Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 52, No 4, Winter 2022 (1027-1041)
DOI: 10.22059/ijhs.2020.300237.1790

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰ (ص ۱۰۴۱-۱۰۲۷)

نشریه پژوهشی:

تأثیر کاربرد بیوچار و میکوریزا آربسکولار بر زی‌توده گیاهی و برخی عناصر غذایی دو واریته جعفری

فاطمه بخشی‌پور[۱]، حسن مومیوند[۲*]، ابراهیم صداقتی[۳] و عبداله احتشام‌نیا[۲]
۱ و ۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۳. استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۱٤)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر بیوچار و قارچ‌های میکوریزا بر رشد، زی‌توده‌ی گیاهی و برخی عناصر غذایی دو واریته جعفری بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. واریته‌های جعفری در دو سطح (کریسپوم و نئاپولیتانوم) به‌عنوان فاکتور اول، بیوچار در سه سطح (صفر، سه و شش درصد وزنی خاک) به‌عنوان فاکتور دوم و قارچ‌های میکوریزا (میکوریزا و عدم میکوریزا) به‌عنوان فاکتور سوم در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد بیش‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی (به ترتیب با ۲۹۱/۱۸۰ و ٦٤/۸۷۸۳ گرم) مربوط به واریته کریسپوم و کاربرد میکوریزا با بیوچار سه درصد بود. بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه (به ترتیب با ۷۰/۷٤ و ۱۸/٦۸ گرم) و بیش‌ترین میزان کلونیزاسیون (۹٦ درصد) در واریته نئاپولیتانوم با کاربرد میکوریزا به همراه کاربرد بیوچار سه درصد مشاهده شد. بیش‌ترین غلظت سدیم، پتاسیم، نیتروژن و مس در تیمار بیوچار شش درصد به‌دست آمد. تیمار میکوریزا نیز باعث افزایش غلظت منیزیم، آهن، مس و کلسیم در هر دو واریته نئاپولیتانوم و کریسپوم گردید. بیش‌ترین غلظت عنصر فسفر (۸۹۱۸/٦۷ پی‌پی‌ام) مربوط به واریته نئاپولیتانوم با کاربرد میکوریزا و بیوچار شش درصد و بیش‌ترین غلظت عنصر منگنز (۵۰/۷۲۹٦ پی‌پی‌ام) در واریته کریسپوم با کاربرد میکوریزا و بیوچار شش درصد به‌دست آمد. در مجموع در این مطالعه کاربرد بیوچار منجر به کلونیزاسیون بهتر ریشه‌ی جعفری با قارچ میکوریزا گردید. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده توأم بیوچار و قارچ‌های میکوریزا شرایط بهتری را جهت دست‌یابی به اهداف کشاورزی پایدار و افزایش رشد وزی‌توده‌ی گیاه جعفری فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، ضایعات اسانس‌گیری، عناصر غذایی، کود زیستی، کلونیزاسیون.

Effects of biochar and arbuscular mycorrhizal on biomass and some nutrients of two parsley varieties

Fatemeh Bakhshipour[1], Hasan Mumivand[2*], Ebrahim Sedaghati[3] and Abdollah Ehteshamnia[2]
1, 2. Former M. Sc. Student and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
3. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
(Received: Jun. 19, 2020 - Accepted: Nov. 04, 2020)

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of biochar and mycorrhizal fungi on growth, plant biomass and some nutrients of two parsley cultivar. A factorial experiment based on completely randomized design with three replications was conducted. The first factor was parsley variety at two levels (*crispum* and *neapolitanum*). Application of biochar at three levels (0, three and six percent of soil weight) was used as the second factor. While, application of Arbuscular mycorrhizal fungi in two levels (mycorrhiza and non mycorrhiza) was considered as the third factor. The results showed that the highest fresh and dry weights of aerial parts (210.218 and 64.8783 gr, respectively) was related to crispum cultivar with applications of mycorrhizal and biochar 3%. The highest fresh and dry weights of root (70.74 and 18.68 gr, respectively) and the highest colonization rate (96%) were observated in neapolitanum cultivar using mycorrhizal and biochar 3%. The highest amount of sodium, potassium, nitrogen and copper was obtained by application of biochar 6%. Mycorrhizal treatmeant also increased the concentration of magnesium, iron, copper and calcium in both neapolitanum and crispum cultivars. Finally, the highest amount of phosphorus (8918.678 ppm) was observed in neapolitanum cultivar with application of mycorrhizal and biochar 6%, while the highest concentration of manganese (50.7296 ppm) was obtained in crispum cultivar using mycorrhizal and biochar 6%. In general, in this study, application of biochar led to better colonization of parsley root with mycorrhizal fungus. Therefore, it can be concluded that the combined use of biochar and mycorrhizal fungi provides better conditions for achieving sustainable agricultural goals and increasing the growth of parsley.

Keywords: Biochar, biofertilizer, colonization, essential oil extraction wastes, nutrients.

* Corresponding author E-mail: mumivand.h@lu.ac.ir

مقدمه

جعفری (*Petroselinom crispum* Mill.) گیاهی دو ساله از تیره چتریان (Apiaceae) و در زمره گیاهان خوراکی و سبزی‌ها است که مصرف دارویی نیز دارد. از آن‌جایی که این گیاه غنی از ویتامین‌ها، عناصر ضروری و سایر ترکیبات مؤثر است، از آن به‌عنوان مولتی‌ویتامین (Multivitamin) و یا منبع عناصر غذایی یاد می‌کنند (Bakhshipoor *et al.*, 2021). براساس خصوصیات مورفولوژیک و اندام مصرفی گیاه، جعفری در سه واریته گروه‌بندی می‌شود. واریته اول دارای برگ‌های صاف و ساده است جعفری برگ پهن (*P. crispum var. neapolitanum*) نام دارد و به آن جعفری ایتالیایی نیز می‌گویند. این واریته شباهت بیشتری با توده‌های وحشی و خودروی جعفری دارد. کشت این نوع جعفری آسان است و تحمل بیش‌تری نسبت به شرایط اقلیمی دارد. سطح زیر کشت این واریته نسبت به دیگر واریته‌ها بیش‌تر است. واریته دوم، جعفری با برگ‌های مجعد و پیچیده (*P. crispum var. crispum*) است که عطر و طعم قوی‌تری دارد. این واریته ظاهری تزئینی دارد. واریته سوم، جعفری ریشه‌ای (*P. crispum var. tuberosum*) نام دارد که به‌صورت خودرو در جنوب ایتالیا رشد می‌کند و دارای برگ‌های ساقه‌ای شکل مانند کرفس است. این نوع جعفری ظاهری شبیه به هویج وحشی دارد و ریشه‌های ضخیم‌تری تولید می‌کند و به‌صورت خام و پخته استفاده می‌شود. کشت جعفری در هر نوع آب و هوایی امکان‌پذیر است، ولی در آب و هوای خنک بهترین نتیجه را دارد (Daneshvar, 2000). این گیاه یکی از پر مصرف‌ترین گیاهان آشپزخانه‌ای است، قسمت‌های مورد استفاده این گیاه ریشه، میوه و بخش‌های هوایی آن است. جوشانده بخش‌های مختلف گیاه در موارد تورم بافت‌ها، خیز عمومی بدن، سنگ کلیه، اختلالات دستگاه گوارش، نفخ، زردی، بیماری‌های کبد و طحال و تنگی نفس به‌کار می‌رود. از برگ‌های جعفری به‌عنوان یک فاکتور هیپوگلیسمیک (Hypoglycemic) در بیماران دیابتی استفاده می‌شود. مصرف جعفری به مقدار کم، به هضم غذا کمک کرده و نفخ را کاهش می‌دهد (Ozsoy *et al.*, 2006).

مصرف صحیح و متناسب انواع کودها (شیمیایی، حیوانی، کمپوست گیاهی یا کود سبز و غیره) مهم‌ترین و اساسی‌ترین راه حفظ و اصلاح حاصل‌خیزی خاک و افزایش میزان عملکرد محصولات کشاورزی است (Mumivand *et al.*, 2021b). قارچ‌های میکوریزا یکی از انواع کودهای بیولوژیک و از با اهمیت‌ترین میکروارگانیسم‌های موجود در اغلب خاک‌های تخریب نشده هستند. این قارچ‌ها به‌دلیل اثرات مثبتی که در رشد و نمو گیاهان و افزایش مقاومت آن‌ها به شرایط نامساعد دارند مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته‌اند (Miller, 2000). میکوریزا با ریشه بیش از ۸۰ درصد گیاهان ارتباط همزیستی برقرار می‌کند (Javadi, 2009). قارچ میکوریزا به‌طور مؤثری باعث افزایش ظرفیت جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف از طریق تولید آنزیم‌هایی مانند فسفاتازها و حلالیت عناصری مانند فسفر و عناصر کم تحرک می‌شود (Celik *et al.*, 2004). به‌طور کلی گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا آربسکولار در جذب عناصر غذایی کاراتر هستند که این امر سبب بهبود رشد گیاهان می‌شود (Mumivand *et al.*, 2021a).

امروزه با توجه به صنعتی شدن جوامع و رشد فزاینده جمعیت، حجم بسیار زیادی از ضایعات آلی تولید می‌شود که مشکلات جدی در زمینه دفن آن‌ها وجود دارد و منبع مهم آلودگی محیط زیست نیز به‌شمار می‌روند (Souri *et al.*, 2018, 2019). یکی از این ضایعات، بقایای گیاهی حاصل از اسانس‌گیری گیاهان دارویی است. چنین ضایعاتی غنی از مواد آلی و عناصر غذایی بوده و مصرف آن‌ها در کشاورزی ضمن دفن سالم آن‌ها و کاهش خطرات زیست‌محیطی، می‌تواند با اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی را افزایش دهد (Olfati *et al.*, 2012). بیوچار یک ترکیب آلی سیاه غنی از کربن است که در شرایط اکسیژن محدود، از گرماکافت ضایعات آلی گیاهی یا حیوانی تولید و به‌عنوان کود مورد استفاده قرار می‌گیرد (Beiranvand *et al.*, 2020). این ترکیب در واقع یک ماده متخلخل ریزدانه است که در مقایسه با ماده آلی اولیه تشکیل دهنده آن، دارای حجم پایین‌تر و مقدار کربن بیش‌تری است. این ترکیب به‌علت ویژگی‌های

منحصربه‌فردی که دارد، به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌وسیله راه‌های متعددی مانند بهبود خصوصیات کیفی خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، نگهداری آب و مواد غذایی، افزایش میزان ترسیب کربن در خاک، کاهش تصعید گازهای گلخانه‌ای، بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی و تحریک فعالیت ریزجانداران خاک مانند قارچ‌های میکوریزا، سبب رشد و عملکرد بهتر گیاهان می‌شود (Lehmann *et al*., 2011). در حقیقت بیوچار می‌تواند به‌عنوان پناهگاهی برای هیف قارچ‌های میکوریزا عمل و آن‌ها را محافظت کند، که نتیجه آن افزایش درصد همزیستی بین قارچ و گیاه میزبان است (Warnock *et al*., 2010).

کاربرد کود مرغی و بیوچار حاصل از آن با سطوح صفر، ۲/۵، ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم در یک خاک آهکی، باعث افزایش معنی‌دار غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و روی در گیاه لوبیا شد (Inal *et al*., 2015). نتایج بررسی پژوهشی دیگر نشان داد کاربرد بیوچار پوسته بادام زمینی به میزان ۱/۵ و ۳ درصد وزنی باعث افزایش جذب نیتروژن در اندام هوایی گیاه بادام زمینی شد (Xu *et al*., 2015). اثرات مفید بیوچار در افزایش درصد کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار با ریشه گندم و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی و مقاومت گیاه به تنش خشکی در مطالعاتی دیگر نیز گزارش شده است (Solaiman *et al.,* 2010). نتایج پژوهشی دیگر نشان داد افزودن بیوچار باعث کاهش آبشویی نیترات و افزایش نیتروژن در محدوده‌ی ریشه می‌شود (Khnwles *et al.,* 2011). در مطالعه‌ای در گیاه شبدر نیز افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه شبدر در اثر افزودن بیوچار حاصل از چوب سخت (۲ درصد وزنی)، ناشی از افزایش رشد هیف‌های خارجی قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا گزارش شد (Mickan *et al.,* 2016). نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد فعالیت میکروارگانیزم‌های مفید خاک نظیر قارچ‌های میکوریزا و میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات، در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Arancon *et al*., 2004).

با وجود اثرات مثبت کاربرد قارچ میکوریزا و بیوچار بر افزایش رشد و کیفیت گیاهان، پژوهش‌های بسیار محدودی در ارتباط با بررسی برهمکنش آن‌ها بر رشد و عملکرد سبزی‌ها و گیاهان دارویی صورت گرفته است. علاوه بر این کاربرد بیوچار با مواد اولیه مختلف و شرایط گرماکافت متفاوت، اثرات متفاوتی بر گیاهان دارد. بررسی منابع علمی نیز نشان می‌دهد که تاکنون از بیوچار حاصل از ضایعات اسانس‌گیری گیاهان دارویی استفاده نشده است. هم‌چنین امکان همزیستی بین گونه‌های میکوریزا با گیاهان مختلف و اثرات آن‌ها بر رشد و نمو گیاهان یکسان نیست. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات کاربرد بیوچار حاصل از ضایعات اسانس‌گیری مرزه‌ی خوزستانی و قارچ‌های میکوریزا آربسکولار بر عملکرد و میزان برخی عناصر غذایی دو واریته جعفری در شرایط گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (تعداد پنج گلدان برای هر تکرار) در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. واریته‌های جعفری در دو سطح (کریسپوم و نئاپولیتانوم) به‌عنوان فاکتور اول و بیوچار در سه سطح (صفر، سه و شش درصد وزنی خاک) به‌عنوان فاکتور دوم و قارچ‌های میکوریزا آربسکولار در دو سطح (شاهد یا عدم کاربرد قارچ و کاربرد قارچ) به‌عنوان فاکتور سوم در نظر گرفته شد. از ضایعات اسانس‌گیری مرزه خوزستانی (تهیه شده از شرکت داروسازی خرمان، خرم آباد) جهت تهیه بیوچار استفاده شد. بدین منظور ضایعات خشک شده حاصل از اسانس‌گیری در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به بیوچار تبدیل شد (Sohi *et al*., 2009). در ابتدای آزمایش بستر کشت با نسبت مساوی خاک و ماسه (۱:۱) آماده شد و مطابق طرح آزمایشی، بیوچار مورد نیاز برای هر تیمار به خاک گلدان‌ها اضافه گردید. جهت انکوبه شدن بیوچار، به مدت ۲ ماه آبیاری گلدان‌ها صورت گرفت، سپس کشت انجام شد. برای تیمار شاهد (عدم وجود قارچ میکوریزا) خاک گلدان‌ها (حدود سه کیلوگرم) با استفاده از دستگاه اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار یک اتمسفر

به‌مدت یک ساعت استریل گردید. در تیمار کاربرد کود بیولوژیک میکوریزا نیز ابتدا خاک گلدان‌ها کاملاً استریل و در ادامه برای هر گلدان ۱۲۰ گرم مایه تلقیح به‌صورت لایه لایه به خاک اضافه شد. ماده تلقیحی کود زیستی از دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر رفسنجان به روش کشت روی ذرت تهیه شد و حاوی شش گونه مختلف میکوریزا آربسکولار با نام‌های *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus intraradices*، *Rhizophagus irregularis*، *Glomus iranius*، *Glomus caledonius* و *Glomus desrticola* با بیش از ۳۰ جدایه از مناطق مختلف ایران بود. در این تحقیق بذرهای دو واریته جعفری از شرکت ریچترز (Richters) کانادا تهیه و در تیر ماه سال ۱۳۹۷ تعداد سه بذر درون گلدان‌های پلاستیکی کشت شد. آزمایش به مدت شش ماه ادامه داشت. در طول آزمایش میانگین دمای روزانه گلخانه ۲۸-۲۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد و شدت نور ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود. پس از جوانه زدن بذرها در مرحله چهار برگی، با تنک کردن گیاهان تعداد یک بوته در هر گلدان با حجم پنج لیتر نگهداری شد. آبیاری گلدان‌ها و سایر عملیات داشت به‌طور منظم تا پایان دوره رشد و نمو صورت گرفت. در پایان آزمایش تعداد سه گلدان در هر تکرار به‌صورت تصادفی انتخاب و نمونه‌گیری از آن‌ها صورت گرفت. برای این کار اندام هوایی گیاهان برداشت و وزن‌تر آن‌ها با ترازوی دیجیتالی محاسبه گردید. اندام هوایی گیاهان برداشت شده به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها نیز محاسبه گردید. در ادامه ریشه‌ها به آرامی از خاک خارج و گل و لای چسبیده به آن‌ها با آب شست‌وشو داده شد. و حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. سپس ریشه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک ریشه برای هر تیمار محاسبه گردید. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و بیوچار مانند بافت خاک، تخلخل، pH، EC، هدایت الکتریکی، ماده آلی و برخی عناصر غذایی توسط روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جهت تعیین غلظت کل برخی از عناصر غذایی، برگ‌های کاملاً توسعه یافته برداشت و در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس میزان دو گرم برگ خشک آسیاب شد و عناصر غذایی در آن با استفاده از روش انجمن شیمی تجزیه AOAC (2000) با اندکی تغییر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. به این منظور نمونه‌ها در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت در کوره حرارتی قرار گرفتند. بعد از خروج از کوره چهار میلی‌لیتر اسید نیتریک رقیق شده (چگالی ۱/۳۳ گرم بر میلی‌لیتر) به آن اضافه شد. سپس نمونه‌ها روی هات پلیت قرار گرفتند. بعد از حل شدن نمونه در اسید، نمونه‌ها دوباره به مدت یک ساعت در کوره حرارتی با دمای ذکر شده قرار گرفتند. بعد از این مرحله، نمونه‌ها از کوره خارج و به آن‌ها ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریدریک (چگالی ۱/۱۸ گرم بر میلی‌لیتر) اضافه شد. در نهایت در عصاره حاصل، غلظت فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر، غلظت نیتروژن توسط دستگاه کجلدال، و غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، آهن، مس، روی، منگنز، منیزیم و توسط دستگاه جذب اتمی (240 FS, Aglient, Santa Clara, CA, USA) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

در پایان برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، حدود یک گرم از ریشه‌های ظریف و ریز هر گلدان انتخاب و پس از شست‌وشو با آب مقطر به آزمایشگاه منتقل و رنگ‌آمیزی شد. جهت رنگ‌آمیزی از روش Philips & Hayman (1970) استفاده شد. در نهایت با روش تقاطع خطوط شبکه درصد کلونیزاسیون ریشه محاسبه گردید (Dalp, 1993).

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و بیوچار.

Table 1. Some physical and chemical properties of soil and biochar.

	pH	EC (ms/cm)	Texture	Organic matter (%)	Organic Carbon (%)	Mg (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Lime (%)	Porosity (%)	N (%)	P (mg/kg)
Soil	6.13	1.517	Sandy Loamy Clay	1.748	1.04	583.8	78.2	5.18	13.75	0.050	0.15	81.6
Biochar	8.3	1.626	-	35.63	20.67	-	0.9566	383.25	-	0.070	1.9	101

تجزیه وتحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح آزمایشی (فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی) با استفاده از نرم‌افزار Minitab صورت گرفت و مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد. برای ترسیم جدول‌ها و شکل‌ها نیز از نرم‌افزارهای Word و Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

زی‌توده گیاهی و کلونیزاسیون ریشه

نتایج تجزیه واریانس جدول ۲ نشان داد اثر واریته بر صفات وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه و کلونیزاسیون معنی‌دار شد. صفات وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و کلونیزاسیون نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر بیوچار قرار گرفتند. اثر میکوریزا نیز بر صفات وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه و کلونیزاسیون معنی‌دار بود. اثر متقابل واریته و بیوچار بر وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و کلونیزاسیون معنی‌دار شد. صفات وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و کلونیزاسیون نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل واریته و میکوریزا قرار گرفتند. اثر متقابل میکوریزا و بیوچار نیز بر صفات وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه و کلونیزاسیون معنی‌دار گردید. اثر متقابل سه‌گانه واریته، میکوریزا و بیوچار بر صفات وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و کلونیزاسیون معنی‌دار شد.

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر واریته، بیش‌ترین حجم ریشه (۴۹/۹۷ میلی‌متر مکعب) مربوط به واریته نئاپولیتانوم بود (شکل ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر میکوریزا نیز نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی (۵۴/۲۳۲۸) و بیش‌ترین حجم ریشه (۵۲/۷۸ میلی‌متر مکعب) در تیمار کاربرد میکوریزا مشاهده شد (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل واریته و بیوچار نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی (۶۴/۸۷۸۳ گرم) مربوط به واریته کریسپوم و بیوچار سه درصد بود تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۳ قابل مشاهده است، کاربرد بیوچار تا سطح سه درصد باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی در هر دو واریته جعفری گردید و کاربرد مقادیر بیش‌تر (شش درصد بیوچار) نه تنها تأثیر مثبتی بر این صفت نداشت، بلکه باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی در واریته کریسپوم نیز گردید.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل واریته، میکوریزا و بیوچار نشان داد بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی (۲۹۱/۱۸۰ گرم) مربوط به واریته کریسپوم در شرایط کاربرد میکوریزا با بیوچار سه درصد بود که با تیمار کاربرد میکوریزا به همراه بیوچار شش درصد در واریته کریسپوم (۲۷۸/۲۷۰ گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه (به ترتیب با ۷۰/۷۴ و ۱۸/۶۸ گرم) و بیش‌ترین میزان کلونیزاسیون (۹۶ درصد) در واریته نئاپولیتانوم با کاربرد میکوریزا به همراه کاربرد بیوچار سه درصد مشاهده شد. همان‌طور که در جدول ۳ قابل مشاهده است، کاربرد بیوچار تا سطح سه درصد باعث افزایش وزن تر اندام هوایی در هر دو واریته جعفری گردید.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر واریته، بیوچار و میکوریزا بر زی‌توده گیاهی و کلونیزاسیون جعفری.

Table 2. Results of variance analysis effect of variety, biochar and mychorirzal on biomass and colonization of parsley.

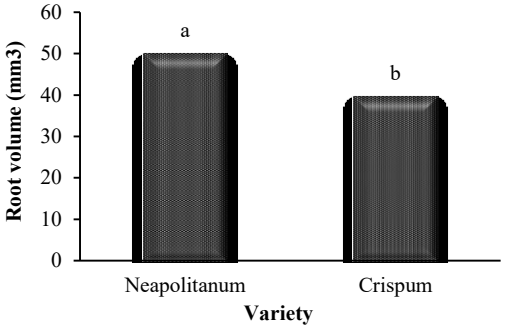
Source of variation	df	Mean of squares					
		Plant Fresh weight	Plant Dry weight	Root Fresh weight	Root dry weight	Root volume	Colonization
Variety	1	3099.9**	201.90**	1216.38**	333.793**	950.69**	3466.3**
Biochar	2	53866.2**	2510.30**	160.09**	24.387**	193.75^{ns}	289.3**
Mycorrhizal	1	4661.2**	424.60**	1691.68**	69.389**	2273.06**	42611.3**
Biochar×cultivar	2	538.9**	47.21*	174.22**	13.481**	138.19^{ns}	114.6*
Mycorrhizal×cultivar	1	661.0**	22.10^{ns}	66.42**	14.113**	0.69^{ns}	3466.3**
Mycorrhizal×biochar	2	660.2**	2.73^{ns}	30.28**	0.460^{ns}	138.19^{ns}	289.3**
Mycorrhizal×cultivar×biochar	2	392.4*	25.11^{ns}	47.49**	48.557**	138.19^{ns}	114.6*
Cv		0.46	6.61	4.46	7.11	19.57	15.52

**، *، ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۱، ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

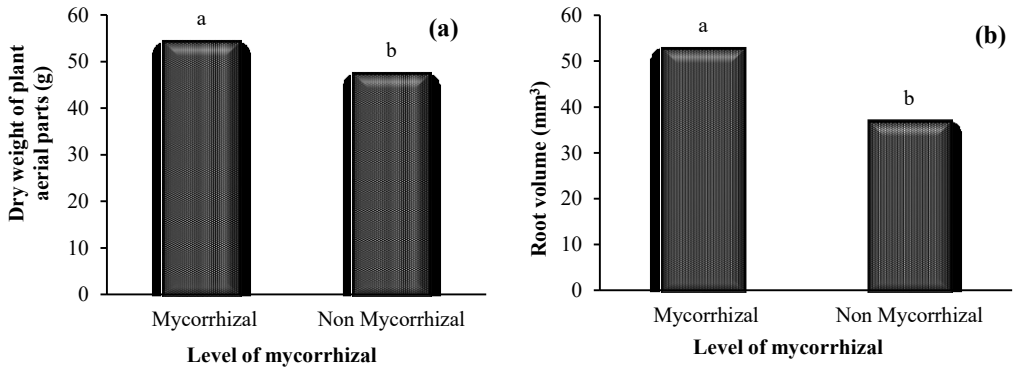
**, *, ns: Significantly difference at 1% and 5% level and no significantly difference, respectively.

کاربرد مقادیر بیش‌تر این ماده (شش درصد بیوچار) تأثیر مثبتی بر این صفات نداشت. با این وجود تنها در واریته کریسپوم و در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا، کاربرد شش درصد بیوچار باعث افزایش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی نسبت به سطح سه درصد گردید. در مورد وزن تر و خشک ریشه نیز بررسی نتایج نشان داد که در اغلب موارد تیمار بیوچار سه درصد منجر به دست‌یابی به مقادیر بیش‌تر این صفات شد، در حالی‌که در واریته کریسپوم در شرایط کاربرد میکوریزا بیش‌ترین میزان وزن تر و خشک ریشه در بیوچار شش درصد به دست آمد.

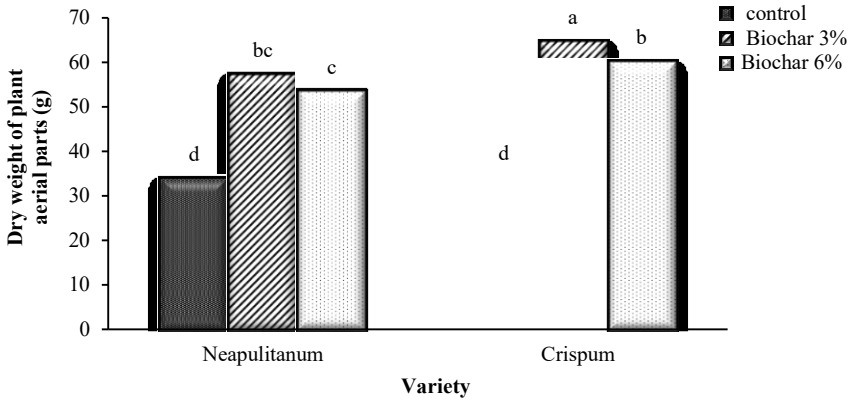
نتایج نشان داد در هر دو واریته جعفری گیاهان تیمار شده با میکوریزا نیز نسبت به تیمار عدم کاربرد میکوریزا از وزن تر اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه‌ی بالاتری برخوردار بودند. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که کاربرد بیوچار باعث افزایش میزان کلونیزاسیون ریشه هر دو واریته جعفری با قارچ میکوریزا گردید، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان کلونیزاسیون در واریته نئاپولیتانوم و بیوچار سه درصد مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با بیوچار شش درصد نداشت. اما بیش‌ترین میزان کلونیزاسیون واریته کریسپوم در بیوچار شش درصد بود. بررسی بیش‌تر نتایج نشان داد در مجموع در واریته نئاپولیتانوم کاربرد بیوچار سه درصد منجر به دست‌یابی به نتایج بهتری از نظر وزن تر اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و کلونیزاسیون قارچ میکوریزا با ریشه گیاه گردید. بر خلاف این در واریته کریسپوم کاربرد بیش‌ترین میزان بیوچار (شش درصد) منجر به دست‌یابی بالاترین میزان وزن تر اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و کلونیزاسیون گردید. مقایسه بین واریته‌ها نیز نشان داد که واریته نئاپولیتانوم در مجموع وزن تر و خشک ریشه بیش‌تری داشت و قادر به ایجاد همزیستی بیش‌تری با قارچ‌های میکوریزا بود، اما واریته کریسپوم از وزن تر اندام هوایی بیش‌تری برخوردار بود (جدول ۳).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر واریته بر حجم ریشه جعفری.
Figure 1. Mean comparison effect of variety on root volume of parsley.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر میکوریزا بر a): وزن خشک اندام هوایی و b): حجم ریشه جعفری.
Figure 2. Mean comparison effect of mycorrhizal on a: shoot dry weight and b: root volume of parsley.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل واریته و بیوچار بر وزن خشک اندام هوایی جعفری.

Figure 3. Mean comparison interaction effect of variety and biochar on plant dry weight of parsley.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل واریته، میکوریزا و بیوچار بر زی‌توده گیاهی و میزان کلونیزاسیون ریشه‌ی جعفری.

Table 3. Mean comparison interaction effect of variety, biochar and mycorrhizal on biomass and colonization of parsley.

Variety	Mycorrhizal	Biochar	Plant fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)	Colonization (%)
Neapolitanum	Mycorrhizal	control	136.033^{f}	63.2000^{b}	17.1633^{b}	74.50^{b}
		3%	251.767^{bc}	70.7433^{a}	18.6800^{a}	96.00^{a}
		6%	244.890^{bcd}	55.9733^{c}	10.8400^{f}	94.80^{b}
	Non Mycorrhizal	Control	129.793^{f}	46.4800d^{e}	12.3067^{e}	0.00^{e}
		3%	234.877^{cde}	53.6667^{c}	15.5833^{c}	0.00^{e}
		6%	225.457^{e}	40.4900f^{g}	14.2200^{cd}	0.00^{e}
Crispum	Mycorrhizal	Control	144.627^{f}	43.6367^{ef}	8.4167^{g}	43.05^{d}
		3%	291.180^{a}	48.4167^{d}	10.7200^{f}	42.50^{d}
		6%	278.270^{a}	54.8367^{c}	13.0333^{de}	62.00^{c}
	Non Mycorrhizal	Control	132.427^{f}	37.2767^{gh}	6.8400^{h}	0.00^{e}
		3%	230.837^{de}	41.0267^{f}	8.5233^{g}	0.00^{e}
		6%	256.830^{b}	35.6067^{h}	4.7200^{i}	0.00^{e}

در هر ستون، میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ی ندارند.

Means in each column followed by the same letters are not significantly difference at 5% probability level.

عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد اثر واریته بر میزان عناصر غذایی سدیم، آهن، منگنز، روی، فسفر و کلسیم در برگ گیاه جعفری معنی‌دار شد. عناصر سدیم، پتاسم، آهن، منگنز، روی، مس، فسفر، منیزیم، کلسیم و نیتروژن نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر بیوچار قرار گرفتند. اثر میکوریزا نیز در عناصر غذایی آهن، منگنز، سدیم، روی، مس، فسفر، منیزیم و کلسیم معنی‌دار بود. اثر متقابل واریته و بیوچار بر آهن، منگنز، روی، فسفر، منیزیم و کلسیم معنی‌دار شد. عناصر غذایی منگنز، روی، منیزیم و کلسیم نیز به صورت معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل واریته و میکوریزا قرار گرفتند. اثر متقابل میکوریزا و بیوچار نیز بر عناصر غذایی روی، کلسیم و فسفر معنی‌دار گردید. اثر متقابل سه‌گانه واریته، میکوریزا و بیوچار بر عناصر غذایی منگنز، روی و فسفر معنی‌دار شد.

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر واریته بر میزان عناصر غذایی جعفری، بیش‌ترین غلظت سدیم (۳۱۴/۰۲۸ پی‌پی‌ام) مربوط به واریته نئاپولیتانوم بود (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر بیوچار نشان داد بیش‌ترین غلظت سدیم (۳۵۲/۴۵۸ پی‌پی‌ام)، پتاسیم (۵۹۴۲۷/۹ پی‌پی‌ام) و نیتروژن (۳/۰۲۶۸۳ درصد) در بیوچار شش درصد مشاهده شد. بیش‌ترین غلظت عنصر مس (۷/۷۵۰۰۰ پی‌پی‌ام) نیز در تیمار بیوچار شش درصد به‌دست آمد که دارای تفاوت معنی‌داری با تیمار بیوچار سه درصد نبود. (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر میکوریزا نیز نشان داد بیش‌ترین تجمع عناصر آهن و مس (به ترتیب با ۲۱۴/۱۱۸ و ۷/۷۲۲۲۲ پی‌پی‌ام) در تیمار کاربرد میکوریزا مشاهده شد (شکل ۵).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر واریته، بیوچار و میکوریزا بر عناصر غذایی برگ جعفری.

Table 4. Results of variance analysis effect of variety, biochar and mychorirzal on leaf nutrient elements of parsley.

Source of variation	df	Mean of squares				
		P	N	Fe	Na	Mg
Cultivar	1	310472**	0.10660^{ns}	40125.1**	3570.1*	48841^{ns}
Biochar	2	29968454**	4.39344**	9313.1**	28448.9**	6138203**
Mycorrhizal	1	1452668**	0.54982^{ns}	8360.8**	2747.5**	6378571**
Biochar×cultivar	2	405042**	0.04634^{ns}	3072.0**	123.4^{ns}	1506873**
Mycorrhizal×cultivar	1	77^{ns}	0.00483^{ns}	203.7^{ns}	1050.8^{ns}	689108**
Mycorrhizal×biochar	2	215200**	0.36007^{ns}	348.0^{ns}	1217.2^{ns}	56816^{ns}
Mycorrhizal×cultivar×biochar	2	359186**	0.19094^{ns}	168.2^{ns}	585.0^{ns}	107760^{ns}
Cv		2.16	28.45	6.19	9.49	4.80

**، *، ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly difference at 1% and 5% level and no significantly difference, respectively.

ادامه جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر واریته، بیوچار و میکوریزا بر عناصر غذایی برگ جعفری.

Continue Table 4. Results of variance analysis effect of variety, biochar and mychorirzal on leaf nutrient elements of parsley.

Source of variation	df	Mean of squares				
		Mn	Cu	Zn	Ca	K
Cultivar	1	279.127**	0.1111^{ns}	7941.8**	2951238**	1579^{ns}
Biochar	2	267.855**	6.6944**	52494.0**	8863843**	40513809**
Mycorrhizal	1	165.830**	7.1111**	3773.0**	26985428**	1615190^{ns}
Biochar×cultivar	2	93.218**	0.8611^{ns}	4805.5**	307491**	3778908^{ns}
Mycorrhizal×cultivar	1	38.280**	0.4444^{ns}	27636.3**	933478**	9299^{ns}
Mycorrhizal×biochar	2	4.060^{ns}	0.1944^{ns}	3509.1**	640081**	678140^{ns}
Mycorrhizal×cultivar×biochar	2	52.929**	0.6944^{ns}	18581.6**	762451**	2157524^{ns}
Cv		4.04	11.9	4.46	2.96	2.60

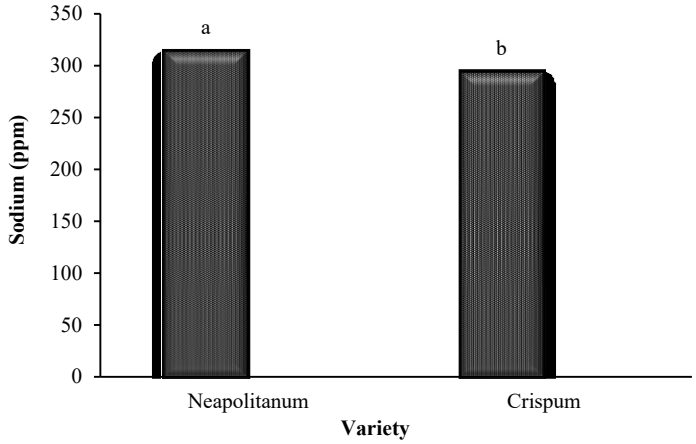
**، *، ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly difference at 1% and 5% level and no significantly difference, respectively.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل واریته و بیوچار بر میزان عناصر غذایی واریته‌های جعفری نشان داد که بیش‌ترین غلظت عنصر آهن (۲۸۱/۲۵۰ پی‌پی‌ام) مربوط به واریته کریسپوم و بیوچار شش درصد و بیش‌ترین غلظت عنصر منیزیم (۵۳۶۸/۳۵ پی‌پی‌ام) مربوط به واریته نئاپولیتانوم و بیوچار سه درصد بود. بررسی نتایج نشان داد در هر دو واریته جعفری بالاترین میزان آهن در تیمار بیوچار شش درصد مشاهده شد، با این تفاوت که در واریته نئاپولیتانوم تفاوت بین سطح شش و سه درصد بیوچار معنی‌دار نبود. در مورد عنصر منیزیم، در هر دو واریته بالاترین میزان آن در سطح سه درصد بیوچار مشاهده شد، با این تفاوت که در واریته نئاپولیتانوم حتی در سطح شش درصد بیوچار کاهش میزان منیزیم مشاهده شد، در حالی که در واریته کریسپوم تفاوت بین سطح سه و شش درصد بیوچار معنی‌دار نبود (شکل ۶). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل واریته و میکوریزا، بیش‌ترین تجمع غلظت عنصر منیزیم (۵۰۳۵/۹۴ پی‌پی‌ام) مربوط به واریته نئاپولیتانوم و تیمار کاربرد میکوریزا بود. نتایج نشان داد تیمار میکوریزا باعث افزایش غلظت منیزیم در هر دو واریته نئاپولیتانوم و کریسپوم گردید (شکل ۷).

نتایج مقایسه میانگین اثرات سه گانه واریته، میکوریزا و بیوچار بر میزان عناصر غذایی جعفری نشان داد بیش‌ترین غلظت عنصر فسفر (۸۹۱۸/۶۷ پی‌پی‌ام) مربوط به واریته نئاپولیتانوم در شرایط کاربرد میکوریزا با بیوچار شش درصد بود که با واریته کریسپوم با کاربرد میکوریزا و بیوچار شش درصد تفاوت معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین میزان عنصر روی (۴۲۵/۰۰۰ پی‌پی‌ام) در واریته نئاپولیتانوم با کاربرد میکوریزا و بیوچار سه درصد مشاهده شد. بیش‌ترین میزان عنصر منگنز (۵۰/۷۲۹۶ پی‌پی‌ام) نیز در واریته کریسپوم با کاربرد میکوریزا به همراه کاربرد بیوچار شش درصد به‌دست آمد که با تیمار کاربرد میکوریزا و بیوچار سه درصد در واریته کریسپوم تفاوت معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین میزان عنصر کلسیم (۹۸۵۵/۸۳

پی‌پی‌ام) نیز در واریته کریسپوم با کاربرد میکوریزا به همراه بیوچار شش درصد به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با واریته کریسپوم و کاربرد میکوریزا با بیوچار سه درصد نداشت. بررسی نتایج نشان داد کاربرد میکوریزا در این مطالعه باعث افزایش میزان فسفر، کلسیم و منگنز در هر دو واریته جعفری گردید، در حالی‌که کاربرد میکوریزا تنها در واریته نئاپولیتانوم منجر به افزایش تجمع عنصر روی گردید. در مورد بیوچار نیز در اغلب موارد کاربرد آن منجر به افزایش کلسیم، منگنز، فسفر و روی گردید. با این حال بیش‌ترین میزان کلسیم، منگنز و فسفر در سطح شش درصد بیوچار مشاهده گردید، در حالی‌که بیش‌ترین میزان روی در تیمار سه درصد بیوچار به‌دست آمد. بین دو واریته جعفری نیز از نظر میزان کلسیم، منگنز، فسفر و روی اختلاف قابل توجهی مشاهده نگردید (جدول ۶).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر واریته بر میزان سدیم جعفری.

Figure 4. Mean comparison effect of variety on sodium content of parsley.

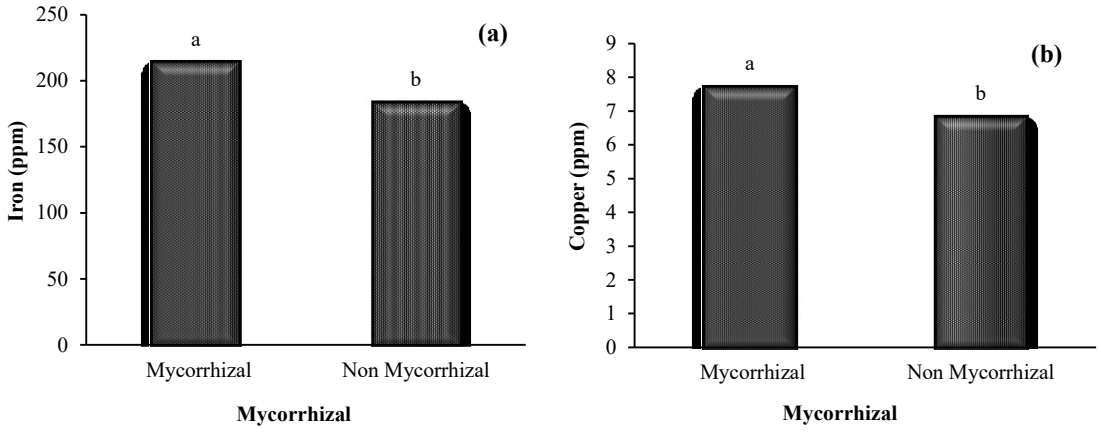
جدول ۵. مقایسه میانگین اثر بیوچار بر میزان عناصر غذایی جعفری.

Table 5. Mean comparison of biochar effect on nutrient elements content of parsley.

Biochar	N (%)	K (ppm)	Na (ppm)	Cu (ppm)
Control	1.83650^{c}	55758.6^{c}	255.083^{c}	6.41667^{b}
3%	2.24275^{b}	57418.3^{b}	304.667^{b}	7.66667^{a}
6%	3.02683^{a}	59427.9^{a}	352.458^{a}	7.75000^{a}

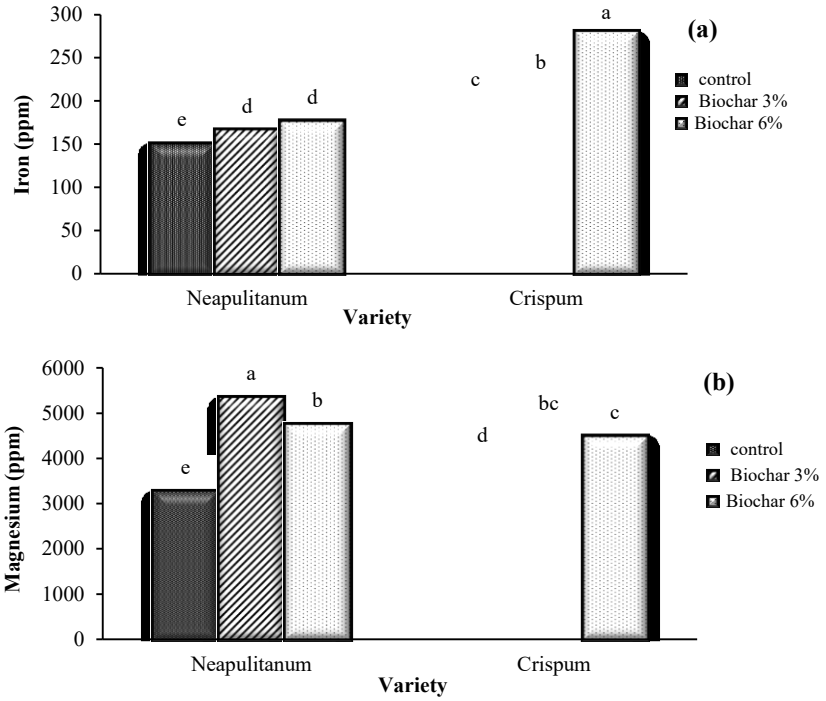
در هر ستون، میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ی ندارند.

Means in each column followed by the same letters are not significantly difference at 5% probability level.



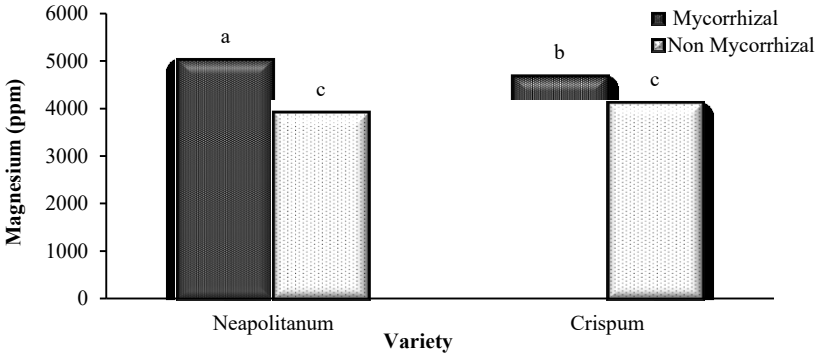
شکل ۵. مقایسه میانگین اثر میکوریزا بر میزان عناصر غذایی جعفری (a: آهن، b: مس).

Figure 5. Mean comparison effect of mycorrhizal on nutrient elements content of parsley (a: iron, b: copper).



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل واریته و بیوچار بر میزان عناصر غذایی جعفری (a: آهن، b: منیزیم).

Figure 6. Mean comparison interaction effect of variety and biochar on nutrient elements content of parsley (a: iron, b: magnesium).



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل واریته و میکوریزا بر میزان منیزیم جعفری.

Figure 7. Mean comparison interaction effects of variety and mycorrhizal on magnesium content of parsley.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل واریته، میکوریزا و بیوچار بر میزان عناصر غذایی جعفری.

Table 6. Mean comparison interaction effect of variety, biochar and mycorrhizal on nutrien elements content of parsley.

Variet	Mycorrhizal	Biochar	P (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Ca (ppm)
Neapolitanum	Mycorrhizal	Control	4796.00^{f}	36.1667^{f}	223.417^{f}	8487.33^{d}
		3%	6636.20^{c}	38.5417^{ef}	425.000^{a}	9187.33^{b}
		6%	8918.67^{a}	48.4867^{ab}	278.000^{c}	9730.42^{a}
	Non Mycorrhizal	Control	3418.93^{i}	28.7425^{g}	150.792^{g}	5532.92^{f}
		3%	5755.60^{e}	41.6250^{d}	280.225^{c}	7440.33^{c}
		6%	6662.27^{c}	46.1371^{bc}	245.333^{de}	8270.92^{d}
Crispum	Mycorrhizal	Control	4576.40^{g}	46.0508b^{c}	231.375^{ef}	8570.00c^{d}
		3%	7453.47^{b}	49.3088^{a}	282.625^{c}	9731.00^{a}
		6%	8869.40^{a}	50.7296^{a}	262.667^{cd}	9855.83^{a}
	Non Mycorrhizal	Control	3712.93^{h}	42.2362^{d}	245.000^{de}	7334.08^{e}
		3%	6370.00^{d}	39.3300d^{e}	389.667^{b}	7702.50^{e}
		6%	6619.87^{c}	45.4583^{c}	369.667^{b}	8891.67^{bc}

در هر ستون، میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ی ندارند.

Means in each column followed by the same letters are not significantly difference at 5% probability level.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد کاربرد بیوچار تا سطح سه درصد در اغلب موارد باعث افزایش رشد و زی‌توده‌ی گیاهی و میزان کلونیزاسیون جعفری گردید، اما کاربرد مقادیر بیش‌تر (شش درصد) تأثیر مثبتی بر رشد و زی‌توده‌ی گیاه نداشت و در برخی موارد حتی اثر منفی نیز بر جای گذاشت. در هر دو واریته نئاپولیتانوم و کریسپوم با کاربرد بیوچار تا سطح سه درصد وزن تر و خشک اندام هوایی افزایش یافت، اما کاربرد مقادیر بیش‌تر در اغلب موارد تأثیر معنی‌داری بر این صفات نداشت. در مورد وزن تر و خشک ریشه نیز در اغلب موارد تیمار بیوچار سه درصد منجر به دست‌یابی به مقادیر بیش‌تر این صفات شد. بیش‌ترین میزان کلونیزاسیون نیز در واریته نئاپولیتانوم و بیوچار سه درصد مشاهده شد. افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و عملکرد گیاه با کاربرد مقادیر کم بیوچار می‌تواند به‌دلیل افزایش ماده‌ی آلی خاک و افزایش دسترسی به عناصر غذایی و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه و هم‌چنین بهبود ساختمان خاک باشد. همان‌گونه که گزارش شده است افزایش عملکرد گیاه در اثر کاربرد بیوچار می‌تواند به‌دلیل اثرات مستقیم (عناصر غذایی موجود در بقایای گیاهی که طی فرایند حرارتی به بیوچار تبدیل شده‌اند) و غیرمستقیم (بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) آن باشد (Major *et al.,* 2010). در اغلب مطالعات نیز گزارش شده است که بیوچار با تغییر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک موجب بهبود حاصل‌خیزی خاک شده و در نهایت منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاه گردیده است. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد کاربرد بیوچار تا سطح سه درصد باعث افزایش جذب و تجمع عناصر منیزیم و روی در هر دو واریته جعفری شد. علاوه بر این جذب و تجمع عناصر سدیم، پتاسیم، نیتروژن، مس، کلسیم، منگنز، فسفر و آهن در اغلب موارد با کاربرد بیوچار تا سطح شش درصد افزایش یافت. مطالعات نشان داده است که بیوچار به‌دلیل داشتن سطوح تبادلی زیاد می‌توانند منجر به افزایش نگهداری عناصر غذایی در خاک شود. در نتیجه افزودن بیوچار منجر به افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی می‌گردد (Major *et al.,* 2010). در مطالعه‌ای دیگر گزارش کردند کاربرد کود مرغی و بیوچار حاصل از آن باعث افزایش معنی‌دار غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و روی در گیاه لوبیا شد (Inal *et al.*, 2015).

در پژوهش حاضر کاربرد بیوچار تا سطح شش درصد منجر به افزایش جذب و تجمع اغلب عناصر غذایی در هر دو واریته‌ی جعفری گردید. با این وجود حداکثر میزان رشد و عملکرد گیاه در اغلب موارد در تیمار بیوچار سه درصد مشاهده شد. عدم افزایش رشد و عملکرد گیاه با کاربرد بیوچار شش درصد با وجود جذب بیش‌تر عناصر غذایی، احتمالاً ناشی از شوری خاک با کاربرد مقادیر بالای بیوچار است. به نظر می‌رسد کاربرد مقادیر بالای بیوچار منجر به بیش‌بود برخی عناصر غذایی مانند سدیم و کلر، و در نتیجه جذب بیش‌تر آن‌ها توسط گیاه و احتمالاً سمیت آن‌ها می‌گردد. نتایج نیز نشان‌دهنده‌ی جذب و تجمع بیش‌تر عنصر سدیم در گیاه با تیمار بیوچار شش درصد بود. علاوه بر این وجود ترکیبات فنلی و ترپنوئیدی با اثرات آللوپاتیک قوی در بقایایی گیاه دارویی مرزه خوزستانی نیز ممکن است اثرات منفی بر رشد و عملکرد جعفری داشته باشد (Rezaei *et al.*, 2020). کاهش رشد و عملکرد گیاهان با کاربرد مقادیر بالای بیوچار در برخی از مطالعات دیگر گزارش شده است. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، در مطالعه‌ای گلخانه‌ای گزارش شد که کاربرد سطوح بالای بیوچار (۷ درصد) منجر به کاهش عملکرد ذرت گردید، در حالی‌که کاربرد مقادیر پایین‌تر (۵ درصد و ۲ درصد) این ترکیب منجر به افزایش عملکرد گیاه شد (Rajkovich *et al.*, 2012). به‌طور کلی تأثیر بیوچار بر عملکرد گیاه به فاکتورهای مختلفی از جمله وضعیت حاصل‌خیزی اولیه‌ی خاک، بافت خاک، دمای تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار و حتی نوع گیاه بستگی دارد. بنابراین کاربرد بیوچار می‌تواند اثرات مثبت و گاهاً منفی بر خصوصیات خاک داشته باشد. هرچه خاک کیفیت پایین‌تری داشته باشد (مقدار مواد آلی کمتر و ظرفیت پایین‌تر نگه‌داری عناصر غذایی) احتمال تحریک و افزایش عملکرد گیاه با کاربرد بیوچار بیش‌تر است. به‌علاوه نوع بیوچار و

میزان کاربرد آن نیز بر نحوه‌ی اثرگذاری آن روی گیاه تأثیرگذار است (Beiranvand *et al*., 2020). بنابراین تفاوت در نتایج مطالعات به‌ویژه در تیمارهای کاربرد مقادیر زیاد بیوچار می‌تواند به‌دلیل تفاوت در نوع و ویژگی‌های بیوچار به‌کار رفته، نوع گیاه و ویژگی‌های خاک مورد استفاده باشد (Govil & Singh, 2016). در مطالعه حاضر در واریته نئاپولیتانوم کاربرد بیوچار سه درصد منجر به دست‌یابی به نتایج بهتری از نظر زی‌توده‌ی گیاهی و کلونیزاسیون قارچ میکوریزا با ریشه گیاه گردید. با این وجود در واریته کریسپوم کاربرد بیوچار شش درصد باعث منجر به دست‌یابی به بالاترین میزان وزن تر اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه و میزان کلونیزاسیون گردید. این تفاوت احتمالاً به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی بین واریته‌های مورد مطالعه و حساسیت متفاوت آن‌ها به شرایط محیطی است.

در مطالعه حاضر کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش رشد و زی‌توده گیاهی (وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و حجم ریشه) واریته‌های جعفری گردید. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج به‌دست آمده در سیب زمینی و لیلکی ایرانی مطابقت داشت (Pouyafar *et al*., 2021; Parvizi, 2021). با توجه به نتایج حاصل و هم‌چنین بررسی منابع صورت گرفته می‌توان اظهار نمود که گیاه با وجود میکوریزا در خاک توانسته است عناصر و املاح مورد نیاز خود را به مقدار مورد نیاز تهیه کند و عملکرد آن افزایش یابد (Mehraban *et al*., 2012). در مطالعه‌ی حاضر در تیمار کود میکوریزا از شش گونه مختلف میکوریزا آربسکولار با بیش از ۳۰ جدایه مختلف استفاده شد که توانستند همزیستی خوبی با ریشه گیاهان جعفری برقرار کنند، به‌طوری که واریته نئاپولیتانوم قادر به ایجاد ۹۶ درصد همزیستی با قارچ‌های میکوریزا آربسکولار شد. علاوه بر این در این آزمایش کاربرد میکوریزا منجر به جذب و تجمع بیشتر آهن، منیزیم، منگنز، فسفر، کلسیم و مس در اغلب موارد گردید. قارچ میکوریزا به‌طور مؤثری باعث افزایش ظرفیت جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف از طریق تولید آنزیم‌هایی مانند فسفاتازها و حلالیت عناصری مانند فسفر و عناصر کم تحرک می‌شود (Celik *et al.,* 2004). این قارچ‌ها با اثر بر سیستم ریشه از طریق ایجاد هیف و گسترش این سیستم در طول ریشه و اثر بر جذب عناصر و رشد، موجب تحمل شرایط نامساعد محیطی نیز می‌گردند (Beiranvand *et al*., 2017). در مطالعه‌ای گزارش شد فعالیت میکروارگانیزم‌های مفید خاک نظیر قارچ‌های میکوریزا و میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات، در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Naiji & Souri, 2018). نتایج پژوهشی دیگر نشان داد: کاربرد قارچ میکوریز باعث افزایش رشد و میزان محصول در خیار و طالبی گردید. (Abdelhafez *et al*., 2006). بررسی تأثیر قارچ میکوریزا بر گیاه ریحان در شرایط تنش شوری نشان داد که طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و هم‌چنین میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا افزایش یافت (Hajbagheri & Enteshari, 2011). در مطالعه حاضر نیز افزایش وزن تر و خشک ریشه در جعفری واریته کریسپوم با کاربرد بیوچار شش درصد در شرایط کاربرد میکوریزا را می‌توان به وجود اثر مثبت قارچ‌های میکوریزا به شرایط نامساعد محیطی نسبت داد که اثر منفی ناشی از شوری و هم‌چنین ترکیبات فنلی و ترپنوئیدی موجود در گیاه مرزه را کاهش داده و به این طریق باعث افزایش میزان وزن تر و خشک ریشه گردیده است.

عوامل مختلفی بر همزیستی و کلونیزاسیون قارچ میکوریزا آربسکولار با ریشه گیاهان تأثیرگذار است. از جمله این عوامل می‌توان به توانایی میسلیوم‌های خارجی قارچ‌های میکوریزا آربسکولار در انتشار به درون خاک و نفوذ به درون ریشه، و عوامل محیطی نظیر شدت نور، اسیدیته، رطوبت، ماده آلی، بافت و تهویه خاک اشاره نمود (Alizadeh *et al*., 2017). در مطالعات زیادی گزارش شده است که کاربرد بیوچار در خاک درصد کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار با ریشه گیاه را افزایش می‌دهد (Mickan *et al.,* 2016). در پژوهش حاضر نیز کاربرد بیوچار

باعث افزایش میزان کلونیزاسیون میکوریزا با گیاه جعفری شد. در تطابق با پژوهش حاضر، اثرات مفید بیوچار بر افزایش درصد کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار با ریشه گندم، در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی و مقاومت گیاه گندم به تنش خشکی گزارش شده است (Solaiman *et al.,* 2010). در تحقیقی افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه را در اثر افزودن بیوچار حاصل از چوب سخت (۲ درصد وزنی)، ناشی از افزایش رشد هیف‌های خارجی قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا دانستند (Mickan *et al.,* 2016). افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه سویا با کاربرد بیوچار در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Wathira *et al*., 2016). در تحقیقی روی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) نیز گزارش شد اثرات متقابل میکوریزا و بیوچار سبب افزایش وزن خشک برگ و ریشه گیاه شد. این محققان بیان کردند که تلقیح میکوریزا همراه با کاربرد بیوچار در کمیت و کیفیت گیاه دارویی نعناع فلفلی نقش مؤثری ایفا کرده است (Rezaeiyan *et al.*, 2014).

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه در اغلب صفات مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری بین واریته‌ها جعفری مشاهده شد. میزان کلونیزاسیون و وزن تر و خشک ریشه در واریته نئاپولیتانوم بالاتر بود، اما در مجموع واریته کریسپوم دارای وزن تر و خشک اندام هوایی بیش‌تری نسبت به واریته نئاپولیتانوم بود. این امر می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی دو واریته باشد. بنابراین کشت گلخانه‌ای واریته کریسپوم منجر به دست‌یابی به عملکرد و زی‌توده‌ی گیاهی بیش‌تری خواهد شد. علاوه بر این کاربرد بیوچار به میزان سه درصد به‌طور قابل توجهی باعث افزایش رشد و زی‌توده‌ی واریته‌های جعفری شد و کاربرد مقادیر بالاتر این ترکیب علی‌رغم افزایش غلظت عناصر غذایی در گیاه، تأثیر مثبتی بر عملکرد و زی‌توده‌ی گیاهی نداشت. بنابراین تهیه بیوچار حاصل از ضایعات اسانس‌گیری گیاهان دارویی (به‌عنوان تفاله‌هایی بدون مصرف) و کاربرد آن‌ها در خاک به‌عنوان منبع تغذیه‌ای پایدار، نه‌تنها می‌تواند در حفاظت از محیط زیست مؤثر باشد، بلکه می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش رشد و زی‌توده گیاهی و همین‌طور افزایش میزان عناصر غذایی در گیاه جعفری گردد. قارچ‌های میکوریزا نیز به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد و میزان کلونیزاسیون و عناصر غذایی در واریته‌های جعفری شدند. بنابراین کاربرد قارچ‌های میکوریزا با توجه به تأثیر مثبت آن‌ها بر رشد و زی‌توده‌ی گیاهی و میزان عناصر غذایی واریته‌های جعفری، به‌عنوان افزایش دهنده رشد و کیفیت گیاه جعفری توصیه می‌گردد. علاوه بر این کاربرد بیوچار منجر به کلونیزاسیون بهتر ریشه‌ی گیاهان با قارچ میکوریزا گردید. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده توأم بیوچار و قارچ‌های میکوریزا شرایط بهتری را جهت دست‌یابی به اهداف کشاورزی پایدار و افزایش رشد و زی‌توده گیاه جعفری فراهم می‌آورد.

REFERENCES

1. Abdelhafez, A. A. & Abdel-Monsief, R. A. (2006). Effects of VA mycorrhizal inoculation on growth, yield and nutrient content of cantaloupe and cucumber under different water regimes. *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2(6), 503-508.
2. Alizadeh, A., Mazaheri, D. & Hashemi Dezfuli, V. (2017). Effect of sulfur coated urea and urea on yield and yield components of maize cultivars. *Resarch Construction,* 10(3), 42-45. (In Farsi).
3. AOAC, *Official methods of analysis*. Official methods of analysis, association of analytical chemists, AOAC international, Washington, DC, USA, p. 334.
4. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C. & Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresour. *Technology,* 93(2), 145-153.
5. Bakhshipour, F., Mumivand, H., Sedaghati, E. & Ehtesham Nia, A. (2021). Effects of biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi on growth, biomass and some morphological and biochemical characteristics of two Parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) cultivars under greenhouse condition. *Journal of Plant Production Research***,** 28(2), 1-21. (In Farsi).

6. Beiranvand, M., Rezaei Nezhad, A. & Hoseini, S. Z. (2017). The effect of two species of arbescular mycorrhiza (*Glomus mosseae* and *G. Intraradice*) on morphological characteristics of *aromatic geranium* under salinity stress. *Journal of Greenhouse Culture Sciense and Technology*, 8(1), 1-14. (In Farsi).
7. Beiranvandi, M., Akbari, N., Ahmadi, A., Mumivand, H. & Nazarian, F. (2020). Interaction of biochar and superabsorbent on the composition of Satureja rechingeri Jamzad essential oil under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research***,** 36(5), 780-793. (In Farsi).
8. Celik, I., Ortas, I. & Kilic, S. (2004). Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research,* 78(1), 59-67.
9. Dalp, Y. (1993). *Vesicular-arbuscular mycorrhiza*. Soil sampling and methods of analysis. p. 287-301.
10. Daneshvar, M. H. (1379). *Growing vegetables*. Shahid Chamran University of Ahvaz Publications Press, P. 461. (In Farsi).
11. Erfani, H. (1981). *The most common medicinal herbs in Iran*. Razi Publication. p. 121-124. (In Farsi).
12. Goili, A., Mosavi, S. A. A. & Kamgar haghighi, A. A. (2016). Effect of cow manure and moisture stress on growth characteristics and water use efficiency of spinach in greenhouse conditions. *Water Research in Agriculture,* 30(2), 259-243. (In Farsi).
13. Hajbagheri, S. & Enteshari, S. (2011). Effects of mycorrhizal fungi on photosynthetic pigments, root mycorrhizal colonization and morphological characteristics of salt stressed (*Ocimum basilicum* L*.). Iranian Journal of Plant Physiol*, 1(4), 215-22. (In Farsi).
14. Inal, A., Gunes, A., Sahin, O. Z. G. E., Taskin, M. B. & Kaya, E. C. (2015). Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*, 31(1),106-113.
15. Javaid, A. (2009). Arbuscular mycorrhizal mediated nutrition in plants. *Journal of Plant Nutrition*, 32(10), 1595-1618. (In Farsi).
16. Khodabandeh, N. (2000). *Cereal farming. University of Tehran Publication*. Page 537. (In Farsi).
17. Knowles, O.A., Robinson, B.H., Contangelo, A. & Clucas, L. (2011). Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. *Science of Total Environment*, 409, 3206- 3210.
18. Lehmann, J. & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: an introduction*. In Biochar for environmental management (pp. 33-46). Routledge.
19. Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C. & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota–a review. *Soil Biology and Biochemistry,* 43(9), 1812-1836.
20. Major, J., Steiner, C., Downie, A., Lehmann, J. & Joseph, S. (2009). *Biochar effects on nutrient leaching*. Biochar for environmental management: Science and Technology, 271.
21. Mehraban, A. Nourmohammadi, F. Vozan, S. A. Ardakani, R. & Heidari Sharifabad, H. (2012). Investigation of the role of arbuscular mycorrhizal microorganisms (VAM) on some traits of sorghum. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*. 8(2), 1-9. (In Farsi).
22. Mickan, B. S., Abbott, L. K., Stefanova, K. & Solaiman, Z. M. (2016). Interactions between biochar and mycorrhizal fungi in a water-stressed agricultural soil. *Mycorrhiza*, 26(6), 565-574.
23. Miller, M. H. (2000). Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize: a review of Guelph studies. *Canadian Journal of Plant Science*, 80(1), 47-52.
24. Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M. R. & Shayganfar, A. (2021a). Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products*, 164, 113381.
25. Mumivand, H., Khanizadeh, P., Morshedloo, M. R., Sierka, E., Żuk-Gołaszewska, K., Horaczek, T. & Kalaji, H. M. (2021b). Improvement of Growth, Yield, Seed Production and Phytochemical Properties of Satureja khuzistanica Jamzad by Foliar Application of Boron and Zinc. *Plants*, 10(11), 2469.
26. Naiji, M. & Souri, M.K. (2018). Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization, *Journal of Hortorum Cultus*, 17(2), 167175.
27. Olfati, J. A., Khasmakhi-Sabet, S. A., Shabani, H. & Peyvast, G. (2012). Alternative organic fertilizer to cow manure for French dwarf bean production. *J ournal of Vegetable Science*, 18(2), 190-198.
28. Oseni, T. O., Shongwe, N. S. & Masarirambi, M. T. (2010). Effect of arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on the performance of tomato nursery seedlings in vermiculite. *International Journal of Agriculture & Biology, 12*, 789-792.
29. Ozsoy-Sacan, O., Yanardag, R., Orak, H., Ozgey, Y., Yarat, A. & Tunali, T. (2006). Effects of parsley (*Petroselinum crispum*) extract versus glibornuride on the liver of streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 104(1-2), 175-181.
30. Philips, J. M. & Hayman, D. S. (1970). Improved Procedures for Cleaning Roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society,* 55(1), 158-161.
31. Parvizi, Kh. (2021). Evaluation of the effect of superabsorbent materials and mycorrhizae on growing traits and yield of potato in deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(3), 605-617. (In Farsi).

32. Pouyafar, P., Khaleghi, A., Abbasifar, A. & Taghizadeh, M. (2021) Effect of root inoculation of mycorrhiza fungi (*Glomus mosseae*) on growth and resistance to drought stress in Gleditsia caspica seedlings. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(3), 633-645. (In Farsi).
33. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R. & Lehmann, J. (2012**).** Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils,* 48(3), 271-284.
34. Rezaei, S. (2020). *Evaluation of the allelopathic effect of aqueous extract of eucalyptys on the seed germination and seeding growth of weeds*. MSc. Thesis. Faculty of Agriculture, University of Lorestan, Iran. (In Farsi).
35. Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E. & Bol, R. (2009). Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. *CSIRO Land and Water Science Report*, 5(9), 17-31.
36. Solaiman, Z. M., Blackwell, P., Abbott, L. K. & Storer, P. (2010). Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonisation, growth and nutrition of wheat. *Soil Research,* 48(7), 546-554.
37. Souri, M.K., Naiji, M. & Kianmehr, M.H. (2019). Nitrogen release dynamics of a slow release urea pellet and its effect on growth, yield, and nutrient uptake of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 42(6), 604-614.
38. Souri, M.K., Rashidi, M. & Kianmehr, M.H. (2018). Effects of manure-based urea pellets on growth, yield, and nitrate content in coriander, garden cress, and parsley plants. *Journal of Plant Nutrition*, 41(11), 1405-1413.
39. Warnock, D. D., Meummey, D. L., McBride, B., Major, J., Lehmann, J. & Rillig, M. C. (2010). Influences of non-herbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth-chamber and field experiments. *Applied Soil Ecology*, 46(3), 450-456.
40. Wathira, N. L., Wachira, P. & Okoth, S. (2016). Enhancement of colonisation of soybean roots by arbuscular mycorrhizal fungi using vermicompost and biochar. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 5(3), 71-78.
41. Xu, C. Y., Hosseini-Bai, S., Hao, Y., Rachaputi, R. C., Wang, H., Xu, Z. & Wallace, H. (2015). Effect of biochar amendment on yield and photosynthesis of peanut on two types of soils. *Environmental Science and Pollution Research,* 22(8), 6112-6125.