مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۳ شماره ۲ صفحه‌های ۳۹۳ تا ۴۰۸ (۱۴۰۱)
مقاله پژوهشی

ارزیابی کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریزا آربوسکولار و بیوچار بر رشد، عملکرد و غلظت آلوئین در گیاه دارویی صبرزرد (*Aloe vera* L.)[1]

Evaluation of Simultaneous Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Biochar on Growth, Yield and Concentration of Aloin of *Aloe vera* L.

سعید حضرتی*، سبا محبی، حمید محمدی، سعید ملائی[2]

چکیده

به‌منظور بررسی کاربرد هم‌زمان بیوچار و میکوریزا (*Glomus*) بر رشد، عملکرد و غلظت آلوئین گیاه صبر زرد، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح به‌طورکامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارها شامل بیوچار در سه سطح (صفر، ۲۵۰ و۵۰۰ گرم در هر گلدان) و قارچ میکوریزا آربوسکولار در دو سطح (عدم تلقیح و تلقیح ریشه با قارچ) بود. در تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار در هر دو زمان برداشت به ترتیب تعداد برگ ۲۸ و ۱۹ درصد، وزن تر برگ ۴۱ و ۳۶ درصد، وزن تر ژل ۴۰ و ۳۴ درصد، وزن خشک ژل ۵۷ و ۷۴ درصد، وزن‌تر ریشه ۶۵ و ۶۹ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داشت. بیشترین غلظت آلوئین در تیمار ۵۰۰ گرم بیوچار به همراه تلقیح با میکوریزا حاصل گردید. هم‌چنین، بیشترین میزان کربوهیدرات محلول موجود در ژل خشک در برداشت دوم ۶۲/۴۰ میلی‌گرم در گرم در تیمار ۵۰۰ گرم بیوچار به همراه تلقیح به دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، تلقیح ریشه با میکوریزا می‌تواند بر افزایش رشد و عملکرد و کیفیت گیاه صبرزرد مفید باشد اما کاربرد بیوچار به خصوص در مقادیر بالا تاثیر منفی بر گیاه صبر زرد دارد.

واژه‌های کلیدی: آلوئین، بیوچار، صبرزرد، عملکرد، میکوریزا.

مقدمه

صبر زرد[3] از تیره سوسن‌سانان[4] یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی با ارزش اقتصادی بالایی است که در صنایع مختلف غذایی، دارویی و آرایشی-بهداشتی کاربرد گسترده‌ای دارد. گیاه دارویی صبرزرد، در نواحی گرم و خشک از جمله سواحل جنوبی کشور می‌روید (۱۰). گیاه صبر زرد دارای ترکیب‌های متفاوت از جمله ویتامین‌های C، B، A و E بوده که بدن انسان قادر به ساختن آن‌ها نیست. هم‌چنین دارای مواد معدنی، آنزیم‌ها، قندها و ترکیب‌های فنولی نیز می‌باشد. شیرآبه‌ی موجود در برگ‌های آن حاوی ترکیب‌های فنولی است که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی بالایی می‌باشد. این ترکیب‌ها بیشتر در گروه کرومون‌ها و آنتراکینون‌ها طبقه‌بندی می‌شوند که مهم‌ترین آنها، ترکیب آلوئین می‌باشد (۱۸).

یک فن‌آوری معمول برای افزایش حاصلخیزی خاک، مدیریت تلفیقی گیاهان زراعی است که شامل استفاده از انواع کودهای دامی یا آلی و زیستی در خاک است ولی به دلیل تجزیه سریع، اثر این مواد پس از گذشت مدت زمان به نسبت کوتاهی به شدت کاهش یافته و یا به تقریب از بین می‌رود. بنابراین کشاورزان ملزم به مصرف مداوم و سالیانه این مواد در خاک هستند. این موضوع افزون بر ایجاد مشکلات زیست محیطی، افزایش هزینه تولید را نیز در پی دارد (۲۳). بیوچار[5] که امروزه به عنوان یک

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲ تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۵

۲- به‌ترتیب دانشیار، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز و دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (saeid.hazrati@azaruniv.ac.ir).

۳- *Aloe vera* L. ۴- Liliaceae ۵- Biochar

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]
[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]

اصلاح‌کننده خاک برای تهیه بستر کاشت بسیاری از گیاهان به‌کاربرده می‌شود یک ماده جامد غنی از کربن می‌باشد که طی فرآیند پیرولیز یا گرماکافت توده زیستی در شرایط عدم حضور و یا حضور جزئی اکسیژن تولید می‌شود. نتایج متعدد نشان می‌دهد که مصرف بیوچار از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باعث تحریک و افزایش فعالیت میکروبی مانند فعالیت آنزیمی، معدنی شدن عناصر و کاهش خروج گازهای گلخانه‌ای می‌گردد. هم‌چنین مصرف بیوچار علاوه بر افزایش pH خاک، میزان کربن آلی خاک را نیز افزایش می‌دهد (۱۶). بنابراین، مصرف بیوچار به عنوان یک ماده‌ی آلی، به ویژه در خاکهای مناطق خشک و نیمه‌خشک با ماده‌ی آلی پایین توصیه می‌گردد. بیوچار در شرایط مختلف با افزایش یا کاهش فراهمی عناصر غذایی منجر به بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود. با توجه به حضور غلظت‌های بالایی از اکسیدهای عناصر قلیایی (Ca^{2+} و Mg^{2+}) و غلظت کم Al^{+3} محلول در خاک، با افزودن بیوچار به خاک قلیایی، جذب فسفر افزایش یافته و فراهمی فسفر کاهش می‌یابد، همچنین افزودن بیوچار می‌تواند سطوح پتاسیم قابل تبادل در خاک را به دو طریق، افزودن پتاسیم موجود در بخش خاکستر بیوچار و نیز از طریق کاهش تلفات پتاسیم به واسطه‌ی شست‌وشو افزایش دهد (۶). تأثیر بیوچار بر عملکرد گیاه به فاکتورهای مختلف از جمله وضعیت حاصلخیزی اولیه‌ی خاک، بافت خاک، رطوبت خاک، دمای تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار و حتی نوع گیاه بستگی دارد و می‌تواند باعث افزایش یا کاهش عملکرد گیاه گردد، کاربرد بیوچار باعث تحریک همسان‌سازی می‌شود که می‌تواند به فراهمی فسفر برای بسیاری از محصولات کشاورزی کمک کند (۱۳).

میکوریزا از رایج‌ترین و متداول‌ترین ارتباط‌های همزیستی در سلسله‌ی گیاهی است. در این نوع همزیستی ریشه‌ها به‌وسیله قارچ‌ها همسان‌سازی می‌شوند و قارچ در مقابل دریافت کربن از گیاه، عناصر غذایی و آب به گیاه داده و از این طریق احتیاجات غذایی گیاه را که در فقدان همزیستی وجود دارد برآورده می‌کند؛ در نتیجه گیاه میزبان به رشد خود ادامه داده و از طرف دیگر در شرایط مختلف و به‌خصوص در مواردی که گیاه با محدودیت‌ها و تنش‌های محیطی روبرو می‌شود، بقاء رشد و توسعه‌ی گیاه میزبان را با تأمین عناصر غذایی و آب فراهم می‌آورد (۲۰). قارچ‌های میکوریزا موجب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک و به‌خصوص از منابع غیرقابل دسترس آن‌ها می‌شوند. امروزه مشخص شده است که قارچ‌های میکوریزا به روش‌های مستقیم مانند جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش جذب آب توسط گیاه و روش‌های غیرمستقیم مانند کاهش تنش‌های زیستی (بیماری‌های گیاهی و ...) و غیرزیستی (شوری، خشکی، عناصر سنگین و ...) سبب افزایش رشد گیاهان میزبان می‌گردند (۲۴).

در پژوهشی، Vanek و Lehmann (۲۵) با مطالعه فراهمی فسفر در لوبیا از طریق برهمکنش بین بیوچار و میکوریزا گزارش کردند که کاربرد بیوچار با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار منجر به افزایش رشد و غلظت فسفر در گیاه می‌شود، پژوهشگران بیان کردند که غلظت فسفر در بخش‌های هوایی گیاه به‌طور چشمگیری بیشتر از تیمار شاهد (عدم تلقیح) می‌باشد و همچنین نتایج نشان داد که کابرد بیوچار همراه با تلقیح میکوریزا ویژگی‌های شیمیایی و نیز فراهمی عناصر در خاک و گیاه را افزایش داده که نشان‌دهنده همبستگی بالای این تیمارها با قارچ‌های میکوریزا ریشه بوده است. در مطالعه‌ی دیگری Mader و همکاران (۱۳) نیز گزارش کردند که افزودن بیوچار به خاک منجر به افزایش ۳۰ تا ۶۰ درصد همسانه‌سازی میکوریزا ریشه در ریزوسفر گندم می‌شود.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی تغییرات رشدی و عملکردی گیاه صبرزرد و نیز تعیین تغییرات کمی آلوئین استخراج شده از برگ گیاه، در شرایطی که خاک دارای مقادیر مختلفی از بیوچار بوده و ریشه گیاه با میکوریزا تلقیح شده بود، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی میزان رشد، عملکرد و غلظت آلوئین گیاه صبرزرد تحت تأثیر کاربرد هم‌زمان قارچ میکوریزا آربوسکولار و بیوچار آزمایشی در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان با شدت نور ۴۵۰ میکرومول‌برمتر مربع بر ثانیه، تناوب نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، تناوب دمایی ۲۵ درجه سلسیوس روز و ۲۰ درجه سلسیوس شب و رطوبت نسبی ۶۵ درصد در طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح به‌طورکامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح بیوچار (صفر ، ۲۵۰ و ۵۰۰ گرم در هر گلدان) و دو سطح قارچ میکوریزا آربوسکولار (عدم تلقیح و تلقیح ریشه) بود.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]

در این آزمایش بیوچار از شرکت تعاونی تولیدی فصل پنجم و قارچ میکوریزای آربوسکولار (*Glomus mosseae*، *G. intraradices* و *G. etunicatum*) از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور اعمال شرایط نسبی یکسان برای همه تکرارها و تیمارها گیاهچه‌های به‌نسبت یکسان انتخاب و کشت شدند. بدین منظور پاجوش‌های گیاه صبرزرد که دارای ارتفاع ۱۵ تا ۱۸ سانتی‌متر و وزن تقریبی ۱۱۰ تا۱۲۰ گرم بودند به صورت تصادفی از مزرعه گیاه صبر زرد در استان بوشهر انتخاب و به گلخانه جهت کشت منتقل شدند. جهت کشت ابتدا خاک مورد استفاده جهت کشت صبرزرد با ۲۵۰ و ۵۰۰ گرم بیوچار مخلوط کرده و گلدان‌هایی با ظرفیت ۱۵ لیتر پر شد. خصوصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده (بافت: لومی-شنی، نیتروژن کل: ۰/۰۴ درصد، فسفر قابل جذب: ۲۲/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، پتاسیم قابل جذب: ۳۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مواد آلی: ۰/۴ درصد، اسیدیته (pH): ۷/۵، هدایت الکتریکی (EC): ۱/۷۹ dS/m) بود. جهت پر کردن گلدان‌ها ابتدا در کف گلدان‌ها روی مجرای خروجی یک لایه‌ی توری پارچه‌ای قرار داده شد و سپس یک لایه زهکش از جنس شن متوسط، به قطر ۲ میلی‌متر روی توری قرار گرفته و روی آن نیز یک لایه توری دیگر که تمام سطح شن‌ها را بپوشاند قرار داده شد پس از پر کردن گلدان‌ها آبیاری آن‌ها انجام شده و بعد از گذشت ۴۸ ساعت با توجه به یکنواختی نسبی رطوبت بعد از اینکه خاک گلدان به مرحله ظرفیت زراعی رسید کشت پاجوش‌ها انجام گردید. بدین صورت که قبل از کشت، ۵۰ گرم قارچ میکوریزا (که هر گرم دارای ۱۲۰ عدد اسپور زنده بود) بر اساس پیشنهاد شرکت سازنده به ریشه تعدادی از پاجوش‌هایی که طبق طرح دارای تلقیح بودند اضافه گردید و کشت نهایی انجام شد. همچنین آبیاری پاجوش‌ها به صورت هفتگی با توجه به نیاز گیاه انجام پذیرفت. در این آزمایش نمونه برداری در دو مرحله ۸۰ و ۱۶۰ روز پس از اعمال تیمارها زمانی که اندازه برگ‌ها به حدی رسیده بود که از نظر اقتصادی قابل برداشت بود، صورت گرفت (۱۰) و برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عملکرد و زیست‌شیمیایی ارزیابی شدند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های ریخت‌شناسی

ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش از سطح خاک گلدان تا نوک بزرگ‌ترین برگ اندازه‌گیری شد.

تعداد برگ‌های هر گیاه مادری موجود در گلدان شمارش شد. سپس تعداد چهار عدد برگ از هر گیاه مادری که به بیشینه رشد خود از نظر اقتصادی رسیده بودند را از قسمت پایین برگ که متصل به ساقه می‌باشد برداشت کرده و به آزمایشگاه جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد مطالعه منتقل گردید.

عملکرد

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده مربوط به عملکرد گیاه صبرزرد شامل موارد ذیل بودند:

وزن‌تر برگ، ژل و پوست برگ

تعداد چهار برگ که به صورت تصادفی از پایین‌ترین برگ‌های متصل به ساقه، انتخاب و از گیاه مادری جدا کرده و به آزمایشگاه منتقل و به‌وسیله ترازو حساس دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین گردید. برای اندازه‌گیری وزن‌تر ژل موجود هر برگ، ابتدا کناره‌ها، سر و ته هر برگ را با چاقو برش داده، سپس ژل را با استفاده از کارد استخراج شده و با استفاده از ترازو حساس دیجیتالی توزین گردید. بعد از خارج نمودن ژل، پوست‌تر برگ به‌وسیله ترازو وزن شد.

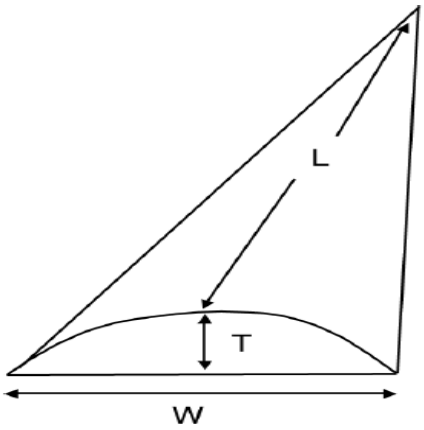
حجم برگ

حجم برگ که یکی از معیارهای سنجش در رشد و عملکرد گیاه صبر زرد می‌باشد با استفاده از طول، عرض و قطر برگ اندازه‌گیری شده، محاسبه می‌گردد. در شکل ۱ طرز محاسبه حجم برگ بر اساس روش زیر مشخص شده است (۱۱):

$$V= (L/12)3.14*W*T$$

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]



قطر برگ =T عرض برگ =W طول برگ =L

شکل۱- شکل هندسی تقریبی حجم برگ گیاه صبر زرد و پارمترهای مورد استفاده جهت محاسبه آن.

Fig. 1. Diagram of the approximate geometry of *Aloe vera* leaves and definition of parameters for volume calculation.

اندازه‌گیری وزن خشک ژل برگ

ژل برگ‌ها را به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در دستگاه آون قرار داده و بعد از خشک شدن به وسیله ترازو حساس دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین گردید (۱۰).

اندازه‌گیری وزن‌تر اندام هوایی (زیست توده)

جهت اندازه‌گیری زیست توده کل، گیاه از قسمت طوقه که ساقه به ریشه متصل است را جدا کرده و به آزمایشگاه منتقل و به‌وسیله ترازو توزین گردید.

اندازه‌گیری وزن‌تر و خشک ریشه

ریشه جدا شده از هر گیاه مادری به آزمایشگاه منتقل شده و وزن‌تر آن با استفاده از ترازو حساس دیجیتالی توزین گردید. ریشه‌ها را به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در دستگاه خشک‌کن قرار داده و بعد از خشک شدن به وسیله ترازو حساس دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین گردید.

اندازه‌گیری عملکرد شیرابه

از هر گیاه صبرزرد موجود در گلدان چهار برگ به صورت تصادفی انتخاب کرده و با استفاده از کارد قسمت انتهایی برگ که به ساقه متصل است برش داده و شیرآبه زرد رنگ خارج شده داخل فالکون‌های تمیز ریخته شد. برای تسهیل در خروج شیرآبه زرد رنگ از برگ صبرزرد، جمع‌آوری در ساعت ۱۲ ظهر به دلیل بالا بودن دما انجام شد و همچنین برای جلوگیری از تغییر در ترکیب آن و اکسید شدن، بی‌درنگ درون ازت مایع قرار داده و به فریزر با دمای ۲۰- درجه سلسیوس منتقل گردید (۱۰).

اندازه گیری غلظت آلوئین

به ۲ میلی گرم شیرابه آلوئین ۲۰ گرم گلیسیرین اضافه گردید و سپس در تبخیرکننده دوار قرار گرفت تا مقداری حلال آن حذف شود و غلیظ گردد، سپس ۳ برابر حجم اولیه، محلول اتیل-استات اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت بالا در دستگاه همزن مغناطیسی با مغناطیس همزده شد و در قیف جداکننده، جداسازی شده و دوباره توسط دستگاه تبخیرکننده دوار تغلیظ شد. سپس ۱۲ برابر حجم آن، ایزوبوتانول اضافه گردید و به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شد و به مدت ۴ ساعت در دمای ۵ درجه سلسیوس نگهداری شد تا رسوب تشکیل شود، سپس رسوب تشکیل شده برای جداسازی و شناسایی آلوئین موجود در شیرابه از دستگاه HPLC ساخت کشور چین (RIGOL)با سیستم آشکار ساز L-3500 UV-Vis، ستون Eurospher II C18 با ابعاد ۴/۶ ×۲۵۰ میلی‌متر،ظرفیت لوپ ۲۰ میکرولیتر و پمپ L-3245 Quaternary pump و دارای سیستم تزریق دستی استفاده شد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]

حلال شویشی آب و استونیتریل HPLC grade با سرعت جریان حلال ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه بود. استاندارد آلوئین از شرکت سیگما آلدریچ[1] تهیه گردید که دارای خلوص ۷۰ درصد بود (۱۰).

اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول

برای سنجش کربوهیدارت محلول کل، ژل خشک گیاه صبرزرد به مقدار ۰/۱ گرم توزین گردید و پس از همگن شدن با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد در بالن مخصوص مبرد در حمام آب در حال جوش به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد. سپس، محتویات بالن با کاغذ واتمن شماره ۲ صاف شد. روی محلول صاف شده ۵ میلی‌لیتر هیدروکسید باریم ۰/۳ نرمال و ۵ میلی‌لیتر سولفات روی ۵ درصد اضافه شد. مخلوط فوق در سرعت ۵۰۰۰rpm به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس بخش رویی به یک بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری انتقال یافت و حجم آن با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

برای ارزیابی قندهای محلول از محلول های فنل و اسیدسولفوریک استفاده گردید. به این ترتیب که به ۲ میلی‌لیتر از هر یک از محلول‌های به‌دست آمده فوق به ترتیب ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک خالص اضافه شد. جهت تهیه محلول شاهد در یک لوله آزمایش، ۲ میلی‌لیتر آب مقطر، ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتراسیدسولفوریک خالص اضافه شد. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه، جذب هر یک از محلول‌ها در طول موج ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر($T80^+$ UV–Vis spectrophotometer (PG Instrument Ltd., UK) قرائت شد. مقادیر نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز بر اساس میلی‌گرم برگرم وزن خشک ژل محاسبه شدند (۸).

واکاوی داده‌ها

آزمایش در چهار تکرار و در هر تکرار ۴ گیاه مورد اندازه گیری قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده برای هر ویژگی با رعایت اصول آماری و قوانین تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹.۲) تجزیه شد. داده‌های آزمایش با استفاده از آزمون عدم معنی‌داری به روش آندرسون- دارلینگ آزموده شدند و در مواردی که نتایج این آزمون معنی‌دار بود، برای نرمال کردن داده‌ها از روش تبدیل داده استفاده شد. برای مقایسه میانگین اثرات اصلی از آزمون LSD و برهمکنش از LSMEANS در سطح احتمال یک و پنج درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excell نسخه ۲۰۱۳ استفاده گردید.

نتایج

ویژگی‌های ریخت‌شناسی

ارتفاع گیاه و تعداد برگ

نتایج نشان داد که بیوچار، میکوریزا و زمان برداشت و برهمکنش بیوچار و میکوریزا در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود. همچنین در این مطالعه برهمکنش سه‌گانه تیمار بیوچار، میکوریزا و زمان برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در رابطه با تعداد برگ، اثرات اصلی در سطح احتمال پنج درصد و برهمکنش بیوچار و میکوریزا و برهمکنش سه‌گانه بیوچار، میکوریزا و زمان برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به مقایسه میانگین تأثیر کاربرد هم‌زمان میکوریزا و بیوچار، بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار، به ترتیب در برداشت اول و دوم ۵۳/۷۵ و ۷۴ سانتی‌متر و بعد از آن در تیمار کاربرد ۲۵۰ گرم بیوچار به همراه تلقیح با میکوریزا (۳۳/۲۵ و ۵۷/۲۵ سانتی‌متر، برداشت اول و دوم به ترتیب) مشاهده گردید. کمترین ارتفاع گیاه نیز در تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار بدون تلقیح با میکوریزا (۲۵ و ۳۸/۲۵ سانتی‌متر، برداشت اول و دوم به ترتیب) مشاهده گردید (جدول ۱). برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و میکوریزا نشان داد که بیشترین تعداد برگ در برداشت اول و دوم به ترتیب در تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار (۱۵ و ۱۷/۷۵ عدد) و بعد از آن تیمار تیمار کاربرد ۲۵۰ گرم بیوچار به همراه تلقیح میکوریزا (۱۲/۷۵ و ۱۶/۷۵ عدد، برداشت اول و دوم به ترتیب) حاصل گردید و در مقابل کمترین تعداد برگ مربوط به تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار بدون تلقیح با میکوریزا (۸/۲۵ و۱۲/۰۰ عدد، برداشت اول و دوم به ترتیب) به‌دست آمد (جدول ۱).

۱- Sigma Aldrich

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]

جدول ۱- مقایسه میانگین کاربرد هم‌زمان بیوچار و تلقیح با میکوریزا بر برخی ویژگی‌های گیاه صبرزرد.

Table 1. Interaction effect of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on some traits of *A. vera.*

زمان برداشت Harvest time	بیوچار Biochar	قارچ میکوریزا آربوسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi	تعداد برگ Number of leaves/ plant	حجم برگ Leaf volume/cm^3	ارتفاع گیاه Plant height/cm	وزن‌خشک ژل Gel dry weight/g
برداشت اول First harvest	صفر (0)	عدم تلقیح non-inoculation	10.75^c	58.92^c	30.75^c	0.56^c
		تلقیح Inoculation	15.00^a	194.37^a	53.75^a	1.33^a
	۲۵۰ گرم 250 g	عدم تلقیح non-inoculation	10.50^c	46.88^d	30.00^c	0.45^d
		تلقیح Inoculation	12.75^b	107.68^b	33.25^b	0.81^b
	۵۰۰ گرم 500 g	عدم تلقیح non-inoculation	8.25^d	30.83^e	25.00^e	0.32^e
		تلقیح Inoculation	10.25^c	39.53^e	28.00^d	0.41^d
برداشت دوم Second harvest	صفر (0)	عدم تلقیح non-inoculation	14.25^c	103.43^c	50.50^c	1.17^c
		تلقیح Inoculation	17.75^a	270.80^a	74.00^a	4.47^a
	۲۵۰ گرم 250 g	عدم تلقیح non-inoculation	14.00^c	76.83^d	50.25^c	1.02^c
		تلقیح Inoculation	16.75^b	166.70^b	57.25^b	1.60^b
	۵۰۰ گرم 500 g	عدم تلقیح non-inoculation	12.00^d	46.90^j	38.25^e	0.75^e
		تلقیح Inoculation	14.75^c	64.69^e	41.00^d	0.92^d

Means in each columns with the same letters are not significant differences at $P < 0.05$ by LSD test.

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری براساس آزمون LSD می‌باشد.

ویژگی‌های عملکرد

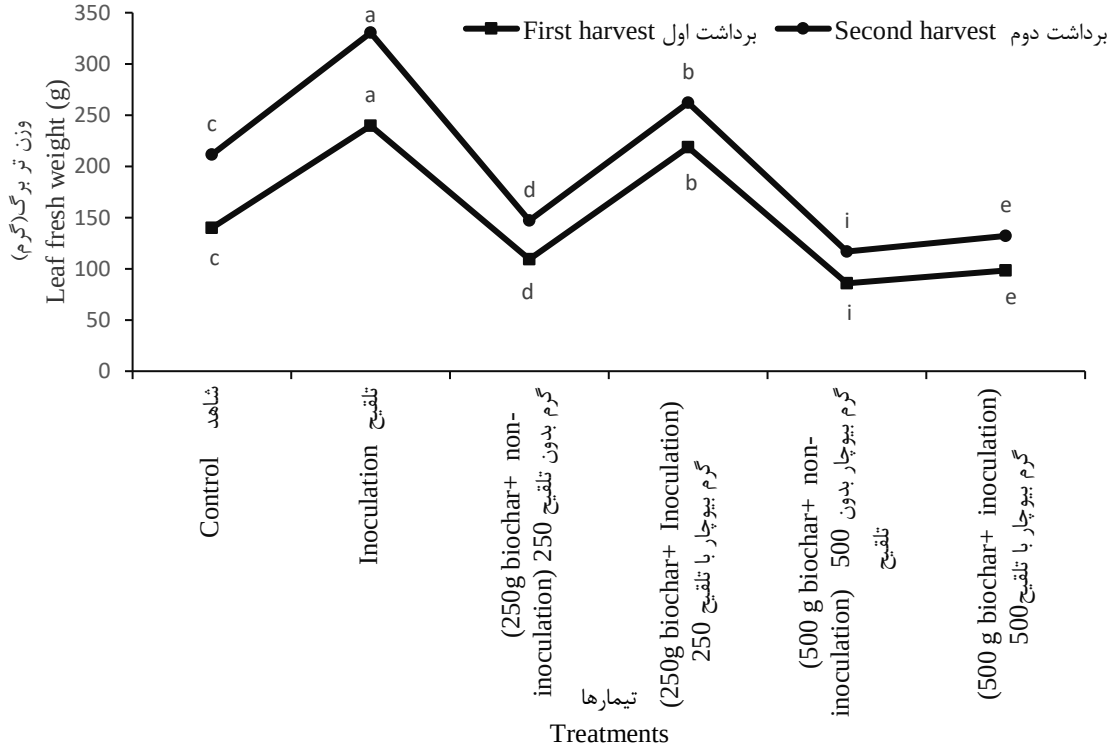
طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثرات اصلی تیمار میکوریزا و بیوچار و همچنین برهمکنش میکوریزا و بیوچار بر ویژگی‌های مربوط به عملکرد گیاه صبرزرد شامل وزن‌تر برگ و پوست برگ، وزن‌تر ژل و حجم برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و در این ویژگی‌ها برهمکنش سه‌گانه زمان برداشت، بیوچار و میکوریزا در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. همچنین، زیست توده و وزن‌خشک ژل تحت تأثیر اثرات اصلی تیمار بیوچار و میکوریزا و همچنین برهمکنش بیوچار، میکوریزا و زمان برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد در برداشت اول و دوم به ترتیب بیشترین وزن‌تر برگ در تیمار فقط تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار (۲۳۹/۶۷ و ۳۳۰/۴۳ گرم) و کمترین وزن‌تر برگ در برداشت اول و دوم به ترتیب در تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار بدون تلقیح با میکوریزا (۸۵/۸۰ و ۱۱۶/۸۱ گرم) به‌دست آمد، به طوریکه با افزایش بیوچار میزان وزن تر برگ کاهش یافت (شکل ۲). براساس مقایسه میانگین برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و میکوریزا بیشترین وزن‌تر ژل در برداشت اول و دوم به ترتیب در تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار (۱۶۱/۱۲ و ۲۰۰/۵۰ گرم) و نیز بیشترین وزن‌خشک ژل در تیمار تلقیح با میکوریزا (۱/۳۳ و ۴/۴۷ گرم) حاصل گردید. در مقابل، کمترین وزن‌تر ژل در برداشت اول و دوم به ترتیب در تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار بدون تلقیح با میکوریزا (۵۴/۶۴ و ۷۶/۶۲ گرم) و نیز کمترین وزن‌خشک ژل در تیمار نامبرده (۰/۳۲ و ۰/۷۵ گرم) حاصل گردید (شکل ۳ و جدول ۱). بیشترین وزن تر پوست برگ در برداشت اول و

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]

دوم نیز در تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار (۷۸/۵۵ و ۱۲۹/۹۳ گرم) مشاهده شد، در مقابل کمترین وزن پوست برگ در تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار بدون تلقیح با میکوریزا (۳۱/۱۵ و ۴۰/۱۹ گرم) حاصل گردید (شکل ۴). باتوجه به مقایسه میانگین برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و میکوریزا بیشترین مقدار زیست توده هر بوته در برداشت اول و دوم به ترتیب در تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار (۳/۰۰ و ۳/۹۵ کیلوگرم) در هر بوته حاصل گردید. در مقابل، کمترین میزان زیست توده کل هر بوته در برداشت اول و دوم به ترتیب در تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار بدون تلقیح با میکوریزا (۰/۸۶ و ۰/۹۱ کیلوگرم) مشاهده شد (شکل ۵).

برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و میکوریزا نشان داد که بیشترین حجم برگ در برداشت اول و دوم به ترتیب در تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار (۱۹۴/۳۷ و ۲۷۰/۸۰ سانتی‌متر مکعب) حاصل گردید و با افزایش بیوچار، میزان حجم برگ کاهش یافت و کمترین حجم برگ در تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار بدون تلقیح با میکوریزا (۳۰/۸۳ و ۴۶/۹۰ سانتی‌متر مکعب) حاصل گردید (جدول ۱).



شکل ۲- برهمکنش بیوچار و میکوریزا بر وزن تر برگ گیاه صبر زرد.

Fig. 2. Interaction effect of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on leaf fresh weight of *A. vera*.

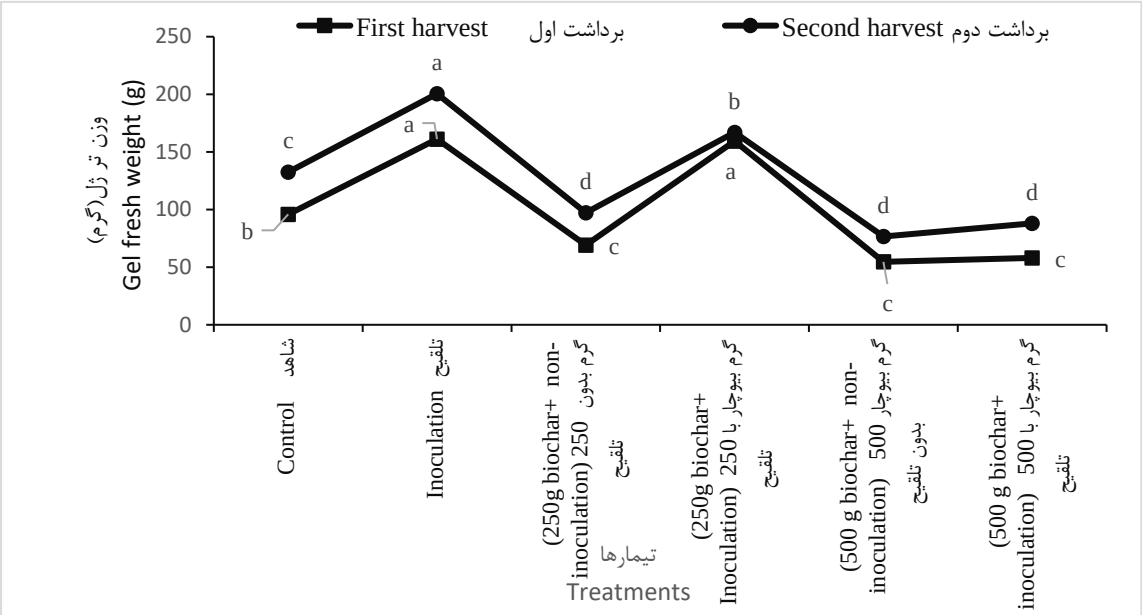
ویژگی‌های ریشه

وزن‌تر و خشک ریشه تحت تأثیر اثرات اصلی تیمار بیوچار و میکوریزا و همچنین برهمکنش بیوچار و میکوریزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در ویژگی‌های مربوط به ریشه، برهمکنش سه‌گانه میکوریزا، بیوچار و زمان برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد.

بررسی مقایسه میانگین برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و میکوریزا نشان داد که بیشترین وزن‌تر ریشه در تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار در برداشت اول (۲۷۵/۷۴ گرم) و دوم (۳۳۰/۲۹ گرم) به‌دست آمد (شکل ۶). برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و میکوریزا نشان داد که بیشترین وزن‌خشک ریشه در برداشت اول و دوم به ترتیب در تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار (۵۶/۲۰ و ۱۲۵/۴۸ گرم) به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان داد با افزایش بیوچار وزن ریشه کاهش یافت، به طوری‌که کمترین وزن‌تر ریشه نیز در برداشت اول و دوم به ترتیب در تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار بدون تلقیح با میکوریزا (۲۰/۳۶ و ۴۱/۵۱ گرم) و همچنین کمترین وزن‌خشک ریشه در تیمار نامبرده (۲۰/۳۶ و ۴۱/۵۱ گرم) مشاهده شد (شکل ۷).

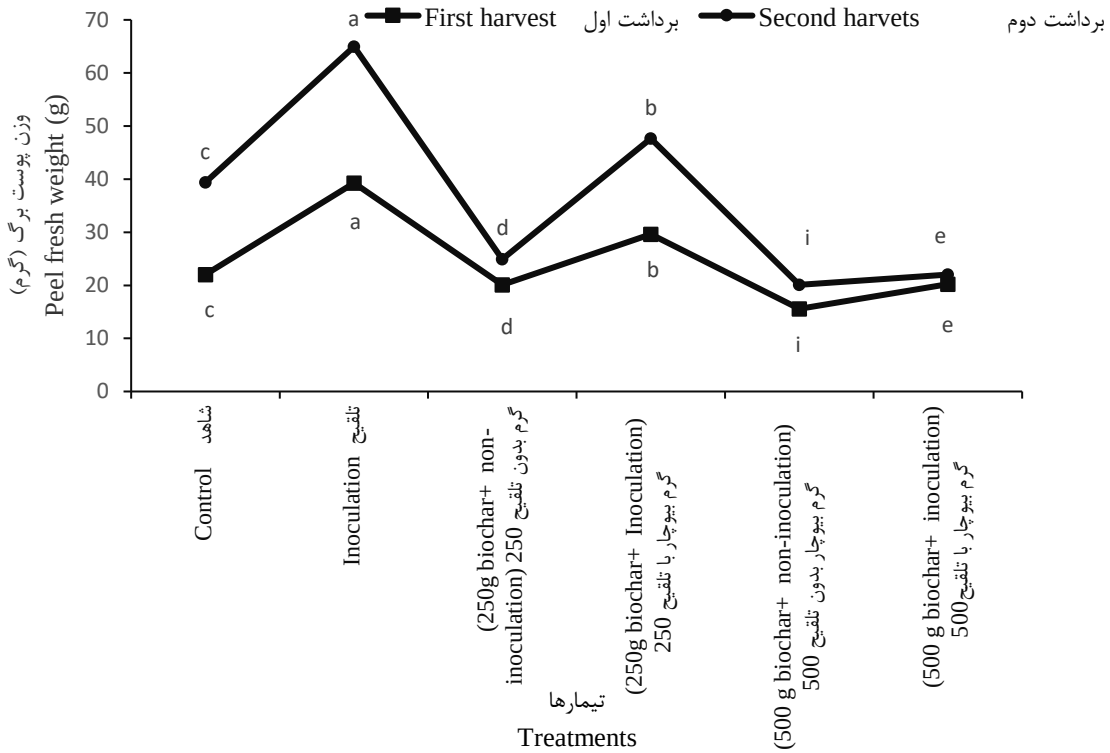
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و تلقیح با میکوریزا بر وزن تر ژل صبرزرد.

Fig. 3. Interaction effect of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on gel fresh weight of *A. vera.*

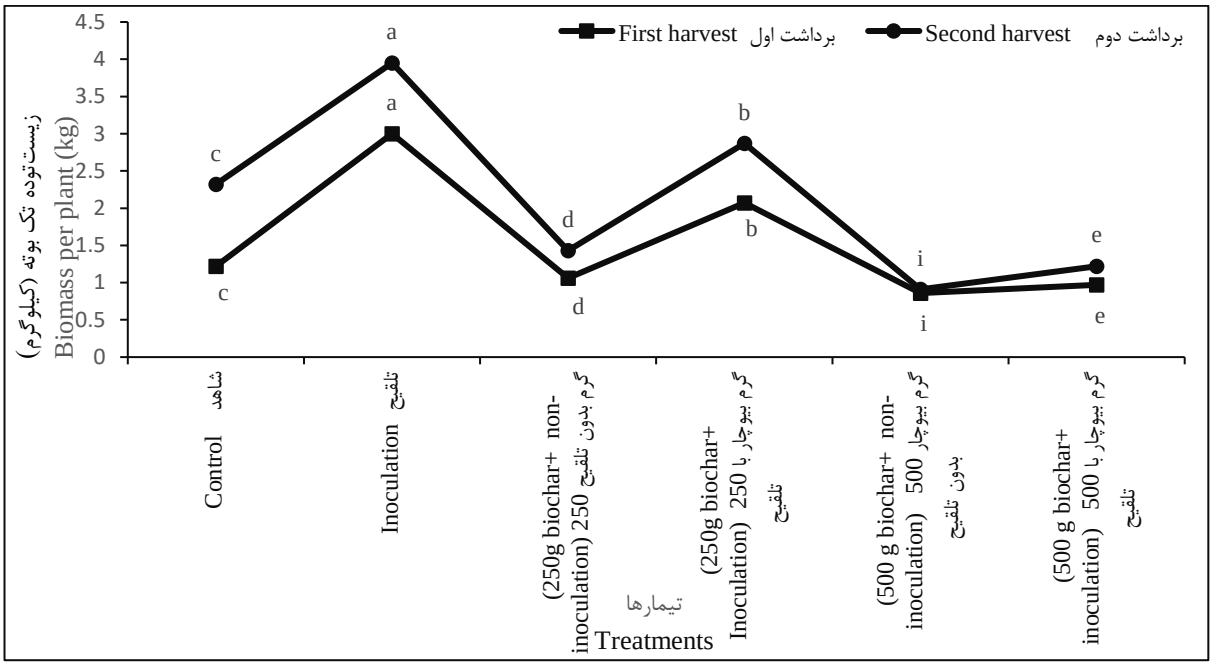


شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و تلقیح با میکوریزا بر وزن پوست برگ صبرزرد.

Fig. 4. Interaction effect of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on peel fresh weight of *A. vera.*

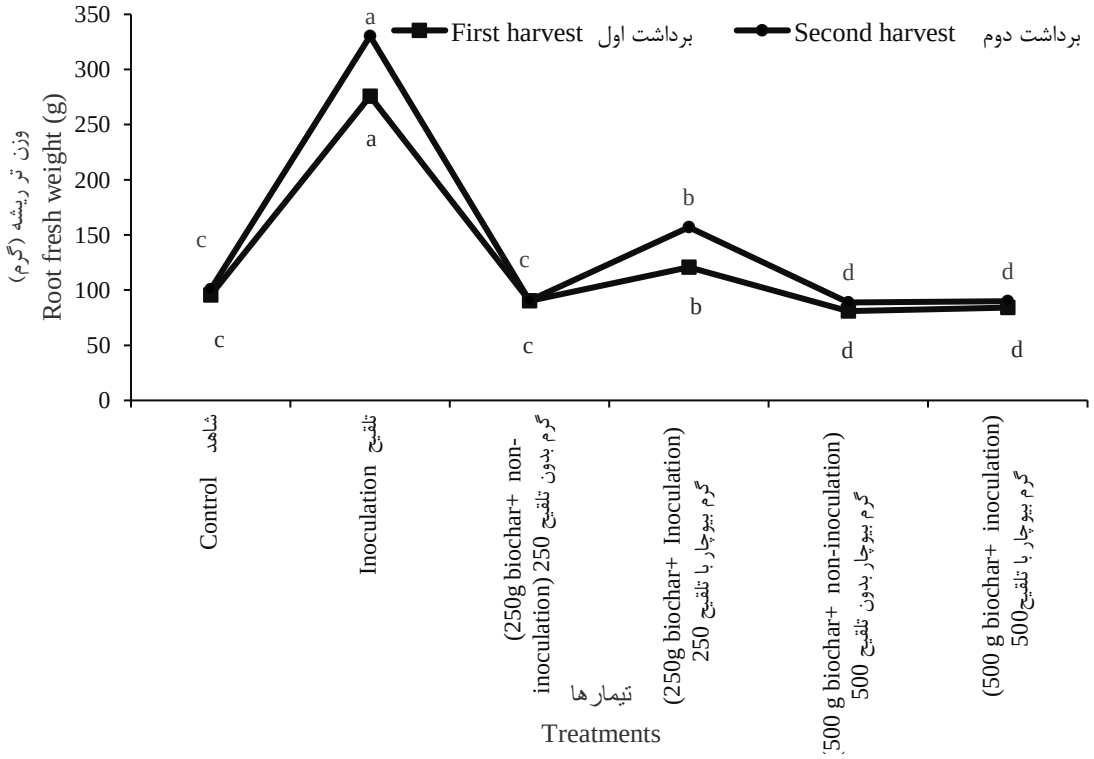
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]



شکل۵- مقایسه میانگین برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و تلقیح با میکوریزا بر وزن‌تر زیست‌توده بوته صبرزرد.

Fig. 5. Interaction effect of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on biomass fresh weight of *A.vera.*

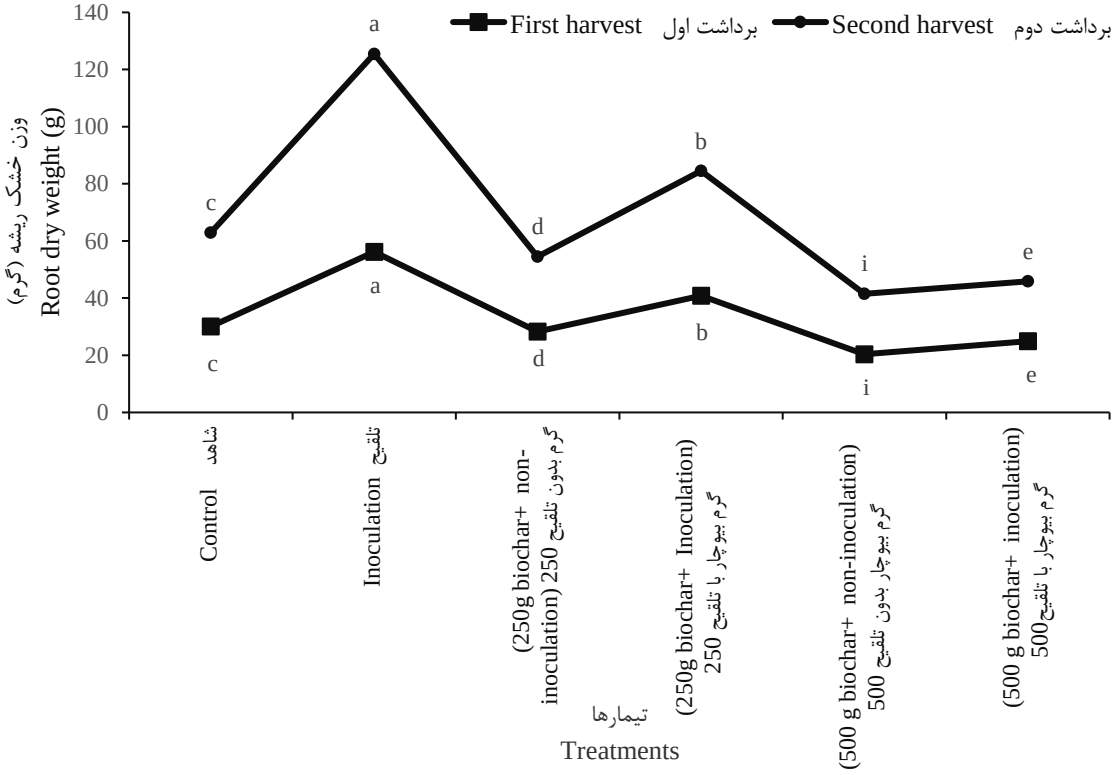


شکل ۶- مقایسه میانگین برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و تلقیح با میکوریزا بر وزن‌تر ریشه صبرزرد.

Fig. 6. Interaction effect of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on root fresh weight of *A. vera.*

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]



شکل ۷- مقایسه میانگین برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و تلقیح با میکوریزا بر وزن خشک ریشه صبرزرد.

Fig. 7. Interaction effect of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on root dry weight of *A.vera*.

عملکرد شیرابه و غلظت آلوئین

در این پژوهش تأثیر تیمار بیوچار و میکوریزا بر عملکرد شیرآبه و غلظت آلوئین مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس، اثر معنی‌دار بیوچار، تلقیح میکوریزا و زمان برداشت بر عملکرد شیرآبه آلوئین را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، اثرات اصلی تیمار بیوچار، میکوریزا و برهمکنش بیوچار و میکوریزا در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد شیرآبه آلوئین معنی‌دار بود. همچنین، اثر اصلی زمان برداشت و برهمکنش سه‌گانه بیوچار، میکوریزا و زمان برداشت بر عملکرد شیرآبه آلوئین در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد شیرآبه در برداشت اول و دوم به‌ترتیب در تیمار فقط تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار (۳/۵۰ و ۸/۶۶ گرم) به‌دست آمد در مقابل کمترین عملکرد شیرآبه آلوئین در تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار بدون تلقیح با میکوریزا (۱/۳۳ و ۱/۶۶ گرم) حاصل گردید (جدول ۲).

جدول ۲ غلظت آلوئین گیاه صبرزرد تحت تاثیر برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و تلقیح با میکوریزا را نشان می‌دهد. در شکل شماره ۸ کروماتوگرام آلوئین A و B استخراج شده از شیرابه گیاه صبر زرد بر اساس تزریق به دستگاه HPLC مشخص شده است، همانطور که نتایج جدول ۲ نشان داد بخش قابل توجهی از آلوئین کل را آلوئین B در همه تیمارها تشکیل می‌دهد. بیشترین غلظت آلوئین در برداشت اول و دوم به ترتیب در تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا (۴۹/۹۴ و ۲۱۹/۸۶ میلی‌گرم در گرم) و تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار به همراه تلقیح با میکوریزا (۴۸/۹۹ و ۹۷/۷۲ میلی‌گرم در گرم) به‌دست آمد (شکل ۹).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]

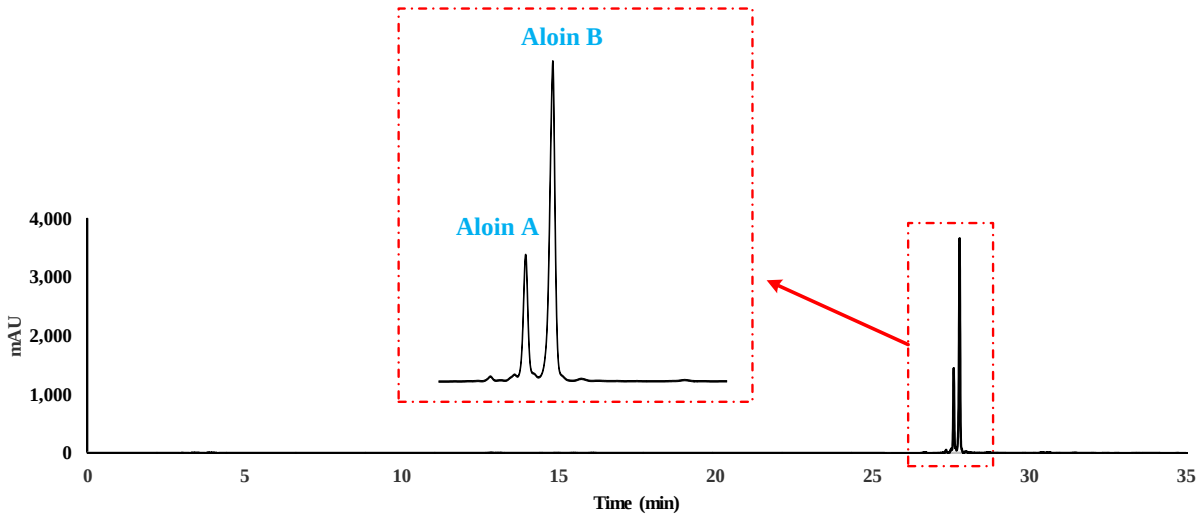
جدول ۲- مقایسه میانگین برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و تلقیح با میکوریزا بر عملکرد شیرآبه آلوئین و غلظت آلوئین A و B گیاه صبرزرد.

Table 2. Interaction effect of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on latex yield, aloin concentration, aloin A and B of *A. vera*.

زمان برداشت Harvest time	بیوچار Biochar	قارچ میکوریزا آربوسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi	عملکرد شیرآبه (گرم) Latex yield (g)	آلوئین A (درصد) Aloin (A) (%)	آلوئین B (درصد) Aloin (B) (%)
برداشت اول First harvest	صفر (0)	عدم تلقیح non- inoculation	2.50[c]	11.9	88.1
		تلقیح Inoculation	3.50[a]	26.4	13.6
	۲۵۰ گرم 250 g	عدم تلقیح non- inoculation	1.50[d]	16.6	83.4
		تلقیح Inoculation	2.83[b]	18.2	81.8
	۵۰۰ گرم 500 g	عدم تلقیح non- inoculation	1.33[d]	12.6	87.4
		تلقیح Inoculation	1.50[d]	17.8	82.2
برداشت دوم Second harvest	صفر (0)	عدم تلقیح non- inoculation	3.66[c]	24.1	75.9
		تلقیح Inoculation	8.66[a]	27.9	72.1
	۲۵۰ گرم 250 g	عدم تلقیح non- inoculation	2.50[d]	31.3	68.7
		تلقیح Inoculation	6.83[b]	26.4	73.6
	۵۰۰ گرم 500 g	عدم تلقیح non- inoculation	1.66[e]	36.7	63.3
		تلقیح Inoculation	1.83[e]	26.4	73.6

Means in each columns with the same letters are not significant differences at $P < 0.05$ by LSD test.

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری براساس آزمون LSD می‌باشد.

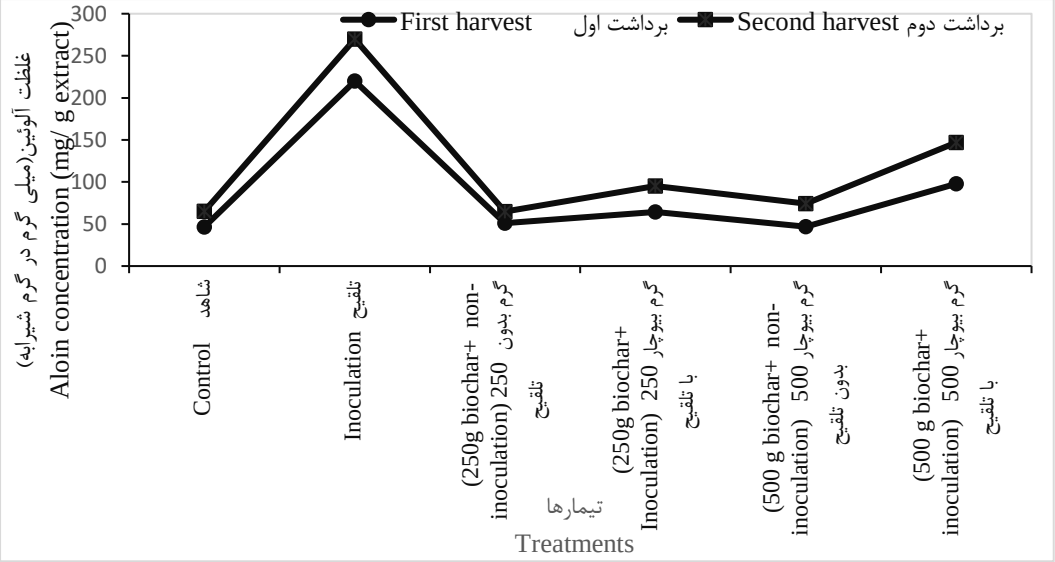


شکل۸- کروماتوگرام HPLC آلوئین حاصل از عصاره شیرابه گیاه.

Fig. 8. HPLC chromatogram of aloin extracted from latex.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]



شکل ۹- برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و تلقیح با میکوریزا بر غلظت آلوئین گیاه صبر زرد.

Fig. 9. Interaction effect of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on aloin concentration of *A. vera.*

کربوهیدرات محلول

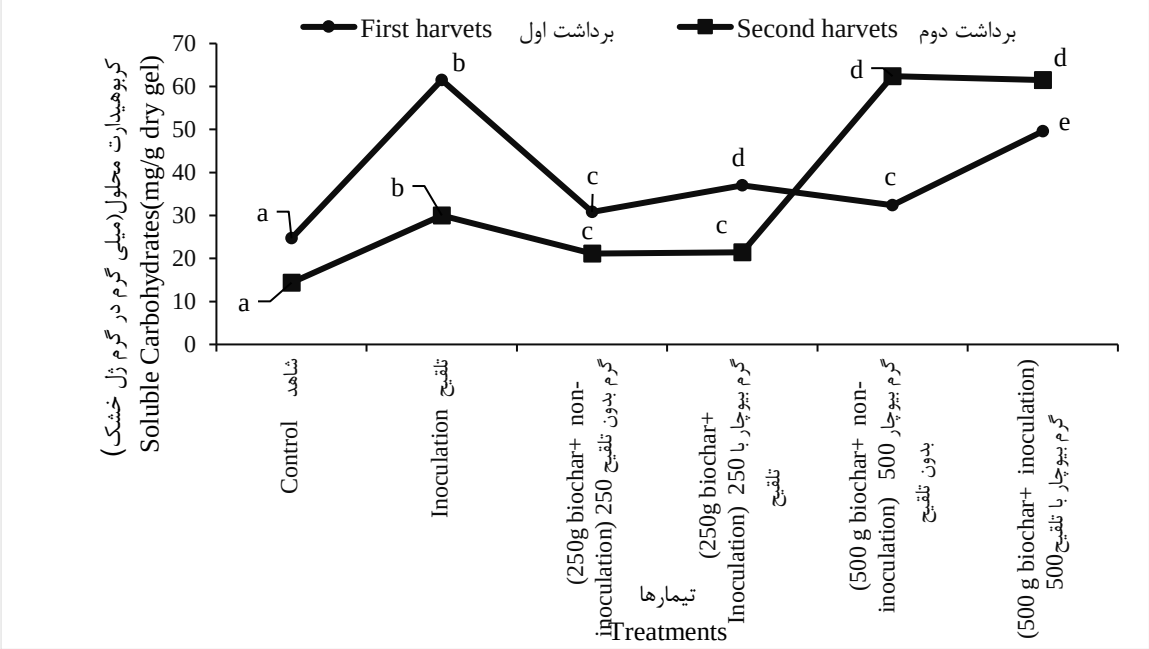
مقدار کربوهیدرات محلول ژل تحت تأثیر اثرات اصلی تیمار بیوچار و میکوریزا و همچنین برهمکنش بیوچار و میکوریزا در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش سه‌گانه میکوریزا، بیوچار و زمان برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار کربوهیدرات محلول ژل در برداشت اول در تیمار تلقیح با میکوریزا (۶۱/۵۱ میلی‌گرم در گرم) و در برداشت دوم در تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار به همراه تلقیح میکوریزا (۶۲/۴۰ میلی‌گرم در گرم) به‌دست آمد و در مقابل، کمترین مقدار آن در هر دو زمان برداشت در تیمار شاهد (۱۴/۳۶ و ۲۴/۶۸ میلی‌گرم در گرم) حاصل گردید (شکل ۱۰).

بحث

همانطوری که نتایج نشان دادند تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار باعث افزایش ارتفاع گیاه، تعداد برگ و حجم برگ گیاه صبرزرد شد (جدول ۱). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استفاده از عوامل مذکور در تولید گیاه صبرزرد مفید بوده است. قارچ میکوریزا مستقیماً ریشه گیاه صبرزرد را کلونیزه کرده و از طریق اثر سیدروفور بر افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و جذب آب مورد نیاز گیاه و نیز اثر بر هورمون و ترکیب‌های محرک رشد ترشحی از ریشه گیاه مانند اکسین یا سیتوکینین موجب افزایش ارتفاع گیاه صبرزرد و سایر شاخص‌های رشدی مورد مطالعه در این پژوهش گردیده است. نتایج سایر پژوهش‌ها مبنی بر افزایش ارتفاع گیاه در تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا نسبت به شاهد روی گیاهان دارویی آویشن باغی و نعناع (۹)، نعناع (۴) و ریحان (۷) با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. اثر افزایشی کاربرد میکوریزا بر ارتفاع گیاه صبرزرد در این آزمایش با پژوهش‌های Schulz-Bohm و همکاران (۲۲) مطابقت داشت که بیان نمود میکوریزا از طریق بهبود وضعیت خاک و فراهمی عناصر غذایی و آب می‌تواند موجب افزایش ارتفاع بوته یولاف گردد. در واقع میکوریزا با افزایش جذب آب و عناصر غذایی نظیر فسفر می‌تواند موجب بهبود رشد ریشه و عملکرد گیاه شود. در این آزمایش مشاهده گردید که کاربرد بیوچار اثر منفی بر رشد گیاه داشت و با افزایش مصرف سطوح بیوچار گیاه دچار تنش شده و عملکرد آن کاسته می‌شود که در آزمایش حاضر کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار در مقایسه با کاربرد ۲۵۰ گرم بیوچار بر رشد و عملکرد گیاه اثر منفی بیشتری داشت و تعداد برگ و نیز سایر ویژگی‌های موفولوژیکی گیاه کاهش معنی‌داری یافت (۲۱). با توجه به نتایج این آزمایش، تلقیح میکوریزا با اثر بر رشد بیشتر ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی بر ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه و افزایش حجم برگ نتیجه مثبت داشت که با پژوهش‌های Murty و Ladha (۱۹) مطابقت دارد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]



شکل ۱۰- برهمکنش کاربرد هم‌زمان بیوچار و تلقیح با میکوریزا بر کربوهیدرات محلول ژل خشک صبرزرد.

Fig. 10. Interaction effect of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on dry gel soluble carbohydrate of *A. vera*.

باتوجه به نتایج به‌دست آمده، تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار و کاربرد ۲۵۰ گرم بیوچار به همراه تلقیح با میکوریزا باعث افزایش وزن‌تر برگ، ژل و پوست برگ، زیست‌توده، وزن‌تر و خشک ریشه گیاه صبرزرد شد. با توجه به اینکه میزان تولید ژل توسط گیاه به طور مستقیم در برگ‌ها انجام می‌شود، بنابراین هر عاملی از قبیل تغذیه مطلوب که حجم و وزن برگ را افزایش دهد، سبب بالا رفتن میزان تولید ژل خواهد شد (۱۲). در این آزمایش با تلقیح میکوریزا و اثربخشی آن بر بهبود تغذیه و افزایش رشد گیاه، وزن‌تر برگ، ژل و پوست برگ افزایش یافت. تأثیر بیوچار بر عملکرد گیاه به فاکتورهای مختلف از جمله وضعیت حاصلخیزی اولیه خاک، بافت خاک، رطوبت خاک، دمای تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار و حتی نوع گیاه بستگی دارد و می‌تواند موجب افزایش یا کاهش عملکرد گیاه گردد (۱۳). با توجه به اینکه ماهیت بیوچار ماده آلی هست، کاربرد بیوچار در خاک‌های فقیر از مـواد آلی، علاوه برتأمین ماده آلی خاک موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک شده و نیز دسترسی عناصر غذایی نظیر پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، فسفر، روی، آهن و نیتروژن را افزایش داده و با اثر بر فتوسنتز و میزان رنگدانه‌ها منجر به افزایش عملکرد محصولات مختلف شده است. طبق مطالعات بر اثر تلقیح میکوریزا، زیست‌توده کل برخی از گیاهان شامل نعناع (۴) افزایش معنی‌داری پیدا کرد. غلظت فسفر کل و محلول در خاک و جذب آن توسط گیاهان بسیار ناچیز است که دلیل آن کم بودن ترکیب‌های معدنی و آلی فسفر و قابلیت دسترسی کم فرم‌های غیر معدنی فسفر (فسفات کلسیم، فسفات آهن و آلومینیوم)، جذب سطحی فسفر به صورت اکسیدآهن و آلومینیوم و جذب مواد آلی است (۱۴). کاربرد میکوریزا یکی از مهم‌ترین منابع جذب فسفر در خاک است که میزان آن از یک تا بیش از ۱۰ درصد کل فسفر خاک را شامل می‌شود که ممکن است نشان‌دهنده منبع تأمین‌کننده فسفر پایدار از طریق تجزیهٔ میکروبی سلول‌های مرده باشد. قارچ‌های میکوریزا از طریق هم‌زیستی موجب افزایش رشد ریشه‌ها، معدنی کردن فسفر آلی توسط آنزیم‌های فسفات با آزاد کردن توسط ریشه و میکروارگانیسم‌ها، از طریق دفع اسیدهای ارگانیک به محیط اطراف ریشه و تغییر pH خاک می‌توانند جذب و کارآیی فسفر را افزایش دهند. قارچ‌های میکوریزا ریزوسفری ظرفیت‌های مختلفی برای انحلال یا معدنی‌کردن فسفر دارند (۳)، بنابراین در افزایش فراهمی فسفر توسط گیاهان دارویی و افزایش میزان عملکرد نقش دارند. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، وزن در نتیجه تلقیح میکوریزایی افزایش یافت و از این نظر نسبت به تیمار شاهد برتری حاصل شد. تولید مواد تنظیم کننده رشد گیاه مهم‌ترین سازوکار تأثیرگذاری کودهای زیستی بر رشد و ریخت‌شناسی ریشه محسوب می‌شوند که به صورت افزایش سطح ریشه گیاه میزبان بروز می‌کند. تلقیح میکوریزایی با جذب مؤثر نیتروژن، پتاسیم و توسعه آربسکول و هیف‌های درون‌سلولی و

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]

بیرون‌سلولی در گیاهان موجب گسترش ریشه گیاه شده و جذب آب از طریق ریشه و محتوای آب گیاه را افزایش می‌دهد (۳). افزایش وزن‌تر ریشه در درجه اول به دلیل افزایش تعداد ریشه‌های جانبی بوده است. قارچ میکوریزا رشد ریشه گیاه را افزایش می‌دهد و قادر است با گسترش ریشه برای رسیدن به حفره‌های کوچک‌تر خاک توسط ریشه‌های موئین و جذب فسفات‌های آلی از طریق تولید اسید فسفاتاز خارج سلولی، سیستم ریشه‌ای را در حجم بیشتری از خاک مورد بهره برداری قرار دهد، میکوریزا بر رشد و حجم ریشه گیاه اثر افزایشی داشته و به دنبال آن یک نظام گسترده از ریشه را برای جذب آب ایجاد می‌کند (۳). Berta و همکاران (۲) گزارش کردند تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش حجم و زیست‌توده ریشه گیاهان می‌شود و این توسعه با افزایش هورمون‌های رشد مرتبط است. Marulanda و همکاران (۱۵) گزارش کردند که تلقیح گیاه اسطوخودوس با میکوریزا سبب افزایش زیست‌توده ریشه شد و رشد ریشه را به میزان ۳۵ درصد افزایش داد. در این آزمایش مشاهده شد که با کاربرد سطوح بالای بیوچار به دلیل افزایش نگهداشت آب در حفره‌های بیوچار موجود درخاک حجم و وزن ریشه گیاه کاهش یافت.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، با افزایش سطوح کاربرد بیوچار، ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد گیاه صبرزرد کاهش یافت. در شرایطی که عناصر غذایی مورد نیاز به قدر کافی در اختیار گیاه باشد می‌تواند رشد و عملکرد بهتری داشته باشد و با افزایش دسترسی به عناصر غذایی اثر منفی بر رشد گیاه خواهد گذاشت. بیوچار می‌تواند با اثر بر ساختار فیزیکی و بیولوژیک خاک شرایط رشد میکروارگانیسم‌ها را بهبود بخشیده و بر عملکرد گیاهان مؤثر واقع گردد. استفاده از سطوح مناسب و کافی بیوچار می‌تواند بر بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد محصول مؤثر باشد که به طور عمده به ورودی مواد مغذی و پایداری بیولوژیک نیتروژن مربوط می‌شود، بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش کاربرد سطوح بالای بیوچار نسبت C/N خاک افزایش یافته و ممکن است با جذب کاتیون‌های بازی نظیر آمونیوم در سطح بیوچار منجر به کاهش دسترسی بوته به نیتروژن شود، در نتیجه مانع رشد و عملکرد بهتر گیاه گردد. در برخی شرایط مانند کاربرد سطوح بیشتر بیوچار به‌دلیل افزایش زیاد pH و EC خاک، وجود گروه‌های آلیفاتیک و آروماتیک و ترکیب‌های آلی فرار در ساختار بیوچار و نگهداشت بیش از حد عناصر غذایی و آب توسط بیوچار می‌تواند به عنوان یک فاکتور منفی رشد گیاه مطرح شود در واقع، بیوچار می‌تواند تا یک حد معینی موجب بهبود رشد گیاه گردد (۶).

با توجه به اینکه ترکیب‌های فعال گیاهان دارویی و عملکرد آن‌ها تحت تأثیر نژادگان و فاکتورهای محیطی قرار می‌گیرند، کاربرد کودهای زیستی یک فاکتور مهم محیطی در بهبود رشد و عملکرد گیاهان دارویی محسوب می‌شوند. کاربرد مقدار مناسب قارچ میکوریزا به عنوان یک کود زیستی با توجه به نوع گیاه و محل کشت می‌تواند موجب ایجاد تغییراتی در گیاه شود. قارچ‌های میکوریزا پس از برقراری همزیستی با گیاهان میزبان بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژی و بیوشیمی گیاه تأثیر گذاشته و موجب بهبود رشد و نمو آن می‌شوند. نتایج این آزمایش نشان داد که تلقیح با میکوریزا موجب افزایش ویژگی‌های کمی و رشد و عملکرد ژل گیاه صبرزرد شد. سازوکار اثر افزایشی قارچ میکوریزا بر عملکرد گیاهان بدین صورت است که بخشی از ریسه‌ها وارد سیستم ریشه شده و باعث کاهش غلظت آبسیزیک اسید و افزایش میزان سیتوکنین می‌شوند، در نتیجه سیستم ریشه‌ای گسترش یافته و جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه بیشتر می‌شود. قارچ میکوریزا با تولید هورمون‌های گیاهی و افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌تواند رشد گیاه و رشد ریشه را تشدید کند، در نتیجه ظرفیت جذب عناصر غذایی را بالا برده و شانس گیاه را در اجتناب از خشکی افزایش می‌دهند (۲۴). هیف‌های خارجی میکوریزا، اصلی ترین عامل در تأمین کربن در خاک محسوب می‌شوند (۱). اثرات مثبت ناشی از تأثیر تلقیح میکوریزا بر اجزای عملکرد ممکن است ناشی از افزایش جذب مواد معدنی توسط ریشه گیاه باشد که با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت دارد که افزایش در اجزای عملکرد را ناشی از بهبود وضعیت جذب عناصر فسفر، نیتروژن، مس و روی می‌دانند و افزایش جذب آب که به‌وسیله هیف صورت می‌گیرد (۱).

غلظت آلوئین نظیر سایر ویژگی‌های تحت تأثیر اعمال تیمار بیوچار و میکوریزا قرار گرفت، بطوریکه با کاهش کاربرد بیوچار و نیز عدم تلقیح با میکوریزا میزان غلظت آلوئین کاهش یافت. میزان غلظت آلوئین در هر دو زمان برداشت در تیمار تلقیح با میکوریزا و تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار به همراه تلقیح با میکوریزا افزایش یافت (شکل ۹). با کاربرد سطوح بالای بیوچار نتیجه مطلوبی در ویژگی‌های مورفولوژی و عملکرد گیاه حاصل نشد، ولی در خصوص ویژگی فیتوشیمایی کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار با ایجاد تنش در گیاه موجب افزایش غلظت آلوئین گردید. با توجه به اینکه قارچ میکوریزا موجب تجمع متابولیت‌های‌ثانویه و فنول‌ها در ریشه گیاه میزبان می‌شود، بالاترین مقدار غلظت آلوئین در شرایطی به‌دست آمد که تلقیح با میکوریزا صورت گرفت

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]

که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. طبق مطالعات Mota-Fernandez و همکاران (۱۷) تلقیح و تشکیل کلنی قارچ در محدوده ریشه گیاه صبرزرد منجر به افزایش غلظت آلوئین و انواع ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدها گردید.

پژوهشگران گزارش کردند که با افزایش شدت تنش میزان قند کل، الیگو و پلی فروکتوان‌ها در ژل صبرزرد افزایش می‌یابند (۱۰). قندها نقش مهمی در سازش ریشه‌ها از طریق تولید پیش‌سازهای لازم برای آنزیم‌های سنتزی، تولید انرژی متابولیک و تنظیم اسمزی ریشه‌ها دارند انباشته شدن قندها می‌تواند به دلیل فعال شدن آنزیم‌های بیوسنتزی کربوهیدرات‌ها باشد که این انباشتگی نقش مهمی در کاهش آثار مخرب تنش ایجاد شده از طریق تنظیم اسمزی دارد. در این مطالعه مشاهده شد که با کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار میزان کربوهیدرات محلول نسبت به سایر تیمارها افزایش قابل توجهی یافت در واقع، با توجه به نوع محیط کشت و نوع گیاه، مصرف مقدار زیاد بیوچار به دلیل افزایش نگهداشت آب در محیط ریشه و افزایش برخی عناصر بیش از نیاز گیاه در محیط خاک منجر به ایجاد تنش در محیط ریشه شد و در نتیجه متابولیت ثانویه گیاهی نظیر قند محلول و نیز غلظت آلوئین افزایش یافت. طبق مطالعات تجمع اسمولیت‌ها نظیر کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و متابولیت‌های ثانویه یکی از راهکارهای گیاهان خانواده کراسولاسه در افزایش مقاومت به تنش کم‌آبی می‌باشد (۱۰). از طرفی، کودهای زیستی نظیر قارچ میکوریزا از طریق القای پاسخ‌های دفاعی موجب بیوسنتز و انباشت متابولیت‌های ثانویه می‌شوند، عوامل مختلفی نظیر جمعیت قارچ، محیط کشت، زمان افزودن قارچ به محیط کشت و مدت زمانی که گیاه در معرض قارچ قرار می‌گیرد بر افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه اثر می‌گذارد (۲۴). در مطالعه حاضر کاربرد بیوچار و میکوریزا بر بهبود و افزایش ویژگی‌های فیتو و بیو شیمیایی نظیر آلوئین و کربوهیدرات محلول اثرگذار بود.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده مورفولوژیک، عملکرد و فیتو و زیست‌شیمیایی، تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار با اثر بر افزایش رشد ریشه، کارایی مصرف آب و جذب عناصر غذایی منجر به رشد و عملکرد بهتر گیاه گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد سطوح کم بیوچار می‌تواند باعث بهبود رشد گیاه شود و مقدار زیاد بیوچار اثر منفی بر رشد و عملکرد گیاه صبرزرد داشت که دلایل آن می‌تواند افزایش pH خاک، نگهداشت آب بیش از نیاز گیاه، وجود گروه‌های آلیفاتیک و آروماتیک در ساختار بیوچار، نسبت C/N بالا و وجود ترکیب‌های فرار در ساختار بیوچار و یا احتمالاً نوع ماده اولیه، روش گرماکافت و غیره باشد که می‌توانند از عوامل کاهنده رشد و عملکرد گیاه صبرزرد باشند. بیشترین غلظت و عملکرد آلوئین در تیمار تلقیح با میکوریزا بدون کاربرد بیوچار و بیشترین میزان کربوهیدارت محلول در تیمار کاربرد ۵۰۰ گرم بیوچار به همراه تلقیح میکوریزا حاصل شد، به طور کلی تلقیح با قارچ میکوریزا در بهبود رشد، عملکرد و غلظت آلوئین گیاه صبر زرد تاثیر بسیار مثبتی داشت.

منابع References

1. Alguacil, M.D., F. Caravaca, G. Diaz, P. Marin, and A. Roldán. 2004. Establishment of *Retama sphaerocarpa* L. seedlings on a degraded semiarid soil as influence by Mycorrhizal inoculation and sewage-sludge amendment. J. Soil Sci. Plant Nutr. 167: 637-644.
2. Berta, G., A. Fusconi, and J. Hooker. 2002. Arbuscular mycorrhizal modifications to plant root systems: scale, mechanisms and consequences. In Gianinazzi, S., H. Schüepp, J. M. Barea and K. Haselwandter (Eds.). Mycorrhiza Technology.
3. Bouwmeester, H.J., C. Roux, J.A. Lopez-Raez, and G. Becard. 2007. Rhizosphere communication of plants, parasitic plants and AM fungi. Trends Plant Sci. 12(5): 224-230.
4. Cabello, M.G., A.M. Irrazabal, M, Bucsinszky, and S. Saparrat. 2005. Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*, and a rock-phosphate-solubilizing fungus, *Penicillium thomii*, on *Mentha piperita* growth in a soillessn medium. J. Basic Microbiol. 45: 182-189.
5. Chen, M., M, Arato, L, Borghi, E, Nouri, and D. Reinhardt. 2018. Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi–from ecology to application. Front. Plant Sci. 9: 1270.
6. Chintala, R., J., Mollinedo, T.E, Schumacher, D.D. Malo, and J.L. Julson. 2013. Effect of biochars on chemical properties of acidic soil. Arch. Agron. Soil Sci. 60: 393-404.
7. Copetta A, G, Lingua, and G. Berta. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. Mycorrhiza, 16(7), 485-494.
8. Dubois, M., K. Gilles, J. Hamilton, P.A. Rebers, and F. Smith. F. 1951. A colorimetric method for the determination of sugars. Nature. 168: 167.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]

9. Dolatabadi, H. K., E. M, Goltapeh, A, Moieni, and A. Varma. 2012. Evaluation of different densities of auxin and endophytic fungi (*Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera*) on *Mentha piperita* and *Thymus vulgaris* growth. Afr. J. Biotechnol. 11(7): 1644-1650.
10. Hazrati, S., Z, Tahmasebi-Sarvestani, S, Nicola, A, Beyraghdar Kashkooli, F, Habibzadeh, H, Mohammadi, and A. Mokhtassi-Bidgol. 2020. Effect of Light and Water Deficiency on Growth and Concentration of Various Primary and Secondary Metabolites of *Aloe vera* L. J. Agr. Sci. Technol. 22(5): 1343-1358.
11. Hernández-Cruz, L.R., R., Rodríguez-García, R.D. Jasso, and J.L., Angulo-Sánchez .2002. *Aloe vera* response to plastic mulch and nitrogen. *Trends in new crops and new uses. Janick, J. y Whipkey, A.(eds.) ASHS Press, Alexandria, VA*, pp.570-574.
12. Kennedy, I.R., A.T.M.A, Choudhury, and M.L. Kecskes. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited. Soil Biol. Biochem. 36: 1229-1244.
13. Mader, P., S, Edenhofer, T, Boller, A, Wiemken, and U. Niggli. 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic biological) and highinput (conventional) farming systems in a crop rotation. Biol. Fertil. Soils. 31: 150-156.
14. Marschner, P., Z, Solaiman and Z. Rengel. 2006. Rhizosphere properties of Poaceae genotypes under P-limiting conditions. Plant Soil. 283: 11–24.
15. Marulanda, A., R, Porcel, J.M, Barea, and R. Azcon. 2007. Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought tolerant or drought-sensitive *Glomus* species. Microb. Ecol. 54: 543- 552.
16. Masto, R.E., S., Kumar, T.K. Rout, P., Sarkar, J., George, and L.C. Ram. 2013. Biochar from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and its impact on soil biological activity. Catena. 111: 64-71.
17. Mota-Fernandez, S., J.D, Alvarez-Solis, M., Abud-Archila, L., Dendooven, and F.A. Guiterez Miceli. 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus concentration on plant growth and phenols in micropropagated *Aloe vera* L. plantlets. J. Med. Plant Res. 5: 6260–6266.
18. Mukherjee, P.K., N.K, Nema, N., Maity, K., Mukherjee, and R.K. Harwansh. 2013. Phytochemical and therapeutic profile of *Aloe vera*. J. Nat. Remedies. 14(1): 1-26.
19. Murty, M.G. and J.K. Ladha. 1987. Differenial colonization of Azospirillum lipoferum on roots of two varieties of rice *Oryzea sativa*. Biol. Fertil. Soils. 4: 3-7.
20. Razouk, R. and A. Kajji. 2015. Effect of arbuscular mycorrhiza; fungi on water relations and growth of young plum trees under severe water stress conditions. International. J. Plant. Nutr. Soil Sci. 5(5): 300-312.
21. Sánchez, P. and J.G. Salinas. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. In Advances in agronomy Academic Press. 34: 279-406.
22. Schulz-Bohm, K., L., Martín-Sánchez, and P. Garbeva. 2017. Microbial volatiles, small molecules with an important role in intra- and inter-kingdom interactions. Front Microbiol. 8: 2484.
23. Sika, M.P. 2012. Effect of biochar on chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil. M.Sc. thesis, Department of Soil Science, Stellenbosch University, Stellenbosch.
24. Tahat, M.M. and K. Sijan. 2012. Mycorrhizal funji and abiotic environmental conditions relationship. Res. J. Environ. Sci. 6: 125-133.
25. Vanek, S.J. and J. Lehmann. 2015. Phosphorus availability to beans via interactions between mycorrhizas and biochar. Plant Soil, 395(1-2): 105-123.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 23 (2): 393-408 (2022)
Research article

Evaluation of Simultaneous Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Biochar on Growth, Yield and Concentration of Aloin of *Aloe vera* L.

S. hazrati*, S. Mohebi, H. Mohammadi and S. Mollaei[1]

In order to evaluation of simultaneous application of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the growth, yield and concentration of aloin of *Aloe vera* at different growth stages under greenhouse conditions, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with four replications. Treatments included biochar at three levels (0 (control), 250 and 500 g per pot) and AMF at two levels (non-inoculation and inoculation). AMF inoculation without biochar application has a significant effect on traits compared to other treatments at both harvest times, the number of leaves were 28 and 19%, leaf fresh weight 41 and 36%, gel fresh weight 40 and 34%, gel dry weight 57 and 74%, fresh weight of root 65 and 69% compared to control plants. The result showed the highest concentration of aloin was obtained in the treatment of 500 g of biochar with inoculation with AMF. Also, the highest amount of soluble carbohydrates in dry gel in the second (62.40 mg g^{-1}) was obtained in the application of 500 g of biochar with AMF inoculation. According to the results of this experiment, inoculation of roots with AMF can be useful to increase the growth and yield and quality of *A. vera*, but the use of biochar, especially in high amounts, had a negative effect on *A. vera.*

Keywords: Aloin, *A. vera*, Mycorrhizal, Yield.

1. Associate Professor, M.Sc. Student and Associate Professor of Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz and Associate Professor of Department of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, Azerbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, respectively.
* Corresponding Author, Email: (saeid.hazrati@azaruniv.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-04-17]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.2.9.9]