به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۱ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۸

صفحه‌های ۴۲۲-۴۰۷

تأثیر بیوچار و کودهای زیستی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد و محتوای عناصر غذایی نعناع فلفلی

فائزه زعفریان[۱*]، وحید اکبرپور[۲]، مریم حبیبی[۳]، محمد کاوه[۳]

۱. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲. استادیار، گروه باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۳. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۵

چکیده

به‌منظور بررسی اثر بیوچار و کود زیستی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد و محتوای عناصر غذایی گیاه نعناع فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* L.، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ انجام شد. تیمارها شامل بیوچار در دو سطح (۰ و ۱۰ تن در هکتار) و کود آلی و زیستی در پنج سطح (عدم مصرف کود (F0)، ورمی‌کمپوست (F_1)، *سودوموناس* (F_2)، *ازتوباکتر* (F_3) و *میکوریزا* (F_4) بود. در بررسی اثر اصلی تیمارهای آزمایش نتایج نشان داد که مصرف بیوچار به‌ترتیب سبب افزایش ۷/۴۲ و ۹/۷۱ درصدی کلرفیل a و کلروفیل کل شد. در بین تیمارهای کودی بیش‌ترین مقدار کلرفیل a متعلق به تیمار ورمی‌کمپوست (۶/۱۱ میکروگرم در میلی‌لیتر) بود که به‌طور معنی‌داری از تمامی تیمارهای دیگر بهتر بود. هم‌چنین اثر اصلی بیوچار و کود زیستی بر وزن تر برگ، ساقه و وزن تر کل گیاه معنی‌داری بود، نتایج مربوط به مقایسه میانگین تیمار کودی نشان داد که بیش‌ترین وزن تر برگ، ساقه و وزن تر کل در مترمربع در تیمار *میکوریزا* (به‌ترتیب ۳۰۶/۰۸، ۳۶۱/۱۵ و ۶۶۳/۰۳ گرم در مترمربع) مشاهده شد. هم‌چنین اعمال بیوچار موجب افزایش وزن تر برگ، ساقه و وزن تر کل (به‌ترتیب ۲۹۴/۷۸، ۳۶۶/۷۳ و ۶۶۱/۴۶ گرم در مترمربع) نسبت به شرایط عدم مصرف بیوچار شد. براساس نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات اصلی، کاربرد تمام تیمارهای کودی سبب افزایش محتوای نیتروژن نسبت به شاهد شد. بالاترین مقدار نیتروژن با میانگین ۱/۸۳ درصد متعلق به تیمار *ازتوباکتر* بود که با تیمارهای ورمی‌کمپوست، *میکوریزا* و *سودوموناس* اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد حداکثر مقدار فسفر (۰/۳۷٪) نیز مربوط به تیمارهای بیوچار + *میکوریزا* و بیوچار + ورمی‌کمپوست بود. بنابراین با توجه به ضرورت تولید گیاهان دارویی در نظام‌های زراعی کم‌نهاده، حفظ محیط‌زیست و نیل به اهداف کشاورزی پایدار تلفیق تیمار بیوچار + *میکوریزا* و هم‌چنین بیوچار + ورمی‌کمپوست جهت بهبود رشد و فتوسنتز گیاه نعناع فلفلی توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: زیست‌توده، کلروفیل، میکوریزا، نعناع فلفلی، ورمی‌کمپوست.

Impact of Biochar and Biofertilizers on Photosynthetic Pigments, Yield, and Nutrient Content of Peppermint

Faezeh Zaefarian[1*], Vahid Akbarpour[2], Maryam Habibi[3], Mohammad Kaveh[3]

1. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3. Ph.D. Student , Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Received: May 20, 2019 Accepted: July 27, 2019

Abstract

In order to investigate the effect of biochar and biological fertilizer on photosynthetic pigments, yield, and nutrient content of peppermint (*Mentha piperita* L.) an experiment has been conducted as factorial, based on a randomized complete block design in three replications at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2017. The treatments include biochar on two levels (0 and 10 ton ha^{-1}) and organic and biological fertilizers on five levels (no fertilizer (F_0), vermicompost (10 ton ha^{-1}) (F_1), *Pseudomonas fluorescens* (F_2), *Azotobacter* (F_3), and *Arbuscular mycorrhiza* (*Glomus mosseae*, *G. intradicces*, and *G. etunicatum*) (F_4)). Results from this study show that the use of biochar increases the chlorophyll a and chlorophyll content by 7.42% and 9.71%, respectively. Among fertilizer treatments, the highest amount of chlorophyll belongs to vermicompost (6.11 $\mu g.ml^{-1}$), significantly better than other treatments. In addition, the main effect of biochar and bio-fertilizer have had a significant effect on leaf, stem, and total fresh weight of the plant. Results from comparing mean of fertilizer treatments show that the highest leaf fresh weight, stem fresh weight, and total fresh weight per square meter belong to the treatment of mycorrhiza (306.08, 361.15, and 663.03 $g.m^{-2}$ respectively). Also, the use of biochar increases the leaf fresh weight, stem fresh weight, and total fresh weight (294.78, 366.73, and 661.46 $g.m^{-2}$ respectively), compared to the conditions without using it. Based on the results of the comparison of the mean of the main effects, all treatments increase nitrogen content, compared to the control. The highest nitrogen content (1.83%) is related to Azotobacter treatment, not significantly different from vermicompost, mycorrhiza, and Pseudomonas. Results also suggest that the maximum amount of phosphorus (0.37%) have been seen in biochar + mycorrhiz and biochar + vermicompost. Therefore, with respect to the production of medicinal plants in the low-input cropping systems, it is recommended to protect the environmental and achieve sustainable agriculture to improve plant growth and photosynthesis of peppermint application of biochar + mycorrhiz along with biochar + vermicompost treatment.

Keywords: Biomass, chlorophyll, mycorrhiza, peppermint, vermicompost.

* نویسنده مسئول

Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir

۱. مقدمه

عوارض جانبی داروهای شیمیایی و تمایل بشر به استفاده هرچه بیش‌تر از محصولات طبیعی به‌منظور حفظ سلامت خویش از یک طرف و مشکلات سیستم دارویی مدرن و نیز اعلام ممنوعیت سازمان بهداشت جهانی مبنی بر عدم استفاده از رنگ‌ها و اسانس‌های سنتتیک و هم‌چنین افزایش گرایش مردم به استفاده از گیاهان دارویی (گیاه درمانی) در سال‌های اخیر از طرف دیگر، باعث توجه هرچه بیش‌تر به گیاهان دارویی گردیده است (Faraji Mehmani *et al*., 2014; Khalilidarini *et al*., 2014). نعناع فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* L. از جمله گیاهان بسیار مهم دارویی است که مصارف گسترده‌ای در صنایع غذایی و بهداشتی دارد. این گیاه متعلق به خانواده نعناعیان[1] می‌باشد که از قدیم به‌عنوان یک گیاه معطر و اشتهاآور به‌کار می‌رفته است. از خواص درمانی نعناع فلفلی می‌توان به خاصیت ضد اسپاسم، ضد نفخ و خنک‌کنندگی آن اشاره نمود (Zargari, 1996).

کودهای شیمیایی به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گیاهان دارویی مطرح می‌باشند، ولی استفاده زیاد از آن‌ها به‌ویژه هنگامی‌که با عملیات مدیریتی نامناسب مثل سوزاندن بقایای گیاهی همراه باشد، ماده آلی خاک را به شدت کاهش می‌دهد (Pirasteh *et al*., 2010). بنابراین برای حفظ حاصلخیزی خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن و حفظ تعادل در عوامل زیست‌محیطی، مصرف کودهای آلی و زیستی در خاک‌های کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر بوده که در جهت نیل به سوی کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته‌اند (Wu *et al*., 2005).

استفاده از کودهای آلی از قبیل ورمی‌کمپوست یک راه‌حل برای افزایش مقدار مواد آلی خاک است. این کود دارای آنزیم‌هایی مانند پروتئاز، آمیلاز، لیپاز، سلولاز و کیتیناز است که در تجزیه مواد آلی خاک و در نتیجه در دسترس قرار دادن مواد غذایی مورد نیاز گیاهان نقش مؤثری دارد (Sajadinik & Yadavi, 2013). در پژوهشی نتایج نشان داد که کود آلی ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری ارتفاع گیاه، قطر ساقه و ریشه، تعداد گره در ساقه اصلی گیاه، تعداد ساقه جانبی در بوته، سطح برگ، کلروفیل برگ و میزان اسانس نعناع فلفلی را تحت تأثیر قرار داد (Mousavi *et al*., 2014). هم‌چنین در بررسی اثر محلول‌پاشی چای ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکرد گیاه دارویی نعناع فلفلی پژوهشگران اظهار داشتند که کاربرد عصاره آبی ورمی‌کمپوست در مقادیر مختلف، باعث ایجاد تفاوت معنی‌داری در صفات طول میانگره، طول و عرض برگ، طول گل‌آذین، تعداد گل‌آذین و اجزای عملکرد شامل: وزن تر ساقه، وزن تر تک بوته، وزن خشک ساقه و وزن خشک تک بوته در سطح احتمال یک درصد و تعداد برگ و اجزای عملکرد شامل وزن تر برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک گل‌آذین در سطح احتمال پنج درصد گردید (Pooyanfar *et al*., 2017). در بررسی اثر سطوح ورمی‌کمپوست بر عملکرد گیاه دارویی گشنیز[2] مشخص شد که کاربرد ورمی‌کمپوست بر میزان زیست‌توده و عملکرد دانه این گیاه اثر معنی‌دار داشت (Darzi *et al*., 2012).

در دهه اخیر استفاده از ماده‌ای به نام بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Behnam *et al*., 2016). بیوچار کربن غنی‌شده می‌باشد که مواد مغذی را جذب کرده و در زمانی که گیاه به آن نیاز دارد؛ در اختیارش قرار می‌دهد، در نتیجه نیاز به کود و هزینه کوددهی کاهش یافته و عناصر برای مدت طولانی در خاک باقی می‌مانند. از طرفی هم باعث حفظ و دسترسی به رطوبت در طول دوره گرم و کم‌بارش می‌شود

1. Lamiaceae

2. *Coriandrum sativum* L.

(Yaghoby *et al*., 2014). در بررسی تأثیر بیوچار و *میکوریزا* آرباسکولار بر جذب، انتقال و انباشت کادمیوم در گیاه نعناع فلفلی نتایج اثرات متقابل *میکوریزا* و بیوچار نشان داد که کاربرد بیوچار به‌طور معنی‌دار سبب افزایش وزن خشک برگ و ریشه شد. هم‌چنین کاربرد بیوچار باعث افزایش درصد اسانس در تمامی حالات استفاده از *میکوریزا* گردید (Rezaeeyan, 2014). طی پژوهشی پژوهشگران گزارش کردند که افزودن بیوچار باگاس نیشکر[1] (*Saccharum officinarum*) طی هشت ماه دوره آزمایش، باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی خاک شد (Divband Hafshejani *et al*., 2017).

استفاده از سطوح مختلف بیوچار در گیاه آفتابگردان[2] نشان داد که افزایش در سطوح بیوچار سبب افزایش وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی شد، به‌طوری‌که در سطح ۱۰ گرم بیوچار در کیلوگرم خاک، وزن خشک ریشه ۱/۲ برابر تیمار شاهد بود و وزن خشک اندام‌های هوایی در این سطح نسبت به شاهد ۹ درصد افزایش داشت (Hejazi Zadeh *et al*., 2016).

امروزه به‌کارگیری جانداران مفید خاک‌زی تحت عنوان کودهای زیستی به‌عنوان طبیعی‌ترین و مطلوب‌ترین راه حل برای زنده و فعال نگهداشتن سیستم حیاتی خاک در اراضی کشاورزی مطرح می‌باشد. برخی ریزموجودات خاک اثرات مثبتی بر رشد گیاه دارند که به آن‌ها باکتری‌های محرک رشد گیاه اطلاق می‌شود. باکتری‌های جنس *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌باشند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن، با تولید مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکنین عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Maleki *et al*., 2016).

در پژوهشی نتایج نشان داد که کاربرد تیمارهای باکتریایی و قارچی منجر به افزایش معنی‌دار در تمام صفات رویشی اندازه‌گیری شده، درصد کلونیزاسیون ریشه و غلظت عناصر غذایی پرمصرف نسبت به شاهد گردید. بیش‌ترین ارتفاع بوته (۷۹/۴۲ سانتی‌متر)، قطر ساقه (۳/۰۴ میلی‌متر)، تعداد برگ (۶۵۴)، مجموع طول شاخه‌های جانبی (۶۴۱/۳۳ سانتی‌متر)، عملکرد وزن تر و خشک اندام هوایی (به‌ترتیب ۱۰۹/۷۵ و ۲۱/۹۴ گرم در گلدان) و غلظت فسفر، پتاسیم و منیزیم اندام هوایی (به‌ترتیب ۴/۹۰، ۶۶/۳۰ و ۱۹/۳۰ گرم بر کیلوگرم) از تیمار تلقیح با باکتری *سودوموناس* حاصل شد. همچنین، بیش‌ترین وزن خشک ریشه و غلظت کلسیم از تیمار تلقیح با قارچ *Glomus fasciculatum* و غلظت نیتروژن از تیمار تلقیح با باکتری *ازتوباکتر* به‌دست آمد (Mahmoodzadeh *et al*., 2015). در ارزیابی اثر کودهای بیولوژیک بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی ترخون[3] پژوهشگران گزارش کردند که تیمار ترکیبی *ازتوباکتر*+ *آزوسپیریلوم* به‌صورت ریزوم‌مال باعث افزایش ارتفاع بوته و وزن خشک ریزوم شد (Hatami *et al*., 2014). بررسی‌ها نشان داده که قارچ *میکوریزا* قادر به تولید و آزادسازی هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکنین‌ها می‌باشد که می‌تواند بر رشد گیاهان تأثیر بگذارد و این تأثیر مستقل از اثر این همزیستی روی جذب عناصری مانند فسفر است (Seifi *et al*., 2011). در بررسی تأثیر تلقیح پیاز با چهار گونه قارچ میکوریزا شامل *Glomus intraradices*، *Glomus etunicatum*، *Glomus mosseae* و *Glomus clorum* بر عملکرد کمی و کیفی دو گونه سوسن[4] نتایج نشان داد که بالاترین درصد کلونیزاسیون ریشه و ارتفاع بوته در سوسن

1. *Saccharum officinarum*
2. *Heliantus annus* L.
3. *Artemisia dracunculus*
4. *Lilium ledebourii*

شرقی در تیمار تلقیح با قارچ *G. etunicatum* به‌دست آمد (Arjmand Alavi *et al*., 2014).

با توجه به اهمیت گیاه دارویی نعناع فلفلی در صنایع مختلف، تأثیرات مثبت برخی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه، قارچ‌های آربوسکولار *میکوریزا* و بیوچار در تولیدات گیاهان دارویی این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کودهای زیستی مختلف و بیوچار بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد و محتوای عناصر غذایی گیاه دارویی نعناع فلفلی انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر بیوچار و کودهای آلی و زیستی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد و صفات تغذیه‌ای گیاه نعناع فلفلی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۴ متر، در سال ۱۳۹۶ به اجرا درآمد. تیمارها در این مطالعه شامل بیوچار در دو سطح (صفر و ۱۰ تن در هکتار) و کاربرد کودهای آلی و زیستی در پنج سطح (شاهد (عدم مصرف کود) (F_0)، ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار) (F_1)، *سودوموناس* (*Pseudomonas fluorescens*)(F_2)، *ازتوباکتر* (*Azotobacter chroococcum*) (F_3)، *میکوریزا* (سویه‌های *Glomus mosseae*، *G. intradicces* و *G. etunicatum*) (F_4) بودند.

به‌منظور بررسی وضعیت عناصر غذایی از خاک و کودهای آلی مورد استفاده نمونه‌گیری شد، که نتایج حاصل از تجزیه در جدول‌های ۱ و ۲ قابل مشاهده است. جهت تهیه بستر کاشت، شخم عمیقی در اوایل بهار زده شد. پس از آن برای نرم نمودن خاک عملیات دیسک‌زنی اجرا گردید. زمین زراعی به سه تکرار و سی واحد آزمایشی تبدیل شد. هر تکرار با فاصله یک متر از تکرار مجاور قرار گرفت. سپس واحدهای آزمایشی در ابعاد ۲×۲/۴ مترمربع با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از واحد آزمایشی مجاور ایجاد شدند. هر واحد آزمایشی دارای شش خط کاشت بود. کاشت در نیمه اول خردادماه و به‌صورت نشا انجام شد. تراکم کاشت معادل ۱۶ بوته در مترمربع بود و مبارزه با علف‌های هرز در طول مدت آزمایش به‌صورت وجین دستی انجام گردید.

تیمار بیوچار و ورمی‌کمپوست قبل از کاشت به خاک اضافه شد. برای تولید بیوچار از مواد اولیه سلولزی شامل بقایای چوب و گیاهان زراعی استفاده شد که مشخصات آن شامل عدد ید: ۹۵۰ تا۱۱۰۰ mg/g، مساحت سطح بر اساس استانداردASTM : ۹۵۰ تا ۱۱۰۰ m^2/g، عدد متیلن بلو: ۲۵۰–۱۵۰ mg/g، میزان رطوبت: ۴–۳ درصد، pH حدود ۸/۵، درصد خاکستر ۵–۴، دانه‌بندی: ۰/۱mm و کمتر بود. مشخصات ورمی‌کمپوست نیز در جدول ۲ درج شده است.

قارچ *میکوریزا* و باکتری‌های جنس *ازتوباکتر* و *سودوموناس* (مایه تلقیحی میکروبی با غلظت نهایی 10^9CFU ml^{-1}) از بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شدند. قبل از کاشت ریشه نشاها ابتدا شسته شده، سپس عملیات تلقیح ریشه با قارچ و باکتری انجام شد. به این ترتیب که نشاها به‌مدت ۴۵ دقیقه در ظروف حاوی قارچ و باکتری قرار گرفتند و سپس کاشته شدند.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق	بافت خاک	pH	E.C ($dS.m^{-1}$)	OC (%)	N (%)	P ($mg\ kg^{-1}$)	K ($mg\ kg^{-1}$)	رس (%)	شن (%)	لوم (%)
۳۰–۰	لومی– رسی	۷/۳۷	۱/۷۴	۰/۷۵	۰/۰۸	۴/۹۵	۱۳۲	۴۱	۱۴	۴۵

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست

نمونه	OC (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	N (%)	P ($mg\ kg^{-1}$)	K ($mg\ kg^{-1}$)	pH
ورمی‌کمپوست	۲۲/۷	۳/۳۶	۱/۷۷	۱/۷۴	۱/۴۷	۸/۲۵

در پایان دوره رشد و زمانی که پنج درصد گل‌ها ظاهر شدند برداشت به‌صورت دستی انجام شد. جهت برداشت پس از حذف حاشیه در دو طرف کرت آزمایشی و هم‌چنین حذف نیم متر از دو طرف طولی هر کرت، بوته‌ها از قسمتی از کرت که به‌عنوان فضای عملکرد (یک مترمربع) در نظر گرفته شده بود کف‌بر شدند. محصول هر کرت به‌طور جداگانه در پاکت‌های کاغذی قرار گرفت و پس از انتقال به آزمایشگاه، صفاتی چون وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه و وزن تر و خشک کل در مترمربع اندازه‌گیری شد. ارزیابی میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، b و کلروفیل کل در زمان شروع گلدهی، به‌ترتیب در طول موج‌های ۶۶۵/۲ و ۶۵۲/۴ نانومتر و به‌وسیله دستگاه اسپکتوفتومتر (Korea, alpha-1105) انجام گرفت (Porra, 2002). برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن گیاهی با روش تیتراسیون بعد از تقطیر و به‌کمک دستگاه کجل‌تک (Kjeltec 2300 Analyzer, FOSS) (Westerman, 1990)، فسفر موجود در عصاره‌های گیاهی به‌روش رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Westerman, 1990) در مرحله گلدهی از اندام هوایی گیاه نمونه‌برداری شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver- 9.1) و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. کلروفیل a، b و کلروفیل کل

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که کلروفیل a تحت اثر متقابل تیمار بیوچار و کودها قرار نگرفت؛ درحالی‌که اثرات ساده آن‌ها بر مقدار کلرفیل a معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین مربوط به اثر ساده بیوچار نشان می‌دهد که مصرف بیوچار در مقایسه با عدم مصرف آن سبب افزایش ۷/۴۲ درصدی کلرفیل a شد (جدول ۴). در بین تیمارهای کودی بیش‌ترین مقدار کلروفیل a (۶/۱۱ میکروگرم در میلی‌لیتر) متعلق به تیمار ورمی‌کمپوست بود. کمترین مقدار کلرفیل a به شاهد (عدم مصرف کود آلی و زیستی) با میانگین ۵/۱۷ میکروگرم در میلی‌لیتر تعلق داشت، این در حالی است که تیمارهای *میکوریزا*، *ازتوباکتر*، *سودوموناس* و شاهد تفاوتی با یکدیگر نداشته و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴).

نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش نشان داد که اثر اصلی کودهای آلی و زیستی، بیوچار و اثر متقابل بیوچار + کودها بر کلروفیل b معنی‌دار نشد (جدول ۳). در بررسی اثر اصلی تیمارهای آزمایش بیش‌ترین مقدار کلروفیل b (۲/۸۳ میکروگرم در میلی‌لیتر) در تیمار ورمی‌کمپوست مشاهده شد که با سایر تیمارهای کودی در یک گروه آماری قرار گرفت. هم‌چنین استفاده از بیوچار بیش‌ترین میزان کلروفیل b (۲/۸۲ میکروگرم در میلی‌لیتر) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). در مورد کلروفیل کل نتایج حاکی از آن بود که اثر کودهای آلی و زیستی و اثر متقابل آن‌ها با بیوچار بر مقدار کلروفیل کل معنی‌دار نشد و تنها اثر اصلی بیوچار بر کلرفیل کل معنی‌دار شد (جدول ۳) و مصرف آن سبب افزایش ۹/۷۱ درصد کلرفیل کل در مقایسه با عدم مصرف آن شد (جدول ۴).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر بیوچار و تیمارهای کودی مختلف بر رنگیزه‌های فتوسنتزی نعناع فلفلی

منبع تغییرات	درجه آزادی	کلرفیل a	کلرفیل b	کلرفیل کل
بلوک	۲	۰/۱۲	۱/۱۸	۱/۳۰
بیوچار	۱	۱/۱۱*	۰/۹۷ns	۴/۱۷*
کود	۴	۰/۹۷**	۰/۱۱ns	۱/۶۴ns
کود × بیوچار	۴	۰/۳۶ns	۰/۲۹ns	۱/۱۳ns
اشتباه آزمایشی	۱۸	۰/۱۹	۰/۴۹	۰/۷۲
ضریب تغییرات (درصد)	–	۸/۰۹	۲۶/۶۱	۱۰/۴۸

ns، ** و *: نبودن معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثر بیوچار و تیمارهای کودی مختلف بر رنگیزه‌های فتوسنتزی نعناع فلفلی

تیمار		کلروفیل a ($\mu g.ml^{-1}$)	کلروفیل b ($\mu g.ml^{-1}$)	کلروفیل کل ($\mu g.ml^{-1}$)
بیوچار	عدم مصرف بیوچار	۵/۲۵b	۲/۴۶a	۷/۷۲b
	مصرف بیوچار	۵/۶۴a	۲/۸۲a	۸/۴۶a
کودهای آلی و زیستی	عدم مصرف کود	۵/۱۷b	۲/۴۴a	۷/۶۱b
	ورمی‌کمپوست	۶/۱۱a	۲/۸۳a	۸/۹۴a
	سودوموناس	۵/۱۰b	۲/۶۱a	۷/۷۱b
	ازتوباکتر	۵/۴۴b	۲/۶۴a	۸/۰۸ab
	میکوریزا	۵/۳۹b	۲/۷۱a	۸/۱۱ab

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

می‌توان اثر مثبت استفاده از ورمی‌کمپوست روی رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ را این گونه استنباط کرد که عمده ترکیبات رنگدانه‌های فتوسنتزی دارای ساختار نیتروژنی هستند، هم‌چنین نیتروژن ساختار اصلی تمامی آمینواسیدها در پروتئین‌ها و چربی‌ها می‌باشد که به‌عنوان ترکیبات ساختاری کلروپلاست فعالیت می‌کنند و در نهایت باعث افزایش میزان کلروفیل در گیاه می‌گردد (Badr & Fekry, 1998). احتمالاً مصرف مقادیر مناسب ورمی‌کمپوست از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه توسط این موجودات و نیز آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مؤثر در سنتز کلروفیل مانند نیتروژن، آهن و منیزیم و هم‌چنین افزایش نور جذب‌شده توسط گیاه موجب افزایش میزان کلروفیل برگ و سبزینگی برگ گردیده است. از طرفی محتوای کلروفیل با مقدار عناصر تغذیه‌ای جذب‌شده توسط گیاه از خاک ارتباط دارد و ازآنجایی‌که ورمی‌کمپوست شامل عناصر غذایی پرمصرف و ریزمغذی می‌باشد؛ به همین دلیل اثر مثبتی بر تغذیه گیاهی، فتوسنتز و کلروفیل برگ و میزان عناصر قسمت‌های مختلف گیاه دارد (Theunissen *et al*., 2010).

نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های پژوهشگران در گیاه ریحان مطابقت دارد (Tahami Zarandi *et al*., 2010). در پژوهشی پژوهشگران اظهار داشتند که ورمی‌کمپوست سبب افزایش سطح و محتوای کلروفیل برگ در مقایسه با گیاه شاهد شد (Mottaghian *et al*., 2010). پژوهش‌های

مشابه، تأثیر ورمی‌کمپوست روی افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه همیشه‌بهار[1] و نعناع فلفلی را تأیید می‌کند (Ayyobi *et al*., 2013; Salehi Sardoei, 2014). در پژوهشی تأثیر فوق‌العاده بیوچار بر چرخه عناصر و جلوگیری از هدرروی کربن، نیتروژن و فسفر در خاک مشاهده شد و پژوهشگران بیان کردند که بیوچار دارای دامنه‌ای از شکل‌های عناصر غذایی بوده که با سرعت‌های متفاوتی آزاد شده و تأثیرات متفاوتی را بر حاصلخیزی خاک دارند (Mukherjee *et al*., 2013) و به‌تبع آن موجب افزایش کلروفیل می‌شود. در مطالعه‌ای با مقایسه تأثیر کودهای بیولوژیک و بیوچار بر صفات فیزیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی نتایج حاکی از آن بود که اثر متقابل بیوچار و کودهای بیولوژیک بر کلروفیل کل معنی‌دار نشد درحالی‌که اثر ساده این دو تیمار بر مقدار کلروفیل کل معنی‌دار شد. مصرف بیوچار سبب افزایش ۱۵ درصدی کلروفیل کل نسبت به شاهد گردید (Yaghoby *et al*., 2014).

۳. ۲. وزن تر و خشک برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها اثر اصلی کودهای آلی و زیستی و هم‌چنین اثر بیوچار در سطح احتمال یک درصد بر وزن تر برگ، معنی‌دار شد و سبب افزایش وزن تر برگ نسبت به شاهد (عدم مصرف کود و بیوچار) گردید (جدول ۵). مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار سبب افزایش ۳۱/۶۸ درصد وزن تر برگ نسبت به عدم مصرف آن گردید (جدول ۶). نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌های مصرف کودهای آلی و زیستی نشان داد (جدول۶) که بیش‌ترین وزن تر برگ در مترمربع (۳۰۶/۰۸ گرم در مترمربع) متعلق به تیمار مصرف *میکوریزا* بود که با تیمارهای ورمی‌کمپوست، *ازتوباکتر* و *سودوموناس* تفاوت معنی‌داری نداشت و همه در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین وزن تر برگ مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف کود آلی و زیستی) با میانگین ۱۸۹/۵۶ گرم در مترمربع بود.

هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد که اثر اصلی و برهمکنش کودها و بیوچار باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ در مترمربع در سطح احتمال پنج درصد شد (جدول ۵). با مقایسه میانگین داده‌ها مشخص شد (شکل ۱) که بالاترین وزن خشک برگ مربوط به تیمار مصرف *میکوریزا*+ بیوچار با میانگین ۴۷/۹۷ گرم در مترمربع بود که با تیمار ورمی‌کمپوست+ بیوچار تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۱). هم‌چنین پایین‌ترین وزن خشک برگ در تیمار شاهد (عدم مصرف کود آلی و زیستی)+ عدم مصرف بیوچار با میانگین ۳۱/۹۴ گرم در مترمربع مشاهده شد که با تیمار *سودوموناس*+ عدم مصرف بیوچار در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱).

به‌نظر می‌رسد بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک با افزایش حاصلخیزی خاک، شرایط مناسبی را برای رشد و عملکرد گیاه به‌وجود آورده و هم‌چنین به‌علت سطح ویژه و چگالی بار زیاد آن (Behnam *et al*., 2016)؛ باعث افزایش سطح ویژه کل خاک و افزایش جمعیت میکروبی خاک شده که نهایتاً موجب افزایش وزن تر برگ ساقه گیاه نعناع فلفلی گردید. ساختار متخلخل بیوچار، سطوح ویژه بالا و توانایی آن برای جذب مواد آلی محلول، گازها و مواد معدنی محل مناسبی را برای سکونت میکروب‌ها، رشد و تکثیر آن‌ها مخصوصاً باکتری‌ها، اکتینومیست‌ها و قارچ‌های *میکوریز آربوسکولار* فراهم می‌آورد. هم‌چنین محتوای زیاد کربن و پایداری بیوچار سطح مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد که خود نقش اساسی در چرخه عناصر غذایی و بهبود منابع آب قابل دسترس برای گیاه، ظرفیت بافری و ساختمان خاک دارد (Steinbeiss *et al*., 2009).

1. *Calendula officinalis*

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر بیوچار و تیمارهای کودی مختلف بر وزن تر و خشک اندام هوایی نعناع فلفلی

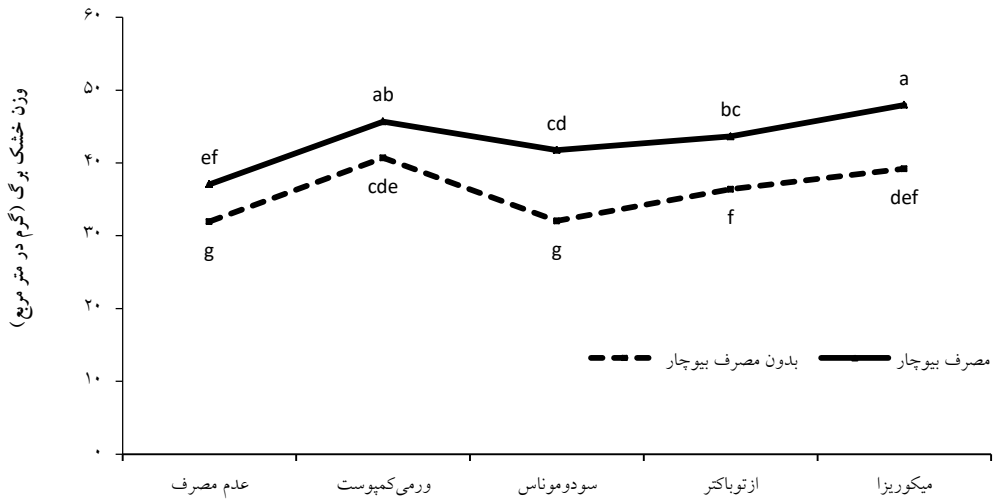
منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن تر کل	وزن خشک کل
بلوک	۲	۳۵۹/۲۷	۲۰۷/۹۷	۸۰۳۳۰/۷۹	۷۸/۶۳	۸۵۴۶۸/۸۰	۵۱۶/۴۰
بیوچار	۱	۳۷۷۲۲/۳۴**	۳۹۸/۷۲**	۱۲۲۶۰۷/۵۱**	۲۲۵/۲۸**	۲۹۶۳۴۵/۱۹**	۱۲۰۸/۱۵**
کود	۴	۱۱۱۸۸/۵۱**	۸۱/۹۸**	۱۹۱۴۳/۱۱*	۴۱/۳۰**	۵۵۹۷۶/۳۰**	۲۳۱/۹۳**
کود × بیوچار	۴	۳۷۲۷/۶۳ns	۱۱/۹۵*	۳۴۵۱/۰۷ns	۷/۶۳**	۵۴۱۲/۸۸ns	۳۷/۳۹**
اشتباه آزمایشی	۱۸	۱۹۰۸/۷۴	۳/۰۴	۴۲۲۷/۲۹	۱/۲۴	۳۶۸۰/۷۶	۶/۲۱
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۶/۸۵	۴/۳۹	۲۱/۴۷	۳/۱۷	۱۰/۷۹	۳/۳۳

ns، ** و *: نبودن اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های اثر بیوچار و تیمارهای کودی مختلف بر وزن تر برگ، ساقه و کل نعناع فلفلی

تیمار		وزن تر برگ ($g.m^{-2}$)	وزن تر ساقه ($g.m^{-2}$)	وزن تر کل ($g.m^{-2}$)
بیوچار	عدم مصرف بیوچار	۲۲۳/۸۱b	۲۳۸/۸۸b	۴۶۲/۶۸b
	مصرف بیوچار	۲۹۴/۷۳a	۳۶۶/۷۳a	۶۶۱/۴۶a
کودهای آلی و زیستی	عدم مصرف کود	۱۸۹/۵۶b	۲۲۸/۵۱b	۴۱۸/۰۸d
	ورمی‌کمپوست	۲۷۳/۴۵a	۳۵۶/۹۵a	۶۳۴/۵۹ab
	سودوموناس	۲۵۴/۴۱a	۲۷۴/۲۷b	۵۲۸/۶۸c
	ازتوباکتر	۲۷۲/۸۳a	۲۹۳/۱۵ab	۵۶۵/۹۸bc
	میکوریزا	۳۰۶/۰۸a	۳۶۱/۱۵a	۶۶۳/۰۳a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.



شکل ۱. اثر متقابل بیوچار و تیمارهای کودی بر وزن خشک برگ نعناع فلفلی

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری در سطح پنج درصد و براساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

بیوچار فعالیت انواع مختلف میکروب‌های خاک را که از نظر کشاورزی مهم هستند، تحریک می‌نماید (Anderson, 2011). افزودن بیوچار به خاک، چه اسیدی و چه قلیایی، ممکن است باعث تغییر معنی‌دار نسبت باکتری به قارچ (Bamminger *et al*., 2014) و جمعیت میکروبی غالب خاک شده و هم‌چنین با اثر بر فعالیت آنزیمی و فعالیت میکروبی موجب تغییر عملکرد و نقش خاک گردد (Watzinger *et al*., 2014). پژوهشگران نشان دادند که بیوچار بر چرخه عناصر غذایی تأثیر مثبت داشته و سبب جلوگیری از هدرروی کربن، نیتروژن و فسفر در خاک می‌شود و هم‌چنین بیان کردند که بیوچار یک منبع غنی از عناصر غذایی می‌باشد که با سرعت‌های متفاوت آزاد شده و سبب حاصلخیزی خاک می‌شود (Mukherjee & Zimmerman, 2013).

قارچ *میکوریزا* از طریق گسترش هیف و توسعه سیستم ریشه، سطح جذب آب بیش‌تری برای گیاه فراهم کرده و به‌دنبال جذب آب بیش‌تر، مواد غذایی بیش‌تری نیز جذب شده که منجر به تولید پوشش گیاهی بیش‌تری در گیاه می‌گردد (Casson & Lindsey, 2003). طی پژوهشی در بررسی اثر کودهای زیستی بر عملکرد گیاه دارویی مرزه[1] پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که مصرف تلفیقی *ازتوباکتر*، آزوسپیریلوم و *سودوموناس* عملکرد اندام‌های هوایی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Faraji Mehmani *et al*., 2014). در بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و سه گونه قارچ *میکوریزا* بر عملکرد نعناع فلفلی گزارش شد که کاربرد تیمارهای باکتریایی و قارچی منجر به افزایش در تمام صفات رویشی شد (Mahmoudzadeh *et al*., 2016).

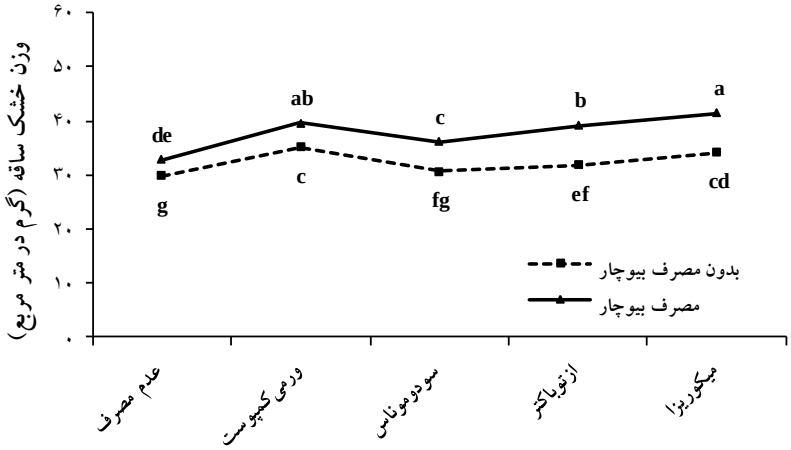
۳. ۳. وزن تر و خشک ساقه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل مصرف کودهای آلی و زیستی با بیوچار بر وزن تر ساقه معنی‌دار نشد، اما اثر اصلی کودها و بیوچار سبب افزایش معنی‌دار وزن تر ساقه گردید (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین مصرف بیوچار سبب افزایش ۵۳/۵۲ درصدی افزایش وزن تر ساقه نسبت به عدم مصرف آن شد، هم‌چنین تیمار *میکوریزا* بیش‌ترین عملکرد تر ساقه (۳۶۱/۱۵ گرم در مترمربع) را به خود اختصاص داد که با تیمار ورمی‌کمپوست و *ازتوباکتر* تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). هم‌چنین کمترین وزن تر ساقه (۲۲۸/۱۵ گرم در مترمربع) در تیمار شاهد (عدم مصرف کود آلی و زیستی) مشاهده شد (جدول ۶).

نتایج تجزیه واریانس مبین این مطلب بود که اثر اصلی و هم‌چنین اثر متقابل بیوچار و کودها بر وزن خشک ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که بیش‌ترین عملکرد خشک ساقه با میانگین ۴۱/۴۶ گرم در مترمربع در تیمار بیوچار+ *میکوریزا* به‌دست‌آمده که با تیمار بیوچار+ ورمی‌کمپوست با میانگین ۳۹/۵۷ گرم در مترمربع تفاوت معنی‌دار نداشت (شکل ۲). ازآنجایی‌که اساسی‌ترین عامل تعیین‌کننده رشد گیاه، قابل دسترس بودن عناصر غذایی است، بنابراین تیمار شاهد به‌علت کمبود عناصر غذایی نسبت به سایر تیمارها رشد کمتر و بالطبع وزن تر و خشک ساقه کمتری داشت.

یافته‌های این پژوهش با یافته‌های سایر پژوهشگران مبنی بر اثر مثبت بیوچار و کودهای آلی بر وزن خشک اندام‌های هوایی آفتابگردان مطابقت دارد (Hejazi Zadeh *et al*., 2016). در یک مطالعه با بررسی اثر بیوچار غنی‌شده با کمپوست با نسبت‌های مختلف بر عملکرد ذرت نشان دادند که بیوچار غنی‌شده با کمپوست سبب افزایش زیست‌توده ذرت در خاک‌های رسی در دو سال زراعی شد (Nur *et al*., 2014).

1. *Satureia montana* L.



شکل ۲. اثر متقابل بیوچار و تیمارهای کودی بر وزن خشک ساقه نعناع فلفلی

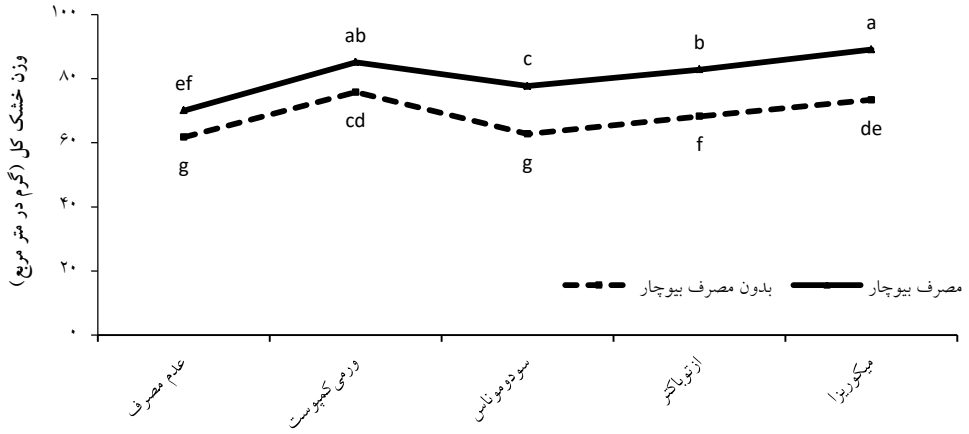
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری در سطح پنج درصد و براساس آزمون LSDفاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

در رابطه با اثر تحریکی باکتری‌های محرک رشد نیز می‌توان بیان داشت که باکتری‌های محرک رشد از طریق سازوکارهای مختلف، از جمله تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، تولید سیدروفور، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن را در گیاه تنظیم می‌کنند، سبب تحریک رشد گیاه می‌شوند (Stajkovic *et al*., 2011).

۳. ۴. وزن تر و خشک کل

بررسی داده‌های مربوط به تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش بیوچار با کودهای آلی و زیستی بر وزن تر کل معنی‌دار نشد. این در حالی است که اثرات اصلی آن‌ها سبب افزایش معنی‌دار وزن تر کل در سطح احتمال یک درصد گردید (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار سبب افزایش ۴۲/۹۶ درصدی وزن تر کل در مقایسه با عدم مصرف آن شد (جدول ۶). در بررسی اثر اصلی کودهای آلی و زیستی نتایج گویای این مطلب بود که بیش‌ترین و کمترین وزن تر در مترمربع به‌ترتیب در تیمارهای آزمایشی *میکوریزا* و شاهد (عدم مصرف کود آلی و زیستی) با میانگین ۶۶۳/۰۳ و ۴۱۸/۰۸ گرم در مترمربع حاصل شد (جدول ۶). شایان ذکر است که تیمار *میکوریزا* با تیمار ورمی‌کمپوست با میانگین ۶۳۴/۵۹ گرم در مترمربع تفاوت معنی‌داری نداشت و هم‌چنین بین تیمار ورمی‌کمپوست با تیمار *ازتوباکتر* تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر متقابل بیوچار با کودهای آلی و زیستی سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک کل گیاه شد (جدول ۵). بیش‌ترین وزن خشک کل با میانگین ۸۹/۰۸ گرم در مترمربع مربوط به مصرف توأم بیوچار و *میکوریزا* و کمترین متعلق به شاهد (عدم مصرف کود آلی و زیستی) با میانگین ۶۱/۷۶ گرم در مترمربع بود (شکل ۳). بین دو تیمار *میکوریزا* و ورمی‌کمپوست در شرایط کاربرد بیوچار و هم‌چنین دو تیمار شاهد (عدم مصرف کود آلی و زیستی) و *سودوموناس* در شرایط عدم مصرف بیوچار تفاوت چندانی به لحاظ آماری مشاهده نشد (شکل ۳).



شکل ۳. اثر متقابل بیوچار و تیمارهای کودی بر وزن خشک کل نعناع فلفلی

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری در سطح پنج درصد و براساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

در گیاهان دارویی عملکرد کمی و کیفی اندام‌های هوایی یکی از شاخص‌های بسیار مهم در تولید این گیاهان محسوب می‌شود، لذا به‌کارگیری روش‌های مدیریت صحیح نظیر کاربرد کودهای آلی و زیستی به‌منظور ارتفاع عملکرد کمی و کیفی آن‌ها باید در این زمینه مورد توجه جدی قرار گیرد. در همین راستا افزایش وزن خشک شاخه و ریشه ضمن استفاده از *میکوریزا* گزارش شد (Ortas *et al*., 2011). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌توانند جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد و وزن گیاه میزبان را افزایش دهند (Jeffries *et al*., 2003).

در رابطه با اثر تحریکی باکتری‌های محرک رشد می‌توان بیان داشت که باکتری‌های محرک رشد از طریق سازوکارهای مختلف، از جمله تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، تولید سیدروفور، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن را در گیاه تنظیم می‌کنند، سبب تحریک رشد گیاه می‌شوند (Stajkovic *et al*., 2011). با افزایش سطح هورمون‌ها به‌ویژه سیتوکینین، نرخ فتوسنتز از طریق عواملی همچون بازشدن روزنه‌ها، تأثیر بر انتقال یون‌ها و تنظیم مقدار کلروفیل بیش‌تر می‌شود (Johnson, 1984). زیادشدن نرخ فتوسنتز می‌تواند با تحریک رشد سبب افزایش تولید زیست‌توده در گیاهان میکوریزی شود.

در یک پژوهش با بررسی بهبود فراهمی تری‌فسفات کلسیم در گیاه علف لیمو[1] با کاربرد ریزوباکتری، قارچ *میکوریزا* و *آزوسپیریلوم*، نتایج حاکی از آن بود که وزن خشک ساقه با مصرف قارچ میکوریزا *Glomus aggregatum* صرف‌نظر از مصرف فسفات افزایش یافت (Ratti *et al*., 2001). در مطالعه‌ای دیگر پژوهشگران نشان دادند همزیستی قارچ *میکوریزا Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* با گیاه شیرین‌بیان[2] سبب افزایش وزن خشک ریشه، ساقه و در نتیجه زیست‌توده کل بیش‌تر از زمان استفاده از تیمار فسفر شد. ایشان بیان کردند که قارچ *میکوریزا* از طریق افزایش مقاومت و جذب عناصر غذایی سبب بهبود عملکرد زیست‌توده گیاهان می‌شود (Liu *et al*., 2014).

1. *Cymbopogon martinii*
2. *Glycyrrhiza glabra*

۳. ۵. عناصر غذایی پرمصرف

نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی بیوچار و کودهای آلی و زیستی بر محتوای نیتروژن اندام هوایی در گیاه نعناع فلفلی معنی‌دار شد، اما اثر متقابل این دو فاکتور بر محتوای نیتروژن اندام هوایی معنی‌دار نشد (جدول ۷). بررسی داده‌های مربوط به مقایسه میانگین این صفت نشان داد که تیمار مصرف بیوچار سبب افزایش ۵/۷۴ درصدی مقدار نیتروژن در اندام‌های هوایی نسبت به تیمار عدم مصرف آن شد (جدول ۸). براساس نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌ها کاربرد تمام تیمارهای کودی سبب افزایش محتوای نیتروژن نسبت به شاهد شد (جدول ۸). بالاترین مقدار نیتروژن با میانگین ۱/۸۳ درصد متعلق به تیمار *ازتوباکتر* که با تیمارهای ورمی‌کمپوست، *میکوریز* و *سودوموناس* اختلاف معنی‌داری نداشت و همگی در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۸). کمترین مقدار نیتروژن در تیمار شاهد با میانگین ۱/۷۱ درصد مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای کودی بود (جدول ۸).

نتایج این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران مبنی بر افزایش محتوای نیتروژن در سرشاخه‌های کائوچو[1] با مصرف بیوچار مطابقت دارد (Dharmakeerthi *et al.*, 2012). باکتری‌های ریزوسفری، میزان هورمون سیتوکنین گیاه میزبان را افزایش می‌دهند. این هورمون سرعت انتقال نیترات از ریشه به شاخساره گیاه را بالا می‌برد. در بررسی اثر دو سطح کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد مرزنجوش[2] به‌صورت ترکیبی و انفرادی نشان داده شد که بالاترین غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تیمار ترکیبی (*Azos. brasiliense* + *Azot. chroococcum* + *B. polymyxa* + *Bacillus. Circulans*) و ۱۵ درصد کمپوست به‌دست آمد (Gharib *et al.*, 2008).

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر بیوچار و تیمارهای کودی مختلف بر عناصر پرمصرف نعناع فلفلی

منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد نیتروژن	درصد فسفر
بلوک	۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۰۴
بیوچار	۱	۰/۰۷**	۰/۰۱**
کود	۴	۰/۰۱*	۰/۰۰۴**
کود × بیوچار	۴	۰/۰۰۶ns	۰/۰۰۰۴**
اشتباه آزمایشی	۱۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)	–	۳/۵۹	۳/۱۵

ns، ** و *: به‌ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۸. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی بیوچار و تیمارهای کودی مختلف بر درصد نیتروژن نعناع فلفلی

	تیمار	نیتروژن (٪)
بیوچار	عدم مصرف بیوچار	۱/۷۴b
	مصرف بیوچار	۱/۸۴a
کودهای آلی و زیستی	عدم مصرف کود	۱/۷۱b
	ورمی‌کمپوست	۱/۸۲a
	سودوموناس	۱/۷۹a
	ازتوباکتر	۱/۸۳a
	میکوریزا	۱/۸۰a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

فسفر

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر دو فاکتور بیوچار، کودهای آلی و زیستی و برهم‌کنش بین تیمارها بر محتوای فسفر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد بالاترین مقدار فسفر در دو تیمار *میکوریزا*+ بیوچار و ورمی‌کمپوست+ بیوچار با مقدار برابر ۰/۳۷ درصد به‌دست آمد که هر دو در یک گروه آماری قرار

1. *Hevea brasiliensis*
2. *Majorana hortensis*

گرفته و به‌طور معنی‌داری بالاتر از تیمارهای دیگر قرار گرفتند (جدول ۹). تیمار بیوچار +*ازتوباکتر* با تیمارهای عدم مصرف بیوچار + *میکوریزا* و تیمار عدم کاربرد بیوچار + ورمی‌کمپوست در یک گروه آماری قرار گرفتند. هم‌چنین کمترین درصد فسفر مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف کود آلی و زیستی) در شرایط عدم مصرف بیوچار (۰/۲۶ درصد) بود (جدول ۹).

جدول ۹. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل بیوچار و تیمارهای کودی مختلف بر درصد فسفر نعناع فلفلی

	تیمار	فسفر (٪)
عدم مصرف بیوچار	عدم مصرف کود	۰/۲۶e
	ورمی‌کمپوست	۰/۳۳bc
	سودوموناس	۰/۳d
	ازتوباکتر	۰/۳۱d
	میکوریزا	۰/۳۴b
مصرف بیوچار	عدم مصرف کود	۰/۳۲cd
	ورمی‌کمپوست	۰/۳۷a
	سودوموناس	۰/۳۳cd
	ازتوباکتر	۰/۳۴b
	میکوریزا	۰/۳۷a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

باکتری‌های محرک رشد *ازتوباکتر*، باسیلوس و سودوموناس و قارچ‌های *میکوریزا* فسیکولیتوم[1]، و موسه[3] در گیاه دارویی نعناع فلفلی گزارش شد که کاربرد تمام تیمارهای باکتریایی و قارچی سبب افزایش غلظت عناصر غذایی ماکرو در اندام‌های هوایی گردید (Mahmoudzadeh *et al*., 2016). در رابطه با افزایش غلظت فسفر در تیمارهای باکتریایی و قارچی دلایل مختلفی بیان شده است، از جمله تولید اسیدهای معدنی (اسید کربنیک و اسید سولفوریک)، اسیدهای آلی (اگزالیک، سیتریک و لاکتیک) و تولید آنزیم‌های فسفاتاز و در نتیجه انحلال فسفات‌های آلی و معدنی را می‌توان نام برد. در یک آزمایش گلدانی با کاربرد محلول فسفات آهن و قارچ *Glomus clarum* به‌صورت ترکیب و عدم ترکیب با بیوچار در گیاه لوبیا[4] پژوهشگران نشان دادند که کاربرد فسفات آهن با بیوچار سبب افزایش جذب فسفر در ساقه لوبیا از ۳/۱ تا ۳/۸ میلی‌گرم در هر گلدان شد. هرچند این افزایش جذب فسفر کم بود اما بر اثر متقابل بیوچار با قارچ تأثیر مثبت داشته و موجب افزایش ۱۲ درصد جذب فسفر در ساقه در تیمار مصرف قارچ *G. clarum* با بیوچار نسبت به تیمار مصرف قارچ بدون بیوچار شد (Vanek & Lehmann, 2015).

۳. ۶. همبستگی صفات

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در جدول ۱۰ نشان داده شده است. براساس نتایج موجود بیش‌ترین همبستگی بین وزن تر کل و وزن خشک کل (r=+۰/۹۴**) و هم‌چنین وزن تر کل و وزن تر ساقه (r=+۰/۹۲**) بود. کلروفیل b تنها با کلروفیل کل همبستگی مثبت (r=+۰/۶۶**) داشت. بین محتوای نیتروژن و فسفر با تمام صفات مورد مطالعه (به‌جز کلروفیل b) در این پژوهش همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱۰). علاوه بر این نتایج حاکی از آن بود که کلروفیل a، کلروفیل کل، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر کل، میزان نیتروژن و فسفر همبستگی مثبت معنی‌داری بر وزن خشک کل نعناع فلفلی داشتند (جدول ۱۰)، که دال بر تأثیر مثبت این صفات روی افزایش رشد و در نتیجه افزایش عملکرد این گیاه دارویی می‌باشد.

1. *Glomus fasciculatum*
2. *Glomus intraradices*
3. *Glomus mosseae*
4. *Phaseolus vulgaris*

جدول ۱۰. همبستگی بین صفات مورد مطالعه

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱	۱										
۲	۰/۰۳^{ns}	۱									
۳	۰/۶۶**	۰/۷۶**	۱								
۴	۰/۲۸^{ns}	۰/۲۳^{ns}	۰/۳۵*	۱							
۵	۰/۴۳*	۰/۲۹^{ns}	۰/۴۹**	۰/۵۸**	۱						
۶	۰/۳۴^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۳۲^{ns}	۰/۴۰*	۰/۸۰**	۱					
۷	۰/۴۲*	۰/۲۰^{ns}	۰/۴۱*	۰/۵۷**	۰/۹۲**	۰/۸۸**	۱				
۸	۰/۳۷*	۰/۲۰^{ns}	۰/۳۹^{ns}	۰/۷۱**	۰/۸۵**	۰/۹۲**	۰/۹۰**	۱			
۹	۰/۴۱*	۰/۲۵^{ns}	۰/۴۵*	۰/۷۰*	۰/۹۱**	۰/۸۶**	۰/۹۰**	۰/۹۴**	۱		
۱۰	۰/۳۸*	۰/۱۹^{ns}	۰/۳۹*	۰/۴۳*	۰/۵۹**	۰/۶۹**	۰/۶۶**	۰/۷۱**	۰/۶۷**	۱	
۱۱	۰/۵۵**	۰/۲۸^{ns}	۰/۵۶**	۰/۷۳**	۰/۶۳**	۰/۵۷**	۰/۶۵**	۰/۷۳**	۰/۷۰**	۰/۶۶**	۱

۱- کلروفیل a، ۲- کلروفیل b، ۳- کلروفیل کل، ۴- وزن تر برگ، ۵- وزن خشک برگ، ۶- وزن تر ساقه، ۷- وزن خشک ساقه، ۸- وزن تر کل، ۹- وزن خشک کل، ۱۰- محتوای نیتروژن، ۱۱- محتوای فسفر

ns، ** و *: به‌ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به ضرورت تولید گیاهان دارویی در نظام‌های زراعی و نیز کشت این گیاهان در نظام‌های کم نهاده و با توجه به اثرات مثبت کودهای زیستی در پایداری منابع خاک، حفظ تولید در درازمدت، جلوگیری از آلودگی محیط زیست و در نهایت عرضه محصول سالم، استفاده از این نوع کودها به تنهایی و یا در تلفیق با بیوچار می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نیل به اهداف کشاورزی پایدار مد نظر قرار گیرد. بنابراین با توجه به کارآیی بالای تیمار تلفیق بیوچار + *میکوریزا* و بیوچار + ورمی‌کمپوست در رشد گیاهان، استفاده از آن جهت بهبود رشد گیاهان توصیه می‌گردد.

۵. منابع

Anderson, C.R., Condron, L.M., Clough, T.J., Fiers, M., Stewart, A., Hill, R.A. & Sherlock, R.R. (2011). Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia*, *54*(5-6), 309- 320. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.07.005

Arjmand Alavi, M., Hatamzadeh, A. & Ehteshami, S.M.R. (2014). Effect of bulb inoculation with four species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of two lily species. *Seed Science and Research*, *1*(2), 57-65. (in Persian)

Ayyobi, H., Peyvast, G.A. & Olfati, J.A. (2013). Effect of vermicompost and vermicompost extract on oil yield and quality of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Agricultural Sciences*, *58*(1), 51-60. (in Persian)

Badr, L.A.A. & Fekry, W.A. (1998). Effect of intercropping and doses of fertilization on growth and productivity of taro and cucumber plants. 1-Vegetative growth and chemical constituents of foliage. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, *25*, 1087-1101.

Bamminger, C., Marschner, B. & Juschke, E. (2014). An incubation study on the stability and biological effects of pyrogenic and hydrothermal biochar in two soils. *European Journal of Soil Science*, *65*(1), 72-82. https://doi.org/10.1111/ejss.12074

Behnam, H., Farrokhian Firouzi, A. & Moezzi, A.A. (2016). Effect of biochar and compost sugarcane bagasse on some soil mechanical properties. *Water and Soil Conservation*, *23*(4), 235-250. (in Persian)

Casson, S.A. & Lindsey, K. (2003). Genes and signalling in root development. *New Phytologist*, *158*(1), 11-38. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00705.x

Darzi, M.T., Haj Seyd Hadi, M.R. & Rejali, F. (2012). Effects of cattle manure and biofertilizer application on biological yield, seed yield and essential oil in coriander (*Coriandrum sativum*). *Medicinal Plants*, *2*(42), 77-90. (In Persian).

Dharmakeerthi, R.S., Chandrasiri, J.A.S. & Edirimanne, V.U. (2012). Effect of rubber wood biochar on nutrition and growth of nursery plants of *Hevea brasiliensis* established in an Ultisol. *SpringerPlus*, *1*(84), 1-12. https://doi.org/10.1186/2193-1801-1-84

Divband Hafshejani, L., Naseri, A., Hooshmand, A., Abbasi, F. & Soltani Mohammadi, A. (2017). Effect of sugarcane bagasse biochar application on chemical properties a sandy loam soil. *Irrigation Sciences and Engineering*, *40*(1), 63-72. (in Persian)

Faraji Mehmani, A., Esmaielpour, B., Sefidkon, F., Abbaszadeh, B., Khavazi, K. & Ghanbari, A.R. (2014). Effects of biofertilizers on growth criteria, quantitative and qualitative yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Agroecology*, *6*(4), 870-879. (in Persian)

Gharib, A.F., Moussa, L.A. & Massoud, O.N. (2008). Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. *International of Journal Agriculture and Biology*, *10*(4), 381-387.

Hatami, S.F., Esmaielpour, B., Hadian, J., Khavazi, K., Soltani Toolarood, A.A. & Abbaszadeh-dahaji, P. (2014). Effects of biofertilizers on morphological traits of tarragon. *Soil Biology*, *2*(1), 55-63. (in Persian)

Hejazi Zadeh, A., Gholam AliZadeh Ahangar, A. & Ghorbani, M. (2016). Effect of biochar on lead and cadmium uptake from applied paper factory sewage sludge by sunflower (*Heliantus annus* L.). *Water and Soil Science*, *26*(2), 259-271. (in Persian)

Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K. & Barea, J.M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*, *37*(1), 1-16. DOI 10.1007/s00374-002-0546-5

Johnson, C.R. (1984). Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization, photosynthesis, growth and nutrient composition of *Citrus aurantium*. *Plant and Soil*, *80*(1), 35-42.

Khalilidarini, K., Armin, M. & Marvi, H. (2014). The effect of the amount and frequency of complete fertilizer foliar application on quantitative and qualitative yield of peppermint (*Mentha piperita*). *Crop Science Research in Arid Regions*, *1*(1), 85-100. (in Persian)

Liu, H., Tang, Y., Nell, M., Zitter-Eglseer, K., Wawscrah, C., Copp, B., Wang, S. & Novak, J. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungal colonization *Glycyrrhiza glabra* roots enhances plant biomass, phosphorus uptake and concentration of root secondary metabolites. *Journal of Arid Land*, *6*(2), 186-194.

Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadaghiani, M.H. & Asgari Lajayer, H. (2016). Effect of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth characteristics and concentration of macronutrients in peppermint (*Mentha pipperita* L.) under greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center*, *6*(4), 155-168. (in Persian)

Maleki, V., Salimi, KH. & Ardakani, M.R. (2016). Effect of biofertilizers on vegetative growth and essential oil of sweet basil. *Agroecology*, *11*(4), 49-56. (in Persian)

Mukherjee, A. & Zimmerman, A.R. (2013). Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. *Geoderma*, *193*(1), 122-130. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.002

Mousavi, F., Solymani, A., Rezaiinezhad, A.H. & Kheyri, A.A. (2014). The effect of vermicompost on some quantitative and qualitative properties of peppermint. *The First National Conference on New Ideas in Sustainable Agriculture*, March 5, Boroujerd, Islamic Azad University. (in Persian)

Nur, M.S.M., Islami, T., Handayanto, E., Nugroho, W.H. & Utomo, W.H. (2014). The use of biochar fortified compost on calcareous soil of east Nusa Tenggara, Indonesia: 2. Effect on the yield of maize (*Zea mays* L.) and phosphate absorption. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, *8*(5), 105-111.

Ortas, I., Sari, N., Akpinar, Ç. & Yetisir, H. (2011). Screening mycorrhiza species for plant growth, p and zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, *128*(2), 92-98. DOI: 10.1016/j.scienta.2010.12.014

Pirasteh Anosheh, H., Emam, Y. & Jamali Ramin, F. (2010). Comparative effect of biofertilizers with chemical fertilizers on sunflower

(*Helianthus annuus* L.) growth, yield and oil percentage in different drought stress levels. *Agroecology*, *2*(3), 492-501. (in Persian)

Porra, R.J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynth Research*, *73*(1-3), 149-156.

Pooyanfar, M., Norafkan, H., Ehsasi, H. & Mahmoodi Rad, Z. 2017. The effect of foliar application of vermicompost tea on morphological characteristics and yield components of peppermint. *Third International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism*. March 9, Tabriz, Iran. (in Persian)

Ratti, N., Kumar, S., Verma, H.N. & Gautam, S.P. (2001). Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. *motia* by rhizobacteria, AMF and *Azospirillum* inoculation. *Microbiological Research*, *156*(2), 145-149.https://doi.org/10.1078/0944-5013-00095

Rezaeeyan, A. (2014). *Effect of biochar and arbuscular mycorrhiza on cadmium absorption, transfer and accumulation in peppermint*. Thesis, Shahroud University, Semnan Province, Iran. (in Persian)

Sajadinik, R. & Yadavi, A.R.(2013). Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indices, phenological stages and grain yield of sesame. *Crop Production*, *6*(2), 73-100. (in Persian)

Salehi Sardoei, A. (2014). Vermicompost effects on the growth and flowering of marigold (*Calendula officinalis*). *European Journal of Experimental Biology*, *4*(1), 651-655.

Seifi, S.M., Kashani, A., Ardakani, M.R., Rejali, F., Timajchi, M. & Abasian, M. (2011). The effect of different species of mycorrhiza on phytohormone changes in soybean (*Glycine max* L.) by nano, biologic and chemical fungicides. *Agroecology*, *3*(2), 254-264. (in Persian)

Stajkovic, O., Delic, D., Josic, D., Kuzmanovic, D., Rasulic, N. & Knezevic-Vukcevic, J. (2011). Improvement of common bean growth-promoting bacteria. *Romanian Biotechnological Letters*, *16*(1), 5919-5926.

Steinbeiss, S., Gleixner, G. & Antonietti, M. (2009). Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, *41*(6), 1301-1310. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.03.016

Theunissen, J., Ndakidemi, P.A. & Laubscher, C.P. (2010). Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of Physical Sciences*, *5*(13), 1964-1973.

Vanek, S.J. & Lehmann, J. (2015). Phosphorus availability to beans via interactions between mycorrhizas and biochar. *Plant Soil*, *395*(1-2), 105-123.

Watzinger, A., Feichtmair, S., Kitzler, B., Zehetner, F., Kloss, S., Wimmer, B., Boltenstern, S.Z. & Soja, G. (2014). Soil microbial communities responded to biochar application in temperate soils and slowly metabolized 13C-labelled biochar as revealed by 13C PLFA analysis: results from a short term incubation and pot experiment. *European Journal of Soil Science*, *65*(1), 40-51. https://doi.org/10.1111/ejss.12100

Westerman, R.E.L. (1990). Soil testing and plant analysis. *Soil Science Society of America*.

Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C. & Wong, M.H. (2005). Effects of biofertilizer containing n-fixer, p and k solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma, *125*(1-2), 155-166. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003

Yaghoby, M., Amerian, M. & Asghar, H. (2014). Comparison of the effect of biological and biofertilized fertilizers on some physiological traits in bean growing. The 2nd National Conference of the Desert with the Approach of the Management of Arid and Desert Areas. Semnan University. (in Persian)

Zargari, A .(1996). Medicinal Plants. University of Tehran Publications, Iran. (in Persian)