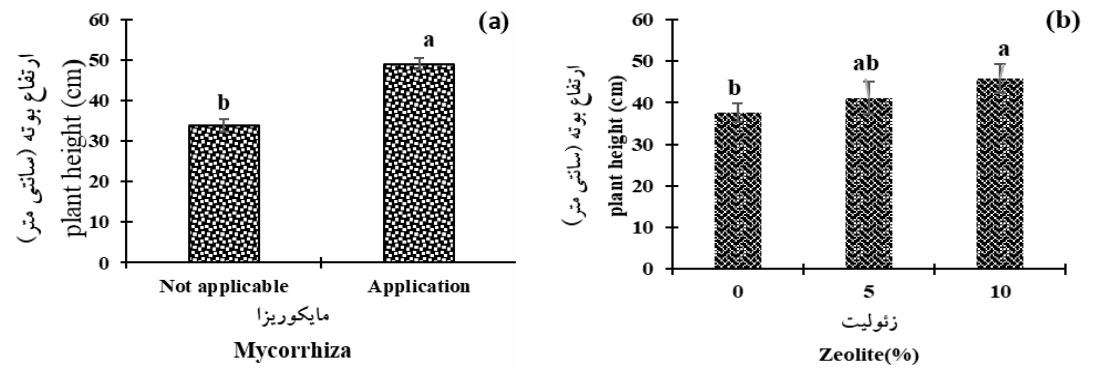
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا در زئولیت بر شاخص سطح برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت سویا در خاک آلوده به سرب

Table 3- Camper's means interactions mycorrhiza and zeolite on LAI, antioxidant activity enzyme of soybean under Pb contaminated soils

میکوریزا Mycorrhiza	زئولیت Zeolite (%)	شاخص سطح برگ LAI	سوپراکسیددیسموتاز SOD (ug.g FW^{-1})	کاتالاز CAT (ug H_2O_2.g FW^{-1})
Not applicable	0	5.32±0.46e	0.203±0.018a	53.54±0.20a
	5	7.40±0.20d	0.123±0.003b	45.42±0.94b
	10	7.78±0.37d	0.120±0.001b	42.56±1.04c
Application	0	8.34±0.69c	0.113±0.003c	38.22±0.52d
	5	8.91±0.69b	0.100±0.005d	36.78±0.19e
	10	9.80±0.37a	0.093±0.003e	34.56±0.49f

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشد.

Different letters in each column indicate a significant difference by duncant test at the level of 5%.



شکل ۱- اثر میکوریزا (a) و زئولیت (b) بر ارتفاع بوته سویا در خاک آلوده به سرب

Figure 1- Effect mycorrhiza (a) and zeolite (b) on plant height of soybean under Pb contaminated soils

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشد.

Different letters indicate a significant difference by duncant test at the level of 5%.

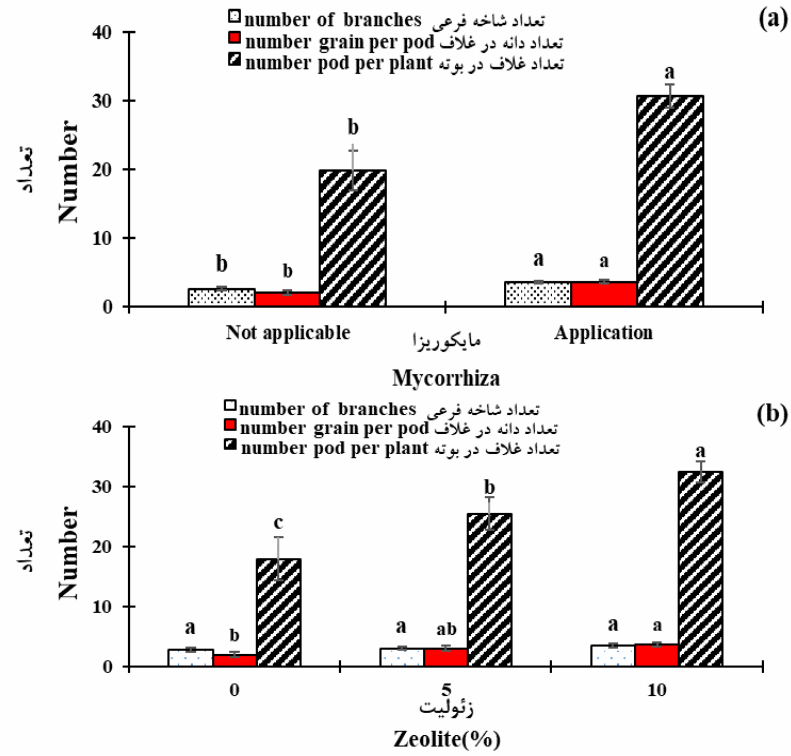
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد سویا تحت تأثیر میکوریزا و زئولیت در خاک آلوده به سرب

Table 4- Result analyses variance of yield and components yield of soybean influenced by mycorrhiza and zeolite under Pb contaminated soils

S.O.V. منابع تغییر	درجه آزادی df	Means squares میانگین مربعات						
		وزن هزار دانه 1000-weight grain	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد دانه در غلاف Number grain Per pod	تعداد غلاف در بوته Number pod Per plant	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
Mycorrhiza (M) میکوریزا	1	763.10**	3.56*	10.89**	533.56**	6161220**	19470880**	200.0**
Zeolite (Z) زئولیت	2	519.01**	0.72^{ns}	4.22**	315.50**	1387361**	1899940**	110.8**
M×Z اثرمتقابل	2	59.67*	0.06^{ns}	0.22^{ns}	30.39^{ns}	135928*	348873*	20.67*
Error خطا	12	13.65	0.39	0.33	10.06	38575	70140	3.83
C.V. (%) ضریب تغییرات		4.4	20.0	20.0	12.5	7.5	3.5	5.8

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

ns, ** and ** are non-significant, and significant and 5 and 1% respectively.



شکل ۲- اثر میکوریزا (a) و زئولیت (b) بر تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته سویا در خاک آلوده به سرب

Figure 2- Effect mycorrhiza (a) and zeolite (b) on plant height of soybean under Pb contaminated soils

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشد.

Different letters indicate a significant difference by Duncan's test at the level of 5%.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا در زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا در خاک آلوده به سرب

Table 5- Camper's means interactions mycorrhiza and zeolite on yield and components yield of soybean under Pb contaminated soils

میکوریزا Mycorrhiza	زئولیت Zeolite (%)	وزن هزاردانه 1000- weight grain (g)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)
Not applicable	0	64.5 ± 2.92^{d}	1851.0 ± 138.2^{e}	5962.3 ± 185.9^{d}	30.6 ± 1.6^{d}
	5	83.23 ± 1.81^{c}	2308.6 ± 44.9^{d}	6938.3 ± 180.1^{c}	33.3 ± 0.3^{cd}
	10	87.43 ± 0.53^{bc}	2434.6 ± 8.40^{d}	7078.3 ± 50.7^{c}	34.3 ± 0.3^{bc}
Application	0	84.70 ± 3.70^{c}	2819.6 ± 134.4^{c}	8277.0 ± 229.9^{b}	34.3 ± 0.6^{bc}
	5	91.60 ± 0.80^{b}	3175.3 ± 158.5^{b}	8616.0 ± 108.5^{b}	36.6 ± 1.4^{b}
	10	97.93 ± 0.88^{a}	3609.6 ± 112.8^{a}	9026.3 ± 77.3^{a}	40.3 ± 1.4^{a}

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشد.

Different letters in each column indicate a significant difference by duncant test at the level of 5%.

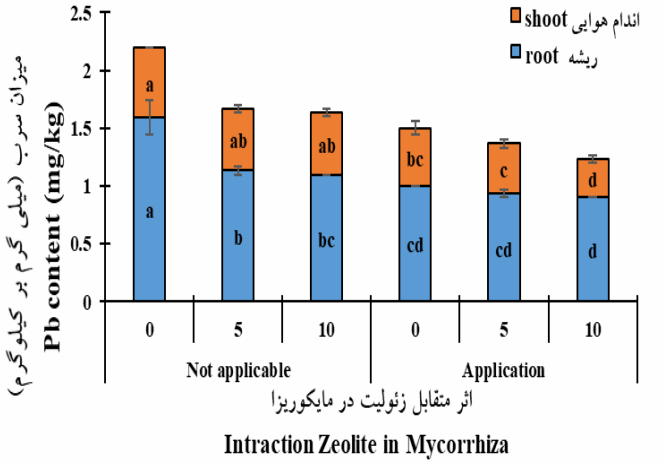
جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس فاکتور انتقال، میزان سرب و ضریب زیستی قسمت‌های مختلف سویا تحت تأثیر تیمارهای میکوریزا و زئولیت در خاک آلوده به سرب

Table 6- Result analyses variance of TF, Pb content and BCF two part of Soybean influenced by Mycorrhiza and Zeolite under Pb contaminated soils

S.O.V. منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means squares					
		میزان سرب Pb content		ضریب تجمع زیستی BCF			فاکتور انتقال TF
		ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	کل Total	
میکوریزا Mycorrhiza (M)	1	0.497^{**}	0.080^{**}	0.0000124^{**}	0.0000020^{**}	0.0000001^{ns}	0.006^{ns}
زئولیت Zeolite (Z)	2	0.160^{**}	0.021^{*}	0.0000040^{**}	0.0000005^{*}	0.0000026^{ns}	0.103^{ns}
اثرمتقابل M×Z	2	0.079^{*}	0.005^{*}	0.0000020^{*}	0.0000001^{*}	0.0000153^{*}	0.612^{*}
خطا Error	12	0.012	0.004	0.0000003	0.00000005	0.0000033	0.134
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	10.0	12.8	10.0	12.8	12.8	15.8

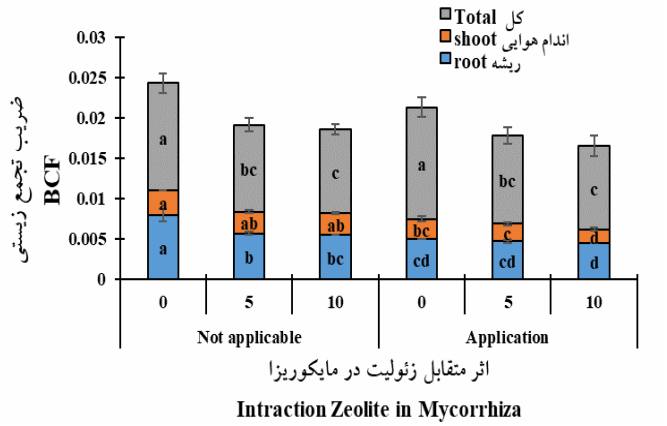
ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

ns, ** and ** are non-significant, and significant and 5 and 1% respectively.



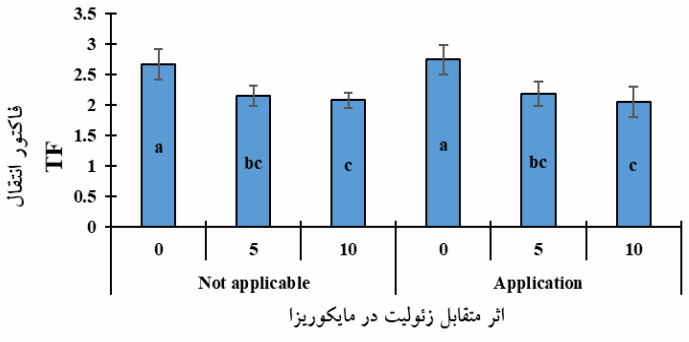
شکل ۳- اثر متقابل میکوریزا در زئولیت بر میزان سرب ریشه و اندام هوایی سویا در خاک آلوده به سرب

Figure 3- Interaction Mycorrhiza and zeolite on Pb content on root and shoot soybean under Pb contaminated soils



شکل۴ – اثر متقابل میکوریزا در زئولیت بر ضریب تجمع زیستی اندام مختلف سویا در خاک آلوده به سرب

Figure 4- Interaction mycorrhiza and zeolite on BCF on root and shoot soybean under Pb contaminated soils



شکل ۵- اثر متقابل میکوریزا در زئولیت بر فاکتور انتقال سرب در سویا در خاک آلوده به سرب

Figure 5- Interaction mycorrhiza and zeolite on TF of Pb in soybean under Pb contaminated soils

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشد.

Different letters indicate a significant difference by duncan test at the level of 5%.

References منابع مورد استفاده

- Abdelhameed, R.E., and R.A. Metwally. 2019. Alleviation of cadmium stress by arbuscular mycorrhizal symbiosis. *International Journal Phytoremediation*. 21: 663-671.
- Adewole, M.B., O.O. Awotoye, M.O. Ohiembor, and A.O. Salami. 2010. Influence of mycorrhizal fungi on phytoremediation potential and yield of sunflower in Cd and Pb polluted soils. *Journal of Agricultural Sciences*. 55: 17-28.
- Aghababai, F., and F. Reisy. 2012. Effect coxistence microriza on chlorophyll content, photosentetic and water use efficincy in four genotypes Almond under Chaharmahal and Bakhtiari province. *Journal Sciencse and Technology Agriculture and Natural Resources* (Sicense Water and Soil). 15(56):91-110. (In Persian).
- Aguilar-Garrido, A., A. Romero-Freire, M. García-Carmona, F.J. Martín Peinado, M. Sierra Aragón, and F.J. Martínez Garzón. 2020. Arsenic fixation in polluted soils by peat applications. *Minerals.* 10(11): 968-973.
- Akun, M.E. 2020. Heavy metal contamination and remediation of water and soil with case studies from Cyprus. In book: Heavy Metal Toxicity in Public Health [Working Title]. 1-17
- Amouei, A., A.H. Mahvi, K. Nadafi, H. Fahimi, A. Mesghinia, and S. Naseri. 2012. Study optimum operating conditions in the phytoremediation of soil contaminated with lead and cadmium by native plants in Iran. *Journal Kordestan University Medica Science*. 17(4): 93-102. (In Persian).
- Amouzegar, M., A. Abbaspour, S. Shahsavani, H.R. Asghari, and M. Parsaeiyan. 2016. Effects of phosphorus fertilizers and arbuscular mycorrhiza fungi symbiosis with sunflower on Pb availability in a contaminated soil. *Journal of Water and Soil Science*. 19(74): 39-50. (In Persian).
- Ansari, M.I., and A. Malik. 2007. Biosorption of nickel and cadmium by metal resistant bacterial isolates from agricultural soil irrigated with industrial wastewater. *Bioresource Technology*. 98: 3149-3153.
- Ashraf, U., A.S. Kanu, Q. Deng, Z. Mo, S. Pan, H. Tian, and X. Tang. 2017. Lead (Pb) toxicity; physio-biochemical mechanisms, grain yield, quality, and Pb distribution proportions in scented rice. *Frontiers in Plant Science.* 8: 259-263.
- Babaakbari Sari, M., M. Farahbakhsh, G.R. Sawaqbi, and N.A. Najafi. 2013. Investigation of arsenic concentration in some calcareous soils of Qorveh and its uptake by corn, wheat and rapeseed in a naturally contaminated soil. *Journal of Soil and Water Science*. 23 (4): 1-17. (In Persian).
- Balouchi, H., F. Amini, M. Movahedi Dehnavi, and M. Attarzadeh. 2016. The effect of different organic substrates on the growth and yield components of pinto beans under heavy metal stress. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*. 26(2): 57-72. (In Persian).
- Basu, M., P.B.S. Bhadoria, and S.C. Mahapatra. 2008. Growth, nitrogen fixation, yield and kernel quality of peanut in response to lime, organic and inorganic fertilizer

levels. *Bioresource Technology*. 99: 4675-4683.

- Bi, Y., L. Xiao, and R. Liu. 2019. Response of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus solubilizing bacteria to remediation abandoned solid waste of coal mine. *International Journal Coal Science Technolology. 6:* 603-610.
- Blanco, A., M.J. Salazar, C. Vergara Cid, M.L. Pignata, and J.H. Rodriguez. 2017. Accumulation of lead and associated metals (Cu and Zn) at different growth stages of soybean crops in lead-contaminated soils: food security and crop quality implications. *Environmental Earth Sciences.* 76(4): 182-195.
- Boularbaha, A., C.H. Boularbaha, G. Bitton, W. Aboudrar, A. Ouhammou, and J.L. Morel. 2006. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: assessment of metal accumulation and toxicity in plants. *In Chemosphere*. 63: 811-817.
- Cabuk, A., S. Ilhan, C. Filik, and F. Caliskan. 2005. Pb^{2+} biosorption by pretreated fungal biomass. *Turkrisk Journal Biology*. 29: 23-28.
- Cakmak, I., and H. Marschner. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology.* 98(4): 1222-1227.
- Chauhan, R., H. Patel, and S. Rawat. 2020. Biosorption of carcinogenic heavy metals by bacteria: Role and mechanism. In Removal of Emerging Contaminants Through Microbial Processes (pp. 237-263). Springer, Singapore
- Cid, C.V., M.L. Pignata, and J.H. Rodriguez. 2020. Effects of co-cropping on soybean growth and stress response in lead-polluted soils. *Chemosphere.* 246: 125833.
- Cornejo, P., J. Pérez-Tienda, S. Meier, A. Valderas, F. Borie, C. Azcón-Aguilar, and N. Ferrol. 2013. Copper compartmentalization in spores as a survival strategy of arbuscular mycorrhizal fungi in Cu-polluted environments. *Soil Biology Biochemeisty*. 57: 925-928.
- Daneshian, J., H. Hadi, and P. Jonoubi. 2009. Study of quantitative and quality characteristics of soybean genotypes in deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences.* 11(4):393-409. (In Persian).
- Das, P.K., D. Sarangi, M.K. Jena, and S. Mohanty. 2002. Response of greengram (*Vigna radiata* L.) to integrated application of vermicompost and chemical fertilizer in acid lateritic soil. *Indian Agriculture*. 46 (1): 79- 87.
- DeCampos Bernardi, A.C., P.P.A. Oliviera, M.B. de Melo Monte, and F. Souza-Barros. 2013. Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. *Microporous Mesoporous Materials.* 167: 16-21.
- Dhalaria, R., D. Kumar, H. Kumar, E. Nepovimova, K. Kuca, M. Torequl Islam, and R. Verma. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi as potential agents in ameliorating heavy metal stress in plants. *Agronomy*. 10(6): 1-22.
- Dietterich, L.H., C. Gonneau, and B.B. Casper. 2017. Arbuscular mycorrhizal colonization has little consequence for plant heavy metal uptake in contaminated field soils. *Ecological Applications.* 27(6): 1862-1875.
- Duponnois, R., A. Combalet, V. Hien, and J. Thioulouse. 2005. The mycorrhizal

fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of Acacia holosericea. *Soil Biology Biochemeisty*. 37: 1460-1468.

- El-Mahrouk, E.S.M., E.A.H. Eisa, M.A. Hegazi, M.E.S. Abdel-Gayed, Y.H. Dewir, M.E. El-Mahrouk, and Y. Naidoo. 2019. Phytoremediation of cadmium, copper, and lead-contaminated soil by Salix mucronata (*Synonym salix safsaf*). *Horticulture Science*. 54(7): 1249-1257.
- Farhadi, D., A. Asghari, H. Amrian, and S. Abaspor. 2016. Evolution effect zeolite and microriza on some morphology and yield corn under level different phosphore soil. *Journal Soli Biology*. 4(1): 39-52. (In Persian).
- Garau, G., P. Castaldi, L. Santona, P. Deiana, and P. Melis., 2007. Influence of red mud, zeolite and lime on heavy metal immobilization, culturable heterotrophic microbial populations and enzyme activities in a contaminated soil. *Geoderma*. 142(1-2): 47-57.
- Ghaisari, S., F. Saidnmatpour, and A. Sfipourafshar. 2015. Effect salyislic acid and ascoropic acid, on photosynthesis pigment content and some antioxidant activity enzyme in *Ocimum basilicum* L. under Pd stress. *Journal of Plant Research*. 28 (4): 814-825. (In Persian).
- Ghanai, A. 2016. Evaluation seed periming on filed and application microriza on yield and yield component soyben under Golestan province. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 12(4):77-90. (In Persian).
- Giannopolitis, C.N., and S.K. Ries. 1977. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology.* 59(2):309-314.
- Gupta, M.L., A. Prasad, M. Ram, and S. Kumar. 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology*. 81: 77-79.
- Hamzei, J., and F. Salimy, 2014. Root colonization, yield and yield component milk thistle (*Silybum marianum*) influenced by microriza and phosphor fertilizer. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production.* 24(4): 85-96. (In Persian)
- Heidari, M. 2009. Antioxidant activity and osmolyte concentration of sorghum (*Sorghum bicolor*) and wheat genotypes under salinity stress. *Asian Journal Plant Science*. 8 (3):240-244
- Jafari, M., M. Moamari, A. Jahantab, and N. Zargham. 2017. The effect of municipal waste compost and biochar on phytoremediation ability of *Boiss tomentellus* Bromus in greenhouse conditions. *Journal of Rangeland Scientific Research*. 11(2): 194-206. (In Persian).
- Kalavrouzitis, I.K., P. Koukoulakis, and E. Kostakioti. 2012. Assessment of metal transfer factor under irrigation with treated municipal wastewater. *Agricultural Water Management*. 103:114-119.
- Kapoor, R., B. Giri, and K. G. Mukerji. 2004. Improved growth and essential oil yield

and quality in *Foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*. 93: 307-311.

- Keshtegar, M., S. Afshar, and S. Nematpour. 2014. Effect of heavy metals Cu and Pb on some growth characteristics, proline content and lipid peroxidation in two varieties of mung bean (*Vigna radiate*). *Journal of Crop Ecophysiology*. 8(3):363-374. (In Persion).
- Khalid, A., M. Arshad, and Z.A. Zahir. 2004. Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Journal Appled Microbiology*. 96: 473 - 480.
- Khan, A.Z., H. Khan, R. Khan, S. Nigar, B. Saeed, H. Gul, and T. Henmi. 2011. Morphology and yield of soybean grown on allophanic soil as influenced by synthetic zeolite application. *Pakestan Journal Botony*. 43(4): 2099-2107.
- Kharmandar, Kh., and A. Mahdavi. 2016. Study of cadmium uptake and accumulation in Acacia victoriae quarterly seedlings. *Journal Soil and Water Resources Protection*. 6 (2): 121-135. (In Persian).
- Khodarahmi, Y., A. Soltani Mohamadi, S. Boroomand Nasab, and A. Naseri. 2019. The effect of zeolite and superabsorbent on reduction of nitrate leaching from a loamy soil under unsaturated conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research.* 50(7): 1569-1579.
- Kragovic, M., A. Daković, Ž. Sekulić, M. Trgo, M. Ugrina, J. Perić, and G.D. Gatta. 2012. Removal of lead from aqueous solutions by using the natural and Fe (III)-modified zeolite. *Applied Surface Science.* 258(8): 3667-3673.
- Mahabadi, A.A., M.A. Hajabbasi, H. Khademi, and H. Kazemian. 2007. Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite. *Geoderma*. 137(3): 388-393.
- Mashayekh, H., A. Baghai, and M. Gomarian. 2017. Effect EDTA and animal fertilizer on cadmium uptake by calendula in soil. *Journal Soil Research*. 31(3):24-35. (In Persian).
- Masomi Zavarian, A., M. Yusefirad, and M. Asghari, 2015. Evolution effect microriza on quantitive and qualitive yield *Pimpinella anisum* under salinity stress. *Journal Plant Medical.* 14(4):139-148. (In Persian).
- Mehana, T.A., and O.A. Vahid. 2002. Associative effect of phosphate dissolving fungi,Rhizobium and phosphate fertilizer on some soil properties, yield components and the phosphorus and nitrogen concentration and uptake by *Vicia faba* L. under field conditions. *Pakistan Journal Biology Science.* 5:1226- 310
- Mehraban, A., G.h. Noormohammadi, S. Vazan, M.R. Ardakani, and H. Heydari Sharifabad. 2012. Investigation of the roles microorganisms vesicular - arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi on some characteristics of sorghum cultivars. *Journal of Agronomy and Breeding.* 8(2):1-9.
- Mohamadi, M., H. Molave, A. Liaghat, and M. Parsinejat. 2013. Effect application zeolite on yield and water use efficiency grain corn. *Journal Water Research in Agriculture*. 27(1): 61-75. (In Persian).
- Mohammadi Sani, M., A. Astaraei, A. Fotovat, and A. Lakziyan. 2011. Inactivation of

lead and zinc in mine waste using zeolite and TSP and its effect on wheat growth. *Iranian Journal Field Crops Research*. 8(6): 956-964. (In Persian)

- Nadziakiewicza, M., S. Kehoe, and P. Micek. 2019. Physico-chemical properties of clay minerals and their use as a health promoting feed additive. *Animals*. 9(10):714-721.
- Nemati, A., and A. Golchin. 2015. Effect biologic fertilizers on yield and micro element concenteration on shoot plant tomato under cadmium stress. *Electromic Journal Soil Manegment and Sustainable Producton*. 5(3):45-64. (In Persian).
- Pakzi, A., 2010. Effect zeolite amount and water deficit on yield and yield components and harvest insex canola (*Brassica napus*. L) under Rey city. *Journal Agronomy and Plant Breeding*. 6:1-10. (In Persian).
- Pirzad, Sh., Z. Salmasi, and S.A. Mohammadi. 2015. The effect of water stress on the absorption of some nutrients in German chamomile. *Journal of Applied Agriculture*. 28 (106): 1-7. (In Persian).
- Rostami, R., A. Jonidi Jafari, R. Rezaee Kalantari, and M. Gholami. 2012. Survey of modifed clinoptilolite zeolite and cooper oxide nanoparticles-containing modifed clinoptilolite efciency for polluted air BTX removal. *Iranian Journal Health Environment*. 5(1):1-8.
- Sadat, K., and M. Barani-motlagh. 2013. Effect zeolite natural clinoptilolite of Iran on lead and cadmium absorption applicable sewage sludge by corn. *Water and Soil Conservation Research.* 2(4): 123-143. (In Persian).
- Sainz, M.J., M.T. Taboada-Castro, and A. Vilarino. 2015. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. *Plant Soil*. 205: 85-92.
- Samsami, N., A. Nakhzari Moghaddam, A. Rahemi Karizaki, and E. Gholinezhad. 2019. Effect of mycorrhizal fungi and rhizobium bacterial on qualitative and quantitative traits of soybean in response to drought stress. *Journal of Crops Improvement*. 21(1): 13-26. (In Persion).
- Shi, W.Y., H.B. Shao, H. Li, M.A. Shao, and S. Du. 2009. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. *Journal of Hazardous Materials*. 170(1): 1-6.
- Shiranirad, A.H., A. Moradimoghadam, T. Taherkhani, K. Eskandar, and V.A. Nazarigolshan, 2011. Evolution response canola plant to nitrogen amount and moisture regiume under application and nonaplicated of zeolite condtion. *Journal of Crop Ecophyisyology*. 3(4):296-306. (In Persian).
- Singh, J., S.K. Upadhyay, R.K. Pathak, and V. Gupta. 2011. Accumulation of heavy metals in soil and paddy crop (*Oryza sativa*), irrigated with water of Ramgarh Lake, Gorakhpur, UP, India. *In Toxicological and Environmental Chemistry*. 93(3): 462-473.
- Wieshammer, G., R. Unterbrunner, T.B. García, M.F. Zivkovic, M. Puschenreiter, and W.W. Wenzel. 2007. Phytoextraction of Cd and Zn from agricultural soils by Salix ssp. and intercropping of Salix caprea and Arabidopsis halleri. *Plant Soil.* 298: 255-264.

- Wu, S.C., Z.H. Cao, Z.G. Li, and K.C. Cheung. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: greenhouse trial. *Geoderma.* 125: 155-166
- Yang, Y., X. Han, Y. Liang, A. Ghosh, J. Chen, and M. Tang. 2015. The Combined e_ectsof arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and lead (Pb) stresson Pb accumulation, plant growth parameters, photosynthesis, and antioxidant enzymesin *Robinia pseudoacacia* L. PLoS ONE. 10: e0145726
- Zacchini, M., F. Pietrini, G.S. Mugnozza, V. Lori, L. Pietrosanti, and A. Massacci. 2009. Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. *Water Air Soil Pollut*.197: 23-34.
- Zahir, Z.A., M. Arshad, and W.T. Frankenberger. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*. 81: 97-168.
- Zhan, F., L. Qin, X. Guo, J. Tan, N. Liu, Y. Zu, and Y. Li. 2016. Cadmium and lead accumulation and low-molecular-weight organic acids secreted by roots in an intercropping of a cadmium accumulator *Sonchus asper* L. with *Vicia faba* L. *RSC Advance*. 6:33240-33248.
- Zhang, X.F., Z.H. Hu, T.X. Yan, R.R. Lu, C.L. Peng, S.S. Li, and Y.X. Jing, 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate Cd phytotoxicity by altering Cd subcellular distribution and chemical forms in Zea mays. *Ecotoxicology Environment Safe*. 171:352-360.

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1918977.1752

Effect of Zeolite and Mycorrhiza Application on Physiological, Yield, Yield Components of Soybean and Accumulation of Lead under Soil Polluted with Lead

Zivar Haidarpour Saremi[1], Mashallah Daneshvar[2*], Omid Ali Akbarpour[2] and Afsaneh Aali Nejadian Bidabadi[3]

Received: December 2020 , Revised: 10 April 2021, Accepted: 16 May 2021

Abstract

One of the important environment pollutants can cited to element lead (Pb) that effected on absorption of nutrients in plants. This investigation was conducted in order study effect zeolite and Mycorrhiza on quality and quantity soyben plant on soil polluted with Pb in greenhouse Faculty of Agriculture, University of Lorestan. The experiment was carried basic factorial in from to random completly design with three repeat. Treatments were incloud; Mycorrhiza fungus in two level (control and application Mycorrhiza) and zeolite in three level (0, 5% and 10% W/W). Soil's all plots were polluted with concentration 200 mg/kg Pb $(NO_3)_2$. Result this investigation indicued, exept height plant, number grain per pod, number pod per plant and number of branches that influenced by main effect Mycorrhiza and zeolite, in other traits intraction was significant. Application zeolite 10% with Mycorrhiza resulted improve LAI (84%), catalase (150%), superoxide dismutase (220%), 1000 grain-weight (51%), grain yield (94%), biological yield (51%) and harvest index (34%) and decreased accumulation of lead in root (43%) and shoot (44%), TF(75%) and BCF in root (43%) and shoot (43%). Heighest grain yield (3609 $kg.ha^{-1}$) and biological yield (9026 $kg.ha^{-1}$) was obtained from use Simultaneous zeolite 10% and Mycorrhiza. Overall application Mycorrhiza and zeolite in addition to decline effects heavy metals in the soil and improve quantitative and qualitative yield of the product can be effective in phytoremediation of heavy metals.

Key words: Catalase, Growth, Oilseed, Phytoremediation, TF.

1- Ph.D. Student, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, KhorramAbad, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, KhorramAbad, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering, Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, KhorramAbad, Iran.
**Corresponding Author:* daneshvar.m@lu.ac.ir